VHV-BAUSCHADENBERICHT

TIEFBAU UND INFRASTRUKTUR 2024 / 25

VHV BAUFORSCHUNG

Fraunhofer IRB | Verlag

VHV-Bauschadenbericht

Tiefbau und Infrastruktur 2024 / 25

VHV BAUFORSCHUNG

Fraunhofer IRB | Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-7388-0923-7 ISBN (E-Book): 978-3-7388-0924-4
DOI: 10.60628/9783738809244

Hrsg.: VHV Allgemeine Versicherung AG, Hannover

Bearbeitung: Institut für Bauforschung e.V., Hannover
Autoren: Dipl.-Ing. Heike Böhmer, Dipl.-Ing. Tania Brinkmann-Wicke, Sabine Sell, M.A.,
Dipl.-Ing. Janet Simon, Dipl.-Des. (FH) H. Cornelia Tebben in Zusammenarbeit mit
VHV Allgemeine Versicherung AG sowie Partnern und Co-Autoren

Satz, Herstellung: Andreas Preising
Umschlaggestaltung: Martin Kjer
Druck: FIRMENGRUPPE APPL Holding GmbH & Co. KG, 86650 Wemding

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der DIN Media GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.
Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.
Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.
Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (zum Beispiel DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird die männliche Sprachform bei personenbezogenen Substantiven und Pronomen verwendet. Dies impliziert keine Benachteiligung des weiblichen Geschlechts, sondern ist im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2025
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-2500; Telefax +49 711 970-2508
irb@irb.fraunhofer.de
www.baufachinformation.de

VORWORTE

Olaf Lies
Niedersächsischer Ministerpräsident

Sehr geehrte Leserinnen und sehr geehrte Leser,

FOTO: HENNING SCHEFFENS

Niedersächsischer Ministerpräsident Olaf Lies

mit dem sechsten Band der Reihe der jährlichen Bauschadenberichte legt das Institut für Bauforschung e. V. im Auftrag der VHV Versicherungen wieder einen zukunftsweisenden Bericht zur Schadenprävention vor, diesmal zum Thema »Zukunftsfähige Infrastruktur«. Damit wird ein Bereich thematisiert, der mir bereits als Wirtschafts- und Bauminister sehr am Herzen lag, der aber auch in meiner Funktion als Ministerpräsident unseres Landes »Chefsache« bleibt. Insofern freue ich mich, dass die gewohnt fundierte Analyse der aktuellen Datenlage ebenso wie die Darstellung der technischen Innovationen wieder einen wertvollen Beitrag zu fachlicher Diskussion und zielführender Kommunikation in der Planungs- und Baupraxis leistet.

Eine sichere und resiliente Infrastruktur ist gleichermaßen Basis und Rückgrat einer funktionierenden Wirtschaft. In einem Flächenland wie Niedersachsen, in dem sowohl etablierte Industriezentren als auch die vorhandene Landschaft mit Meeren und Küsten, Bergen, Flüssen und Kanälen große Standortvorteile bieten, spielt die Infrastruktur eine wesentliche Rolle, vor allem, wenn man an die notwendigen Transformationsprozesse der Wirtschaft denkt.

Niedersachsen ist bereits jetzt erfolgreich und stark im Bereich der erneuerbaren Energien: Unsere Stromversorgung wird zu großen Teilen aus Windkraft, Photovoltaik und Biomasse gedeckt, und mit der Task-Force Energiewende wurden Genehmigungen beschleunigt, sodass beim Bau von Solaranlagen und Wärmepumpen, bei der Wasserstoffnutzung und der Gebäudesanierung große Fortschritte erzielt wurden.

Unsere einmalige Lage an der Nordsee macht Niedersachsen zum Drehkreuz für die Energie der Zukunft – Windstrom von On- und Offshore-Anlagen, Gas und zukünftig auch Wasserstoff fließen durch unser Land. In Cuxhaven wird im Deutschen Offshore Industriezentrum (DOIZ) das so wichtige Offshore-Terminal ausgebaut. In Stade entsteht das erste feste Flüssiggas-Terminal – , zunächst für LNG, künftig dann für Wasserstoff. Auch in Wilhelmshaven gehen die Planungen für ein festes Terminal mit großen Schritten voran. Aktuell sind dort bereits zwei schwimmende Terminals in Betrieb. 50 Prozent der in Deutschland geplanten EU-Großprojekte zur Produktion von grünem Wasserstoff werden in Niedersachsen realisiert.

Neben der Energieerzeugung spielen auch die unterschiedlichen Transportwege und -arten im Rahmen funktionierender Infrastruktur eine wesentliche Rolle. Kabel- und Leitungstrassen – ober- und unterirdisch – Verkehrsbauwerke, wie Straßen, Schienen, Brücken und Tunnel: Sie alle benötigen Qualitäten, die die notwendige Funktion, Sicherheit und Zukunftsfähigkeit gewährleisten. Schauen wir in die Zukunft: 1.800 Kilometer des Wasserstoff-Kernnetzes befinden sich in Niedersachsen. Allein für die IPCEI-Projekte sind rund 2,8 Milliarden Euro Fördergelder – davon rund 840 Millionen Euro aus Landesmitteln – vorgesehen. Niedersachsen übernimmt damit Verantwortung für ganz Deutschland.

Parallel haben wir, wie im gesamten Bundesgebiet, auch in Niedersachsen die große Aufgabe vor uns, den Sanierungsstau in der Infrastruktur zu beenden. Für die möglichst schnelle Nutzung des entsprechenden Sondervermögens sind umfangreiche Maßnahmen erforderlich: Vor allem im Verkehrswegebau muss der Beschleunigung der Planungs- und Genehmigungsverfahren besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, zum Beispiel durch die konsequente Digitalisierung und flexiblere Gestaltung der Verfahren. Jedoch ohne negative Auswirkungen auf die Qualität in Planung und Ausführung. Mängel und Bauschäden müssen unbedingt vermieden werden, nicht zuletzt auch vor dem Hintergrund des Nachhaltigkeitsgedankens über den Lebenszyklus eines Bauwerks.

So danke ich der VHV Allgemeine Versicherung AG für ihr Engagement als Partnerin der Bauwirtschaft – in ihrer Funktion als Versicherung der Branche, aber auch für die wichtige Unterstützung des fachlichen Fortschritts. Die kontinuierlichen Analysen des Instituts für Bauforschung in den Bereichen der Mangel- und Schadenursachen und die dargestellten Innovationen aus Forschung und Praxis bieten den Planungs- und Baubeteiligten wertvolles Wissen zur Weiterentwicklung ihrer Prozesse und Verfahren. Jeder vermiedene Bauschaden sichert die Funktionsfähigkeit unserer Wirtschaft, vermeidet Folgekosten und Behinderungen beim Bau und der Sanierung unserer Infrastruktur und schützt nicht zuletzt das Leben der am Bau beteiligten Menschen, die den Infrastrukturausbau in unserem Land mit Kompetenz, Fleiß und Energie voranbringen.

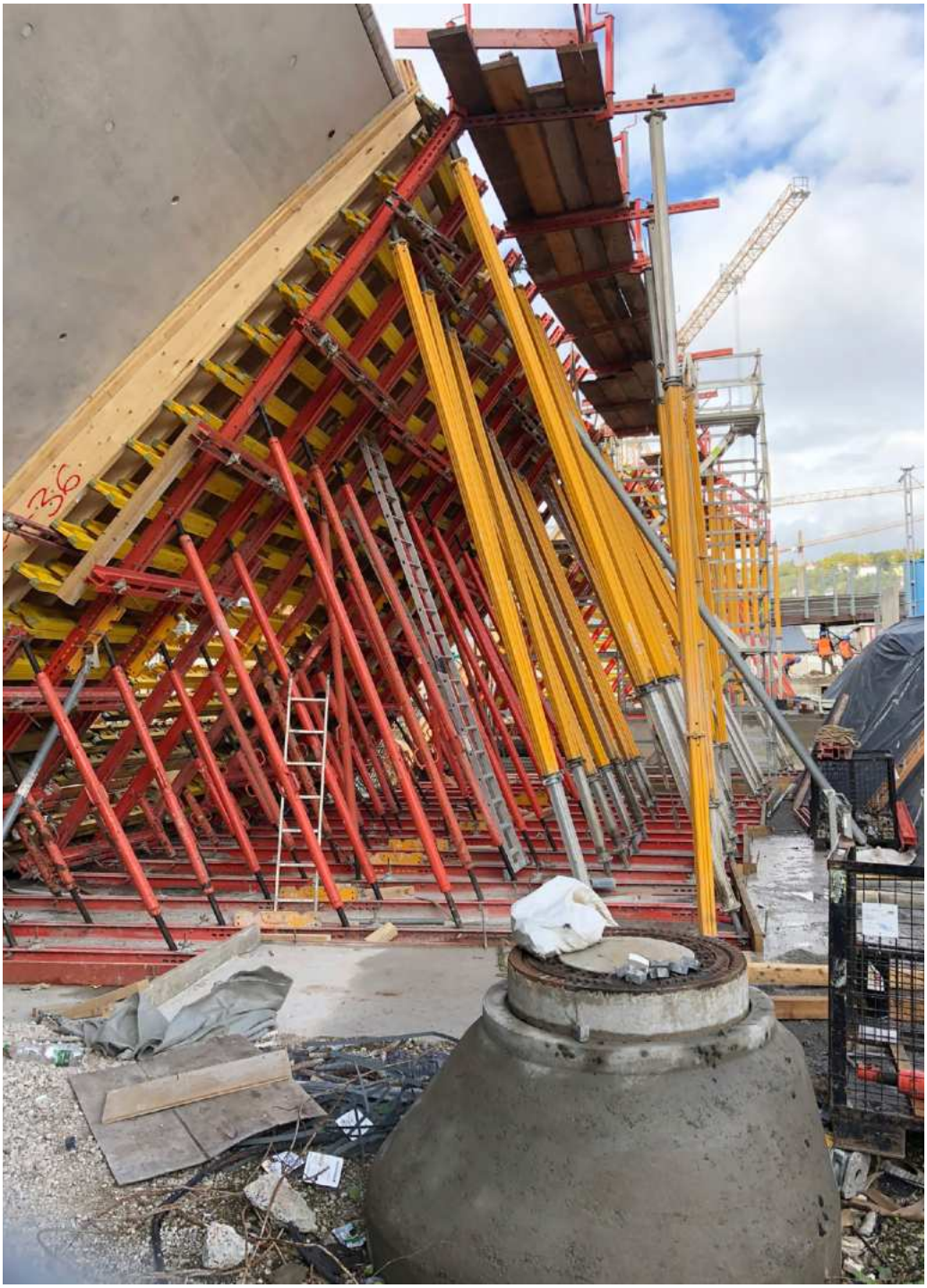
Gerade die Qualität der Bauwerke im Straßen-, Brücken- und Leitungstiefbau ist eine unentbehrliche Stütze für unser Land. Die Baubranche ist nicht nur ein regionaler Wirtschaftsfaktor und Arbeitgeber, sondern wesentlicher Teil der Ökonomie und Gesellschaft im gesamten Bundesgebiet. Lassen Sie uns deshalb die damit einhergehenden Herausforderungen gemeinsam und mit Zuversicht angehen. Gemeinsames, kluges, verantwortliches Tun und konstruktive Kommunikation sind und bleiben der Schlüssel zum Erfolg! Unser gemeinsames Ziel, kostengünstige, qualitativ hochwertige und nachhaltige Bauwerke zu schaffen und zu erhalten, ist jedes Engagement wert.

Die Maßnahmen, die im Rahmen meiner Tätigkeit als Bauminister im Niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Bauen von meinem Team und mir bereits vorbereitet und begonnen wurden, werden von meinem Nachfolger Grant Hendrik Tonne weiterverfolgt werden. Dabei werden alle Chancen genutzt, um die Arbeit im Straßen-, Tief- und Leitungsbau zukunftsfähig zu gestalten. Kommen Sie mit Ideen und Initiativen gern auf uns und die entsprechenden Häuser zu. Jeder Schritt für dieses gemeinsame Ziel ist lohnend!

In diesem Sinne hoffe ich, dass auch dieser Bauschadenbericht gewohnt viele interessierte Leserinnen und Leser findet.

Ihr

Olaf Lies
Niedersächsischer Ministerpräsident



Reiner Nagel
Vorstandsvorsitzender Bundesstiftung Baukultur

FOTO: LIDIA TIRRI FÜR DIE BUNDESSTIFTUNG BAUKULTUR

Reiner Nagel

Infrastruktur und Tiefbau sind Begriffe, die in der öffentlichen Wahrnehmung oft unter dem Radar bleiben. Bestenfalls sind sie ein notwendiges Übel in Form von Baustellen oder ein Ärgernis im kaputten Zustand. Dabei sind es gerade das selbstverständlich wirkende Netz aus Straßen, Wegen und Schienen, unsere öffentlichen Räume und oder das unsichtbare Geflecht aus Leitungen, die unsere Gesellschaft am Laufen halten. Ohne diese Infrastruktur kämen wir weder von A nach B, könnten uns nicht begegnen, noch hätten wir ein warmes, sauberes oder erleuchtetes Zuhause.

Leitungen, die Wasser in und Abwasser aus unseren Wohnungen leiten, sind zum Beispiel eine unauffällige, weil meist im Boden verlaufende Infrastruktur. Jährlich werden darin aber acht Milliarden Euro investiert. Da sie zur Erfüllung menschlicher Grundbedürfnisse unabdingbar sind, sind Bauprojekte in Tiefbau und Infrastruktur als Daueraufgabe weniger starken konjunkturellen Schwankungen unterlegen als der Hochbau und somit ein verlässlicher Motor der Bauwirtschaft.

Das erklärt auch die Bildung eines zusätzlichen Sondervermögens von 500 Milliarden Euro für Infrastrukturausgaben des Bundes, der Länder und Kommunen in der kommenden Dekade. Das Geld wird dringend benötigt: Laut KfW-Kommunalpanel 2024 beziffern allein die Kommunen in Deutschland ihren Investitionsrückstand in die Infrastruktur mit 186 Milliarden Euro. Davon allein knapp über 48 Milliarden in der Straßen- und Verkehrsinfrastruktur – eine klassische Tiefbauaufgabe.

Neben dem Rückstand gibt es zudem dringende gesellschaftliche Herausforderungen zu meistern. Klimawandel und Digitalisierung schlagen sich in zahlreichen Bauaufgaben nieder. Vieles von dem, was wir uns angeschafft haben, hat das Ende seiner Lebensdauer

erreicht: Straßen halten der aktuellen Belastung nicht mehr stand, viele unserer Wasserleitungen sind über 100 Jahre alt. Es ergibt also Sinn, wenn Befragte aus der Stadt- und Verkehrsplanung in einer Umfrage der Bundesstiftung Baukultur angeben, die größten Planungsaufgaben in der Infrastruktur mit 60 Prozent im Umbau und mit 37 Prozent im Ersatzneubau zu sehen. Nur 3 Prozent sehen noch Aufgaben im netzerweiternden Neubau.

Wenn wir aber unsere bestehenden Infrastrukturen anfassen und damit in der Regel über einen längeren Zeitraum belastende Baustellensituationen und damit Veränderungen für die Lebenswelten der Bevölkerung schaffen, dann muss das Ergebnis nicht nur unterirdisch seiner Aufgabe gerecht werden, sondern auch oberirdisch funktional und gestalterisch überzeugen. Als öffentliche Güter müssen Infrastrukturen über ihren Kernzweck hinaus Mehrwert für das Gemeinwohl und die Umwelt schaffen.

So ließen sich beispielsweise im Rahmen des Glasfaserausbaus bevorstehende Leitungsmaßnahmen auch anderer Bedarfsträger koordinieren und räumlich bündeln, um den durch Ver- und Entsorgungsinfrastrukturen strapazierten Boden zu entlasten und Mehrfachbaustellen in kurzer Zeit zu vermeiden. Damit würde der dringend für die Klimaanpassung unserer Städte benötigte Raum geschaffen, zum Beispiel für Baumwurzeln und Versickerungsflächen. Gerade Elemente der blau-grünen Infrastruktur müssen zum integralen Bestandteil jeder Infrastrukturplanung werden.

An anderer Stelle lässt sich gegebenenfalls die vorgefundene räumliche Situation nach Abschluss der Bauarbeiten anders und besser wieder herrichten. Wo vorher Restflächen waren, sind anschließend vielleicht Aufenthalts- oder Grünflächen möglich. Sobald Geld in unsere Infrastruktur investiert wird, sollten Synergien, Mehrfachnutzungen und die Chance, das Umfeld zu verbessern, immer mitgedacht werden. Dieser ganzheitliche Ansatz bedingt aber auch eine fach- und disziplinübergreifende Zusammenarbeit.

Die VHV liefert mit ihrer Reihe der Bauschadenberichte wertvolle Erkenntnisse über die Ursachen und Häufigkeit von Bauschäden. Sie leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Baukultur, indem sie die Chance bietet, voneinander zu lernen und in unserer Ingenieurleistung immer besser zu werden. Oft ist es aber gar nicht die Qualität der Planunterlagen oder der Ausführung vor Ort, die ein Projekt scheitern lässt, sondern eine mangelhafte oder gar fehlende Projektvorbereitung oder im Lebenszyklus eine mangelnde Instandhaltung.

Zentraler Faktor für gelungene Projekte ist deshalb die Qualität der Planungs- und Bauprozesse. Alle Phasen eines Bauvorhabens müssen sorgfältig gestaltet werden – von der sogenannten Phase 0, in der die Bedarfe und Anforderungen definiert werden, bis hin zur Phase 10, die den Betrieb und die Nutzung umfasst. Ein strukturierter und transparenter Prozess fördert nicht nur die Zufriedenheit aller Beteiligten, sondern letztlich auch die Qualität des Bauwerks. Zukunftsfähige technische Infrastruktur braucht eine Baukultur, die mitdenkt, die sowohl den Tiefbau als auch den oberirdischen Raum in den Blick nimmt und durch gelungene Prozesse zu dauerhaften und funktionalen Lösungen führt.

Wolfgang Schubert-Raab
Präsident Zentralverband Deutsches Baugewerbe

FOTO: © RAAB

Wolfgang Schubert-Raab

Liebe Leserinnen und Leser,
liebe Kolleginnen und Kollegen,

noch im Februar machte ich mir große Sorgen. Während der amerikanische Präsident mit seiner erratischen Politik die Märkte ins Chaos stürzt, gerät der »Westen«, wie wir ihn kannten, ins Wanken. Mittlerweile steht die transatlantische Partnerschaft geo- und wirtschaftspolitisch vor einer Zerreißprobe. Und Deutschland? In Deutschland war Wahlkampf und die wahlkämpfenden Politikerinnen und Politiker erkannten, dass man auf die neuen Herausforderungen nicht vorbereitet ist. Dann kam der 4. März. Gegen 19 Uhr an diesem Dienstag verkündeten die Spitzen von CDU und SPD die Eckpunkte eines Finanzpakets, das eine Lockerung der Schuldenbremse für Verteidigungsausgaben und ein 500 Milliarden Euro schweres Sondervermögen für Infrastruktur und Klimaschutz vorsieht. Damit ist theoretisch der Weg frei für die Instandsetzung der maroden Infrastruktur in Deutschland.

Straßen, Schulen, Schienen – die Folgen der unterlassenen Investitionen spüren wir alle im Alltag. Zu lange hatten wir uns an einen jahrzehntelangen Reformstau gewöhnt. Für das vor sich hin bröselnde Land ist das Finanzpaket ein Glücksfall. Sind wir jetzt alle Sorgen los?

Der Theorieteil ist zu lang

Das Sondervermögen ist das Versprechen, die Lösung ist es aber noch nicht. Wir müssen radikal durch die bürokratischen Verfahren gehen und diese vereinfachen. Die Prozesse für Infrastrukturprojekte in unserem Land sind eine Qual. Wenn es ganz schlimm läuft, können Genehmigungsverfahren 85 Prozent eines Autobahnprojekts einnehmen, während wir nur 15 Prozent zum Bauen benötigen.

Das hat mit dem Planfeststellungsverfahren zu tun, in dem unter Beteiligung der Träger öffentlicher Belange und der Öffentlichkeit langwierig geprüft wird, ob ein Bauvorhaben zulässig ist. Vor allem die Möglichkeit, gegen die Zulässigkeit raumbedeutsamer Vorhaben und Infrastrukturmaßnahmen zu klagen, kann Bauprojekte im schlimmsten Fall um Jahrzehnte verzögern. Beispielsweise in Hessen, wo der Ausbau der A49 am 21. März dieses Jahres fertig geworden ist – über 50 Jahre nach Planungsbeginn. Die Politik muss nun zeigen, dass sie wirklich Interesse an schnelleren Prozessen hat.

Das Sondervermögen darf nicht zum Sondervergnügen werden

In den vergangenen Jahren sind die Bauvorschriften in unserem Land um irrsinnige 300 Prozent angewachsen, rund 20.000 gelten mittlerweile verbindlich. Der so häufig beschworene, aber so selten gelebte Bürokratieabbau würde die Kosten erheblich senken. Einiges davon will die neue Bundesregierung laut ihrem Koalitionsvertrag umsetzen. Das ist gut so. Aber auch die vorherige Regierung hatte einiges auf ihrem Zettel, am Ende brach der Neubau trotzdem ein.

Deutschland braucht einen echten Kulturwandel weg von der in Amtsstuben noch immer omnipräsenten legalistischen Denkschule, um mit neuen Verwaltungsstandards den Mittelstand zu entlasten und die Projektkosten zu senken. Erst dann wird es dem Land gelingen, das viele Geld effektiv einzusetzen. Die schnellste und größte Reinvestion des eingesetzten Kapitals wird gelingen, wenn die Aufträge an ortsansässige und einheimische Firmen erteilt werden. Andernfalls bleibt das Finanzpaket ein teures Experiment ohne nachhaltige Wirkung.

Mittlerweile bin ich optimistischer, dass wir das schaffen, auch wenn jetzt jede Menge Arbeit auf die Regierung zukommt. Es bleibt nicht mehr viel Zeit, um die notwendigen Veränderungen umzusetzen. Aber die Chance, diese Krise zu bewältigen, liegt in unseren Händen. Lassen Sie uns diese Gelegenheit ergreifen und gemeinsam einen Neustart für den Bau ermöglichen.

Peter Bachmann
Unternehmer

Liebe Leserinnen und Leser,

[FOTO: CIRCULARSKILLS]

Peter Bachmann

ein Lob für die EU-Taxonomie? Für dieses Bürokratiemonster, so wie vieles, eigentlich fast alles, was aus Brüssel kommt? Nein das ist kein Witz, sondern mein Ernst. Denn bei genauer Betrachtung kann dieses, zugegeben sehr sperrige Instrument ein wichtiger Wegweiser für die Bau- und Immobilienbranche sein. Dieser haftet immer noch der Makel an, der Wirtschaftszweig mit der höchsten Mängelquote zu sein. Da ist wohl etwas dran, denn sonst bräuchte es dieses Buch nicht.

Wie kann es gelingen, Bauschäden zu vermeiden und gleichzeitig die Zukunft zu gestalten? Ein tieferer Blick in die EU-Taxonomie offenbart eine erstaunliche Erkenntnis. Sie verfolgt ein klares Ziel: Schäden an Mensch, Umwelt und Wirtschaft zu vermeiden. Damit ist sie mehr als eine regulatorische Vorgabe – sie ist ein intelligentes und unausweichliches System, das unseren Wirtschaftsraum zukunftsfähig macht. Dennoch wird sie oft verkürzt oder mit Halbwissen diskutiert, sowohl in der Politik als auch in den Medien. Besonders das aktuelle Omnibus-Verfahren zeigt, wie stark wirtschaftliche Interessen mit nachhaltigen Notwendigkeiten ringen. Doch wer die Taxonomie in ihrer Tiefe versteht, erkennt: Sie ist kein Hindernis, sondern unsere Chance, wirtschaftliche Stabilität mit ökologischer Verantwortung zu verbinden.

Versicherer wissen: Schäden entstehen neben menschlichen Fehlern in Planung und Ausführung oft durch minderwertige Baustoffe oder mangelnde Widerstandsfähigkeit gegenüber klimatischen und strukturellen Belastungen. Genau hier setzt die EU-Taxonomie an: Sie hilft, Bauschäden präventiv zu vermeiden, indem sie gezielt auf nachhaltige, gesunde und widerstandsfähige Materialien setzt.

Die Bau- und Immobilienbranche trägt eine enorme Verantwortung – nicht nur als größter CO_2-Emittent, sondern auch als Gestalter langfristiger Infrastrukturen. Ein Blick in die Schadenstatistiken zeigt: Viele Bauschäden wären durch taxonomiekonforme, zirkuläre Bauprodukte vermeidbar. Wenn wir als Branche konsequent vorangehen, reduzieren wir nicht nur Schäden und Kosten, sondern setzen auch ein Zeichen für resilientes und zukunftsfähiges Bauen. Die Bau- und Immobilienbranche als Vorbild, das wäre ein wichtiges Zeichen, nicht zuletzt um mehr junge Menschen für diese spannende und erfüllende Branche zu begeistern.

Die fünf Transformationskriterien sind dabei der Schlüssel zur Risikominimierung. Die EU-Taxonomie bewertet Bauwerke und Produkte anhand von fünf Transformationskriterien. Diese haben einen direkten Einfluss auf die Schadenwahrscheinlichkeit und die Folgekosten:

1. **Soziale Fairness und Migration:** Unfaire Arbeitsbedingungen und fehlende oder ungenügende Ausbildung vieler Beschäftigten in der Bauwirtschaft erhöhen Fehlerquoten, Mängel und spätere Schadenkosten. Eine gerechte Bauwirtschaft stabilisiert nicht nur soziale Strukturen, sondern auch die Bauqualität.
2. **Materialgesundheit und Gesundheitskosten:** Schadstofffreie Baustoffe senken Gesundheitsrisiken für Bauarbeiter und Nutzer – und reduzieren damit langfristig Versicherungsschäden durch gesundheitliche Folgekosten. Zudem machen sie die in Bauwerken enthaltenen Produkte erst kreislauffähig.
3. **Klimafreundliche Produkte und Unternehmen:** Resiliente Bauprodukte und Gebäude reduzieren Schäden durch Extremwetterereignisse – niedrigere Sanierungskosten und geringere versicherungstechnische Risiken sind die Folge. Hier gilt bereits in der Konzeptionsphase: Weniger ist oft mehr, etwa bei der Ausstattung mit Komponenten der Technischen Gebäudeausstattung, die während des Lebenszyklus eines Gebäudes mindestens dreimal ausgewechselt werden müssen.
4. **Biodiversität und Lebensraum:** Ohne funktionierende Ökosysteme gibt es keinen Rohstoffnachschub für die Bauwirtschaft – und langfristig keine stabilen, natürlichen Schutzmechanismen gegen Umweltkatastrophen.
5. **Zirkularität als wirtschaftliche Unabhängigkeit:** Baustoffe, die wiederverwendet und in gleichwertigen Produkten recycelt werden können, minimieren die Kosten für Rückbau, Entsorgung und Sanierung – eine entscheidende Komponente für nachhaltige Investitionssicherheit. Gebäude werden damit am Ende ihrer Lebensdauer vom Kostenblock zum Wertblock, das ist nicht zuletzt ein finanzielles Argument, das angesichts von knappen Ressourcen und fehlendem Deponieraum in den nächsten Jahrzehnten enorm an Bedeutung gewinnen wird.

Nachhaltigkeit ist nicht teurer – Schäden schon

Das Totschlagargument »Nachhaltigkeit ist zu teuer« hält einer nüchternen Betrachtung nicht stand. Die wahren Kosten entstehen durch Nichtstun: steigende Versicherungsprämien durch vermeidbare Schäden, steigende Gesundheitskosten durch schadstoffbelastete Materialien und immense wirtschaftliche Verluste durch klimabedingte Schäden an Bauwerken und Gebäuden. Allein die Flut im Ahrtal 2021 verursachte laut einer Studie im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums einen Gesamtschaden von über 40 Milliarden Euro, wobei nur bis zu 8,5 Milliarden Euro durch Versicherungen abgedeckt waren. Die Münchener Rück beziffert den Gesamtschaden der Flut auf 46 Milliarden Euro, davon 33 Milliarden Euro in Deutschland. 9.000 Gebäude und mehr als 100 Brücken wurden zerstört oder stark beschädigt. Ein enormer Schaden für unsere Gesellschaft. Und das war nur eines von vielen Extremwetterereignissen der letzten Jahre.

Als Gegenpol zu dieser Entwicklung durfte ich in vielen Projekten erleben, wie verantwortungsvolle Investoren, präzise planende Ingenieure, neugierige und kenntnisreiche Handwerker, aufgeschlossene Hersteller und vorausschauende Händler gemeinsam Lösungen entwickelt haben. Sie haben, ohne Mehrkosten, ehrliche, valide und nachhaltige Bauprojekte realisiert. Das zeigt: Positive Veränderungen beginnen mit dem Willen, Lösungen zu finden.

Eine der größten Herausforderungen in der Nachhaltigkeitsdebatte ist die Sprache. Denn Sprache ist der Schlüssel zur Akzeptanz. Nur wenn wir Klartext reden und gleichzeitig Fachjargon vermeiden, erreichen wir alle Akteure entlang der Wertschöpfungskette. Gerade das Handwerk spielt hier eine zentrale Rolle: Die grüne Transformation findet auf der Baustelle statt. Und sie gelingt nur, wenn alle Beteiligten die Lösungen verstehen und umsetzen können.

Die Bau- und Immobilienbranche kann – und muss – die führende Kraft der nachhaltigen Transformation werden. Versicherer, Ingenieure und Bauunternehmen tragen gemeinsam die Verantwortung, Bauschäden durch nachhaltige Planung, robuste Materialien und intelligente Produktwahl zu minimieren. Nach dem Motto: Handeln statt verwalten! Die EU-Taxonomie liefert den Rahmen – jetzt müssen wir ihn konsequent nutzen.

Dr. Sebastian Reddemann

Sprecher des Vorstands, VHV Allgemeine Versicherung AG

Dr. Sebastian Reddemann

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

die vorliegende sechste Ausgabe des VHV-Bauschadenberichts, diesmal mit dem Fokus Tiefbau, trägt den Titel »Zukunftsfähige Infrastruktur«. Wir legen damit erneut ein umfangreiches Lagebild vor, das Risiken sichtbar macht und Lösungswege aufzeigt.

Das Thema Infrastruktur ist ein Dauerbrenner: Nach wie vor gibt es zu viele sanierungsbedürftige Brücken, Straßen und Schienen in Deutschland, und sie stellen ein echtes Risiko dar. Der Einsturz der Carolabrücke in Dresden im letzten Jahr hat die Dringlichkeit erneut gezeigt.

Die gute Nachricht: Über das beschlossene Sondervermögen des Bundes sollen wieder mehr Mittel in die öffentliche Infrastruktur fließen. Diese Chance gilt es zu nutzen – klug, nachhaltig und mit Blick auf eine hohe Qualität. Investitionen allein machen aber noch keine zukunftsfähige Infrastruktur. Es braucht unter anderem auch massive Vereinfachungen im Planungs- und Genehmigungsverfahren und die Bereitschaft, aus Fehlern systematisch zu lernen.

Auch in vielen anderen Bereichen ist Bewegung spürbar. Die Leitungsauskunft wird digitaler, Werkzeuge wie das Bundesweite Informationssystem für Leitungsrecherchen (BIL) oder die Verschwendungs-, Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (VFMEA) helfen, Schäden zu vermeiden. Weiterbildung gewinnt als Sicherheitsfaktor an Bedeutung. Gleichzeitig zeigen die Schadenanalysen in diesem Bericht, dass gerade im unterirdischen Leitungsbau noch zu viele Fehler passieren – oft mit erheblichen Folgekosten.

Der VHV-Bauschadenbericht will genau hier ansetzen. Mit Daten, Fallbeispielen und einem breiten Blick auf Themen wie Schadenursachen, nachhaltige Baustoffe, digitale Zwillinge, die Transformation der Bauwirtschaft und die Rolle der KI in Planung und Bauausführung.

Es freut uns, wenn wir mit diesem Bericht erneut zur Schadenprävention beitragen können. Nicht, weil wir den Status quo kritisieren wollen, sondern weil wir überzeugt sind, dass sich Qualität am besten durch gemeinsame Analyse und kontinuierliche Verbesserung sichern lässt.

Ich wünsche Ihnen viel Freude und vor allem viele neue Erkenntnisse beim Lesen.

Ihr

Dr. Sebastian Reddemann
Sprecher des Vorstands
VHV Allgemeine Versicherung AG

INHALT

VORWORTE		**3**
Olaf Lies		3
Reiner Nagel		7
Wolfgang Schubert-Raab		9
Peter Bachmann		11
Dr. Sebastian Reddemann		15
EINLEITUNG		**21**
1	**BAUEN AKTUELL – WIE INFRASTRUKTUREN FIT FÜR DIE ZUKUNFT WERDEN**	**23**
1.1	Wie man 500 Milliarden investiert	27
1.2	CO_2-Schattenpreis: Wie der Staat seine Klimaschutzziele beim Bau erreichen kann	30
2	**FOKUS RISIKO – EINBLICKE IN BAURECHT UND VERSICHERUNG**	**35**
2.1	Infrastrukturbau – was müssen, dürfen, sollten wir?	36
2.2	Bauversicherungen und die Herausforderungen des Sondervermögens für die Infrastruktur	43
2.3	Steigendes Risiko für die Bauwirtschaft durch Naturgefahren: Bedeutung der Naturgefahrenanalyse und passgenauer Versicherungslösungen	49
3	**SCHWERPUNKT SICHERHEIT – ENTWICKLUNGEN IN KOMMUNIKATION UND WEITERBILDUNG**	**59**
3.1	Historische Leitungspläne – eine Zeitreise durch die Archive	60
3.2	Das BIL-Portal: Schlüsselplattform für Leitungsauskunft, Infrastrukturplanung und Sicherheitsmanagement – eine statistische Analyse von 2022 bis 2024	73
3.3	Weiterbildung als Faktor zur Verbesserung der Sicherheit bei Bauprojekten	84
3.4	Die VFMEA-Methode – auf der Spur von Fehlern und Verschwendungen in Handwerks- und bauausführenden Betrieben	90

4	**AKTUELLE SCHADENANALYSE**	**97**
4.1	Entwicklung der Schadenzahlen und Schadenkosten	97
4.2	Entwicklung der Schadenarten	111
4.3	Entwicklung der Schadenursachen	120
4.4	Entwicklung der Schadenstellen	125
4.5	Entwicklung der Schwerpunktschäden und Perspektiven zur Schadenprävention	129
4.6	Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit	138
5	**SCHADENBEISPIELE**	**145**
5.1	Fallbeispiel Mangelhafter Schichtenverbund in der Asphaltdecke einer sanierten Autobahn	145
5.2	Fallbeispiel Beschädigung eines Erdkabels bei einer Gehwegsanierung	150
5.3	Fallbeispiel Beschädigte Abdichtung einer Tiefgaragenrampe durch eine mangelhaft ausgeführte Elektroinstallation	155
5.4	Fallbeispiel Absacken einer Fahrbahndecke durch Unterspülung einer Entwässerungsleitung	161
5.5	Fallbeispiel Blasenbildung im Gussasphaltbelag einer neu gebauten Autobahnbrücke	165
5.6	Fallbeispiel Beschädigter Abwasserkanal durch falsch gerammte Schutzplankenpfosten	171
6	**TRANSFORMATION DER INFRASTRUKTUR**	**177**
6.1	**Boden, Material und sicherer Leitungstiefbau**	**177**
6.1.1	Prognose und Bewertung von durch Tiefbauarbeiten verursachten Bauwerkserschütterungen	178
6.1.2	Ressourcenschutz und Nachhaltigkeit durch Bodenmanagement und Flüssigbodeneinsatz	184
6.1.3	Nachhaltig, widerstandsfähig, ressourcenschonend: So wird Infrastruktur zukunftsfähig	189
6.1.4	Unerlaubte Trasseneingriffe im Gasnetz: Herausforderungen und Lösungen aus der Praxis	192
6.1.5	Energieversorgung im Visier: Wie integrierte Sicherheitslösungen den Schutz verbessern	197
6.2	**Verkehrsbauwerke**	**203**
6.2.1	Schadendetektion an Brückenbauwerken durch FE-Modelladaption mittels Evolutionärer Algorithmen	204
6.2.2	Präzision trifft Effizienz: Wie 3D-Vermessung die Instandhaltung revolutioniert	215
6.2.3	Schnellbauweise für Brücken mit weitgespannten Fertigteilträgern aus C80/95	228
6.2.4	Zukunftsfähige Infrastruktur: Nutzen, was schon vorhanden ist	243
6.3	**Quartiere und Städte**	**249**
6.3.1	Von der Kaserne zum Baugebiet – ein Situationsbericht	249

6.3.2	Leitfaden für die Entwicklung nachhaltiger Gewerbegebiete	255
6.3.3	Struktur in der Überflutungsvorsorge	263
6.3.4	Schwammstadt – Wurzelraum für die Stadtbäume der Zukunft	269
6.3.5	Umbau überall – notwendige Maßnahmen gut gestalten	276
6.3.6	Mittendrin im Geschehen: die Sicht der Wohnungswirtschaft	280
7	**ZUKUNFT DER INFRASTRUKTUR**	**283**
7.1	**Digitale Zukunft**	**283**
7.1.1	Digitalisierung und KI – Treiber der Bauwirtschaft von morgen	284
7.1.2	Mehr lernen aus wenig Daten: Digitalisierung von Bauwerksplänen mit Few-Shot-Detection	292
7.1.3	Oberflächenzerstörungsfreie Trassenerkundung, Leitungs- und Wurzeldetektion mittels Georadar	300
7.1.4	Herausforderung und Wunschbild Baustelle	308
7.2	**Nachhaltige Zukunft**	**312**
7.2.1	Weniger Lärm und CO_2: Netze BW erprobt mit den »NETZbaustellen der Zukunft« das Bauen von morgen	312
7.2.2	Zukunftsfähige Infrastrukturen – unterirdische Leitungskanäle als Bestandteil einer nachhaltigen Stadtentwicklung (Smart City)	319
	Future-proof infrastructures – Utility tunnel as part of a sustainable urban development (Smart City)	330
7.2.3	Die mobile Gasdruckregelanlage – eine Entwicklung für mehr Nachhaltigkeit und Flexibilität	340
7.3	**Bauforschung aktuell**	**348**
7.3.1	IFB-Studie »Bauwirtschaft – digital + nachhaltig« (Bericht 4)	348
	IFB-Studie »Bauqualität beim Neubau von Ein- und Zweifamilienhäusern, Analyse baubegleitender Qualitätskontrollen unabhängiger Bauherrenberater des BSB«	349
	IFB-Kurzstudie »Bauqualität beim Neubau von Ein- und Zweifamilienhäusern – die 10 häufigsten Mängel mit Einfluss auf Energieeffizienz und Nachhaltigkeit«	351
7.3.2	Effizientes Schadenmanagement in der Bauwirtschaft: ökonomische Auswirkungen und Optimierungspotenziale	352
7.3.3	Zielgerichtete Digitalisierung im öffentlichen Infrastrukturbau	358
8	**PERSPEKTIVE**	**365**
9	**WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN UND SERVICE**	**369**
10	**DANK**	**375**
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	**378**

EINLEITUNG

Der VHV-Bauschadenbericht Tiefbau und Infrastruktur 2024/25 ist der sechste Teil der Bauschadenberichtreihe, die seit 2019 – im jährlichen Wechsel zwischen Hochbau- und Tiefbaubereich – erscheint. Dieses Buch ist somit der dritte Tiefbaubericht und befasst sich mit dem Thema »Zukunftsfähige Infrastruktur«. Dieser Band setzt die erfolgreichen Vorgängerberichte in gewohnter Weise fort. Wie die fünf zuvor erschienenen Bände beinhaltet er eine Vielzahl verschiedener Beiträge aus Wissenschaft, Forschung und Praxis.

Die wissenschaftliche Grundlage für die aktuelle Schadenanalyse bildet eine gewohnt umfangreiche Datenauswertung zu Baumängeln und Bauschäden im Bereich Tiefbau und Infrastruktur. Auch dieser sechste Band ist im Auftrag der VHV Allgemeine Versicherung vom Institut für Bauforschung e.V. (IFB) erarbeitet worden. Die VHV hat auch die Datensätze mit mehreren Tausend anonymisierten Schadenfällen zur Verfügung gestellt, ohne die diese wissenschaftliche Untersuchung nicht möglich wäre. Die Forschungsergebnisse spiegeln ein aktuelles Bild der Planungs- und Bauqualität im Bereich Tiefbau und Infrastruktur in Deutschland wider. Die fundierte Analyse der aktuellen Datenlage sowie die Vorstellung einer Vielzahl technischer Innovationen, Verfahren und Prozesse leisten einen Beitrag zu fachlicher Diskussion und zielführender Kommunikation in der Planungs- und Baupraxis.

Thematisch breitgefächerte Beiträge verschiedener am Planungs-und Bauprozess beteiligter Akteure sowie von namhaften Experten aus Wissenschaft, Forschung, Politik und Praxis runden den Blick auf die Themenfelder Zukunft der Infrastruktur, Bauschadenprävention sowie Qualitätsverbesserung ab und zeigen, dass die Zukunft der Infrastruktur bereits heute erfolgreich gestaltet wird.

Seit 2018 konzentriert die VHV unter der Marke »VHV Bauforschung« ihre seit 2002 bestehende Zusammenarbeit mit dem IFB mit dem Ziel, aktuelle Themen der Bauwirtschaft praxisnah, systematisch und wissenschaftlich zu untersuchen. Anspruch der VHV-Bauschadenberichtreihe ist, Konzepte und Strategien zur Gewährleistung der Sicherheit sowie zur weiteren Verbesserung der Bauqualität zu sammeln, zu dokumentieren und publik zu machen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei immer darauf, wie Sicherheit, Qualität und Nachhaltigkeit im Bauwesen sichergestellt werden können und nicht zuletzt, wie die Bau- und Planungsqualität in Deutschland noch weiter verbessert werden kann.

U5
Hönow
5069-1

1 BAUEN AKTUELL – WIE INFRASTRUKTUREN FIT FÜR DIE ZUKUNFT WERDEN

Infrastrukturen sind wichtige Grundpfeiler für gesellschaftliche Funktionalität und wirtschaftliches Wachstum. Hierzulande ist die Verkehrsinfrastruktur zunehmend veraltet oder überlastet. Hier gibt es Parallelen zur digitalen Infrastruktur: Häufig sind auch die digitalen Infrastrukturen ungenügend ausgebaut und schlecht gerüstet für künftige Anforderungen. Der vorliegende VHV-Bauschadenbericht gibt einen Überblick über Chancen und Herausforderungen im Bereich der Infrastruktur in Deutschland und deckt auf, wo Probleme bzw. Stellschrauben für eine Verbesserung liegen. Das Ziel: Ansätze für notwendige Reformen zu entwickeln, um Infrastrukturen in allen Sektoren fit für die Zukunft zu machen.

Der Schwerpunkt von Infrastrukturinvestitionen liegt heute nicht mehr nur auf der traditionellen physischen Infrastruktur, wie etwa Verkehr, Energie und anderen Versorgungseinrichtungen, sondern zunehmend rückt der Wandel hin zu nachhaltigeren und sozialeren Infrastrukturen in den Fokus. Mit der Agenda 2030 hat sich die Weltgemeinschaft 17 ambitionierte Ziele – die Sustainable Development Goals (SDGs)[1] – für eine nachhaltige Entwicklung gesetzt. Eines der Ziele der Vereinten Nationen (UN) für nachhaltige Entwicklung (Nachhaltiges Entwicklungsziel 9) ist, »eine widerstandsfähige Infrastruktur aufzubauen, eine integrative und nachhaltige Industrialisierung und die Förderung von Innovationen«. Eine erfolgreiche Infrastrukturentwicklung ist der Schlüssel für zahlreiche weitere Entwicklungsziele, unter anderem für das nachhaltige Entwicklungsziel 6 »Sauberes Wasser und sanitäre Einrichtungen« das Entwicklungsziel 7 »Erschwingliche und saubere Energie« und das Entwicklungsziel 11 »Nachhaltige Städte und Gemeinden«.

1 Vgl. United Nations, Department of Economic and Social Affairs: Sustainable Development. https://sdgs.un.org/goals [abgerufen am: 20.06.2025]

Klar ist, der Bedarf an Infrastrukturinvestitionen ist enorm. Für eine funktionierende Wirtschaft bzw. sich entwickelnde Märkte besteht eine unmittelbare Notwendigkeit, Defizite in der bestehenden Infrastruktur zu beheben. Dabei rücken auch zunehmend die Auswirkungen globaler Themen wie geopolitische Unsicherheit, die Gefahr von Anschlägen bzw. Kriegen, soziale Ungleichheit sowie der demografische Wandel in den Fokus.

Bei der (Weiter-)Entwicklung von Infrastrukturen gibt es zahlreiche Hemmnisse. So werden Infrastrukturen aktuell noch viel zu häufig nach Sektoren getrennt: So wird zum Beispiel die Energieversorgung mit Übertragungs- und Verteilnetzen, etwa für Strom und Gas, sowie Leitungssysteme für Wasser und Abwasser als ein Sektor betrachtet. Ein weiterer ist die Verkehrsinfrastruktur mit dem Straßen-, Schienen- und Wasserstraßennetz sowie dem Luftverkehr. Und schließlich die digitale Infrastruktur mit Mobilfunk-, Glasfaser- und Kupferkabelnetzen. Alle diese Sektoren hängen jedoch voneinander ab: So ist etwa die Vernetzung von Energieversorgung und Verkehrsinfrastrukturen unabdingbar. Das Stichwort lautet Sektorenkopplung: Die verschiedenen Infrastrukturen sind wechselseitig aufeinander angewiesen. Und: Synergien, Nachhaltigkeit und neue Innovationen ergeben zunehmend nur im Verbund Sinn.

Leistungsfähige (Verkehrs-)Infrastrukturen sind von zentraler Bedeutung für das Funktionieren einer modernen Gesellschaft. Die Herausforderungen, die aktuell und zukünftig auf diese »Lebensadern« der Gesellschaft zukommen, sind enorm. So müssen etwa Verkehrswege, Versorgungsinfrastrukturen sowie digitale Netze an sich verändernde klimatische, gesellschaftliche, ökologische, technologische und geopolitische Anforderungen angepasst werden. Hierfür sind beträchtliche Investitionen notwendig, unter anderem in nachhaltige Technologien, die Digitalisierung sowie die Stärkung der Resilienz gegenüber Extremwetterereignissen und Angriffen bzw. Anschlägen. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die notwendige Anpassung an demografische Veränderungen.

Anpassung an den Klimawandel

Die Folgen des Klimawandels, die sich auch hierzulande immer deutlicher zeigen, insbesondere das häufigere Auftreten von Extremwetterereignissen, stellen Infrastrukturen zunehmend vor große Herausforderungen. Die Folgen von Extremwetterereignissen wie zum Beispiel Hochwasser und Verwüstungen durch Sturmereignisse können Infrastrukturen stark beschädigen oder – wie etwa bei der Hochwasserkatastrophe im Ahrtal im Juli 2021 – komplett zerstören.

Somit zählt die Anpassung von Infrastrukturen an den Klimawandel zu den größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Die Auswirkungen des sich verändernden Klimas sind vielfältig: Steigende Temperaturen, Dürreperioden, intensivere Starkregen-

ereignisse mit Überflutungen, an Häufigkeit und Intensität zunehmende Gewitter- und Sturmereignisse sowie schmelzende Gletscher haben Auswirkungen auf Gesellschaft, Wirtschaft und das gesamte tägliche Leben. Schnelles entschlossenes und zukunftsweisendes Handeln ist dringend notwendig, um die Treibhausgasemissionen zu senken und die negativen Folgen des Klimawandels zu mildern. Regierungen, Kommunen und Unternehmen sind gefordert, die Infrastrukturen nicht nur an die bereits heute deutlich spürbaren, sondern auch an zukünftige Folgen des Klimawandels anzupassen. Das Problem: Viele (Verkehrs-)Infrastrukturen wie Straßen, Brücken oder Schienenwege wurden vor Jahrzehnten geplant und gebaut und ein Großteil wird bis weit in die zweite Hälfte des Jahrhunderts und darüber hinaus in Betrieb bleiben. Hinzu kommt, dass die Anforderungen an die Verkehrsinfrastrukturen durch das weitere Ansteigen des Verkehrsaufkommens künftig noch weiter steigen werden: Dies erfordert den Ausbau des öffentlichen Verkehrswegenetzes und die Sicherstellung einer zukunftsfähigen, resilienten Infrastruktur. Dies gilt im selben Maße auch für die Versorgungsinfrastrukturen – auch hier kommt es durch in die Jahre gekommene Leitungswege immer wieder zu Ausfällen und Störungen, etwa bei der Strom- oder Wasserversorgung. Und nicht zuletzt besteht auch bei Quartieren und Städten enormer Handlungsbedarf: Diese sind unter gänzlich anderen klimatischen Voraussetzungen geplant und errichtet worden. Nun zeigt sich immer mehr, dass Faktoren wie Hitzeschutz, Schutz vor Starkregen bzw. Überflutung usw. immer wichtiger werden und diese bei der Planung bzw. Sanierung neu gedacht, geplant und umgesetzt werden müssen. Die Studie »Klimawandel und Extremwetterereignisse – Schadenentwicklung und Anforderungen an Wohngebäude«[2] belegt, dass die Anzahl der Schäden aufgrund von Extremwetterereignissen sowie die Schadenhöhen in den vergangenen 20 Jahren zugenommen haben. Eine Neuauflage der Studie wird derzeit von den IFB-Forschern erarbeitet.

Vielfältige Maßnahmen notwendig

Eine wichtige Rolle spielen der Ausbau regenerativer Energien und deren effizientere Nutzung und Speicherung, die Förderung von Elektromobilität sowie die (Weiter-)Entwicklung von Kreislaufwirtschaftsmodellen. Weitere wichtige Schritte sind der Breitbandausbau, die Nutzung von Cloud-Technologien, die Digitalisierung von Prozessen, die vermehrte Nutzung von Datenanalysen zur Optimierung von Infrastrukturen und die Implementierung von Cybersecurity-Maßnahmen. Weiterhin können integrierte Verkehrs- und Energienetze, lokale Energieerzeugung aus Quellen wie Sonnenenergie, Windkraft, Wasserkraft, Geothermie und Biomasse, intelligente Stromnetze und Energiespeicher sowie eine effiziente Abfallwirtschaft Effizienz und Resilienz steigern. Die Anpassung an

2 Institut für Bauforschung e.V. (Hrsg.): Studie Klimawandel und Extremwetterereignisse, Schadenentwicklung und Anforderungen an Wohngebäude. Gemeinschaftsprojekt vom Bauherrenschutzbund e.V., der VHV Allgemeine Versicherung AG und dem Institut für Bauforschung. Hannover: Selbstverlag, 2023

den Klimawandel kann durch Wassermanagement-Systeme, Regenwassernutzung, Entsiegelung bzw. Begrünung von Flächen, Schutz vor Überflutungen und angepasstes Planen und (Um-)Bauen gelingen. Weitere wichtige Faktoren sind der Ausbau des öffentlichen Nahverkehrs, des Radwegenetzes und intelligente Verkehrsleitsysteme.

Sondervermögen Infrastruktur

Das von der Bundesregierung beschlossene Sondervermögen Infrastruktur in Höhe von 500 Milliarden Euro soll helfen, den Sanierungsstau in der Infrastruktur zu beenden. In den kommenden zwölf Jahren soll es gezielt für die Modernisierung und den Ausbau der deutschen Infrastruktur eingesetzt werden. Geplant ist, dass 100 Milliarden Euro direkt an die Bundesländer fließen, zur Mitfinanzierung von Wärme- und Energienetzen sowie kommunalen Verkehrsprojekten. 100 Milliarden Euro fließen in den Klima- und Transformationsfonds (KTF), um klimabezogene Infrastrukturmaßnahmen zu fördern. Die restlichen 300 Milliarden Euro verbleiben beim Bund für Bundesfernstraßen, Schienenwege und Bundeswasserstraßen. Für die möglichst schnelle und effektive Nutzung sind umfangreiche Maßnahmen erforderlich. So müssen etwa Planungs- und Genehmigungsverfahren erheblich beschleunigt werden.

Es wird deutlich: Die Erneuerung und der Ausbau von Verkehrswegen, Energie- und Wasserversorgungssystemen und Kommunikationsnetzen sowie die Stärkung der Resilienz gegenüber Extremwetterereignissen ist grundlegend für den Fortbestand von Wirtschaftskraft, Wohlstand und gesellschaftlichem Zusammenleben. Damit diese Mammutaufgabe gelingen kann, sind transparente Planungsprozesse und eine effektive Zusammenarbeit zwischen allen Akteuren entscheidend. Die Zukunftsfähigkeit von Infrastrukturen ist insofern abhängig von einem Umdenken in der Planung, der Umsetzung und der Nutzung.

1.1 Wie man 500 Milliarden investiert

Das Finanzpaket für die Infrastruktur ist ein historischer Meilenstein. Aber damit das wirtschaftspolitische Experiment gelingt, muss sich Deutschlands Verwaltung neu erfinden. Ohne eine Reformagenda wird die Modernisierung des Landes trotz aller Milliarden scheitern.

FOTO: © ZDB/HUFNAGL

Felix Pakleppa

Jahrzehntelang hat Deutschland zu wenig in seine Infrastruktur investiert. Seit den 1970er-Jahren ist der Anteil der öffentlichen Investitionen am Bruttoinlandsprodukt kontinuierlich gesunken. 2023 waren Portugal und Irland die zwei einzigen EU-Länder, die im Vergleich noch weniger investierten als Deutschland. Das Ergebnis sind marode Brücken, Zugausfälle, Funklöcher, baufällige Schulen oder ein schleppender Ausbau der Stromnetze. Das Deutsche Institut für Urbanistik geht bei den rund 67.000 Brücken in kommunaler Verantwortung davon aus, dass jede zweite Straßenbrücke in schlechtem Zustand ist. Als trauriges Symbol unserer Infrastruktur liegt die im September 2024 eingestürzte Carolabrücke noch immer im Wasser der Elbe. Zu lange hat das Land von seiner Substanz gelebt.

Insofern ist es absolut richtig, dass CDU und SPD mit einem Sondervermögen die Infrastrukturkrise lösen wollen. Über zwölf Jahre sollen nicht nur Autobahnen saniert und Bahntrassen modernisiert, sondern auch digitale Netze, öffentliche Gebäude und kommunale Einrichtungen zukunftsfähig gemacht werden. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, die wirtschaftliche Stagnationsphase zu beenden und das Land zum Positiven zu verändern. Die Lösung ist es aber noch nicht.

Fast alle Baufirmen in Deutschland sind mittelständisch, 96 Prozent haben weniger als 50 Beschäftigte. Sie sind das Herzstück der deutschen Bauwirtschaft. Und sie wissen: Geld baut keine Brücken. Entscheidend ist jetzt: Erkennt die Politik die Fehler der vergangenen Jahre? Kommt das Geld aus dem Sondervermögen auch wirklich an am Markt? Wird das Vergaberecht so genutzt, dass der Mittelstand mitbieten kann, die Lose also mittelstandsgerecht ausgeschrieben werden? Es ist zu hoffen, dass das Paket das Land zu echten Reformen bewegt.

Warum dauert das so lange?

Durchschnittlich rund 20 Jahre beträgt in Deutschland mittlerweile die Zeit vom Planungsbeginn bis zur Inbetriebnahme bei Schienenprojekten. Sichtbar werden diese Projekte in der Regel erst dann, wenn gebaut wird. Das führt in der Öffentlichkeit zu der

weitverbreiteten Annahme, dass gerade das Bauen einen Großteil der Projektzeit ausmacht. Das Gegenteil ist der Fall. Am längsten dauern die Planungs- und Genehmigungsverfahren. Konkret bedeutet das: Von den rund 10 Jahren zur Umsetzung von Autobahnprojekten entfallen in der Spitze ca. 85 Prozent auf die Planungsprozesse, auf das Bauen ca. 15 Prozent. Wer Infrastrukturprojekte in Deutschland beschleunigen will, muss sich also in aller erster Linie um kürzere Planungs- und Genehmigungsphasen kümmern.

Wie kommen 500 Milliarden auf die Straße?

Die neue Bundesregierung sagt: »Notwendig ist eine grundsätzliche Überarbeitung von Planungs-, Bau-, Umwelt-, Vergabe- und des (Verwaltungs-)Verfahrensrechts.« Gut so. Es ist kein Geheimnis, dass sich Investitionen nicht am Geld, sondern an Paragrafen stauen. Erst jüngst zeigte eine interne Aufstellung des Bundesfinanzministeriums, dass die Ministerien nur 56,7 Milliarden für Investitionszwecke ausgaben, während ihnen 70,8 Milliarden zur Verfügung standen. Mehr als 14 Milliarden blieben ungenutzt liegen. Klar ist: Die Röhren im System sind verstopft.

In den Verwaltungen müssen schnellstens Prozesse abgebaut werden, damit schneller geplant, ausgeschrieben und vergeben werden kann. Es würde einen Verwaltungsturbo auslösen, wenn die öffentliche Hand auf das sogenannte Planfestellungsverfahren bei allen Ersatzneubauten verzichtet und Stichtagsregelungen gegenüber Einsprüchen und Technikvorschriften einführt, wie es glücklicherweise der Koalitionsvertrag vorsieht. Sollen Brücken, Straßen und Schienen schneller gebaut werden, braucht es einen robusteren und mutigeren Verwaltungsvollzug. Sich auf das Wesentliche zu konzentrieren, ist überfällig.

Von daher ist es absolut zu begrüßen, dass die Koalition ein klares Bekenntnis zur mittelstandsfreundlichen Vergabe abgibt. Die immensen Bauaufgaben der kommenden Jahre sind zu bewältigen – wenn die vielen mittelständischen Unternehmen miteinbezogen werden. Das kurbelt den Wettbewerb an, dämpft die Preise und garantiert einen optimalen Einsatz der Steuermittel.

Die damit verbundene Digitalisierung der Vergabe – sowohl für Auftraggeber als auch Auftragnehmer – muss aber endlich kommen. So schön das Bekenntnis der neuen Regierung zum Bürokratieabbau ist: Es darf kein Lippenbekenntnis bleiben. Bei der angekündigten Reduzierung der Bürokratiekosten um 25 Prozent wird entscheidend sein, was letztlich herauskommt. Die ganze Branche hofft: weniger Nachweise, weniger Berichtspflichten, weniger unnötige Schnittstellen zwischen Bund, Ländern und Kommunen. Besonders bei Bauvorschriften, Normen und Nachweisen braucht es eine Rückbesinnung auf das Wesentliche: Sicherheit und Funktionalität, nicht überreguliertes Detailmanagement.

»Whatever it takes« – die Modernisierung fordert alle

Noch wichtiger ist jedoch, dass die Ankündigungen gesetzgeberische Realität werden, idealerweise mit einem ressortübergreifenden Gesetzespaket zur Beschleunigung, das nicht wieder in Ressortkompetenzen zerfasert. Es braucht einen Aufbruch in Form von klaren Förder- und Auftragszusagen, steuerlicher Stabilität sowie realistischen Bauvorgaben, die sich an der Praxis orientieren. Das gilt auch für den Wohnungsbau, der nicht zum blinden Fleck in der Modernisierungsoffensive werden darf.

Alles in allem ist die Baubranche froh, dass die neue Regierung den Ernst der Lage erkannt hat und die lang aufgeschobenen Investitionen ermöglichen will. Es ist ein beispielloses Projekt der deutschen Nachkriegsgeschichte und eine Riesenchance für das Land – aber auch eine Herkulesaufgabe für alle.

Für den Wirtschaftszweig Bau ist die demografische Entwicklung eine zusätzliche Herausforderung. Mit einer zunehmend älteren Bevölkerung und einem schrumpfenden Arbeitskräfteangebot müssen die Unternehmen mit weniger Personal mehr leisten, noch effizienter und effektiver arbeiten. Die Digitalisierung wird eine zentrale Rolle spielen, genauso wie der Einsatz von Künstlicher Intelligenz, Robotik und Vorfertigungstechniken, die die Arbeitsprozesse optimieren und die Produktivität steigern können.

Aber die Branche ist bereit. Die Betriebe stehen in den Startlöchern – mit modernster Technik, mit jungen Nachfolgern, mit echter Innovationskraft. Aber sie brauchen wieder Spielräume, Vertrauen und planbare Rahmenbedingungen. Und sie brauchen eine Regierung, die nicht nur verspricht, sondern auch umsetzt. Es ist höchste Zeit, dass die politischen Entscheidungsträger begreifen: Wer bauen lässt, schafft Werte für die Zukunft. Wer das blockiert, riskiert den Stillstand. Und Stillstand kann sich das Land – wirtschaftlich, gesellschaftlich, infrastrukturell – nicht mehr leisten.

Felix Pakleppa studierte Rechtswissenschaften in Bonn und Passau. Seit 2011 vertritt er als Hauptgeschäftsführer des Zentralverbands Deutsches Baugewerbe (ZDB), des größten Bauverbands in Deutschland, die Interessen von rund 35.000 mittelständischen Bauunternehmen.

1.2 CO_2-Schattenpreis: Wie der Staat seine Klimaschutzziele beim Bau erreichen kann

Dr. Moritz Püstow

Tim-Oliver Müller

Die Rechtslage ist eindeutig: Das Bundesverfassungsgericht hat in seinem Klimabeschluss vom 24. März 2021 klargestellt, dass die öffentliche Hand verfassungsrechtlich verpflichtet ist, den Ausstoß von Treibhausgasen drastisch zu reduzieren. Das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) konkretisiert dies und bestimmt einen Reduktionspfad, der gegenwärtig verfehlt wird. Das Gesetz verpflichtet sämtliche Träger öffentlicher Aufgaben, bei allen Planungen und Entscheidungen die Auswirkungen auf den Klimaschutz zu berücksichtigen (§ 13 KSG). Auch die Unternehmen der Bauindustrie sind zum Handeln verpflichtet. Die Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) verpflichtet Unternehmen mit mehr als 250 Mitarbeitern und 20 Millionen Jahresumsatz oder 40 Millionen Euro Bilanzsumme ab dem Geschäftsjahr 2024 über ihre Nachhaltigkeit zu berichten. Unabhängig von ihrer Größe bekommen Bauunternehmen zu spüren, dass die Banken bei ihren Finanzierungskonditionen danach differenzieren, wie nachhaltig das Geschäft des Kreditnehmers ist.

Es besteht also Handlungsbedarf. Dabei gibt es viele Lösungen und eine hohe Bereitschaft zu Innovationen. So können Treibhausgasemissionen reduziert werden durch die Optimierung von Baukonstruktionen, Baumaterialien, Gebäudetechnik, Baumaschinen, Transporten und Bauprozessen. Insbesondere im öffentlichen Bau bleiben die Potenziale aber ungenutzt. Bauherren beschränken sich, wenn überhaupt, darauf, bestimmte Nachhaltigkeitszertifizierungen zu erreichen. Zertifikate sind für sich genommen aber keine Garanten für Klimaschutz im Bausektor, da das Treibhauspotenzial dort nur ein schwach gewichteter Faktor von vielen ist. Erforderlich ist, dass die öffentliche Hand in der Beschaffung marktwirtschaftliche Anreize setzt, damit Bauunternehmen die vorhandenen Möglichkeiten nutzen, Innovationen vorantreiben und den Weg zu einem nachhaltigen Geschäftsmodell schaffen können.

CO_2-Schattenbepreisung als Instrument des Klimaschutzes

Der Hauptverband der Deutschen Bauindustrie hat daher ein Impulspapier beauftragt, das im Dialog mit dem Markt entwickelt wurde und ganz konkrete, praktikable Handlungsempfehlungen für die Gestaltung der Vergabe und Verträge enthält. Der Schlüssel

des Impulspapiers ist die Forderung nach Berücksichtigung eines CO_2-Schattenpreises in der Angebotswertung. Diese Lösung ist einfach, praktisch, rechtssicher und international bereits bewährt. Die Auftragsvergabe sollte sich nach folgendem Grundmodell gestalten:

Ökobilanz

Ausgangspunkt ist die Erstellung einer Ökobilanz zur Erfassung und Bewertung des Treibhauspotenzials im Lebenszyklus eines Bauwerks durch den Bauherrn. Auch wenn viele Auftraggeber hiermit noch keine Erfahrung haben, gibt es keinen Grund zur Sorge. Die Methodik der Erstellung einer Ökobilanz ist im Hochbau und Infrastrukturbau standardisiert und umfasst auch Tiefbauprojekte wie Straßen-, Brücken-, Tunnel- und Kanalbau sowie Versorgungsinfrastrukturen – und die Planer haben mit der Anwendung keine Mühen. Die notwendigen Daten liegen bereits in frühen Planungsphasen vor. Um Fördermittel für Neubauvorhaben zu nutzen, ist die Erstellung einer Ökobilanz heute bereits erforderlich. Im Hochbau wird die Erstellung einer Ökobilanz darüber hinaus ab 2028 rechtlich verpflichtend.

Optimierung durch Bieter

Um die Potenziale des Markts nutzen zu können, dürfen sich Bauherren nicht mit den planerischen Ideen begnügen. Denn die Ökobilanz basiert in frühen Phasen auf generischen Standarddaten. Die Pflicht zum Klimaschutz erfordert jedoch, dass die Ausführungsvarianten nach ihrem Verbesserungspotenzial im Vergleich zu Standardlösungen bewertet werden. Daher sollten im Vergabeverfahren Bieter die Möglichkeit erhalten, das in der Ökobilanz des Auftraggebers ausgewiesene Treibhauspotenzial zu optimieren. Dies gilt sowohl für den Hochbau als auch für den Tiefbau, insbesondere im Bereich der Straßen-, Brücken-, Tunnel- und Kanalinfrastruktur sowie der Versorgungsnetze. Dafür können sie für die von ihnen verantworteten Leistungen das Treibhauspotenzial nach marktüblichen, vom Auftraggeber einheitlich vorgegebenen Standards konkretisieren. Grundsätzlich ist auch dieser Weg einfach, beispielsweise gibt es für viele Bauprodukte schon heute Umweltproduktdeklarationen (EPD) der Hersteller. Um den Markt, insbesondere den Mittelstand, nicht zu überfordern, sollte die Optimierung aber keine Pflicht sein. Der Schattenpreis ist vielmehr eine Möglichkeit, Transparenz in den Vergabeprozess zu bringen und ohne komplizierte Förderprogramme mehr klimafreundliche Projekte zu realisieren.

Schattenpreis

Das Treibhauspotenzial im Angebot der Bieter (basierend auf Daten des Auftraggebers, des Bieters oder aus einer Kombination) wird rechnerisch mit einem vom Auftraggeber

vorgegebenen Schattenpreis je Tonne CO_2 multipliziert und so wirtschaftlich bewertet (monetarisiert). Das Umweltbundesamt empfiehlt derzeit einen Kostensatz von 300 Euro je Tonne CO_2. Den »richtigen« CO_2-Preis gibt es noch nicht, die Spanne derzeitiger Modelle bewegt sich zwischen 30 und 880 Euro. Je höher dieser Preis ist, desto wirkungsvoller wirkt er bei der Suche nach klimaverträglichen Lösungen. So werden beispielsweise in Norwegen Klimafolgekosten in Bauprojekten mit 450 Euro je Tonne CO_2 bepreist.

Wertung

Dieser Schattenpreis wird fiktiv, das heißt nur für die Zwecke der Angebotswertung, auf den Angebotspreis aufgeschlagen. Die Summe bildet den Wertungspreis. Der niedrigste Wertungspreis erhält den Zuschlag. Das Modell ist vergabe- und haushaltsrechtlich zulässig und wird international bereits genutzt.

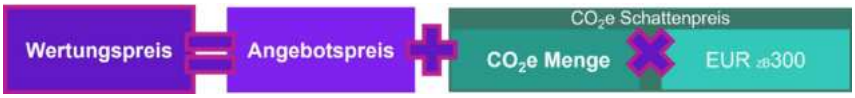


Abb. 01: Modell zum CO_2-Schattenpreis [Quelle: Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.]

Bei einem Hochbauvorhaben mit 5.000 Quadratmetern Brutto-Grundfläche (BGF) und Baukosten von 10 Millionen Euro ergäbe sich bei einem Treibhauspotenzial von 24 kg CO_2/m² BGF/Jahr über den Lebenszyklus von 50 Jahren ein Wertungspreis von 11,8 Millionen Euro. Dieser errechnet sich wie folgt: 10 Millionen Euro (Angebotspreis) + 1,8 Millionen Euro CO_2-Schattenpreis ($\triangleq$ ([5.000 × 24 × 50] × 300 Euro)).

Fazit und Ausblick

Mit dem auf einen CO_2-Schattenpreis ausgerichteten Vergabemodell können drei Dinge erreicht werden:

1. Der Staat kann seiner Pflicht zum Klimaschutz gerecht werden.
2. Innovationen für klimaverträgliches Bauen werden gefördert.
3. Die Bauindustrie wird in der Transformation ihrer Geschäftsmodelle zu mehr Nachhaltigkeit unterstützt.

Öffentliche Auftraggeber, die das große Potenzial des Markts für die Reduktion der Treibhausgasemissionen nutzen möchten, können die beste Lösung in einem Partnerschaftsmodell mit Planern und Bauunternehmern gemeinsam suchen oder alternativ die Leistung funktional beschreiben und die Erstellung der Ökobilanz in die Verantwortung

der Bieter legen. Die Nutzung eines CO_2-Schattenpreises in der öffentlichen Bauvergabe bietet einen verfahrens- und technologieoffenen, zugleich ökologischen Ansatz, der einen substanziellen Beitrag zum Klimaschutz leistet.

Tim-Oliver Müller ist seit Juli 2021 Hauptgeschäftsführer des Hauptverbands der Deutschen Bauindustrie. Davor war er Leiter Business Development für die VINCI DEUTSCHLAND. Bereits von 2011 bis 2020 war Tim-Oliver Müller in verschiedenen Positionen beim Hauptverband der Deutschen Bauindustrie tätig, zunächst als Referent im Geschäftsbereich Wirtschaft und Recht, dann ab 2012 als Leiter Infrastruktur und Partnerschaftsmodelle. 2016 übernahm er die Position als stellvertretender Geschäftsbereichsleiter, 2018 schließlich die des Geschäftsbereichsleiters für Wirtschaft, Recht und Digitalisierung.

Dr. Moritz Püstow leitet bei KPMG Law die Public Sector Beratung. Sein Schwerpunkt ist die rechtliche Gestaltung großer Bauprojekte. Er ist Fachanwalt für Vergaberecht und für Verwaltungsrecht und berät unter anderem Ministerien, Infrastrukturbetreiber, Krankenhäuser sowie Verkehrs- und Wohnungsbauunternehmen. Seine Arbeit ist davon geleitet, partnerschaftliches Bauen zu ermöglichen. Er hat für das Bundesverkehrsministerium die Reformkommission wissenschaftlich begleitet und den »Leitfaden Großprojekte« verfasst. Für den HDB hat er die Möglichkeit der Einbindung des Baus in die Planung analysiert und das Impulspapier »Klimaverträglich bauen« verfasst.

ACHTUNG GLASFASERKABEL

2 FOKUS RISIKO – EINBLICKE IN BAURECHT UND VERSICHERUNG

Bauen ist ein hochkomplexer Vorgang. Die Herausforderungen sind vielfältig und während der verschiedenen Phasen – angefangen von der Ausschreibung und der Planung über die Errichtung bis hin zu Nutzung und gegebenenfalls Abbruch von Gebäuden – sind eine Vielzahl von Bauvorschriften, Gesetzen und Richtlinien zu beachten. Das Baurecht regelt alle rechtlichen Aspekte, die sicherstellen, dass Bauvorhaben sicher, nachhaltig und im Einklang mit öffentlichen und privaten Interessen durchgeführt werden. Zu den wichtigsten Bestandteilen des Baurechts zählen das Baugesetzbuch (BauGB), die Landesbauordnungen sowie zahlreiche Verordnungen und Richtlinien. Diese Regelwerke sollen ein geordnetes und rechtssicheres Bauen gewährleisten, indem sie Mindeststandards für Bauwerke und Baumaßnahmen festlegen. Darüber hinaus bieten sie Rechtssicherheit und Orientierung für alle am Bau Beteiligten. Die Komplexität und der daraus folgende Bezug zu zahlreichen rechtlichen Spezialgebieten, wie etwa öffentliches Baurecht, Vergabe- und Vertragsrecht und vieles mehr stellen Auftraggeber, Planer und ausführende Unternehmen gleichermaßen vor große Herausforderungen. Wichtig ist, diese rechtliche Vielfalt bei Planung und Errichtung im Neubau sowie bei der Modernisierung, Instandsetzung oder beim Umbau bereits im Vorfeld zu berücksichtigen.

Ein weiterer rechtlicher Aspekt beim Bauen ist eine ausreichende Versicherung. Wer baut, sollte gut versichert sein – dies gilt für öffentliche wie private Auftraggeber gleichermaßen. So sollten Bauvorhaben zum Beispiel gegen Elementarschäden, Unfälle auf dem Bau oder Feuer abgesichert werden. Die folgenden Beiträge erörtern in diesem Zusammenhang baurechtliche und versicherungswirtschaftliche Aspekte und zeigen innovative Ansätze und nachhaltige Lösungen zur Förderung von Klimaschutz und nachhaltigem Bauen in Deutschland.

2.1 Infrastrukturbau – was müssen, dürfen, sollten wir?

INTERVIEW – PROF. DR. JUR. GÜNTHER SCHALK

Prof. Dr. jur. Günther Schalk, Jahrgang 1971, ist ausgebildeter Redakteur und Sprecher für Hörfunk und Fernsehen. Nach seinem Studium der Rechtswissenschaften in Augsburg hat er sich auf Baurecht spezialisiert. Er ist Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht in der bundesweit tätigen Kanzlei TOPJUS Rechtsanwälte und zudem als Dozent und Trainer für Seminare, Fortbildungen und Schulungen für Bauunternehmen und Auftraggeber aktiv. Er ist Honorarprofessor für Bau-, Vergabe- und Umweltrecht an der Technischen Hochschule Deggendorf und lehrt auch an der Technischen Universität Hamburg. Neben dem Bauvertrags- und Bauvergaberecht hat er dort auch einen Lehrauftrag für Baugrund- und Tiefbaurecht.

Dipl.-Ing. Heike Böhmer, Geschäftsführende Direktorin des IFB: Lieber Professor Schalk, wir hatten bereits in unserem Interview im Bauschadenbericht 2022/23 unsere bestehende Infrastruktur in Deutschland im Zusammenhang mit Naturkatastrophen und Extremwetterereignissen thematisiert. In den letzten Jahren haben wir nun zur Kenntnis nehmen müssen, dass diese Ereignisse nicht allein das Problem des Zustands der bestehenden Infrastruktur sind. Vielmehr besteht ein enormer Handlungsbedarf aufgrund jahre- und jahrzehntelanger Instandhaltungsversäumnisse. Besonders betroffen sind hier bestehende Ingenieurbauwerke, wie Brücken und Tunnel, sowie Verkehrswege, dabei insbesondere Fahrstreifen von Bundesstraßen und Autobahnen sowie Gleisanlagen. Aus diesem Grund möchte ich mit Ihnen einen juristischen Blick in den Bereich der notwendigen Schaffung einer zukunftsfähigen Infrastruktur werfen. Wir wissen, dass Instandhaltungsversäumnisse in der Vergangenheit wesentliche Gründe für mangelhafte Beschaffenheiten unserer Infrastruktur sind. Wir wissen auch, dass insbesondere Kostengründe relevant waren für Bewertungen und Entscheidungen, ob regelmäßige Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen sinnvoller sind als die maßnahmenfreie Nutzung bis zur Notwendigkeit eines Ersatzneubaus. Davon ausgenommen waren und sind (stand-)sicherheitsrelevante Bewertungen, die im Rahmen verpflichtender Prüfungen und aufgrund sicherheitstechnischer Anforderungen vorgenommen werden. Es fehlte aber lange Zeit der weitergehende Blick, der die Zukunftsfähigkeit und Nachhaltigkeit der Bauwerke betrifft. Wie würden Sie heute aus juristischer und möglicherweise weitergehender Sicht Verantwortlichkeiten und Pflichten (neu) bewerten?

Prof. Dr. jur. Günther Schalk: Das Problem kenne ich nicht nur aus der Perspektive des Juristen und Baufachanwalts, sondern auch aus meiner Tätigkeit als ehrenamtlicher Stadtrat und Kreisrat in meiner Heimatstadt und im Heimatlandkreis. Wenn die Mittel knapp werden, dann muss eine Kommune sparen, etwas anderes bleibt ihr ja schlicht nicht übrig. Da wird dann erst mal sortiert, was Pflichtaufgabe und was freiwillige Leistung ist. Und selbst bei den Pflichtaufgaben – das sind zum Beispiel Schulen, Kindergärten, die Feuerwehren, aber auch zum Beispiel der Unterhalt von Straßen, Wegen und Plätzen – kommt es häufig zu der Situation, dass nicht einmal mehr dafür genügend Geld da ist. Das ist insoweit erst einmal alles relativ. Wenn nur ein bestimmter Etat zur Verfügung steht, dann wird zuerst das erledigt, was am dringendsten ist: Wenn die Kindergartenplätze nicht mehr für die Zahl der Kinder reichen, muss eine neue Kita gebaut werden. Wenn zu viele Kinder in die Schule kommen und die Schulen am Ort schon aus allen Nähten platzen, dann muss eine Gemeinde erst einmal die Schule erweitern. Alles andere muss dann hintanstehen.

Wo steht da jetzt die Infrastruktur? Die ist ja auch eine Pflichtaufgabe. Aber ob eine Straße schon so kaputt ist, dass sie akut repariert werden muss oder ob sie nur so kaputt ist, dass sie noch ein paar Jahre durchhalten könnte, das ist eine Ermessensentscheidung. Solange man auf der Straße noch fahren kann, muss die Straße auf den ersten Blick erst einmal nicht zwingend repariert oder gar erneuert werden. Da hat sich in den vergangenen Jahren mit knappen Kassen in den Kommunen notwendigerweise eingebürgert, dass das Ermessenspendel in der Regel in Richtung »hält schon noch ein paar weitere Jahre« ausschlägt. Die Folge war und ist heute noch – die finanzielle Situation der Kommunen ist ja nach wie vor auf Talfahrt – dass erst einmal gar nichts gemacht wird und oft nur notdürftig geflickt wird. Die Folge ist, dass die Geschichte am Ende dann umso teurer wird. Je länger zum Beispiel eine Straße nur geflickt wird, desto maroder wird die Substanz und desto mehr kostet es dann, sie zu reparieren oder neu zu bauen, wenn sie kollabiert.

Juristisch haben die Betreiber von Infrastruktur nur bedingt etwas zu befürchten. Da gibt es natürlich auch Unterschiede. Es kommt erst einmal auf den Verkehrsträger an. Bei der Eisenbahn ist die Vorgabe klar: Die Bahn muss ein Netz vorhalten, das allen Sicherheitsvorschriften entspricht. Wenn dann ein Unglück passiert, wie zum Beispiel der entgleiste Regionalzug bei Garmisch-Partenkirchen, sind schnell die Gutachter bei der Sache. Im Garmischer Fall haben die herausgefunden, dass die Betonschwellen fehlerhaft waren und die Strecke kollabiert ist. Damit sind offensichtlich Verkehrssicherungspflichten verletzt worden. Der Fall liegt inzwischen auch strafrechtlich am zuständigen Amtsgericht.

Bei Straßen ist das für den Betreiber etwas leichter. Problematisch würde die Haftungsfrage letztlich erst dann, wenn beispielsweise eine Brücke unter laufendem Verkehr einstürzt und es zu Personen- und Sachschäden kommt. Das wird allerdings aufgrund der Kontrolldichte hierzulande sehr unrealistisch sein. Es gibt übrigens auch Rechtsprechung zu herkömmlichen Schlaglöchern. Das Landgericht Hamburg beispielsweise hatte sich mit einem Fall zu beschäftigen, in dem eine Autofahrerin nachts mit ihrem Auto in einer Wohnstraße mit einem Tempolimit von 30 Kilometer pro Stunde in ein Schlagloch gefahren war. Ein Gerichtsgutachter hatte das Schlagloch für viel Geld inspiziert und festgestellt, dass es 55 mal 65 Zentimeter groß und 9 Zentimeter tief war. Durch den Schlag beim Darüberfahren waren Reifen und Felgen beschädigt worden. Dafür wollte die Autofahrerin Schadenersatz vom Eigentümer und Betreiber der Straße. Das Landgericht hat diesen Schadenersatzanspruch allerdings zurückgewiesen mit dem Hinweis: Wer Auto fährt, muss auch die Augen auf der Straße haben und sehen, wenn ein Schlagloch kommt. Eine Haftung für den Straßenbetreiber, also beispielsweise die Gemeinde, kommt nach der Rechtsprechung beispielsweise des Oberlandesgerichts Celle erst in Betracht, wenn auf einer stark befahrenen Durchgangsstraße ein Schlagloch mit einer Tiefe von etwa 20 Zentimeter besteht. Da geht also schon noch was.

Grundsätzlich hat der Betreiber einer Straße natürlich die Verpflichtung, diese verkehrssicher zu halten. Das heißt, er muss sie regelmäßig kontrollieren, gegebenenfalls Warnschilder aufstellen – das ist ja regelmäßig die preisgünstigste Variante, mit Schäden umzugehen – und darf die erforderlichen Ausbesserungsarbeiten »nicht unnötig verzögern«. Das ist aber, wie man an der Formulierung schon sieht, doch ein äußerst dehnbarer Rahmen. Je enger das finanzielle Korsett der Städte und Gemeinden wird, desto mehr wird man ihnen zugestehen müssen, dass sie sich mit der Reparatur von solchen Schäden Zeit lassen können – oder müssen.

Böhmer: Schauen wir etwas detaillierter auf die Anforderungen an Klimaschutz und Nachhaltigkeit: Das Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) verpflichtet die Träger öffentlicher Aufgaben, bei allen Planungen und Entscheidungen die Auswirkungen auf den Klimaschutz zu berücksichtigen. So sind auch die bauausführenden Unternehmen in der Pflicht, entsprechende Maßnahmen bei der

Planung und Umsetzung zu berücksichtigen, um Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Relevant sind dabei zum Beispiel die Auswahl der Baumaterialien, die Wahl von Transport- und Baumaschinen und die Bauprozesse selbst. Mit dem Verfahren der Ökobilanzierung können die Emissionen im Rahmen der Planung bereits abgeschätzt, im Rahmen der Angebotserstellung optimiert werden (vgl. auch Kap. »1.2 CO_2-Schattenpreis«). Hier stellt sich die Frage nach der Genauigkeit der geplanten und angebotenen Daten, die Grundlage der Vergabe sind, wenn diese in der Ausführung nicht erreicht werden.

Schalk: Das ist ein sehr schwieriges Themenfeld. Das Thema Klimaschutz und Nachhaltigkeit zieht sich nicht nur quer durch das gesamte Bauen, sondern ist in der vergangenen Legislaturperiode so exzessiv mit vielen neuen Regeln und Vorschriften aufgefallen, dass man es kaum mehr hören mag. Nun kann man natürlich den Standpunkt vertreten, dass man solche Regeln erlassen muss, weil es bereits fünf vor zwölf ist für das Weltklima. Auf der anderen Seite sollte man nicht aus den Augen verlieren, dass eine überbordende Regelungslandschaft schnell die Gefahr eröffnet, dass man Menschen auf dem Weg zu mehr Klimaschutz verliert, weil es ihnen einfach zu viel wird. Dieses so notwendige Augenmaß legt die Politik bekanntlich nicht immer an den Tag.

Die Vorgaben, von denen Sie gerade gesprochen haben, sind eine enorme Belastung für Planer und ausführende Unternehmen. Die Zeit für eine Angebotsbearbeitung in einem Vergabeverfahren ist ja nicht länger geworden, sondern wird häufig im Interesse einer zügigen Vergabe noch verkürzt. In dieser verkürzten Zeit sollen die Unternehmen jetzt neben der normalen Aufgabe, ein Angebot zu erstellen, auch noch Dutzende von Klimaschutzvorgaben umsetzen. Ein Stück weit ist das wie das Thema mit der Nachhaltigkeitsberichterstattung. Da wird immer noch mehr Bürokratie aufgebaut und noch mehr Dokumentation gefordert. Das Ende vom Lied ist, dass einige Baufirmen hinter vorgehaltener Hand schon zugeben, dass sie ihre Nachhaltigkeitsberichte von der KI schreiben lassen, weil sie am Ende ja eh niemand liest und sie die Kapazitäten einfach nicht haben, um das selbst exzessiv zu betreiben.

Aber zurück zu Ihrer Frage: Was passiert, wenn ein Bauunternehmen im Vergabeverfahren alle auch noch so ehrgeizigen Umweltparameter erfüllt und dann aber während der Ausführung nicht einhält, was es noch während der Auftragsvergabe versprochen hat? Die Rechtslage ist hier ein wenig kompliziert und insbesondere wieder mal praxisfern. Es gibt beispielsweise für europaweite Vergabeverfahren eine Regelung im Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen, dem GWB. Das GWB ist letztlich das deutsche Vergabegesetz. Es gibt dort einen Paragrafen, der besagt, dass öffentliche Auftraggeber besondere Bedingungen für die Ausführung eines Auftrags festlegen können, sofern diese mit dem Auftragsgegenstand in Verbindung stehen und hinreichend konkret beschrieben sind. Da sind als Beispiel ausdrücklich auch umweltbezogene Belange genannt. Durch die Neuregelungen im Vergaberecht wird das noch intensiviert.

Das betrifft aber alles erst einmal das Vergabeverfahren, also den Weg bis zur Auftragserteilung. Bis dahin ist dann noch keine einzige Schaufel bewegt worden. Das bedeutet: Wer verspricht, dass er alle Umweltvorgaben einhält, bekommt, wenn auch noch der Preis in dem Angebot stimmt, erst einmal den Auftrag. Man könnte jetzt nicht ganz zu Unrecht sagen, dass das Tür und Tor für Missbrauch öffnet, weil ein Unternehmen theoretisch das Blaue vom Himmel herab erzählen kann, obwohl es möglicherweise schon von Anfang an weiß, dass es diese Vorgaben bei der Ausführung nie einhalten wird.

Die Begründung zu dem Gesetz sagt allerdings, dass der Auftraggeber in einem solchen Fall dann während der Ausführung durchaus tätig werden kann. Er kann unter bestimmten Voraussetzungen vertragsrechtliche Konsequenzen ziehen und beispielsweise Vertragsstrafen verhängen oder hat im Extremfall unter Umständen sogar ein Sonderkündigungsrecht. Das heißt also, er kann theoretisch den Bauunterneh-

mer während der Bauausführung vor die Tür setzen, weil dieser die umweltrechtlichen Ausführungsbedingungen nicht einhält.

Das ist soweit die Theorie. Gesetzgeber kümmern sich leider in der Praxis viel mehr um die Regelungstechnik und die Formulierung einer konkreten Regelung als um die Frage, inwieweit das in der Praxis wirklich sinnhaft und umsetzbar ist. Eine Vertragsstrafe ist freilich einfacher geltend zu machen – wenn sie der Unternehmer allerdings nicht zahlt, muss der Auftraggeber auch erst einmal wieder vor Gericht prozessieren, und das dauert bekanntlich jahrelang und ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Noch deutlicher wird es bei der Frage einer Kündigung während der Bauausführung. Was hat das denn für Folgen? Wenn ein Auftraggeber die Baufirma in einem solchen Moment »nach Hause schickt«, heißt das, dass er erst wieder ein neues Vergabeverfahren durchführen muss, damit er ein Ersatzunternehmen beauftragen darf. Er verliert also etliche Monate, in denen die halbfertige Baustelle stillsteht und alle von der Baumaßnahme betroffenen Menschen, beispielsweise aufgrund einer Straßensperrung, verärgert sind, kauft die gleiche Baumaßnahme im zweiten Anlauf vermutlich teurer ein als im ersten, hat einen massiven Aufwand und eine noch massivere Verzögerung in seinem Projekt.

Baut ein Unternehmer beispielsweise ein anderes Material ein, dass nicht so umweltfreundlich ist wie das vertraglich vereinbarte, ist das rein rechtlich betrachtet ein Mangel. Das bedeutet, dass der Auftraggeber in diesem Fall dann ein Recht auf Nacherfüllung hat. Der Bauunternehmer muss also das Material gegebenenfalls wieder ausbauen und das vereinbarungsgemäße Material einbauen – was natürlich auch wieder mit einer neuen Baustelle verbunden ist. Und eine weitere Möglichkeit hat der Auftraggeber in einem solchen Fall: Er kann unter bestimmten Umständen eine solche Baufirma auf eine Art »Rote Liste« setzen, die ihn für künftige Vergabeverfahren als unzuverlässig markiert. Damit läuft eine solche Baufirma Gefahr, dass sie irgendwann für eine Weile keine öffentlichen Aufträge mehr bekommt.

Böhmer: Es wird derzeit und in der Zukunft sehr viel geplant und gebaut werden müssen, um eine funktionsfähige Infrastruktur (wieder) herzustellen. Dabei werden Herausforderungen in Bezug auf die Baukosten, die Planungs- und Bauzeit sowie das Fachkräftepotenzial eine wesentliche Rolle spielen, aber auch die Bauqualität. In unseren Analysen sehen wir die steigenden Schadenzahlen und -kosten sowie die entsprechenden Trends, vor allem an den Schnittstellen zwischen Planung und Ausführung und in den Bereichen Information und Kommunikation. Wenn wir mehr und effizienter bauen wollen, werden zukünftig neue und digitale Prozesse eine Rolle spielen. Wie sehen Sie den Einsatz von BIM, KI und Co. in diesem Zusammenhang bzw. deren Vorteile und Risiken?

Schalk: Als Jurist sehe ich alles, was mit KI zu tun hat, grundsätzlich schon auch mit etwas gemischten Gefühlen. Persönlich glaube ich, dass so mancher KI noch nutzt wie in der großen Freude über ein neues Spielzeug. Das bringt viel Euphorie mit, was denn alles machbar ist, wie das alles funktioniert und was alles geht. Aber wie war es früher schon immer: Bei einem allzu sorglosen und kühnen Umgang mit dem neuen Roller hat sich schon so mancher die Nase oder die Ellbogen aufgeschlagen.

Sicherlich hat die Künstliche Intelligenz auch auf der Baustelle ihre Daseinsberechtigung. Aber leider muss der Jurist an dieser Stelle wieder einmal ein Stück weit auf die Euphoriebremse treten. Zunächst bin ich davon überzeugt, dass selbst ein noch so intensiver Einsatz von KI in der Bauwirtschaft die tatsächlichen Probleme nicht lösen wird. Natürlich gibt es auch in den Bereichen, den die KI leisten kann – zum Beispiel Planung oder Organisation – grundsätzlich ein breites Feld für diese Anwendungen, in dem sie auch sinnvoll sind. Allerdings wird ein Roboter, und das bestätigen sogar die glühenden Fans der KI, auf Jahre hinaus nicht wirklich draußen mauern können. Der Fachkräftemangel ist meines Erachtens insoweit das größte Problem vor dem die Bauwirtschaft steht. Man darf nicht übersehen, dass das Bauen durch die Anwendung von KI

vielfach auch komplexer und komplizierter wird, weil ein Facharbeiter unter Umständen nicht nur handwerkliches Geschick haben, sondern sich auch mit der Anwendung von KI auskennen muss. Und inzwischen ist es ja bereits eine Schwierigkeit, überhaupt Facharbeiter zu finden, die in der Lage sind, eine Mauer gerade aufzubauen, fachgerecht einzuschalen oder ein Betonelement mit Ortbetonen herzustellen. KI erhöht in diesem Bereich also möglicherweise sogar die Fehleranfälligkeit. Die Haftungsfrage bei der Anwendung von KI ist erst einmal ganz einfach zu beantworten: Wenn dabei Fehler passieren, haftet derjenige, der die KI anwendet. Wenn also ein Planer beispielsweise eine Planung mit KI erstellt oder eine Statik rechnet und es ist ein Fehler drin, das Bauwerk bekommt Risse, stürzt ein oder weist deshalb sonstige Mängel auf, kann weder ein Planer noch ein Bauunternehmer sagen »Da kann ich nichts dafür, das war die KI«. Wer ein Werkzeug einsetzt, haftet dafür, wenn es kaputt ist oder falsch bedient wird. Letztlich ist KI wie ein Bagger: Von außen schaut alles so einfach aus, wenn man sich dann hineinsetzt, merkt man, dass da mehr Knöpfe, Schalter und Hebel sind, als man erwartet. Wenn man sich ausreichend damit beschäftigt, kann man zumindest die Standardaufgaben lösen und bedienen. Wenn ein Bauunternehmer aber einen Bagger auf der Baustelle einsetzt und dieser Bagger beispielsweise durch eine Fehlbedienung etwas kaputt macht, ist der Bauunternehmer in der Haftung. Genauso ist es auch bei KI. Wer sie anwendet, ist in der Haftung, wenn dabei etwas schiefgeht. Insoweit empfiehlt es sich bei aller Euphorie, über das Produkt, das die KI ausspuckt, noch einmal sehr genau drüberzuschauen und zumindest eine intensive Plausibilitätskontrolle anzustellen, ob das denn so richtig ist.

Böhmer: Bleiben wir auf der Baustelle: Es werden, zum Beispiel im Rahmen der Bauüberwachung und Qualitätskontrolle, zunehmend Daten auf der Baustelle digital erfasst, per Knopfdruck an eine Vielzahl von Baubeteiligten versandt, automatisch abgelegt, zugeordnet und archiviert. Wie bewerten Sie das? Ich denke an Datenschutz, (Cyber-) Sicherheit und die juristische Bewertung automatisch generierter Begehungsprotokolle.

Schalk: Der Datenschutz ist in Bezug auf Künstliche Intelligenz und vergleichbare Anwendungen ein ganz großes Problem in der Praxis – und das noch größere Problem ist, dass das viel zu wenig Anwender überhaupt aktiv auf dem Schirm haben. Da werden munter Daten in die Computer gehackt, als gäbe es kein Morgen mehr. In diesem Zusammenhang muss man von juristischer Seite aus eine ganz deutliche Warnung aussprechen: Der Planer oder Bauunternehmer, der KI einsetzt, haftet nicht nur für Fehler und Mängel, die durch die KI verursacht werden, sondern er muss sich auch das Thema Datenschutz ständig vor Augen halten. Wer beispielsweise, um einfach mal ein plumpes Beispiel zu bringen, mit irgendeiner Frage ChatGPT füttert, hat keine Ahnung, wo diese eingegebenen Daten ihre Runden drehen, wo sie eingesehen werden, wer sie anzapfen kann, wo sie gespeichert werden, in welchen Ländern dieser Erde irgendwelche Server stehen, wo sie in welcher Weise für welche Zwecke auch immer missbraucht werden können. Es gibt immer noch Anwender, die meinen, wenn sie an ihrem Laptop ChatGPT fragen, bleiben die Daten nur auf ihrem Rechner. Das ist natürlich nicht so. Insoweit ist es von erheblicher Bedeutung, dass jeder Anwender von KI zunächst versucht, herauszufinden, wohin diese Daten gehen und wie sie von wem verarbeitet werden, damit er beurteilen kann, ob die Daten gemäß den geltenden datenschutzrechtlichen Vorgaben gebraucht und gespeichert werden. Das erfordert zunächst überhaupt einmal eine sehr intensive und detaillierte Kenntnis, was eigentlich alles vonseiten des Datenschutzes vorgeschrieben ist. Das allein ist schon eine Wissenschaft für sich. Und all diese Nachforschungen muss der Nutzer der KI zusätzlich auch noch intensiv dokumentieren, damit er im Fall eines Falles nachweisen kann, dass er das geleistet hat.

Vorsicht ist insbesondere geboten bei personen- oder unternehmensbezogenen Daten – idealerweise sollten nach Möglichkeit anonymisierte Daten verwen-

det werden. Sobald Daten beispielsweise von einem Subunternehmer oder dem Auftraggeber verwendet werden, muss dieser einverstanden sein, dass seine Daten, sein Name, seine Zahlen und Produkte in den elektronischen Datenverarbeitungsprozess eingeführt werden. Sonst droht dem Planungsbüro oder Bauunternehmer ein Verfahren wegen eines Datenschutzverstoßes – und das kann richtig teuer werden. Aber auch bei der Verwendung eigener Daten ist Vorsicht angesagt: Wer beispielsweise seine Geschäftsgeheimnisse geplant oder ungeplant in die KI füttert, muss damit rechnen, dass Geheimes möglicherweise ab diesem Zeitpunkt plötzlich nicht mehr geheim ist.

Böhmer: Schauen wir gemeinsam auf einen weiteren Fragenbereich. Dieser betrifft die Materialien, die verwendet werden: Inwieweit ist es juristisch problematisch, neue, innovative Materialien einzusetzen, deren dauerhafte Funktionssicherheit noch nicht gesichert ist? Als Beispiel sei der Einsatz von (aus Arbeitsschutzgründen) temperaturabgesenkten Asphalten benannt, die bisher nur auf Erprobungsstrecken eingesetzt und vor allem noch nicht final evaluiert sind.

Schalk: Letztlich greift hier ein komplexes Haftungssystem. Da gibt es zunächst einmal einen Bauherrn und Auftraggeber, der in seinen Ausschreibungsunterlagen beispielsweise diesen speziellen temperaturabgesenkten Asphalt verlangt. Dann gibt es einen Planer und/oder Fachplaner, der eine entsprechende Planung erstellt, die diesen Asphalt vorsieht. Schließlich gibt es den Bauunternehmer, der die Planung entsprechend umsetzt und das Material verbaut, das letztlich gar nicht er ausgesucht hat, sondern das ihm vorgegeben wurde.

Wie funktioniert in einem solchen Fall die Haftung? Wir haben nach wie vor den Grundsatz, dass eine Bauleistung zum einen dem Vertrag entsprechen muss, zum anderen – kumulativ und nicht alternativ – auch den allgemein anerkannten Regeln der Technik zum Zeitpunkt der Abnahme der Bauleistung. An der Stelle haben wir nun bei neuen Baustoffen erst einmal ein Problem. Die erste Frage ist, ob es bereits Normen gibt, in denen dieser neue Baustoff geregelt ist. Dann haben wir die zweite Frage, inwieweit sich dieser Baustoff in der Praxis bereits bewährt hat. Das ist ja auch ein Bestandteil der Prüfung, ob die Ausführung den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht. Und da haben wir insoweit das zentrale Problem – ein neuer Baustoff hat diese Praxisbewährung gerade nicht. Er kann sie ja gar nicht haben. Die Praxis baut hier eine gewisse rechtliche Brücke. In der Regel geht zum Beispiel die Rechtsprechung davon aus, dass die allgemein anerkannten Regeln der Technik dann eingehalten sind, wenn der neue Baustoff bereits in einer Norm geregelt ist und hier beim Bau konkret eingehalten ist, was in dieser Norm steht. Das ist zwar, genau genommen, ein Systemfehler, aber anders ist das in der Baurealität ja kaum handhabbar, sonst könnte nie ein neuer Baustoff etabliert werden.

Wenn ein neuer Baustoff verbaut wird und sich dann irgendwann zu einem späteren Zeitpunkt Mängel zeigen – nehmen wir beispielsweise mal an, dass der temperaturabgesenkte neue Asphalt plötzlich mittel- und langfristig zu vielen Rissen im Asphalt führen würde – dann stellt sich zunächst einmal die Frage, ob die Gewährleistungszeit noch läuft oder schon abgelaufen ist. Das sind regelmäßig vier bis fünf Jahre ab der Abnahme der jeweiligen Planungs- oder Bauleistung. Innerhalb der Gewährleistungszeit haften sowohl der Planer als auch der Bauunternehmer, wenn ein Mangel auftritt. Ist die Gewährleistungszeit bereits abgelaufen, wird es für den Auftraggeber schwierig, Ansprüche geltend zu machen.

Der Bauunternehmer und ebenso der Planer kann allerdings schon etwas tun, damit er dieser Haftungsgefahr entgeht. Immer wenn eine solche Situation eintritt, in der beispielsweise vom Auftraggeber ein Baustoff angeordnet wird, der möglicherweise aktuell noch nicht den Regeln der Technik entspricht, sollten sowohl der Planer als auch der ausführende

Unternehmer in jedem Fall dem Auftraggeber schriftlich Bedenken mitteilen. Das ist die Grundsystematik der VOB/B: Teilt ein Auftragnehmer – und das kann eben sowohl ein Planer als auch ein Bauunternehmer sein – vor der Ausführung Bedenken gegen die vorgesehene Art der Ausführung gegenüber dem Auftraggeber mit, ist er für diesen Fall raus aus der Mängelhaftung, wenn der Auftraggeber dann trotz dieser Warnung weiterbauen lässt. Sollte der Auftraggeber also einen solchen neuartigen Baustoff wünschen, sind sowohl der Planer als auch der Bauunternehmer gut beraten, ihm vorher schriftlich mitzuteilen, dass sie diesen Baustoff wie gewünscht verbauen, aber ausdrücklich darauf hinweisen, dass es sich um einen so neuartigen Baustoff handelt und nicht gewährleistet werden kann, dass dieser auch so hält, wie sich das der Bauherr vorstellt, weil er schlicht noch nicht in der erforderlichen Langzeiterprobung war.

Böhmer: Ein weiteres Thema: die Nachhaltigkeit. Dazu gehört auch die Ressourceneffizienz, insbesondere die Kreislaufwirtschaft. Mit der Ersatzbaustoffverordnung (EBV) soll dies unterstützt werden, indem zum Beispiel Baustoffe aus dem Rückbau von Bauwerken im Hoch- und Tiefbau wieder und weiter eingesetzt werden. Ein wesentliches Problem ist der juristische Status dieser Recyclingbaustoffe (Abfall oder nicht) und die zugehörigen Auflagen und Anforderungen (vgl. auch Kap. »6.1.3 Nachhaltig, widerstandsfähig, ressourcenschonend. So wird Infrastruktur zukunftsfähig«). Wie ist Ihre rechtliche Einschätzung zu den Risiken und Möglichkeiten der Verwendung? Wir sehen, dass derzeit zur Absicherung Recyclingbaustoffe eher deponiert als verwendet werden.

Schalk: Diese Einschätzung kann ich aus der Praxis leider bestätigen. Tatsächlich war diese Ersatzbaustoffverordnung ein erheblicher Rohrkrepierer, und an dieser Stelle zeigt sich leider wieder einmal, dass die Gesetzgebung heute vielfach handwerkliche Fehler macht. Gesetze und Regelungen werden heute noch mehr als früher an einem Schreibtisch gemacht und nicht mit der nötigen Rückkoppelung mit der Praxis. Eigentlich muss man das sogar noch einmal relativieren: Der Kontakt zur Praxis findet ja sogar in der Regel statt, weil mit Bauverbänden und Fachgremien vor einer Neuregelung gesprochen und beraten wird – nur frage ich mich manchmal, was dann mit diesen Beratungsergebnissen passiert. Neue Regelungen sind dann ja doch vielfach so formuliert, als hätte nie ein Austausch mit der Praxis stattgefunden. Und diese Ersatzbaustoffverordnung ist ein Paradebeispiel dafür. Am Anfang war sie eine Katastrophe, nach der Korrektur ist sie klein wenig »anwendbarer« geworden. Aber es ist schon wieder ein weiterer Papiertiger und ein Grundstock dafür, dass sich ein Bauunternehmer in eine Haftungsgefahr begibt, die er allenfalls dann in den Griff bekommen kann, wenn er sich sehr intensiv mit der Verordnung beschäftigt, Schulungen besucht und den Ersatzjuristen mimt. Darauf haben viele Baufirmen zum einen keine Lust, zum anderen haben sie dafür keine Zeit – also gehen sie zum Teil dazu über, Baustoffe, die sie früher wieder verarbeitet hätten, jetzt dann doch lieber auf eine Deponie zu kippen, weil das für sie einfacher und ungefährlicher ist.

Auch hier gilt also wieder: Wenn die Politik tatsächlich will, dass mehr Baustoffe wiederverwendet werden – was zweifelsohne sinnvoll wäre – dann muss sie auch die notwendigen Rahmenbedingungen dafür schaffen. Diese Rahmenbedingungen bestehen nicht darin, dass man irgendein ein neues Gesetz und eine neue Verordnung erlässt. Vielmehr bestehen diese Rahmenbedingungen darin, dass es Neuregelungen gibt, die in der Praxis auch tatsächlich effektiv umsetzbar sind. Und daran krankt unser ganzes System und insbesondere das System in der Bauwirtschaft leider immer noch mehr.

Böhmer: Lieber Herr Professor Schalk, ich danke Ihnen für dieses aufschlussreiche Gespräch!

2.2 Bauversicherungen und die Herausforderungen des Sondervermögens für die Infrastruktur

INTERVIEW – CHRISTIAN SCHATTENHOFER, HERMANN WULKE

Christian Schattenhofer

Hermann Wulke

Sind die Versicherer auf die Anforderungen aus dem Sondervermögen für die Infrastruktur vorbereitet? Zwei Versicherungsspezialisten von der VHV Allgemeine Versicherung AG diskutieren über die erwartbaren und nicht erwartbare Risiken, Lösungen und die Situation am Versicherungsmarkt.

Dipl.-Ing. Hermann Wulke verantwortet das Neugeschäftsunderwriting für den Bereich Bauleistungs- und Montageversicherung in Technischen Versicherungen bei der VHV Allgemeine Versicherung AG und Christian Schattenhofer leitet den Bauvertrieb im Hause für die VHV Allgemeine Versicherung AG.

Christian Schattenhofer: Lieber Herr Wulke, in einem doch sehr außergewöhnlichen Vorgehen wurde ein Sondervermögen für die Bundeswehr und auch den Infrastrukturausbau in Deutschland verhandelt. Im Infrastrukturausbau ist es erwartbar, dass dies unmittelbar in Bauleistungen umgesetzt werden soll, bei dem Vermögen für die Bundeswehr kann das natürlich auch der Fall sein, beispielsweise für neue Unterkünfte oder Kasernen. Das heißt doch, es kommt jede Menge Arbeit auch auf Sie zu. Was alles ist eigentlich in diesem Zusammenhang Infrastruktur und was heißt das für Sie als Versicherer?

Hermann Wulke: Unter Infrastruktur verstehen wir klassisch die verschiedenen Verkehrswege zu Wasser, Schiene und Straße. Dazu gehören unter anderem auch Brücken, Schleusen, Tunnel, Bahnhöfe, Weichen und vieles mehr. Zusammengefasst alle Maßnahmen, damit in unserem Land alles wieder besser rollt und fährt. Neben dem Neubau wird es auch um den Erhalt oder die Sanierung der teilweise stark beeinträchtigten Bauwerke gehen, wir reden ja allein von mehr als 10.000 Brücken, die saniert oder ersetzt werden müssten. Für uns als Versicherer bedeutet dies, den Unternehmen oder Planern, aber auch den Betreibern und Nutzern, möglichst die Risiken abzunehmen, sodass die notwendigen Investitionen bestmöglich abgesichert sind. Der volkswirtschaftliche Auftrag einer Versicherung besteht in der Risikotragung, und für die VHV gilt das insbesondere, da sie sich im Schwerpunkt um die Risiken der Bauwirtschaft kümmert, hier sogar Marktführer ist.

Wulke: Aber Frage zurück, Herr Schattenhofer, was bedeutet das für unsere Kunden und welche Risiken sind dabei zu beachten?

Schattenhofer: Unsere Kunden sind im Schwerpunkt Architekten, Fachplaner, Baubetriebe und Bauhandwerker, aber natürlich auch die Auftraggeber mit ihren individuellen Risiken, die es zu versichern gilt. In der Beratung unterscheiden wir dabei zwischen zwei Versicherungsarten, die maßgeblich im Bauablauf sind:

- Haftpflichtversicherungen: Sie schützen das Vermögen der am Bau beteiligten Akteure, wenn durch die Baumaßnahme, die Bautätigkeit oder einen Planungsfehler einem Dritten ein Schaden zugefügt wird. Dies betrifft regelmäßig Personen- und Sachschäden sowie daraus resultierende Vermögensfolgeschäden, für die die Akteure aufgrund ihrer Rolle anlässlich des Bauvorhabens schuldhaft einen Schaden verursachen, also Schäden durch die Baustelle bzw. Bautätigkeit.
- Technische Versicherungen und Sachversicherungen: Sie decken Sachschäden an der Baustelle, beispielsweise durch Witterungsereignisse, Bauunfälle, Vandalismus oder Brand ab, um den Akteuren Kosten durch derartige Schadenereignisse während der Bauzeit zu ersetzen. Durch die unterschiedlichen Gefahrtragungen am Bauvorhaben kann der Versicherungsschutz sowohl auf den Auftraggeber (Bauherrn) als auch auf Risiken der Unternehmen (Bauunternehmen, Nachunternehmer) hin ausgerichtet oder gestaltet werden.

Schattenhofer: Das ist die generelle Definition, Herr Wulke, in Ihrem täglichen Alltag beschäftigen Sie sich mit der Technischen Versicherung. Vielleicht beschreiben Sie einmal, mit welchen Gefahren Sie zu tun haben?

Wulke: In erster Linie ist während der Bauphase eine Bauleistungsversicherung zur Absicherung des Bauvorhabens und der Neubauleistungen notwendig. Maßgabe für die Höhe dieser Versicherung sind die Herstellkosten des Bauwerks. Darüber hinaus können noch ergänzende Versicherungssummen vereinbart werden, beispielsweise für Hilfsbauten- und Bauhilfsstoffe. Eine Bauleistungsversicherung schützt den Bauherrn sowie die beteiligten Bauunternehmen vor Schäden, die unvorhersehbar sind und während der Bauzeit auftreten, wodurch der zeitliche Rahmen bereits definiert ist. Sie ist eine Absicherung während der Bauphase bis hin zur Abnahme des Bauwerks und seiner Teile oder bis zur Inbetriebnahme bzw. Nutzung durch den Bauherrn. Eine Erweiterung kann durch den Abschluss eines separaten Nachhaftungsbausteins ergänzt werden.

Versichert sind insbesondere Schäden, die durch höhere Gewalt und unabwendbare Elementarereignisse, zum Beispiel Hochwasser und Sturm, verursacht werden. Darüber hinaus sind aber auch Schäden durch Vandalismus, Diebstahl, unbekannte Eigenschaften des Baugrundes, Konstruktions- und Materialfehler sowie Bauunfälle versichert. Die Bauleistungsversicherung ist grundsätzlich eine Allgefahrenversicherung, die Versicherungsfälle nicht abschließend definiert, sondern durch Ausschlüsse einschränkt.

Schattenhofer: Was heißt das also konkret bei einer Straße, Brücke oder Schleuse, Herr Wulke?

Wulke: Gerade bei diesen Infrastrukturprojekten sind unzählige Schadenfälle denkbar, von der Überschwemmung der Autobahn, wie wir es bei der A3 beim Hochwasser in Deggendorf erlebt haben, bis hin zum Brückeneinsturz, weil beispielsweise etwas beim Taktschiebeverfahren falsch läuft. Bei Schleusen ist das Wasser elementarer Bestandteil und besonders markant, wenn über ungewöhnliche und außergewöhnliche Risikoereignisse gesprochen wird. Man erkennt schon an den wenigen Beschreibungen, wie individuell und unterschiedlich die Risikosphären

der spezifischen Bauvorhaben sind. Abseits der üblichen Parameter wie Baukosten, Bauzeit und Baubeteiligte hängt eben viel von der Lage und der technischen Machbarkeit ab.

Ähnlich wie bei vielen Brücken stehen derzeit auch Sanierungen bzw. Ersatzneubauten von Schleusen an, die teilweise am Ende ihrer Lebensdauer angelangt sind. Dazu wird meist in unmittelbarer Nähe zu einer bestehenden Schleuse ein Schleusenneubau errichtet, wobei der Schiffsverkehr während der Bauzeit weiterläuft. Für den Bau der Schleusenkammer sowie für die Torkammern der Schleusentore müssen riesige und tiefe Baugruben ausgehoben werden, möglichst ohne Beeinträchtigung der bestehenden Bausubstanz und anderer Bauwerke in der Nähe (zum Beispiel Straßen, Verkehrsflächen, Gebäude). Auch ein möglicher Schiffsanprall durch ein havariertes Schiff sollte die Bauarbeiter auf und in der Baustelle nicht gefährden, sodass Schutzmaßnahmen für die Bauzeit zu treffen sind. Gleiches gilt auch, wenn der Schleusenneubau Teil einer Hochwasserschutzlinie ist, diese muss ununterbrochen sichergestellt werden, um das Hinterland vor einer Überschwemmung zu schützen. Auch die baulichen Herausforderungen im Schleusenbau, wie zum Beispiel das präzise Rammen von Trag- und Füllbohlen oder das ordnungsgemäße Einbringen einer Unterwasserbetonsohle, stellen dabei höchste Anforderungen an die Planung und Bauausführung. Bevor die Bauarbeiten beginnen, muss jedoch sichergestellt sein, dass der Baugrund frei von Kampfmitteln ist. Auch das ist eine nicht zu unterschätzende Vorabmaßnahme, die sorgfältig geplant und durchgeführt werden muss, um die Arbeitssicherheit für alle am Bau Beteiligten zu gewährleisten.

Vermehrt nehmen wir in letzter Zeit wahr, dass bei Großbaustellen im Brücken- oder Tunnelbau sowie neuerdings im Modularen Bauen zusätzlich das Thema der Transportversicherung mit der Bauleistungsversicherung verschmilzt, also zwei sonst getrennte Versicherungszweige für die Umsetzung eines Bauprojekts parallel benötigt werden. Sei es, dass das Brückenmittelteil über Pontons auf dem zu überquerenden Gewässer eingeschwommen wird, um später in seine Endlage hochgezogen zu werden oder aber bei einem Absenktunnel die Tunnelelemente andernorts vorgefertigt werden und über einen Fluss schwimmend zur eigentlichen Baustelle transportiert werden müssen. Hier muss man im Vorfeld klare Abgrenzungen bezüglich des Versicherungsschutzes treffen, sodass keine Deckungslücken entstehen.

Wulke: Aber andersherum gefragt, Herr Schattenhofer, wenn Schäden entstehen, ist neben der Sachsubstanz häufig auch das Umfeld betroffen. Wie beraten Sie eigentlich die Unternehmer in Bezug auf die richtige Höhe der Haftpflichtversicherung?

Schattenhofer: Die Entscheidungen zur Höhe der Deckungssummen in der Haftpflichtversicherung treffen grundsätzlich die Kunden. Wir können in der gemeinsamen Risikoanalyse partnerschaftlich herausarbeiten, in welche Richtung die Deckungsstrecke gestaltet werden kann. Die Höhe der Haftung aus unerlaubter Handlung ist grundsätzlich unbegrenzt und damit existenzgefährdend. Aber natürlich und Gott sei Dank halten sich die meisten Haftpflichtansprüche im Rahmen der vereinbarten Deckung. Gerade der Bauschadenbericht zeigt jedes Jahr die Entwicklung von Schadenhöhen und Durchschnittsschäden auf. Aber zurück zu Ihrer Frage: Wir nähern uns der »richtigen« Deckungssumme über die Auftragsarten, Baukosten der Projekte, Umsatz- oder Honorarsummen bei laufenden Jahresverträgen, die Lage, die Nachbarschaft und die Spezialität der Leistungen. Natürlich haben wir auch Erfahrungswerte in der Tarifierung aus dem Bestand unserer Kunden und der täglichen Arbeit. Aber der Teufel steckt im Detail, weil manchmal kleine menschliche Fehlentscheidungen zu großen Schäden führen können.

Ein Schaden, den ich bereits in einem vorangegangenen Bauschadenbericht erwähnt habe, bleibt mir

dabei immer in Erinnerung, hier in Kurzform wiedergegeben: Ein Straßenfertiger sollte auf der gegenüberliegenden Seite eines beschrankten Bahnübergangs eine Straße asphaltieren. Weil der Tieflader des Fuhrbetriebs gerade frisch gereinigt war, fuhr man nicht auf die »Baustellenseite« und lud den selbstfahrenden Fertiger dort ab, sondern dieser wurde über die Gleise gesetzt. Doch auch die Höchstgeschwindigkeit reichte nicht aus, als sich ein Zug näherte und die Schranke schloss. Auch die Notbremsung des Zugführers konnte den Aufprall nicht mehr verhindern, sodass es zum Zusammenprall kam. Es gab Personenschäden, Sachschäden am Triebwagen, den Waggons, den Gleisen und am Fertiger. Ich mag hier nicht wiedergeben, wie teuer der Schaden am Ende abgewickelt werden musste, aber die Deckungssummen waren überschritten.

Schattenhofer: Aber jetzt mal Fakten, das Sondervermögen soll ja zügig auf die Straße gebracht werden. Welchen Beitrag können Sie als Versicherer leisten, dass dies schneller geht, Herr Wulke?

Wulke: Bisher war mir gar nicht bewusst, dass wir als Versicherer der Engpassfaktor sind. Aber Spaß beiseite, bei öffentlichen Aufträgen sind wir häufig an die Vergabeanforderungen gebunden und haben die Voraussetzungen zu berücksichtigen. Durch unsere Erfahrung haben wir aber ein sehr gutes Verständnis für die Einschätzung der Risiken und Gefahren. Regelmäßig prüfen wir im Bereich der Infrastruktur folgende Unterlagen:

- Baubeschreibung,
- Kostenaufstellung,
- Leistungsverzeichnis,
- Baugrund-/Gründungsgutachten,
- Bauzeitenplan,
- Pläne (Lageplan/Grundrisse/Schnitte/Ansichten) sowie
- Beweissicherungsgutachten bei Nachbarbebauung.

Haben wir diese Unterlagen vollständig geprüft, bewerten wir das Risiko, kalkulieren und erstellen ein Angebot. Wenn ein Projekt besonders hohe Baukosten aufweist oder ein sehr hohes Risiko darstellt, bilden wir meist Konsortien mit weiteren Versicherern. Als Führungsversicherer gehört regelmäßig das technische Risk Engineering zu unseren Serviceleistungen. Dabei prüfen wir, ob Umplanungen oder Änderungen in der Bauausführung die bisherigen Risiken oder den bestehenden Deckungsschutz beeinflussen.

Letztlich haben wir aber keinen direkten Einfluss auf den Flaschenhals bei der Umsetzung des Sondervermögens, dieser liegt meist vorgelagert in der Planung und Freigabe von Bauprojekten.

Wulke: Herr Schattenhofer, es heißt bereits seit 2020, dass Building Information Modeling, kurz BIM, der Standard für neu ausgeschriebene Infrastrukturmaßnahmen sein soll. Was heißt das für Sie?

Schattenhofer: BIM ist eine Methodik im Planungsverfahren und soll folgende Ziele erreichen:

- Erhöhung der Planungsqualität und damit verbunden durch das mehrdimensionale Bauwerksmodell eine bessere zeiträumliche Visualisierung des Projekts, was aufgrund der plastischen Darstellungsmöglichkeiten Variantenentscheidungen vereinfacht und durch die Veranschaulichung im Vorfeld die Akzeptanz von Bauprojekten bei der Bevölkerung erhöhen soll,
- Bauzeitminimierung durch Simulationen verschiedener Bauabläufe, verbunden mit einer Kollisionskontrolle zur frühzeitigen Vermeidung von Planungsfehlern,
- Kostenreduzierung aufgrund hoher Ausschreibungsqualität und Vermeidung von Nachträgen sowie einfachere Massen- und Mengenermittlungen für präzisere Abrechnungen,

- nachhaltige und optimierte Bewirtschaftung durch Variantensimulationen der TGA-Einstellungen für energetische Effizienz sowie einer objektbezogenen Instandhaltung extrahiert aus dem »As-Built-Modell« und dem detaillierten Informationsgehalt über jedes einzelne Bauteil.

Im Bereich der Berufshaftpflichtversicherung von Ingenieuren und Architekten ist der Einsatz von BIM-Anwendungen selbstverständlich mitversichert. Aber BIM schafft auch neue Berufsbilder, wie den BIM-Manager oder den BIM-Koordinator sowie neue Vorgaben wie die Vorhaltung des BIM-Servers oder auch weitergehender Dienstleistungen. In neueren Versicherungsbedingungen sind die Leistungen des BIM-Managers mit Verweis auf das AHO-Heft Nr. 11 innerhalb des versicherten Berufsbilds mitversichert. Gleiches gilt auch für die Nutzung und den Betrieb von BIM-Datenservern und Kommunikationsservern. Ein Blick in die Versicherungsbedingungen lohnt sich hier auf jeden Fall.

Aber: BIM erfordert eine digitale Zusammenarbeit zwischen den Baubeteiligten. Damit spielt die IT-Sicherheit der Unternehmen eine gewaltige Rolle, nicht nur bei BIM, aber eben auch. Die Sicherheit des kollaborativen Miteinanders hängt mitunter vom schwächsten Glied in der Kette ab. Deswegen appellieren wir an unsere Kunden, sich mit den eigenen IT-Systemen auseinanderzusetzen. In vielen Audits, die wir mit Kunden und solchen, die es werden wollen, durchführen, stellen wir durchaus signifikante Sicherheitslücken fest. Das Versicherungsangebot einer Cyberversicherung hat sich nach der ersten Euphorie für die Risikoträger als durchaus anspruchsvoll erwiesen, sodass die Maßstäbe an die Sicherheit eine hohe Relevanz haben. Je nach Größe des Betriebs variieren die Vorgehensweisen der Versicherer zur Beurteilung dieser Risiken: Sie reichen von wenigen einfachen Fragen für die Entscheidung über eine Versicherbarkeit bis hin zu einem komplexen Audit.

Das Fazit hier: Es zählt nicht mehr das günstigste Angebot, sondern die Sicherstellung der Versicherbarkeit durch technische Voraussetzungen und Schulungen der Mitarbeiter.

Schattenhofer: Nach diesem Appell noch kurz die Frage zum Geräteeinsatz und den Digitalisierungsbestrebungen. Vielleicht können Sie auch etwas dazu sagen, Herr Wulke, wie begegnen Sie diesen Trends?

Wulke: Eine Bauweise, die sowohl den Geräteeinsatz als auch digitale Technik vereint, wird beim 3D-Druck von Gebäuden verwendet. Die Anzahl der mit 3D-Druck erstellten Bauprojekte wächst stetig. Wir können auch hierbei sowohl die Bauleistung als auch den Drucker über unsere Versicherungsprodukte vollumfänglich absichern. Aber natürlich reden wir mittlerweile auch von digital gesteuerten Arbeitsmaschinen und selbstfahrenden Geräten, die auf Infrastruktur- und Straßenbaustellen unterwegs sind, teilweise mit elektronischen Antrieben. Auch für diese Geräte bieten wir Versicherungsschutz im Rahmen einer Baugeräteversicherung, wenn es zu Unfällen, Vandalismus oder Elementarschäden kommt. Es liegt auf der Hand, dass wir teure Baugeräte nicht schlechter versichern als Kraftfahrzeuge, damit das Investment der Unternehmer oder die Bedürfnisse von Leasing- oder Finanzierungsgebern geschützt werden.

Wulke: Noch eine letzte Frage: Sie schreiben immer wieder zur kombinierten Projektversicherung, bei der alle Beteiligten an einer Baustelle als mitversichert gelten. Herr Schattenhofer, gibt es die auch außerhalb des Hochbaus?

Schattenhofer: Eines der ersten Projekte, das über eine kombinierte Projektversicherung abgesichert wurde, war der Berliner Hauptbahnhof. Dort war bereits ein Großteil an Tief- und Ingenieurbaumaß-

nahmen mit im Versicherungsumfang enthalten. Auch heute werden oftmals Infrastrukturprojekte als kombinierte Projektdeckung ausgeschrieben und eingedeckt – das ist gelebte Praxis und Teil unserer täglichen Risikoprüfung.

Die Vorteile der kombinierten Versicherungsform gelten auch hier. Alle Beteiligten der Baustelle sind im Versicherungsschutz berücksichtigt: vom Auftraggeber über die Planer und die ausführenden Baubetriebe bis hin zu möglichen Ausbaugewerken, wenn diese notwendig werden. Damit sind die Beiträge umlegbar und in der Regel auch nicht teurer als die Summe einzelner Versicherungen. Die Deckungs- und Versicherungssummen stehen ausschließlich für die jeweiligen Projekte zur Verfügung und können nicht anderweitig aufgebraucht werden. So werden Schnittstellen zwischen diversen Haftpflichtversicherungen vermieden und Prüfpflichten für Versicherungsbescheinigungen reduziert.

Immer öfter beobachten wir, dass komplexe Bauprojekte auf Basis eines neuen Vertragsmodells ausgeschrieben werden: der Integrierten Projektabwicklung (IPA). Ziel ist es dabei, Planer und Ausführende in einem Mehrparteienvertrag zu vernetzen. Haben bisher die Architekten und Ingenieure zunächst die Planung erstellt und erfolgte erst im Anschluss daran die Ausschreibung und Vergabe an die Bauunternehmen, sollen bei der IPA nun die ausführenden Bauunternehmen ihre Erfahrungen bereits bei der Planung mit einfließen lassen, sodass der Bauablauf später möglichst reibungslos und optimal erfolgen kann. Diese Art der Vertragsgestaltung muss auch bei einer kombinierten Projektpolice entsprechend berücksichtigt werden, was nicht immer ganz einfach ist, da es keinen IPA-Standardvertrag gibt. Wir haben jedoch schon die ersten IPA-Projekte erfolgreich versichert.

Schattenhofer: Herzlichen Dank, Herr Wulke, für das Gespräch.

Christian Schattenhofer ist seit 1994 für die VHV Allgemeine Versicherung AG in verschiedenen Funktionen tätig. Seit 2015 ist er als Vertriebsdirektor für den Baubetrieb der VHV verantwortlich.

Hermann Wulke ist nach seiner praktischen Tätigkeit als Bauleiter im Spezialtiefbau seit 2009 für die Bauleistungs- und Montageversicherungen bei der VHV Allgemeine Versicherung AG zuständig.

2.3 Steigendes Risiko für die Bauwirtschaft durch Naturgefahren: Bedeutung der Naturgefahrenanalyse und passgenauer Versicherungslösungen

Die Bauwirtschaft sieht sich zunehmend mit den Auswirkungen des Klimawandels konfrontiert, der die Häufigkeit und Intensität von Naturgefahren verstärkt. Dies betrifft insbesondere Überschwemmungen, Stürme, Erdbeben, Dürren und nicht zuletzt auch Schäden durch Niederschläge. Dass solche Naturgefahren gravierende Auswirkungen auf Bauprojekte und deren Ausführung haben können, wird anhand des folgenden Schadenbeispiels verdeutlicht.

Alexander Pritzl

Bauvorhaben: Neubau von zwei Wohnhäusern als Dreispänner

Schadensituation

Durch ein Starkregenereignis kam es zu erheblichen Mengen Oberflächenwasser, das aufgrund der Hanglage von Osten und Süden unter den Gabionenkästen hindurch auf das Grundstück lief. Das Wasser führte an einigen Stellen zur Abtragung der Humusschicht bis zum Kiesgrund. Zudem lief Wasser von der höhergelegenen Straße auf das Grundstück und konnte die Kanten der Lichtgräben und Lichtschächte überlaufen.

Abb. 01: Überflutetes Kellergeschoss nach Starkregenereignis [Foto: bauass Versicherungsmakler GmbH & Co. KG]

Da die Lichtgräben nicht für auf der Geländeoberfläche zusammenlaufendes Wasser ausgelegt waren (keine Entwässerung geplant) und die überlasteten Kanalleitungen die Wassermengen der Lichtschächte nicht mehr aufnehmen konnten, drang das steigende Wasser durch die Kellerfenster sowie Wärmepumpenschächte in die Keller ein. In einigen Häusern stieg der Wasserstand im Keller bis auf 2,20 Meter über der Oberkante des Rohfußbodens.

Schadenbeseitigung

- Auspumpen der Kellerräume und Aufsaugen des Wassers,
- Raumlufttrocknung,
- Rückbau des schwimmenden Estrichs (mit Fußbodenheizung),
- Entfernen des Wandputzes bis oberhalb des Wasserstands,
- Überprüfung bzw. Austausch der Elektrik und
- Reparatur bzw. Austausch der Heizung mit Wärmepumpe,
- Wiederherstellung des Wandputzes,
- Einbau eines neuen schwimmenden Estrichs (mit Fußbodenheizung),
- Malerarbeiten.

Die Regulierung des Bauleistungsversicherers belief sich auf weit über 100.000 Euro Entschädigungsleistung.

Das wachsende Risiko durch Naturgefahren

In den letzten Jahren haben Naturkatastrophen weltweit dramatisch zugenommen. Laut einer Studie des Instituts für Bauforschung e.V. (IFB)[1] sind insbesondere Stürme, Überschwemmungen und schwere Niederschläge häufiger und intensiver geworden. Auch die Häufigkeit von Starkregenereignissen und die damit verbundenen Überschwemmungen nehmen zu. Dies stellt die Bauwirtschaft vor erhebliche Herausforderungen, da sowohl die Bauphase als auch die strukturelle Integrität von Bauwerken langfristig gefährdet sein können.

Besonders in Regionen mit hohem Niederschlagsaufkommen oder in urbanen Gebieten mit unzureichender Entwässerungsinfrastruktur können starke Regenfälle erhebliche Schäden verursachen. Starkregenereignisse führen zu Überschwemmungen, die das Gelände erodieren und Baustellen überschwemmen können. Dies gefährdet nicht nur die Arbeitssicherheit, sondern auch die rechtzeitige Fertigstellung von Bauprojekten. So lagen bei Firmenkunden die durchschnittlichen Schadenwerte, die durch Niederschläge und Hochwasser verursacht werden, zwischen 2014 und 2022 bei über 15.700 Euro. Besonders 2021 verzeichneten private Bauherren einen Schadendurchschnitt von rund 28.700 Euro durch Überschwemmungen.

1 Institut für Bauforschung e.V. (Hrsg.): Studie Klimawandel und Extremwetterereignisse, Schadenentwicklungen und Anforderungen an Wohngebäude. Hannover: Selbstverlag, 2023

Verstärkung von Überschwemmungsrisiken

Die zunehmende Urbanisierung und Bebauung von natürlichen Retentionsflächen verschärfen das Risiko von Überschwemmungen. In vielen städtischen Gebieten sind die Abwasser- und Entwässerungssysteme für extremen Starkregen nicht ausreichend dimensioniert. Das führt zu unkontrollierten Überschwemmungen, die auch den Bau von Infrastrukturprojekten betreffen. Schäden durch Überschwemmung sind nicht nur auf die Baustellen selbst begrenzt, sondern betreffen oft auch benachbarte Bereiche, die durch Überschwemmungen gefährdet sind.

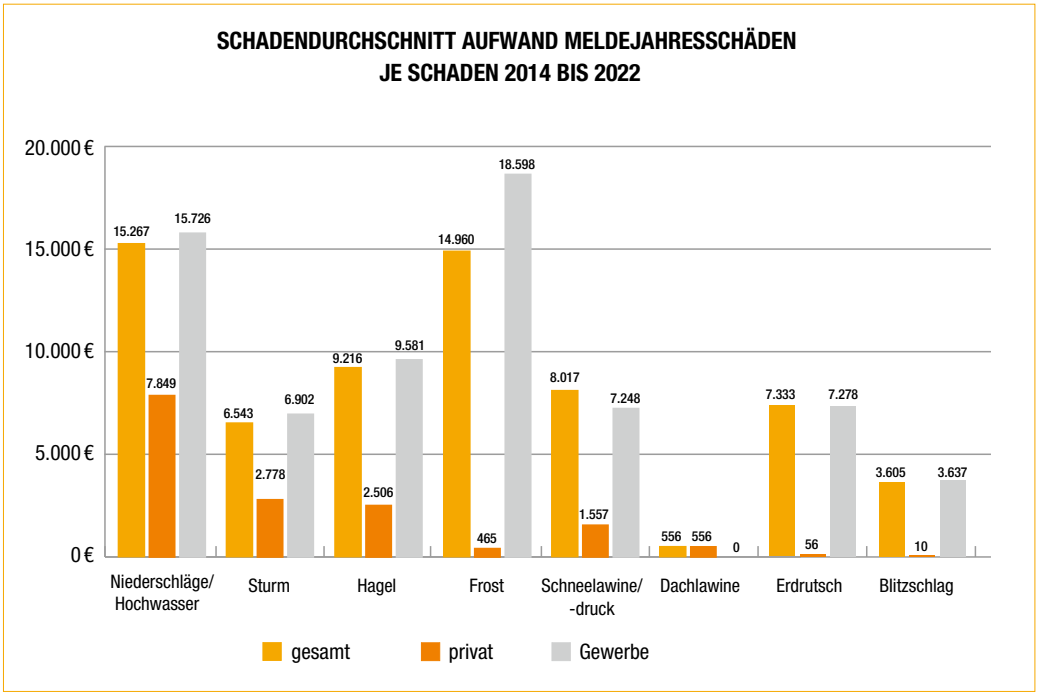


Abb. 02: Vergleich des Schadendurchschnitts, Bauphase [Daten VHV; Grafik IFB]

Folgen von Niederschlägen während der Bauphase

Starkregenereignisse können die Logistik auf Baustellen erheblich beeinträchtigen. Dies betrifft unter anderem den Abtransport von Materialien, den Zugang zur Baustelle und den Schutz von noch nicht fertiggestellten Bauwerken. In Extremfällen kann es zu einem Rückgang der Qualität der Baumaterialien kommen, etwa durch unzureichende Trocknung oder die Bildung von Schimmel und Feuchtigkeitsfolgeschäden an Bauteilen. Auch die Gründung von Gebäuden kann durch anhaltende Feuchtigkeit und Staunässe beeinträchtigt werden, was zu späteren strukturellen Problemen führt.

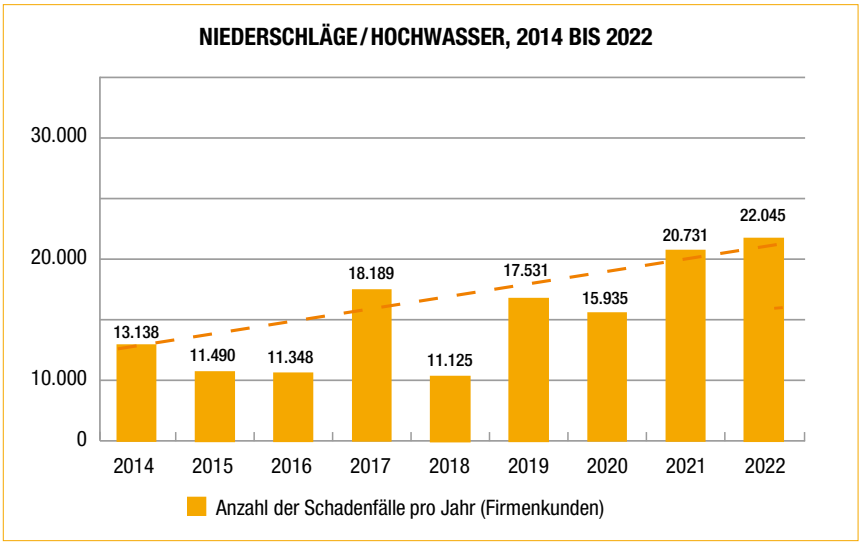


Abb. 03: Bauleistungsversicherung: Schadendurchschnitt Bauphase, Firmenkunden [Daten VHV; Grafik IFB]

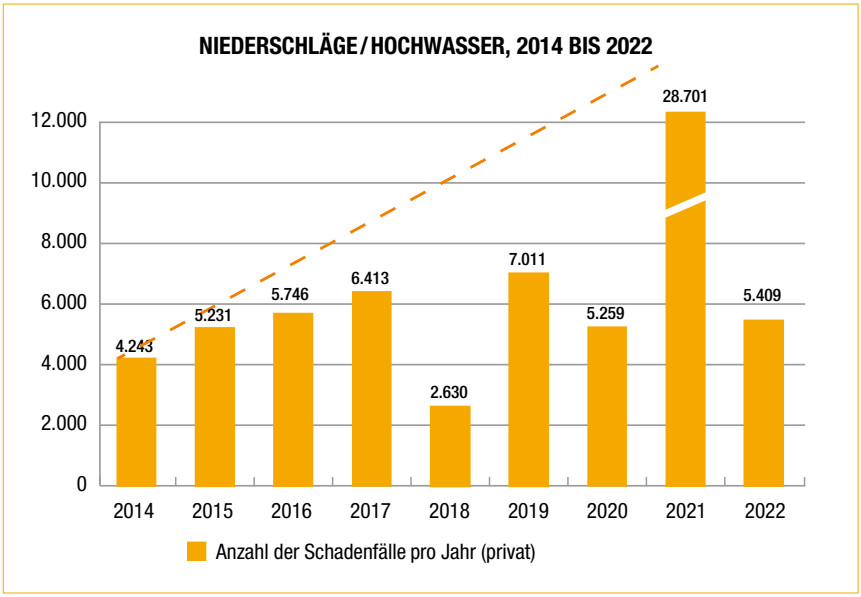


Abb. 04: Bauleistungsversicherung: Schadendurchschnitt Bauphase, private Bauherren [Daten VHV; Grafik IFB]

Erdbeben
Auch wenn Erdbeben nicht überall gleich wahrscheinlich sind, nehmen die Erkenntnisse über die seismische Aktivität in verschiedenen Regionen zu. In Ländern wie Italien, Griechenland oder Japan ist dies besonders relevant, aber auch in anderen Gebieten werden zunehmend Risiken für den Bau von Infrastruktur und Gebäuden evaluiert.

Dürren und extreme Temperaturen
Auch extreme Temperaturen und Wasserknappheit können den Bau von Infrastruktureinrichtungen beeinträchtigen. In heißen Klimazonen können Materialien schneller verschleißen, und in Zeiten prolongierter Dürrephasen werden Wasserressourcen für die Baustellenlogistik begrenzt.

Die Bedeutung der Naturgefahrenanalyse
Angesichts dieser wachsenden Risiken ist eine fundierte Naturgefahrenanalyse entscheidend, um die Gefährdung durch Niederschläge und andere Naturgefahren richtig zu bewerten. Eine umfassende Risikoanalyse ermöglicht es Bauunternehmen, potenzielle Gefahren frühzeitig zu identifizieren und präventive Maßnahmen zu ergreifen.

Identifikation von Risikoregionen
Die Naturgefahrenanalyse ermöglicht es, Gebiete zu identifizieren, die besonders anfällig für schwere Niederschläge und Überschwemmungen sind. Geografische Modelle, die Niederschlagsdaten und historische Überschwemmungsereignisse einbeziehen, können Aufschluss darüber geben, welche Regionen besondere Vorsicht erfordern. In solchen Gebieten sollten Bauvorhaben mit zusätzlichen Schutzmaßnahmen versehen werden, beispielsweise durch verbesserte Entwässerungssysteme oder andere Schutzmaßnahmen.

Prognose zukünftiger Niederschlagsmuster
Angesichts des Klimawandels ist es besonders wichtig, nicht nur aktuelle Risiken zu bewerten, sondern auch die zukünftige Entwicklung von Niederschlägen und anderen Naturgefahren zu berücksichtigen. Klimamodelle, die prognostizieren, wie sich Niederschläge und Wetterbedingungen in den kommenden Jahren ändern könnten, helfen dabei, Bauprojekte auch langfristig abzusichern. So können bereits geplante Bauwerke gegen zukünftige Starkregenereignisse gewappnet werden.

Integration von Resilienz-Maßnahmen
Eine gründliche Naturgefahrenanalyse unterstützt Bauunternehmen und Planer dabei, Resilienz-Maßnahmen direkt in die Planung zu integrieren. Dies umfasst unter anderem die Anpassung von Baustellenlogistik, den Einbau von effektiven Regenwassermanagementsystemen, die Sicherstellung einer stabilen Baugrundlage und den gezielten Einsatz wasserabweisender Materialien. Dadurch lassen sich potenzielle Schäden während der Bauphase minimieren und die Langlebigkeit der fertigen Bauwerke sichern.

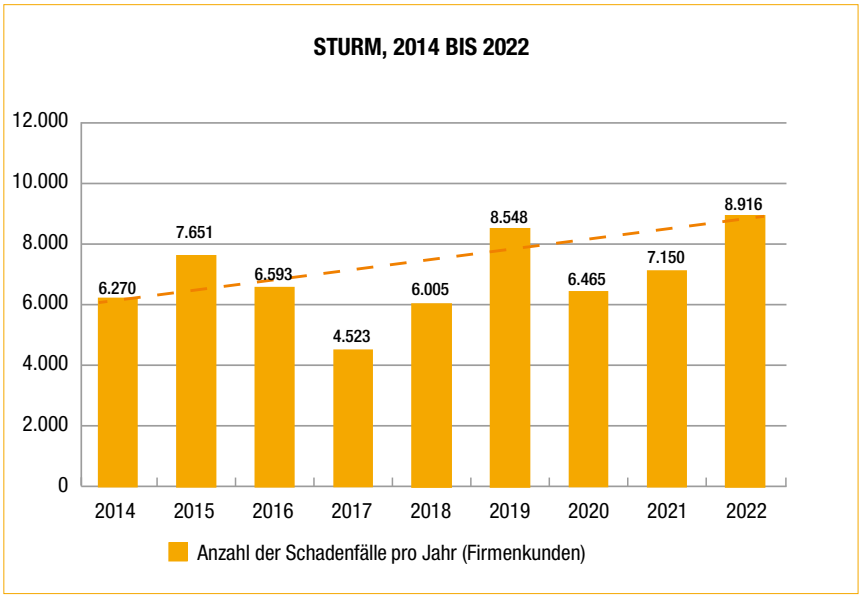


Abb. 05: Bauleistungsversicherung: Schadendurchschnitt Bauphase, Firmenkunden [Daten VHV; Grafik IFB]

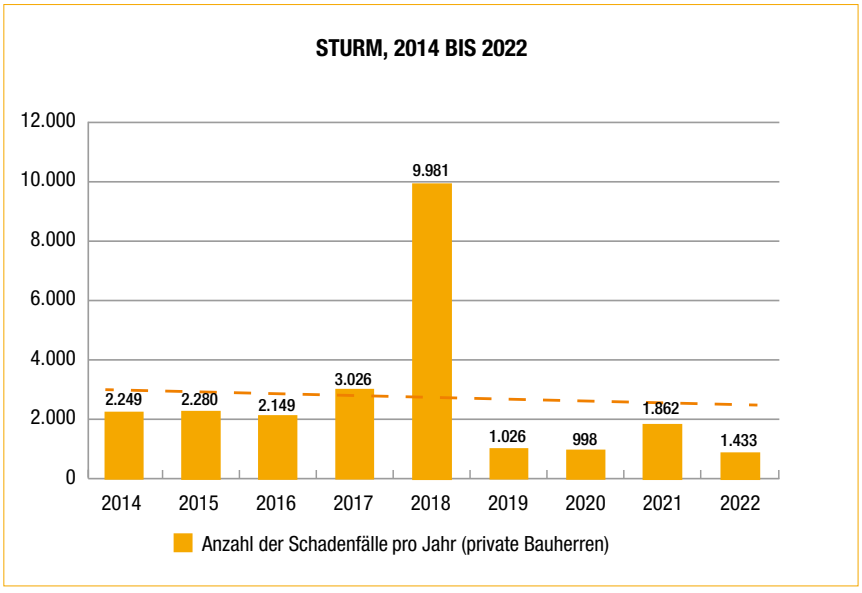


Abb. 06: Bauleistungsversicherung: Schadendurchschnitt Bauphase, private Bauherren [Daten VHV; Grafik IFB]

Die Rolle der Versicherung
Auch mit einer präzisen Risikoanalyse können Naturgefahren wie Niederschläge, Überschwemmungen oder Stürme nicht immer vollständig ausgeschlossen werden.
Daher ist es unerlässlich, die verbleibenden Risiken durch maßgeschneiderte Versicherungslösungen abzusichern.

Versicherung während der Bauphase
Während der Bauphase sind Baustellen besonders anfällig für Schäden durch Naturgefahren. Mit einer Bauleistungsversicherung, die zu den technischen Versicherungen zählt, können Auftraggeber oder Bauherren sowie bauausführende Unternehmer Risiken unvorhergesehener Sachschäden durch Beschädigungen oder Zerstörungen an der Bauleistung absichern. Dazu zählen auch Elementarschäden durch zum Beispiel Extremwetterereignisse wie Starkregen, Überflutungen, Sturm oder Hochwasser. Eine passende Bauleistungsversicherung bietet nicht nur Schutz vor Schäden durch die Naturgefahren selbst, sondern auch vor Risiken, die durch Verzögerungen oder Unterbrechungen des Baufortschritts entstehen können. Der Versicherungsschutz umfasst dabei auch Schäden an Baumaterialien, die durch Wassereinwirkung beeinträchtigt werden. Gut durchdachte Versicherungslösungen, die den aktuellen Wandel (gerade durch Witterungsschäden) berücksichtigen, gewinnen somit immer mehr an Bedeutung und sind unerlässlich.

Langfristiger Schutz für fertige Bauwerke
Nach Abschluss des Bauvorhabens sollten Bauunternehmen und Eigentümer darauf achten, dass auch fertige Bauwerke gegen mögliche Schäden durch Naturgefahren versichert sind. Insbesondere bei Hochwasser- und Überschwemmungsgefahren ist der Abschluss einer entsprechenden Elementarschadenversicherung von Bedeutung. Diese schützt vor den finanziellen Auswirkungen von Naturkatastrophen wie Überschwemmungen, die das Gebäude im Nachhinein erheblich beschädigen können.

Kostensicherheit und Planungssicherheit
Eine umfassende Versicherungslösung sorgt für Kosten- und Planungssicherheit, insbesondere in Regionen mit hohem Risiko für Niederschläge und Überschwemmungen. Sie stellt sicher, dass Bauunternehmen auch im Falle eines Schadenereignisses nicht in existenzielle Bedrängnis geraten. Durch die Versicherungen können unvorhergesehene Kosten besser eingeplant und die finanzielle Belastung im Schadenfall abgemildert werden.

Fazit

Die Zunahme von Naturkatastrophen, insbesondere von Schäden durch Niederschläge und Überschwemmungen, stellt die Bauwirtschaft vor immer größere Herausforderungen. Eine präventive Naturgefahrenanalyse ist von entscheidender Bedeutung, um Risiken frühzeitig zu erkennen und entsprechende Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Durch die Integration von Resilienz-Maßnahmen in die Planung und den gezielten Einsatz von Versicherungslösungen können Bauunternehmen und Bauherren nicht nur die finanziellen Folgen von Schäden minimieren, sondern auch die langfristige Funktionsfähigkeit und Sicherheit von Bauwerken gewährleisten.

Alexander Pritzl ist Kundenbetreuer bei bauass Versicherungsmakler GmbH & Co. KG und beschäftigt sich seit über einem Jahrzehnt mit der Beratung und Betreuung von Kunden in der Bauindustrie. Der ganzheitliche Beratungsansatz spielt hierbei stets eine wichtige Rolle, sodass neben der Risikoabsicherung auch das Risikomanagement betrachtet wird.

3 SCHWERPUNKT SICHERHEIT – ENTWICKLUNGEN IN KOMMUNIKATION UND WEITERBILDUNG

Im Durchschnitt dauert es 20 Jahre bis in Deutschland ein Schienenprojekt fertiggestellt ist, rund elf Jahre vergehen bis zur Fertigstellung einer Brücke oder Bundesfernstraße. Die Gründe, warum Infrastrukturprojekte in Deutschland so lange dauern, sind vielschichtig. Dabei macht die Bauphase nur einen kleinen Teil der Gesamt-Realisierungsdauer aus. Insbesondere sind es die Planungs- und Genehmigungsphase sowie eine Vielzahl an Anforderungen und Regeln, die es zu beachten gilt, die für derart lange Realisierungszeiten sorgen. Um künftig innovativ, kostengünstig und nachhaltig zu planen und zu bauen, ist ein neues Denken auch in Bezug auf Anforderungen und Regeln notwendig. Hier müssen Wirtschaft, Wissenschaft und Politik zusammenarbeiten. Hinzu kommt die zunehmende Komplexität moderner Infrastrukturprojekte, die zahlreiche Anpassungen erfordert. Dazu zählen neben Investitionen in die Nachhaltigkeit von Materialien und Energiesystemen vor allem technologische Innovationen. Von besonderer Relevanz für die Infrastrukturplanung ist zudem die Aktualität und Genauigkeit der verwendeten Leitungspläne sowie die kontinuierliche Weiterbildung der beteiligten Fachkräfte. Diese und weitere Themen werden in den folgenden Beiträgen erläutert.

3.1 Historische Leitungspläne – eine Zeitreise durch die Archive

Leander Syré

Leitungspläne für Gas, Wasser und Strom sind unverzichtbare Elemente einer modernen Stadtplanung und Infrastruktur. Sie dienen als detaillierte Karten, die zeigen, wie und wo diese lebenswichtigen Versorgungsleitungen verlaufen. In einer Welt, die zunehmend von technologischem Fortschritt und urbaner Expansion geprägt ist, ist die Notwendigkeit präziser und aktueller Leitungspläne unbestritten. Sie spielen zudem eine entscheidende Rolle in der Planung, Konstruktion und Wartung von Versorgungsnetzen. Alle Akteure – von Stadtplanern über Ingenieure bis hin zu Bauunternehmen und ihren Baugeräteführern – benötigen eine klare Übersicht darüber, wo sich Leitungen befinden und wie sie miteinander verbunden sind. Diese Pläne sind nicht nur für den Bau neuer Gebäude oder die Erweiterung städtischer Gebiete wichtig, sondern auch für die Planung von Wartungsarbeiten und die Identifizierung von Leckagen, die zu erheblichen Energieverlusten und damit zu höheren Kosten führen können.

In der heutigen vernetzten Welt, in der es selbstverständlich ist, Wasser, Energie und Internet zu jeder Zeit uneingeschränkt nutzen zu können, sind Schäden an Bestandsleitungen, die eine längere Unterbrechung in der Versorgung nach sich ziehen, unbedingt zu vermeiden. So ist einer der größten Vorteile präziser Leitungspläne die erhöhte Sicherheit. Bauarbeiten in der Nähe von Versorgungsleitungen können gefährlich sein, wenn die genaue Lage der Leitungen nicht bekannt ist. Leitungspläne minimieren das Risiko von Unfällen und Schäden, indem sie einen klaren Überblick geben, welche Bereiche gemieden oder besonders vorsichtig behandelt werden müssen. Im Notfall ermöglichen detaillierte Pläne den Einsatzkräften, schnell die genaue Lage der Leitungen zu bestimmen und entsprechende Maßnahmen zu ergreifen. Dies kann Leben retten und erhebliche (Folge-)Schäden verhindern.

Doch nicht immer waren städtische Infrastrukturen so genau und detailliert dokumentiert. Selbst heute gibt es kaum übergreifende Regelwerke, die die Art und Weise der Leitungsdokumentation bestimmen. Erste Ansätze sind vorhanden, aber im Grunde kann jeder Netzbetreiber noch immer selbst festlegen, wie seine Pläne optisch aussehen, das heißt, welche Farben verwendet und in welchem Maßstab sie gehalten werden. Auf der Baustelle führt das in der Folge nicht selten dazu, dass Mitarbeiter von Baufirmen von jedem einzelnen betroffenen Netzbetreiber einen Plan haben und sich händisch orientieren müssen, wie diese Pläne am besten »übereinander gelegt« werden könnten, damit sich ein Gesamtbild der vorhandenen Bestandsnetze ergibt.

Geplante Wasserversorgung

Bereits im Mittelalter gab es Ansätze für eine systematische Versorgungsinfrastruktur. Besonders die Wasserversorgung spielte eine zentrale Rolle. Städte und Burgen nutzten Brunnen und Zisternen, um Wasser zu speichern. Kanäle und Aquädukte wurden gebaut, um Wasser über größere Entfernungen zu transportieren. In einigen Städten wurden rudimentäre Abwassersysteme entwickelt, die Abwasser in nahegelegene Gewässer oder Sammelgruben leiteten.

Bei der Betrachtung alter Stadtpläne fällt auf, dass diese idealisiert waren. Sie dienten der groben Orientierung und weniger einer grundsätzlichen und vor allem genauen Dokumentation. Es ging um die Aufzählung von Straßen, der wichtigsten städtischen Gebäude und Himmelsrichtungen und gegebenenfalls, wo sich die nächste Nachbarstadt befindet. Wasserleitungen waren nicht verzeichnet.

Gab es Leitungspläne, so waren diese meist einfach und basierten auf den natürlichen Gegebenheiten und vorhandenen Flussläufen. Der älteste bisher bekannte Leitungsplan der Welt ist ein Dokument der Römerzeit. Dieser Leitungsplan, der wahrscheinlich aus dem Jahr 33 n. Chr. stammt, zeigt das komplexe Wasserversorgungssystem der Stadt Rom. Diese verfügte über Aquädukte, die das Wasser aus entfernten Quellen in die Stadt leiteten und dort über Brunnen verteilten. Dieses umfangreiche und effiziente Wasserleitungssystem hatte viele Jahrhunderte Bestand und ist bis heute in großen Teilen noch vorhanden.

Etwas mehr als 1.100 Jahre jünger ist die Darstellung einer Wasserleitung auf dem Plan eines Klosters im britischen Canterbury. Mitte des 12. Jahrhunderts hatten die Mönche hier eine Brauerei sowie ein Backhaus errichtet und benötigten für den Betrieb große Mengen Wasser. Liegt das Hauptaugenmerk des historischen Dokuments zwar auf den Bauwerken, so sind jedoch auch signifikante rote Linien eingezeichnet, die die Versorgungsleitungen darstellen. Welcher Art diese waren, ist nicht überliefert, jedoch ist davon auszugehen, dass es, wie im Mittelalter üblich, entweder gemauerte Rinnen – ähnlich der Aquädukte in Rom – oder längs durchbohrte Holzstämme waren, die zu längeren Leitungen zusammengesteckt wurden. Was die Genauigkeit der Leitungsdokumentation betrifft, so waren maximal die Entnahmestellen annähernd exakt dargestellt. Der Verlauf der Leitungen im Gelände ist dagegen nur rudimentär nachvollziehbar. Vermutlich hat sich der Bau – wie bei den römischen Leitungen – an günstigen Geländeformationen und Bachläufen orientiert.

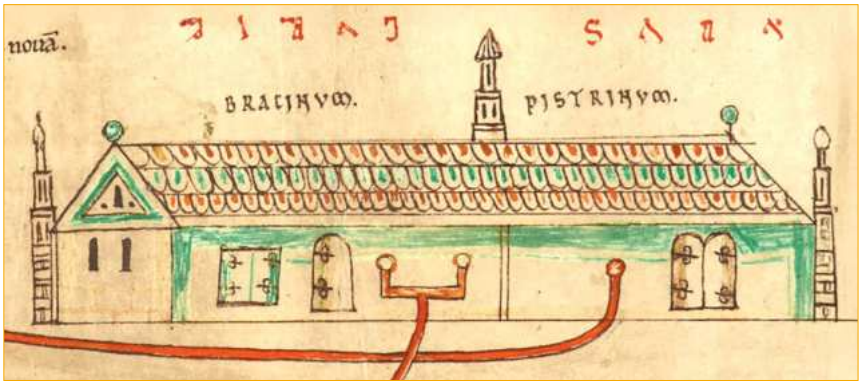


Abb. 01: Trinity College Library Cambridge R.17.1, 1150 [Quelle: Marco Krätschmer, Katja Thode und Christina Vossler-Wolf (Hrsg.): Klöster und ihre Ressourcen, Tübingen 2018, S. 146, DOI: 10.15496/publikation-26323] [abgerufen am: 28.04.2025]

Auf einem Wasserleitungsplan der Stadt Wismar aus dem Jahr 1710 ist die Versorgung eines großen Teils der Bürgerhäuser mit Wasserleitungen säuberlich eingezeichnet. Zu diesem Zeitpunkt war die Versorgung mit Trinkwasser bereits seit rund 150 Jahren gegeben. Mitte des 16. Jahrhunderts hatte der Rat der Stadt den Auftrag zur Errichtung von Brunnen gegeben, die aus Quellwasser gespeist wurden, das mittels Holzrohren aus dem Umland herangeführt wurde. Schon bald wurde jedoch eine sogenannte Wasserkunst in Auftrag gegeben, die die Verteilung des Wassers besser bewerkstelligen sollte. Diese wurde mitten auf dem Marktplatz von Wismar errichtet. Heute gehört die Wasserkunst zu den Wahrzeichen der Stadt. Auf dem folgenden Plan ist dieses Bauwerk gut zu erkennen, von ihm zweigen die Wasserrohre in alle Himmelsrichtungen ab.

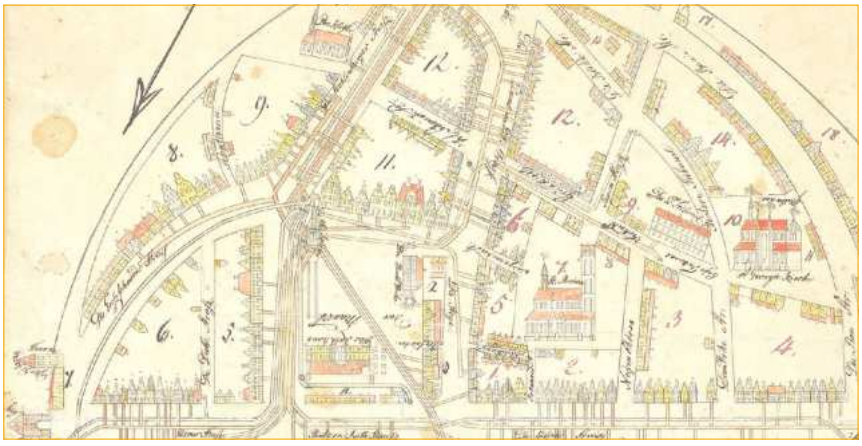


Abb. 02: Wasserleitungsplan der Stadt Wismar, um 1710 [Quelle: Archiv der Hansestadt Wismar, Crull-Sammlung, Signatur: AHW, Crull-Sammlung, 0101]

Auf dem Folgeplan der Wasserversorgung in Wismar einige Jahre später ist die Darstellung der Leitungen wesentlich schematischer, aber auch feiner ausgeführt. Gab es beim ersten Plan noch grob gezeichnete Holzrohre, die meist im rechten Winkel von der Hauptwasserleitung in Richtung der Häuser abgehen, sind die Leitungen jetzt geschwungen und sehr gleichmäßig ausgeführt. Vermutlich ging es bei beiden Plänen darum, zu dokumentieren, welche Hausbesitzer Abnehmer von Wasser waren, um Gebühren erheben zu können. Die eingezeichneten Hauptleitungen dienen zur systematischen Planung und Kennzeichnung der Rohre, die unterirdisch verlegt waren. Insofern sind beide Pläne eine Mischung aus Darstellung des Systems zur Planung sowie der Kennzeichnung der Abnehmer zur Gebührenerhebung.

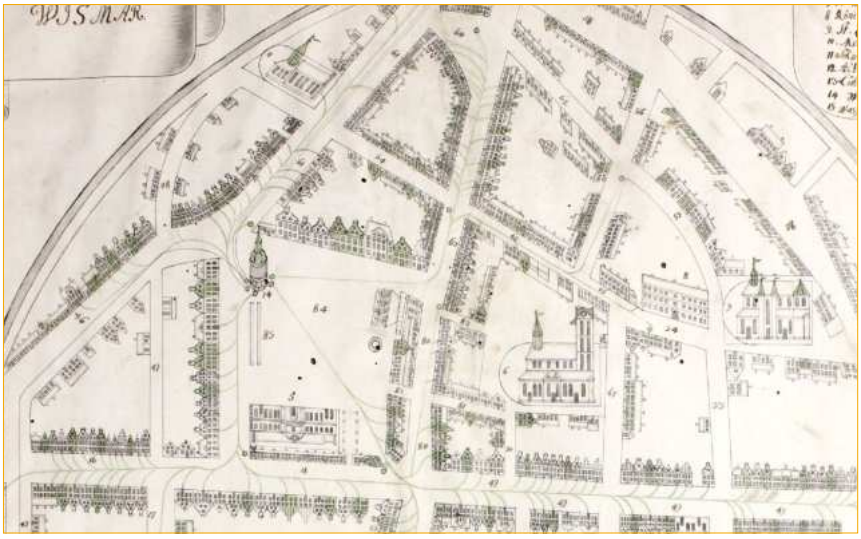


Abb. 03: Wasserleitungsplan der Stadt Wismar, um 1710 [Quelle: Archiv der Hansestadt Wismar, Crull-Sammlung, vgl. Zeitreise Wismar: www.zeitreise-wismar.de/buecher-tv/plakate/] [abgerufen am: 28.04.2025]

Neben der Wasserkunst sind heute noch ein historisches Wassertor und ein Wasserturm erhalten. Der Wasserturm diente jedoch nicht in erster Linie der regelmäßigen Wasserversorgung, sondern sollte ein Wasserspeicher für Not- und Kriegszeiten sein. Denn im Dreißigjährigen Krieg hatten die Bürger erlebt, dass Infrastrukturen zur Versorgung mit Wasser Kriegsziele sein können. Die Dänen hatten damals die aus dem Umland in die Stadt führenden Rohrleitungen gekappt. Aus dieser Erfahrung heraus wurde nach dem Krieg einer der Wehrtürme der Stadtmauer zum Wasserspeicher umfunktioniert, der mittels direkter Rohrleitung mit der Wasserkunst auf dem Marktplatz verbunden war. Ein System, das bis 1873 funktionierte.

Aus Schwäbisch Hall gibt es einen ähnlich detaillierten Plan für die Wasserversorgung. Die Stadt in Süddeutschland hatte zu Beginn des 18. Jahrhunderts einen verheerenden Stadtbrand zu verzeichnen und musste in großen Teilen neu aufgebaut werden. Das beinhaltete auch die Neuerrichtung von Brunnen. Um das Wasser möglichst sinnvoll in die verschiedenen Viertel zu leiten, wurde um 1740 ein sehr detaillierter Plan gezeichnet. Ausspeisepunkte sind ebenso eingezeichnet wie Verteiler für verschiedene Richtungen oder Kreuzungen der Leitungen.

Die Wasserleitungen bestanden damals oft aus Materialien wie Holz, Stein, Ton oder Blei. Sie erforderten regelmäßig manuelle Inspektionen, Wartung und Reparatur. Wasserdruck, der heute Verstopfungen und Ablagerungen mechanisch vorbeugen kann, gab es in dieser Form noch nicht. Die natürliche Fließgeschwindigkeit war in der Regel der Standard und flach verlegte Leitungen mussten fast täglich von Einträgen durch Laub, Kot und Schlamm gesäubert werden. Für diese Instandhaltung waren Wächter verantwortlich, die jeden Tag aufs Neue ihre Inspektionstour antraten. Erst im 20. Jahrhundert sorgten Wassertürme mit ihrer Fallhöhe für ausreichend Druck auf den Leitungen.

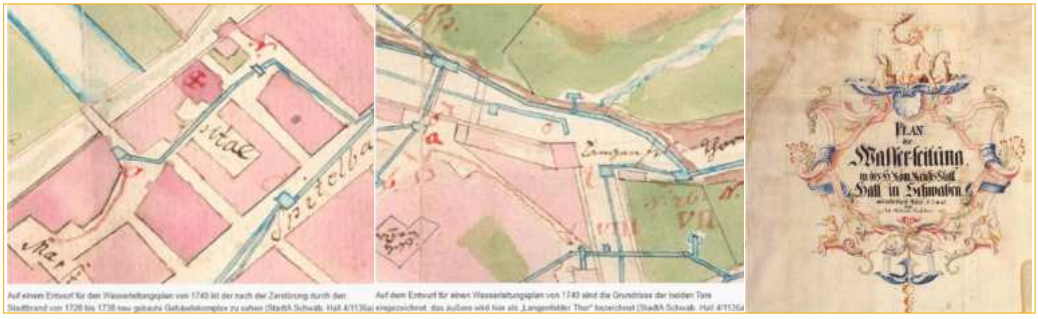


Abb. 04: Entwurf eines Wasserleitungsplans, 1740 [Quelle: Das Schwäbisch Haller Häuserlexikon, Am Spitalbach 8, Abbildungen zur Verfügung gestellt vom Stadt- und Hospitalarchiv Schwäbisch Hall]

Gut 100 Jahre später, um 1848, gab es in der Hansestadt Hamburg ebenfalls einen extra angefertigten Plan für die Wasserversorgung mit eingezeichneten Brunnen und deren Zuleitungen. Auch hier spielen die natürlichen Wasserläufe von Elbe und Alster eine große Rolle. In der Hansestadt mussten jedoch bereits große Stadtviertel mit einer entsprechenden Bevölkerungszahl samt Vieh versorgt werden und so waren künstliche Leitungen angelegt worden. Farblich in Rot gehalten durchziehen die Leitungen auf dem Plan schon fast den gesamten Bereich der Innenstadt innerhalb des Walls. Außerhalb sind nur vereinzelte Leitungen angelegt.

Ein Bild, das sich gut 20 Jahre später enorm gewandelt hat. Auf dem Plan mit dem Titel »Stadt-Wasserkunst« von 1863 sind zum einen die Hamburger Vorstädte der damaligen Zeit schon gut an das Wassernetz angeschlossen. Zudem hat sich die Planfarbe für die Leitungen von Rot zu Blau geändert. Was bleibt, ist eine gewisse Ungenauigkeit im Plan-

werk. Vermerkt sind die Stadtviertel sowie einige wichtige Straßen mit Namen. Der Rest ist im wahrsten Sinne des Wortes nur »Linie«. Die Dokumentation der technischen Infrastruktur begann sich in den Folgejahren jedoch erheblich zu wandeln. Bereits im späteren 19. Jahrhundert wurden detaillierte Pläne für die Wasserversorgung erstellt, die neben den Standorten von Brunnen auch Pumpstationen und die Mehrzahl der Wasserleitungen genau erfassten. Diese Pläne halfen dabei, die Wasserversorgung der wachsenden Stadt effizient zu gestalten und die Hygiene erheblich zu verbessern. Die Einführung von Metallrohren ermöglichte später eine zuverlässigere und langlebigere Versorgung. Im 20. Jahrhundert kamen moderne Wasseraufbereitungsanlagen hinzu, die die Qualität des Trinkwassers immer weiter verbesserten.

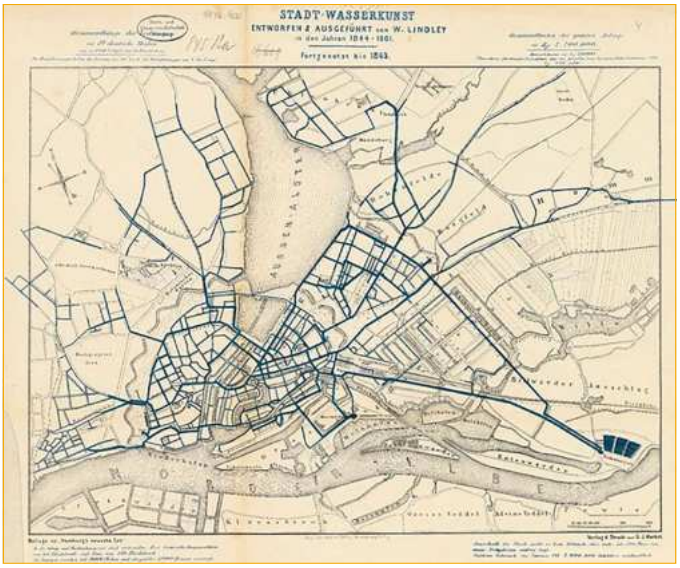


Abb. 05: Stadt-Wasserkunst Hamburg, 1864; entworfen und ausgeführt von W. Lindley in den Jahren 1844 bis 1861 [Quelle: Universitätsbibliothek Hamburg[1]]

Die Hansestadt Hamburg hatte mit ihrer Wasserkunst die erste moderne Wasserversorgung in Europa. Diese entstand nach dem großen Brand von 1842, der ein Drittel der Altstadt zerstörte. Die mangelhafte Löschwasserversorgung verschlimmerte die Zerstörungen erheblich. Noch im selben Jahr begann der Aufbau eines effektiven Systems für Löschwasser, fortschrittliche Wasserversorgung und Kanalisation, das 1848 fertiggestellt wurde. Teile des ursprünglichen Rohrnetzes sind noch heute in Betrieb. Die artifizielle Wasserversorgung in Hamburg begann jedoch wesentlich früher: Bereits im 14. Jahrhundert waren sogenannte Feldbrunnenleitungen aus durch-

1 Vgl. Hamburger Kulturgut Digital. http://resolver.sub.uni-hamburg.de/goobi/PPN612289842 [abgerufen am 28.04.2025]

bohrten Baumstämmen in die Stadt verlegt worden. In der Folge gab es durch Mühlen angetriebene Pumpen, die jedoch noch nicht das gesamte Stadtgebiet versorgten. Anfang des 19. Jahrhunderts wurden von Pferden angetriebene Pumpen zur Wasserver- und Abwasserentsorgung eingesetzt, die im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts durch Dampfmaschinen ersetzt wurden. Dieser Technologiesprung in der Wasserversorgung bedurfte einer genauen Planung und so entstanden analog zum Infrastrukturaufbau immer detailliertere Planwerke. Ende des Jahrhunderts waren die Stadtpläne schon sehr genau geworden und fast mit den heutigen vergleichbar. Doch die Genauigkeit beschränkte sich in der Regel darauf, die Wasserleitungen in die betreffenden Straßen einzuzeichnen – wo genau, war noch nicht notwendig. Es gab noch keine Bauarbeiten mit Baggern und vor allem noch wenig Konkurrenz für die Wasserinfrastrukturen unter der Erde.

Neue Konkurrenten um den Platz im Boden

Diese sollte aber im 20. Jahrhundert kommen. Stadtgas und vor allem Strom wurden alltäglich in den Städten und die entsprechenden Zuleitungen mussten verlegt werden. Stromleitungen, die außerhalb der Innenstädte noch an Häusergiebeln angehängt werden konnten, mussten in den Innenstädten unter der Erde verschwinden und dort ihren Platz neben den Wasserleitungen finden.

Die alten unterirdischen Stromleitungen bestanden größtenteils aus Blei, Kupfer oder Aluminium, die mit in Teer imprägniertem Papier oder Bleimänteln isoliert waren. Diese Materialien waren anfällig für Korrosion und mechanische Beschädigungen. Historische Stromleitungen wurden oft anhand handgezeichneter Karten und manueller Inspektionen geplant und gewartet. Aus der Hansestadt Bremen ist ein Plan mit Stromleitungen erhalten (Abb. 06). Der um 1925 erstellte und im Original über einen Meter lange und recht schmale Plan beinhaltet alle Häuser in konkreten Abmessungen und Beschriftungen, wie ein üblicher Katasterplan dieser Zeit. Zudem sind aber Stromstärken, Leitungsquerschnitte, Schaltkästen sowie andere technische Infrastrukturen eingezeichnet und benannt. Die Lage der Leitungen im Erdreich lässt sich annähernd vermuten, wenn Bürgersteige und Häuserbreiten in Relation zur Straße als Referenz genommen werden. Hausanschlüsse erfolgten entlang der Zuwegungen – Indikator für diese Vermutung ist die unmittelbare Nähe der roten Linien zu den Hauseingängen. Für die damalige Zeit war diese Vorgehensweise durchaus ausreichend. Selbst heute ist es sinnvoll, wenn Planer und Bauarbeiter bei Hauseigentümern nachfragen, wo der Hausanschluss genau verläuft. Erfahrungen zeigen, dass Hinweismarken und -schilder der Versorger nicht selten unter Farbe, Bewuchs oder Wärmedämmung verschwinden. Nachfragen und Suchschachtungen vor Ort sind damals wie heute immer noch das Mittel der Wahl, um sichere Planungen und Bauarbeiten durchzuführen.

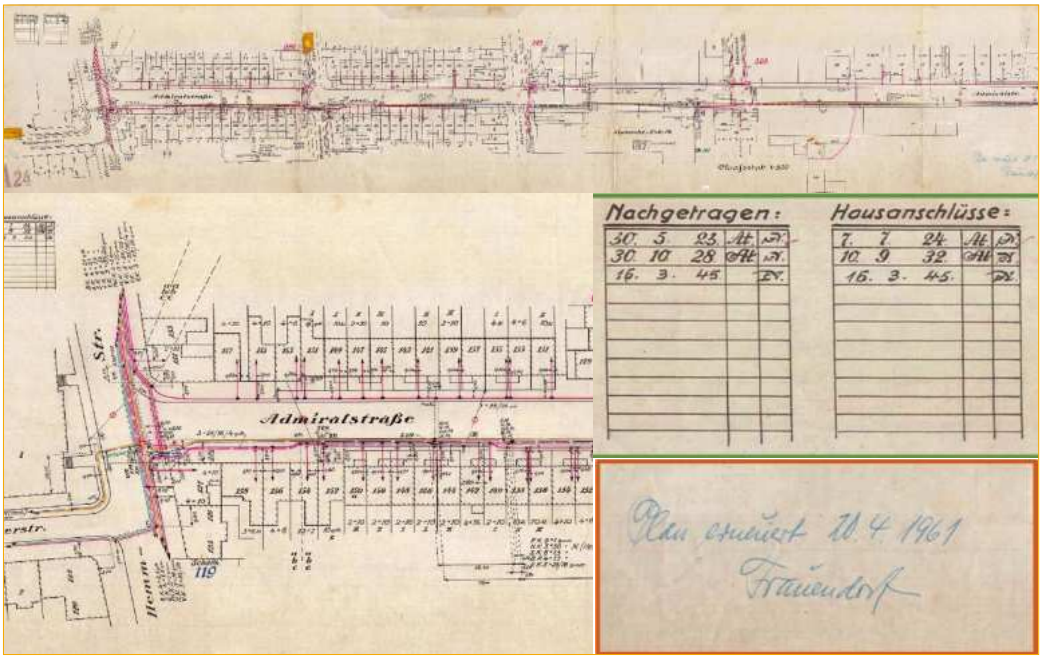


Abb. 06: Historischer Leitungsplan für das Bremer Stromleitungsnetz [Quelle: Wesernetz Bremen GmbH]

Dieser Plan aus Bremen blieb über Jahrzehnte der einzige seiner Art. Über die Jahre wurden Veränderungen wie neue Hausanschlüsse sorgfältig von Hand am Rand registriert und eingezeichnet (Abb. 06). Ein letzter handschriftlicher Hinweis stammt aus dem Jahr 1961 und weist darauf hin, dass in diesem Jahr der Stromnetzplan aus den 1920er-Jahren ein letztes Mal aktualisiert wurde. Wie lange er danach noch in Gebrauch war, ließ sich nicht mehr in Erfahrung bringen.

Gas zur vielfältigen Energieversorgung

Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts wurde Gas zum dritten Konkurrenten um den Platz unter der Straßenoberfläche. Anfangs noch in Kokereien dezentral in fast jeder Kommune hergestellt und für die Straßenbeleuchtung mit Gaslaternen verwendet, wurde dieses »Stadtgas« nun zum Heizen und Kochen verwendet. Die Gasleitungen wurden damals in sogenannten Topfbüchern bei den Gas- oder Stadtwerken dokumentiert. Diese sind wesentliche Dokumente im Bereich der Versorgungsnetze und enthalten detaillierte Informationen über den Verlauf, die Verbindungen und die technischen Spezifikationen von Gasleitungen. Diese Bücher haben sich über die Jahre hinweg zu einem unverzichtbaren Hilfsmittel für Planung, Bau und Wartung von Gasversorgungssystemen entwickelt. In frühen Topfbüchern sind oft handgezeichnete Karten und Skizzen zu finden, die

den Verlauf der Gasleitungen und die Positionen von Ventilen, Anschlüssen und anderen wichtigen Komponenten festhielten. Mit Fortschritten in der Technologie wurden sie immer weiter präzisiert. Nach dem Zweiten Weltkrieg erforderte die zunehmende Urbanisierung immer weitere Verfeinerungen der Leitungsbücher.

Aus Thüringen sind einige Topfbücher erhalten geblieben, die die Entwicklung der Leitungspläne im Bereich Gasversorgung anschaulich darstellen und ähnlich wie bei den Plänen im Strombereich zeigen, wie lange das einzelne Planwerk als solches in Gebrauch blieb. In diesen Leitungsbüchern war ursprünglich nicht immer ein Gesamtplan verzeichnet. Diese gab es auch – so sind etwa aus Großstädten wie Hamburg oder Berlin Gesamtpläne erhalten. Aber im Sinne der technischen Handhabung vor Ort erfüllten die Topfbücher mit ihren handschriftlichen Ergänzungen und Aktualisierungen eine wesentliche Aufgabe: Sie dokumentierten für eine Ortslage exakt die Lage der Leitungen, die technischen Installationen und deren Zustand. Damit hatten die Topfbücher einen wesentlichen Anteil als detailliertes Planwerk, an dem sich nachfolgende Bau- und Reparaturarbeiten orientieren konnten.

Das folgende Bild aus dem Topfbuch der Gemeinde Ohrdruf zeigt deutlich, dass zwischen Ersterstellung und Dokumentation der Gasleitung und einer Jahre später erfolgten Kontrolle der Installation sehr oft relevante Hinweise auf die Lage vor Ort verschwunden waren. Manchmal waren im Zuge von Bauarbeiten oder Kriegseinflüssen ganze Leitungen nicht mehr auffindbar. Was vorher noch genau eingemessen und ordentlich dokumentiert war, wurde 1988 dann »nicht gefunden«.

Abb. 07: Topfbuch der Gemeinde Ohrdruf [Quelle: Ohra Energie GmbH]

Ein anderes Beispiel findet sich in Unterlagen der Gemeinde Ohrdruf. An einer Kreuzung stehen drei Häuser mit den Nummern 52, 53 und 54. Davor verläuft die Gasleitung, direkte Hausanschlüsse sind nicht eingezeichnet. Die Gasleitung ist gut sichtbar in roter Farbe dargestellt, die Bezeichnung Q 80 ist die Angabe des Querschnitts.

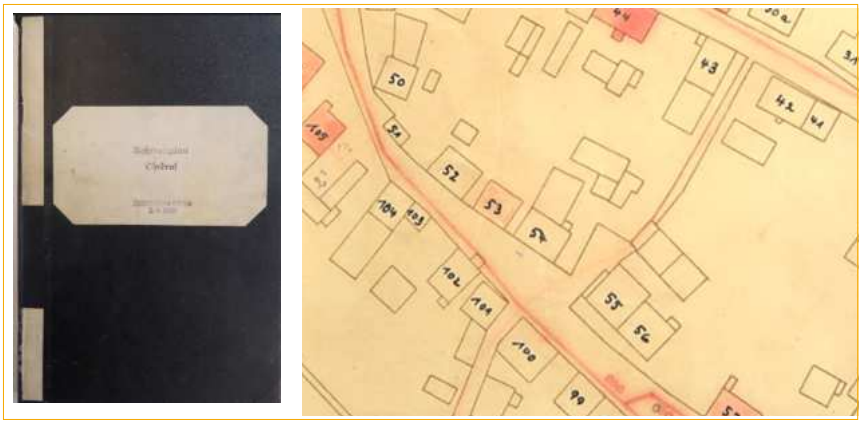


Abb. 08: Rohrnetzplan der Gemeinde Ohrdruf [Quelle: Ohra Energie GmbH]

Ein paar Jahre später wurde ein weiterer Plan auf kariertem Papier gezeichnet. Dabei fiel die genaue Standlage der Häuser der Quadratur zum Opfer. Schmiegten sich auf dem ursprünglichen Plan die Häuser an den Verlauf der Straße an, so waren sie nun »geradegezogen«. Dafür war nun akribisch genau eingetragen, in welchen Abständen sich entlang der Leitung Verbindungen, Hausanschlüsse oder Abzweigungen befinden. Die genaue Leitungslage in der Straße jedoch bleibt nur andeutungsweise dargestellt. Damals reichte es, zu wissen, dass in der Straße unterirdische Gasleitungen verlegt waren.

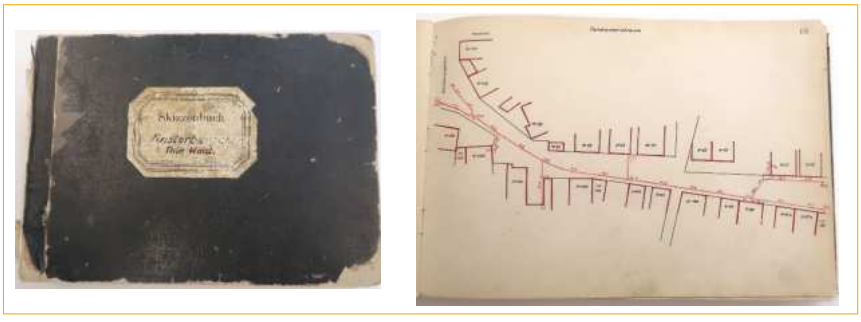


Abb. 09: Skizzenbuch für Gasleitungen und Hausanschlüsse in der Gemeinde Finsterbergen, Thüringen [Quelle: Ohra Energie GmbH]

Auf dem heutigen Planwerk des Netzbetreibers Ohra Energie befinden sich die Häuser inzwischen wieder in ihrer richtigen Position und der Plan ermöglicht vor Ort sofort Orientierung. Die Hausanschlüsse sind exakt eingezeichnet und in Relation zur Hauptleitung von den Hausecken genau ausgemessen. Baggerarbeiten können so sicher erfolgen. Ergänzend finden sich die Hinweise, dass sowohl der Hausanschluss »Hal.« als auch die Versorgungsleitung »VL« geortet worden sind.

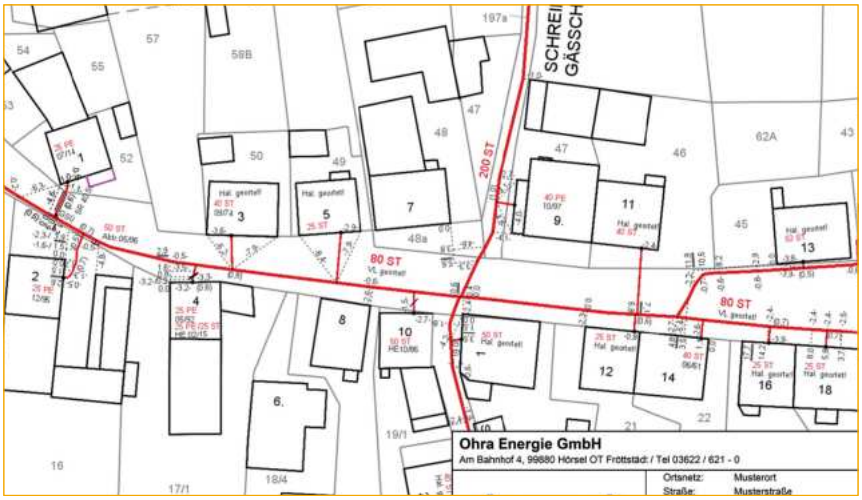


Abb. 10: Planwerk des Netzbetreibers Ohra Energie [Quelle: Ohra Energie GmbH]

Die Lage der Leitungen in der Straße sind durch diese Referenzen in Bezug zu Hausecken oder Hausfronten genau bestimmbar und können für die Planung von Bauarbeiten herangezogen werden. Ungenauigkeiten können jedoch noch immer auftreten. Wird beispielsweise ein Haus von außen gedämmt, verursachen die aufgesetzten Dämmplatten manchmal eine signifikante Verbreiterung der Hausfront, die erst bei der nächsten Aktualisierung des Plans und der neuen Vermessung der Anschlüsse eingetragen wird, da solche Veränderungen den Netzbetreibern in der Regel nicht mitgeteilt werden. Übliche Online-Karten sind ebenfalls kein verlässliches Hilfsmittel. Im vorliegenden Fall gibt die Satellitendarstellung den Straßenzug realistisch wieder, die Lage der drei Häuser in Relation zum Verlauf der Straße ist gut zu erkennen. Beim Umschalten auf den Kartenmodus stehen die drei Häuser dann plötzlich – ähnlich wie bei dem Jahrzehnte zuvor auf kariertem Papier gezeichneten Plan – mitten auf der Straße.

Keine Einheitlichkeit bei Farben und Maßstäben

Bis heute werden bei Leitungsplänen keine einheitlichen Farben verwendet. Die rote Kennzeichnung von eigenen Leitungen auf den heute zumeist als PDF herausgegebenen

Planstücken hat sich für Leitungsbetreiber als Farbe mit Signalwirkung bewährt. Dies macht es jedoch Baugeräteführern auf der Baustelle nicht einfacher, wenn sie die jeweiligen Pläne für Wasser, Strom, Gas, Abwasser, Telefon, Glasfaser etc. vorliegen haben und sich den sicheren Weg für die Baggerschaufel suchen müssen. Hinzu kommt, dass auch die Maßstäbe im Ermessen des Netzbetreibers liegen.

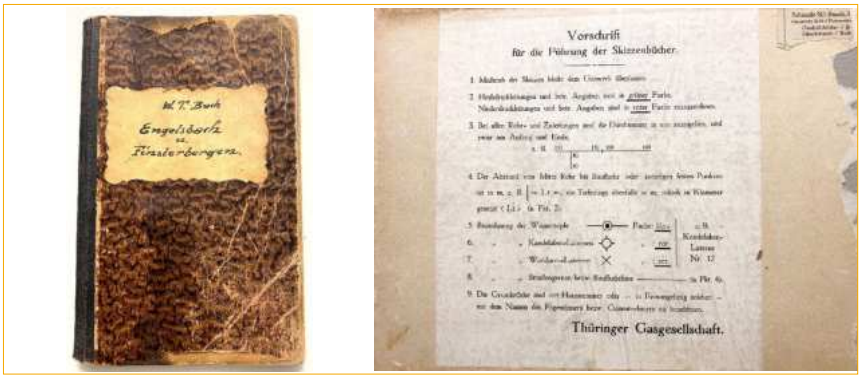


Abb. 11 : Wasser-Topfbuch für die Gemeinden Engelsbach und Finsterbergen in Thüringen [Quelle: Ohra Energie GmbH]

Die Vorgabe Nummer 1 in der abgebildeten Vorschrift für Skizzenbücher der Thüringer Gasgesellschaft macht dies deutlich, hier heißt es: »Maßstab der Skizzen bleibt dem Gaswerk überlassen.« Generell ist diese Vorschrift der ehemaligen Thüringer Gaswerke aus den 1930er-Jahren ein guter Beleg dafür, wie versucht wurde, die bislang dem jeweiligen Zeichner überlassene Darstellung von technischen Infrastrukturen zu reglementieren, um eine verlässliche Dokumentation zu erhalten.

Fazit

Präzise Leitungspläne sind wichtig für die nachhaltige Stadtentwicklung. Sie unterstützen die Planung der Infrastruktur, um den wachsenden Anforderungen gerecht zu werden und Umweltbelastungen zu reduzieren. Dies ist besonders im Kontext des Klimawandels und der zunehmenden Urbanisierung relevant. Die Erstellung und Pflege von Leitungsplänen beinhalten große Herausforderungen, wie die Aktualisierung veralteter Pläne, die Integration neuer Technologien und die Sicherstellung der Datengenauigkeit. Viele Städte verfügen über veraltete Leitungspläne, die in vielen Bereichen nicht mehr aktuell sind. Eine regelmäßige Aktualisierung ist daher erforderlich, um Sicherheit und Effizienz zu gewährleisten. Moderne Technologien können die einfache und präzise Bearbeitung und Aktualisierung von Plänen erleichtern. Die Datengenauigkeit ist entscheidend für die Zuverlässigkeit von Leitungsplänen und in der Folge für ein sicheres Planen sowie Arbeiten in der Nähe von in der Erde verlegten Versorgungsinfrastrukturen – besonders vor dem

Hintergrund, dass immer mehr Leitungen unterirdisch verlegt werden. Die Zeiten, als es reichte, anzuzeigen, dass eine Wasserleitung irgendwo in der Straße liegen muss, sind längst vorbei. Und auch wenn sich diese Betrachtung nur auf historische Pläne für Wasser, Strom und Gas bezieht, gebührt den früheren Wasserkunst-Meistern, Zeichnern, Planern und Mitarbeitern der Netzbetreiber Hochachtung. Sie haben dazu beigetragen, dass seit mehr als 2.000 Jahren Dörfer, Städte, Metropolen und deren Bevölkerung sicher und bequem versorgt wurden – und nachfolgende Generationen auf Basis der Pläne stetig weiter und besser planen und versorgen konnten.

Leander Syré studiert an der Berliner Hochschule für Technik (BHT) im 6. Semester Architektur. Im Rahmen der Beschäftigung mit dem Themenfeld Stadtentwicklung und -planung rückte das Thema Energie- und Wasserversorgung in den Fokus. Bei der Untersuchung von Arealplänen größerer ehemaliger Industriegelände für Umwidmung und Neubebauung wurde deutlich, wie alt oftmals heute noch angewendete Unterlagen sind – wenn sie denn überhaupt noch erhalten sind.

Bei der Recherche zu diesem Artikel wurde ersichtlich, dass das Thema Historie von Leitungsplänen ebenso spannend wie mühsam ist, wenn beispielsweise in Stadtarchiven zwar viele alte Straßenpläne vorhanden, diese aber nicht mit entsprechenden Schlagworten verortet sind. Nur wenige Städte, wie zum Beispiel Hamburg, haben explizit Texte in online zugänglichen Quellen veröffentlicht, dann aber meist auch mit einer anderen Zielsetzung, etwa der Darstellung der Versorgungstechnik[2]. Zudem stellte sich heraus, dass viele Netzbetreiber durch Fusionen und das Unbundling zu Beginn dieses Jahrtausends Firmenarchive zusammengelegt haben und auf diese Weise viel Wissen über das Vorhandensein alten Planwerks im Lauf der Jahre verlorenging (beispielsweise beim Straßenplan der Bremer Wesernetz GmbH). Das Bildmaterial wurde erstmals für einen öffentlichen Verbandstagsvortrag, dann für die weitere Verwendung durch den Verband VST – Verband Sichere Transport- und Verteilnetze / KRITIS e.V.[3] zusammengetragen mit der Erlaubnis zur weiteren Veröffentlichung und Weitergabe, sofern es sich dabei um eine Thematik handelt, die der Zielsetzung des VST-KRITIS. e.V. entspricht. Daher gilt der Dank des Autors den Städten und Stadtarchiven sowie den Netzbetreibern, die zum Gelingen dieses Beitrags beigetragen und im Einzelnen viele Stunden für Fotografieren und Einscannen aufgebracht haben.

2 Vgl. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: Wasserversorgung in Hamburg. Bearbeitungsstand: 20. Juni 2024, 05:48 UTC. http://de.wikipedia.org/wiki/Wasserversorgung_in_Hamburg [abgerufen am: 20.05.2025]

3 Vgl. VST – Verband Sichere Transport- und Verteilnetze / KRITIS e.V. www.vst-kritis.de [abgerufen am: 20.05.2025]

3.2 Das BIL-Portal: Schlüsselplattform für Leitungsauskunft, Infrastrukturplanung und Sicherheitsmanagement – eine statistische Analyse von 2022 bis 2024

Das BIL-Portal ist ein zentrales Instrument zur Identifikation und Abstimmung potenzieller Risiken im Bereich der unterirdischen Infrastruktur. Es gewinnt angesichts des steigenden Bedarfs an Energieerzeugung, -transport und -verteilung zunehmend an Bedeutung. Besonders im Rahmen des Netzausbaus wird das Portal verstärkt für Anfragen zu erdverlegten Kabeln, Umspannwerken sowie Bau- und Transportwegen genutzt. Darüber hinaus erleichtert es die Koordination von Bauprojekten, die Bearbeitung behördlicher Anfragen und die dezentrale Kommunikation zwischen verschiedenen Akteuren.

Ingo Reiniger

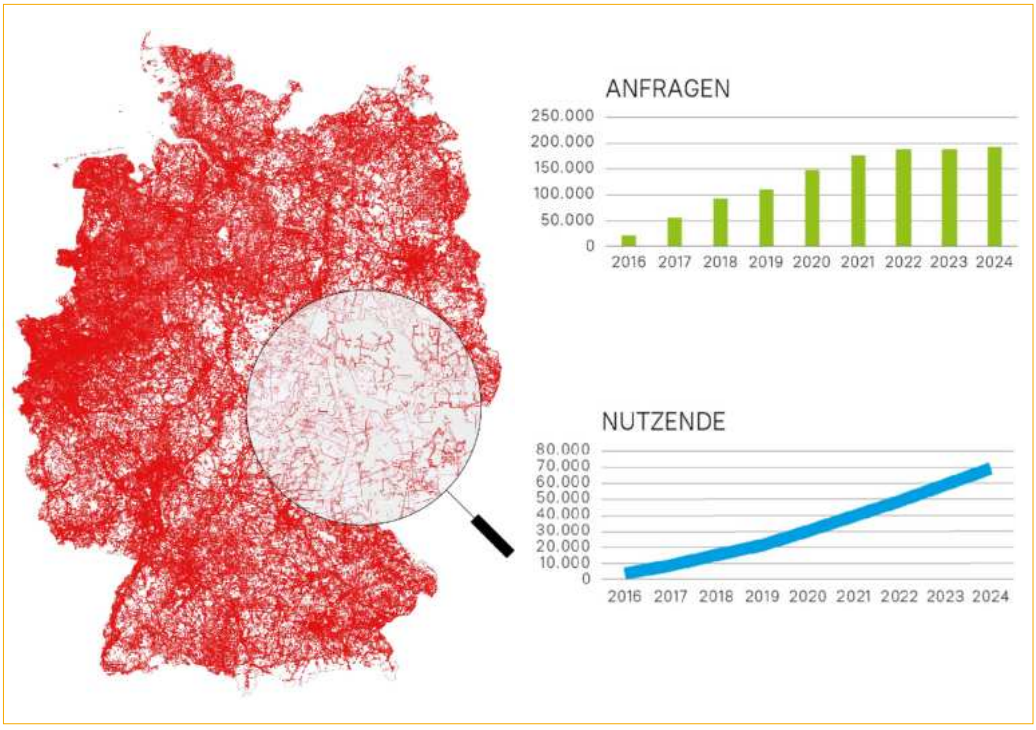


Abb. 01: BIL-Portal 2024: Mit 194.000 Anfragen und einer Datenbasis von 1,2 Millionen Maßnahmen wächst die Plattform kontinuierlich – über 70.000 registrierte Anwender und wöchentlich 250 neue Nutzer seit 2016 [Quelle: BIL eG 2025]

Als zentrale Anlaufstelle für Leitungsauskunft wird das BIL-Portal täglich von rund 1.000 Nutzern verwendet. Im Jahr 2024 wurden insgesamt 194.000 Anfragen bearbeitet, wodurch eine umfangreiche Datenbasis von 1,2 Millionen Planungs- und Bauvorhaben entstanden ist. Seit der Einführung des Portals im Jahr 2016 ist die Zahl der registrierten Nutzer auf über 70.000 gestiegen, wobei pro Woche durchschnittlich 250 neue hinzukommen.

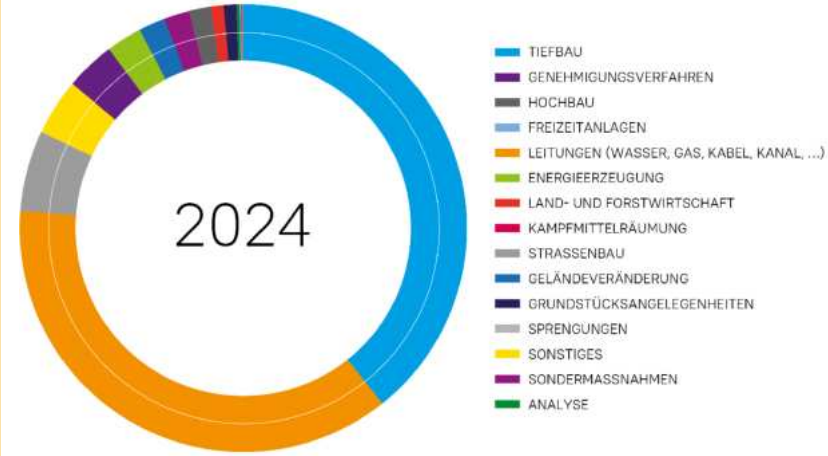


Abb. 02: Verteilung der Anfragen zur Leitungsauskunft im BIL-Portal im Jahr 2024 [Quelle: BIL eG 2025]

Der Fokus der Anfragen liegt mit 76 Prozent deutlich auf dem Leitungs- und Tiefbau, was die zentrale Rolle des Portals für den Infrastrukturausbau unterstreicht. Die nächstgrößte Kategorie, der Straßenbau, macht hingegen lediglich 6 Prozent der Anfragen aus. Das BIL-Portal zeigt sich somit als unverzichtbares Werkzeug, um Risiken zu minimieren, Schäden zu verhindern und die Effizienz in der Planung und Durchführung von Infrastrukturprojekten zu steigern.

Breitbandausbau

Mit insgesamt 231.856 Anfragen ist die Anzahl der Anfragen für Breitbandvorhaben über die Jahre stetig angestiegen, was die intensive Phase des Netzausbaus widerspiegelt. Im Jahr 2022 erreichte die Anzahl der gestellten Anfragen ihren Höhepunkt. Seitdem ist ein Rückgang der Anfragen zu verzeichnen: Im Jahr 2024 wurden 14 Prozent weniger Anfragen im Vergleich zum Vorjahr gestellt. Dies deutet darauf hin, dass ein großer Teil der geplanten Vorhaben inzwischen abgeschlossen ist und der Fokus sich von der Planung auf den Betrieb und die Optimierung der bestehenden Infrastruktur verlagert.

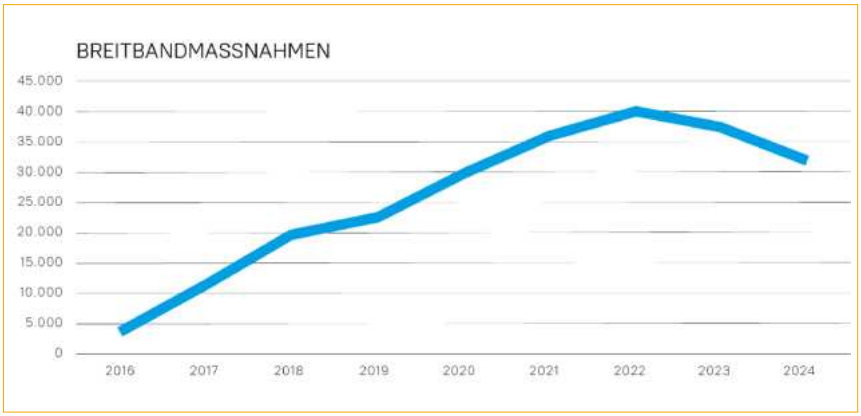


Abb. 03: Entwicklung der Anfragen zur Leitungsauskunft in der Klassifizierung »Breitband« im Zeitraum von 2016 bis 2024 [Quelle: BIL eG 2025]

Regionale Verteilung und Veränderungen im Ausbau der Energieinfrastruktur

Ausbau der erneuerbaren Energien

Der Blick auf die Daten zeigt eine signifikante Zunahme von Vorhaben im Bereich der erneuerbaren Energien, insbesondere bei Solar- und Windkraftprojekten. Insgesamt wurden bisher 15.661 Anfragen für die Planung oder den Bau von Solar- und Windparks gestellt. Allein im Jahr 2024 gab es 4.702 Anfragen, was einem Zuwachs von 29 Prozent im Vergleich zum Vorjahr entspricht.

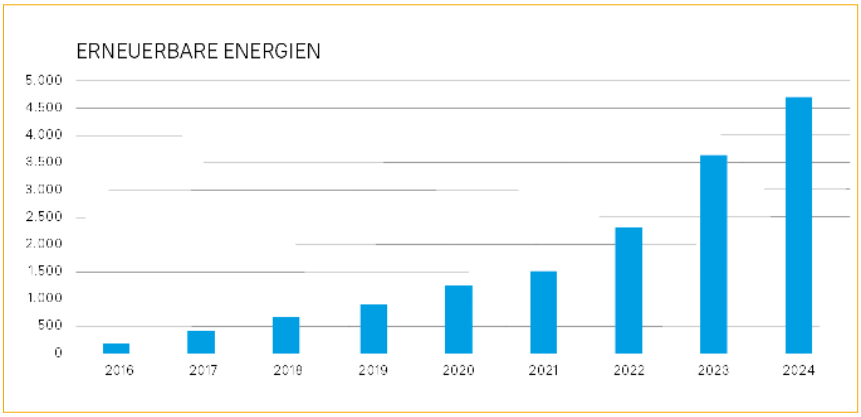


Abb. 04: Entwicklung der Anfragen zur Leitungsauskunft in der Klassifizierung »Erneuerbare Energien« im Zeitraum von 2016 bis 2024 [Quelle: BIL eG 2025]

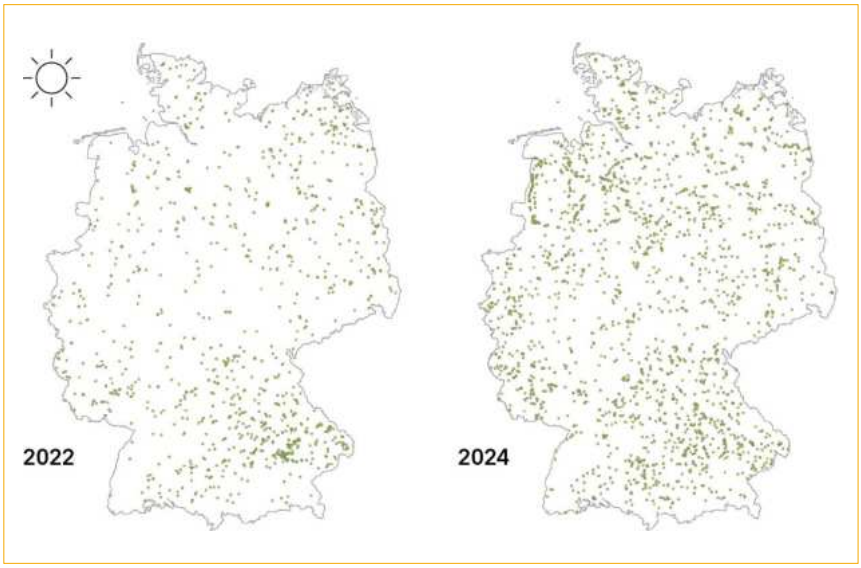


Abb. 05: Entwicklung des Anfrageaufkommens in der Klassifizierung »Solarenergie« in den Jahren 2022 und 2024 [Quelle: BIL eG 2025]

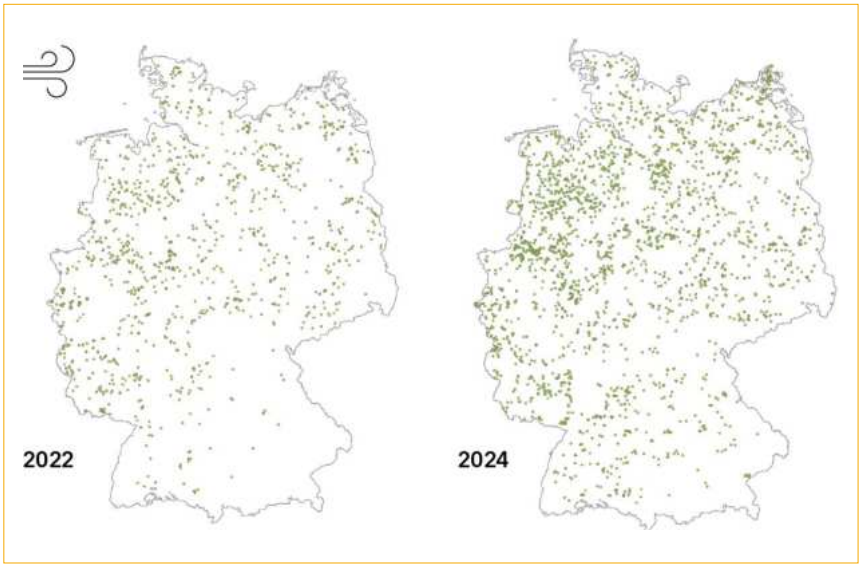


Abb. 06: Entwicklung des Anfrageaufkommens in der Klassifizierung »Windenergie« in den Jahren 2022 und 2024 [Quelle: BIL eG 2025]

Bis zum Jahr 2022 waren diese Projekte regional klar verteilt: Photovoltaikanlagen konzentrierten sich vor allem im Süden Deutschlands, während Windkraftprojekte überwiegend im übrigen Bundesgebiet realisiert wurden. Seit 2023 ist jedoch eine deutliche Veränderung zu beobachten. Photovoltaikprojekte entstehen zunehmend über das gesamte Bundesgebiet verteilt, um das verfügbare Flächenpotenzial besser zu nutzen. Damit lösen sich die bisherigen regionalen Grenzen in der erneuerbaren Energieerzeugung auf, was auf eine intensivere und ganzheitlichere Nutzung erneuerbarer Ressourcen hinweist.

Anstieg bei Kraftwerksprojekten

Ein weiterer Trend ist der Zuwachs bei Anfragen in der Klassifizierung »Kraftwerke«. Im Jahr 2024 wurden 480 Anfragen im BIL-System registriert, was einem Anstieg um das 2,5-fache im Vergleich zum Vorjahr entspricht. Obwohl die absolute Zahl der Anfragen im Vergleich zu Vorhaben im Bereich der erneuerbaren Energien relativ gering bleibt, signalisiert dieser starke Zuwachs die Notwendigkeit, zusätzliche Kapazitäten zur Sicherstellung einer stabilen Energieversorgung zu schaffen.

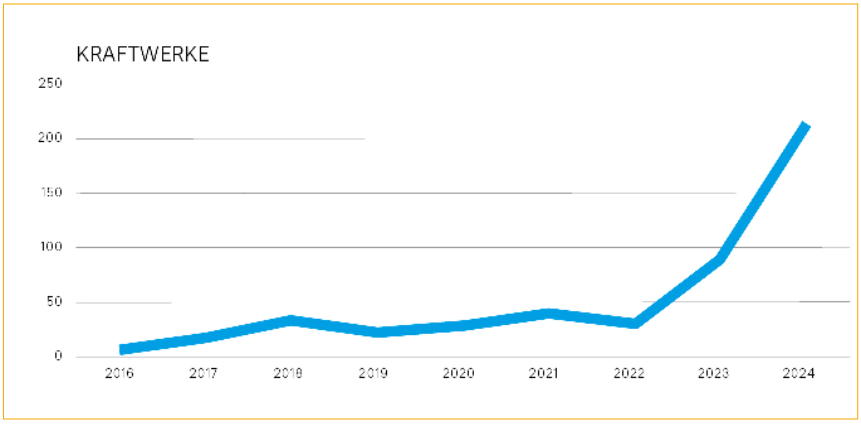


Abb. 07: Entwicklung der Anfragen zur Leitungsauskunft in der Klassifizierung »Kraftwerke« im Zeitraum von 2016 bis 2024 [Quelle: BIL eG 2025]

Erhöhung von Transport und Verteilung von Energie

Ausbau von Trassen, Planung und Bau

Der gestiegene Bedarf an Energieerzeugung und -verteilung führt zu einer deutlichen Intensivierung der Infrastrukturmaßnahmen. Dies umfasst unter anderem den Bau und Ausbau von Hoch- und Niederspannungsnetzen sowie von Umspannwerken. 2024 wurden 396 Vorhaben zu Umspannwerken angefragt.

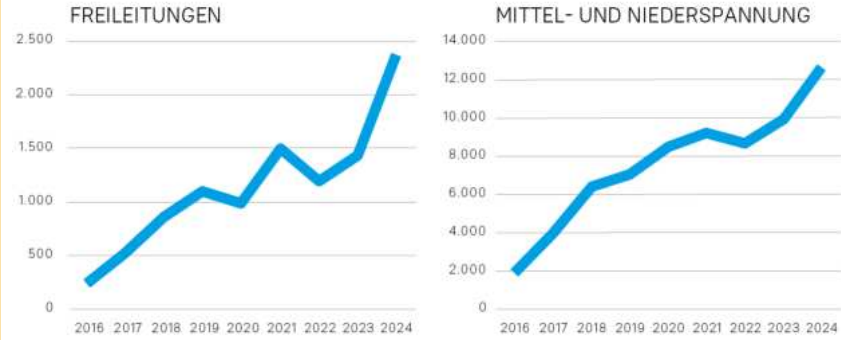


Abb. 08 und 09: Entwicklung der Anfragen zur Leitungsauskunft in der Klassifizierung »Fernleitungen« (Abb. 08) und Mittel- und Niederspannungsleitungen (Abb. 09) im Zeitraum von 2016 bis 2024 [Quelle: BIL eG 2025]

Der Einsatz von Hochspannungskabeln und Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ) zeigt einen klaren Zuwachs. Die Planung und Umsetzung solcher Maßnahmen erfordern besondere Aufmerksamkeit, da die Trassen häufig über große Distanzen verlaufen und zahlreiche Kreuzungen oder Parallellagen mit bestehender Infrastruktur berücksicht werden müssen.

Herausforderungen bei der Sicherheit

Die Geometrien der geplanten Vorhaben, insbesondere der erdverlegten Kabel, zeichnen sich durch ihre besondere Form und Ausdehnung aus, die sich oft über viele Kilometer erstrecken. Diese Anforderungen stellen eine Herausforderung für die Sicherheit dar, da zahlreiche Gewerke involviert sind, und eine umfassende Koordination notwendig ist.

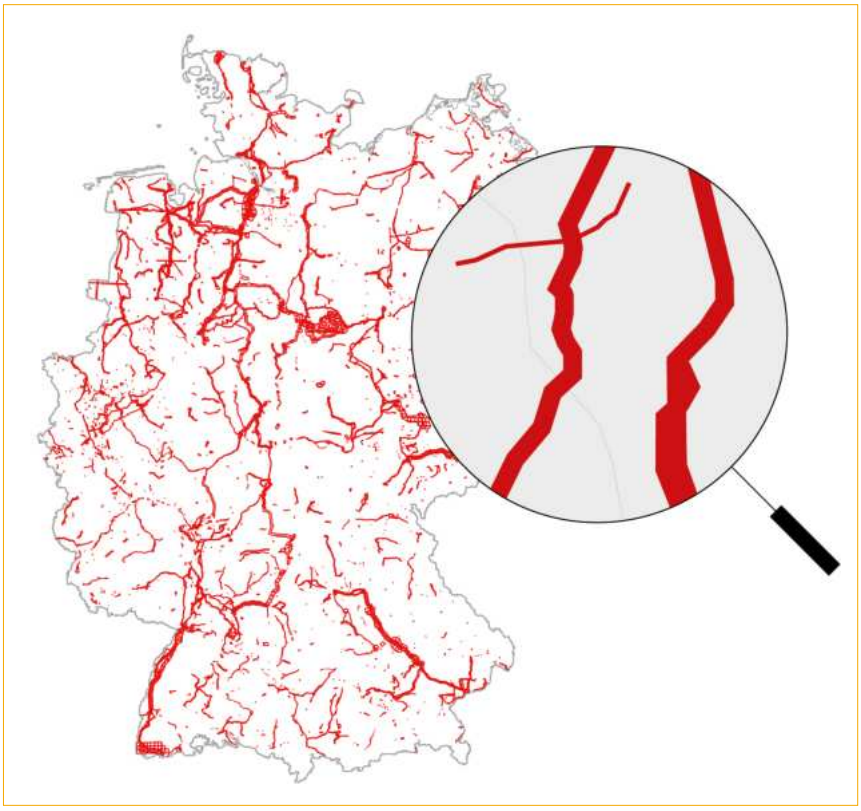


Abb. 10: Geometrien der geplanten Vorhaben in der Klassifizierung »Freileitung« in Deutschland [Quelle: BIL eG 2025]

Zur Unterstützung der Sicherheit und Effizienz im Netzausbau wurde die Spannfeldanalyse für die Betreiber entwickelt, die das BIL-Portal nutzen. Diese hilft, Beeinflussungen durch Parallellagen zu identifizieren, Schäden an Korrosionsschutzeinrichtungen zu vermeiden und Risiken für das Betriebspersonal durch Berührungsspannung frühzeitig zu erkennen.

Zuwachs der Nutzung des BIL-Portals für behördliche Planungsanfragen

Die wachsenden Anforderungen im Bereich der kommunalen Planung werden durch die Integration in Planungsserver bewältigt. Hier werden Planungsdaten zentral gebündelt und zugänglich gemacht. Der Planungsserver dient als Schnittstelle zwischen Kommunen, Planungsbüros und Netzbetreibern, um Prozesse effizienter zu gestalten und eine bessere Koordination zu gewährleisten.

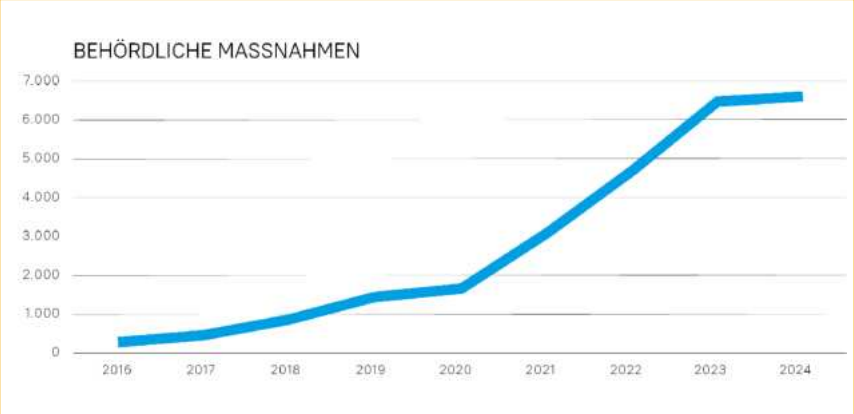


Abb. 11: Entwicklung behördlicher Maßnahmen im Zeitraum von 2016 bis 2024 [Quelle: BIL eG 2025]

Immer mehr Kommunen und von ihnen beauftragte Planungsunternehmen nutzen diese Möglichkeit. Dies zeigt sich deutlich in der verstärkten Nutzung von Klassifizierungen wie Flächennutzungsplänen, Bebauungsplänen, Flurbereinigungen und Planfeststellungsverfahren.

Allein im Jahr 2024 wurden solche Planungsanfragen insgesamt 6.631 Mal über das BIL-Portal abgewickelt. Dieser Trend unterstreicht die wachsende Bedeutung des Portals als zentrale Plattform für die Koordination und Abstimmung zwischen Kommunen, Planungsunternehmen und Netzbetreibern.

Regionaler Ausbau und Akzeptanz des BIL-Portals bei innerstädtischen Maßnahmen

Neben überregionalen Großprojekten zeigt sich bei lokal begrenzten Infrastrukturmaßnahmen eine deutliche Veränderung der Anfragen. Insbesondere in den Bereichen Elektromobilität, Hausanschlüsse und Fernwärmeversorgung ist ein signifikanter Anstieg der Anfragen zu verzeichnen.

Elektromobilität und Ladestationen

Die steigende Verbreitung von Elektromobilität hat in den letzten zwei Jahren zu einer deutlichen Zunahme an Anfragen geführt. 2024 wurden 1.892 Anfragen im Zusammenhang mit Ladestationen verzeichnet.

Hausanschlüsse
Hausanschlüsse bleiben die anfragenstärkste Kategorie im BIL-Portal. Mit 32.832 Anfragen im Jahr 2024 steht diese Kategorie im Fokus der Planer und Netzbetreiber.

Fernwärme
In Ballungszentren ist ein jährlicher Zuwachs von 10 bis 20 Prozent bei Anfragen zur Fernwärme zu beobachten. Im Jahr 2024 wurden 18.048 Anfragen zu Fernwärmeprojekten gestellt, was die wachsende Rolle von nachhaltigen Wärmeversorgungslösungen widerspiegelt.

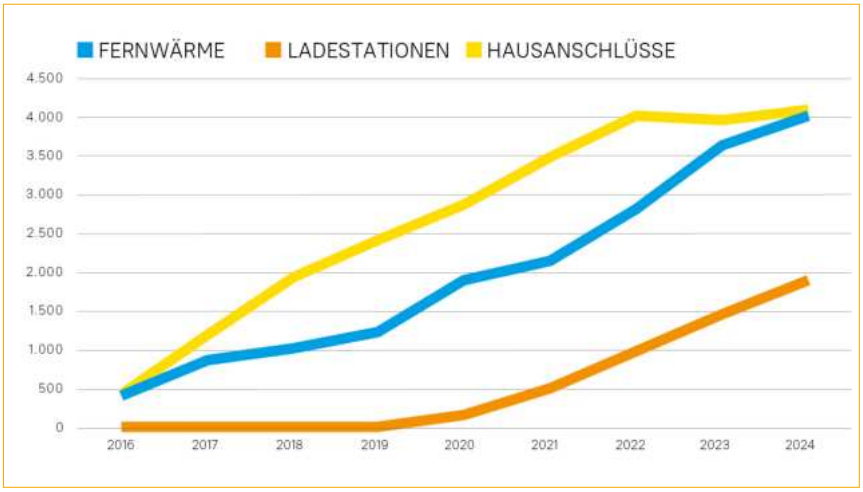


Abb. 12: Entwicklung der Maßnahmen in den Klassifizierungen »Fernwärme«, »Ladestationen« und »Hausanschlüsse« im Zeitraum von 2016 bis 2024 [Quelle: BIL eG 2025]

Regionale Verteilung der Anfragen
56 Prozent der Anfragen im BIL-Datenbestand befinden sich im Umkreis von 30 Kilometern um den Sitz des Planers oder Bauherrn. In diesen Fällen profitieren die Planer von regionaler Ortskenntnis und gewachsenen Beziehungen zu Netzbetreibern. Die Funktionalität des BIL-Portals unterstützt hier vor allem die Planungsprozesse und die Abstimmung mit den Netzbetreibern.

Die restlichen 44 Prozent der Anfragen verteilen sich auf Maßnahmen über größere Entfernungen und Regionen hinweg. Hier fehlt den Planern oft die lokale Verankerung, weshalb dem BIL-Portal eine wichtige Rolle bei der Zuständigkeitsprüfung und der Koordination zukommt.

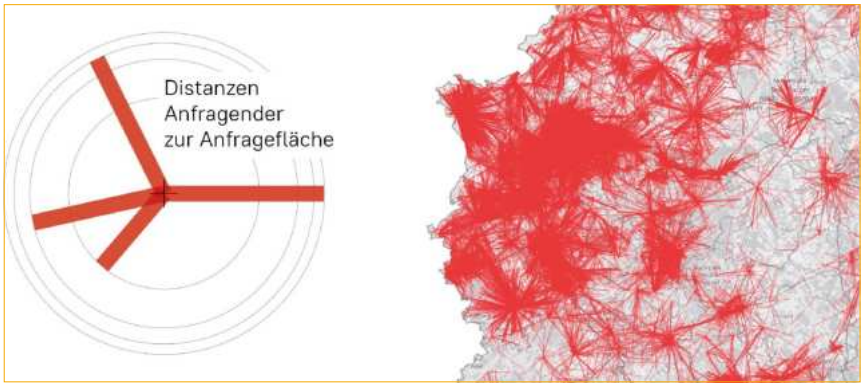


Abb. 13: Aktionsradius: Geografische Distanz zwischen dem Sitz des Anfragenden und der Lage der geplanten Maßnahme [Quelle: BIL eG 2025]

Fazit

Die statistische Analyse verdeutlicht die kontinuierliche Zunahme von Anfragen im Bereich Infrastrukturplanung mit Hunderttausenden von Vorgängen allein im Jahr 2024. Diese konzentrieren sich auf zentrale Bereiche wie erneuerbare Energien, Breitbandausbau und regionale Infrastrukturmaßnahmen. Besonders deutlich ist der Anstieg in Segmenten wie der Kabelerdverlegung und dem Bau von Umspannwerken, während ein Rückgang im Breitbandausbau auf den Abschluss vieler geplanter Maßnahmen hinweist. Diese Entwicklungen unterstreichen die wachsenden Anforderungen und die zunehmende Komplexität moderner Infrastrukturprojekte.

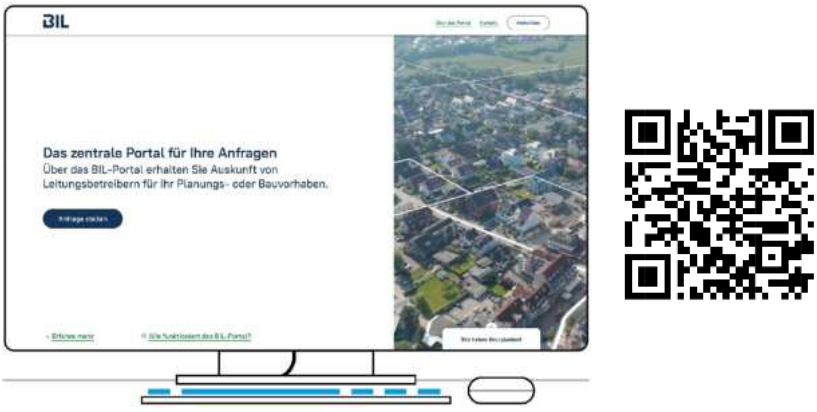


Abb. 14: Das Portal zur rechtssicheren und kostenfreien Einholung von Leitungsauskünften durch die Infrastrukturbetreiber aller Versorgungssparten: www.bil-leitungsauskunft.de [Quelle: BIL eG 2025].

Das BIL-Portal, betrieben von einer Genossenschaft aus Infrastrukturbetreibern, ist ein zentraler Knotenpunkt für die Leitungsauskunft und die sichere Koordination von Infrastrukturprojekten. Die gemeinschaftliche, kooperative Weiterentwicklung stellt sicher, dass das Portal effizient bleibt, sich flexibel an neue Herausforderungen anpasst und den steigenden Bedarf an Planungsunterstützung erfüllt. Es ermöglicht eine präzise und zuverlässige Leitungsauskunft, reduziert Risiken für bestehende Infrastrukturen und unterstützt die beteiligten Akteure bei der sicheren und effizienten Umsetzung von Planungs- und Bauvorhaben. Das BIL-Portal ist ein spartenübergreifendes Kommunikationssystem, das Betreibern regenerativer Energien, kritischer Infrastrukturen wie Gas-Hochdruckleitungen, Öl- und Chemieleitungen sowie Unternehmen der Telekommunikationsbranche ermöglicht, ihre unterirdischen Infrastrukturen transparent zu beauskunften. Weitere Informationen gibt es unter www.bil-leitungsauskunft.de.

Ingo Reiniger ist Vorstand der BIL eG und verantwortlich für die Produktentwicklung des BIL-Portals. Im Dialog mit den Betreibern, die ihre Infrastrukturen über das Portal beauskunften, entwickelt er mit seinem Team innovative Lösungen, die den Workflow in der Planauskunft sowie in den daran angeschlossenen Prozessen optimieren. Durch den Austausch mit anderen Portaldiensten, wie zum Beispiel dem Infrastrukturatlas des Bundes, entstehen integrierte Lösungen, die Bauabläufe beschleunigen und die Sicherheit erhöhen. Dem genossenschaftlichen Prinzip verpflichtet, setzt die BIL eG auf Zusammenarbeit und gemeinschaftliche Initiative – in deutlicher Abgrenzung zu kommerziellen Anbietern von Rechercheangeboten.

3.3 Weiterbildung als Faktor zur Verbesserung der Sicherheit bei Bauprojekten

FOTO: EW MEDIEN UND KONGRESSE GMBH

Gerit Liebmann

Sicherheit und die Vermeidung von Bauschäden sind zentrale Anliegen im Hoch- und Tiefbau. Neben der baulichen Qualität beeinflussen Sicherheitsvorkehrungen maßgeblich das Wohl von Mitarbeitern und Anwohnern. Dennoch zeigen Schadenfälle und Sicherheitsrisiken, dass hier noch Optimierungsbedarf besteht. Eine gezielte und kontinuierliche Weiterbildung der Fachkräfte bildet einen wesentlichen Baustein zur Risikominimierung und Qualitätssicherung. Dieser Beitrag beleuchtet Ziele und Nutzen von Fortbildungsveranstaltungen am Beispiel der EW Medien und Kongresse GmbH als Veranstalter für die Versorgungswirtschaft und zeigt auf, wie Weiterbildungen Qualität, Sicherheit und Mitarbeiterzufriedenheit bei Infrastrukturprojekten positiv beeinflussen.

Aus der Statistik: Zahlen und Fakten zur Weiterbildung in der Bau- und Energiewirtschaft

Technologische Innovationen, gesetzliche Vorgaben und die Transformation hin zu nachhaltigen Energielösungen prägen die Bauprojekte der Energie- und Versorgungswirtschaft. Dies erfordert von Fachkräften kontinuierliches Lernen und Weiterentwicklung. Dennoch ist die Teilnahmequote an Weiterbildungsmaßnahmen in Deutschland vergleichsweise gering. Laut Statistischem Bundesamt nahmen im Jahr 2022 rund 8 Prozent der 25- bis 64-Jährigen in Deutschland an einer Bildungs- oder Weiterbildungsmaßnahme teil, während der EU-Durchschnitt bei 12 Prozent lag.[1] Speziell im Baugewerbe ist die Weiterbildungsbeteiligung niedriger: Nur 16 Prozent der Beschäftigten nahmen an Weiterbildungsmaßnahmen teil, verglichen mit über 22 Prozent im EU-Durchschnitt und rund 24 Prozent im Euroraum.[2]

Diese Zahlen verdeutlichen einen erheblichen Nachholbedarf in der deutschen Bauwirtschaft. Die Gründe hierfür sind vielfältig und reichen von betrieblichen Hemmnissen bis zu individuellen Barrieren aufseiten der Beschäftigten. Angesichts der fortschreitenden Digitalisierung und der Integration erneuerbarer Energien ist es jedoch unerlässlich, dass Fachkräfte sich kontinuierlich weiterbilden, um den steigenden Anforderungen

1 Vgl. https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bildung-Forschung-Kultur/Weiterbildung/_inhalt.html [abgerufen am: 05.03.2025]

2 Vgl. https://www.soka-bau.de/nachrichten/detail/geringes-ausmass-an-weiterbildung-in-der-deutschen-bauwirtschaft [abgerufen am: 05.03.2025]

gerecht zu werden. Vielfältige Angebote an Online-Weiterbildungen und hybriden Formaten haben seit der Erhebung der Daten über alle Branchen hinweg zu Teilnahmequoten von bis zu mehr als 60 Prozent geführt.

Weiterbildungen beeinflussen Bauqualität, Schadenhäufigkeit und Mitarbeiterzufriedenheit

Gut geschulte Mitarbeiter arbeiten effizienter und präziser, wodurch typische Fehlerquellen minimiert und Schadenhäufigkeiten reduziert werden. Zusätzlich zu den verpflichtenden Schulungen im Baugewerbe tragen Weiterbildungen zu Themen wie Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz (KI), Umweltverträglichkeitsprüfungen, Leitungsauskunft und Haftungsfragen im Leitungstiefbau maßgeblich zur Qualitätssicherung bei. Durch den Erwerb aktueller Kenntnisse können Bauprojekte nach neuesten Standards und gesetzlichen Vorgaben realisiert werden, was das Risiko von Mängeln, Schäden und möglichen Bauunfällen weiter verringert.

Zielgerichtete Schulungen stärken das Sicherheitsbewusstsein der Mitarbeitenden. Ein erhöhtes Verständnis für Sicherheitsvorgaben und -maßnahmen führt zu einer sicheren Arbeitsumgebung und reduziert die Wahrscheinlichkeit von Unfällen. Das zeigt auch, dass nicht nur Verantwortliche Schulungsbedarf haben, sondern ganze Teams durch Wissenserwerb gestärkt werden. Dies wirkt sich nicht nur positiv auf die Gesundheit der Beschäftigten aus, sondern minimiert auch Ausfallzeiten und damit verbundene Kosten für das Unternehmen. Lernzeiten sind hier besonders gut investiert.

Abb. 01: BDEW-Fachtagung in Hamburg 2024 [Foto: EW Medien und Kongresse]

Doch was ist mit dem Faktor Zeit? Trotz steigender Anzahl an Bildungsangeboten, klagen Angestellte über wenig Zeit für die eigene Fortbildung. EW Medien und Kongresse reagiert auf diesen Trend mit Bildungsangeboten in kürzeren Formaten bzw. Online- oder Hybridangeboten. Das erleichtert eine Teilnahme und Schulungen lassen sich flexibler in den Arbeitstag einplanen.

Studien zeigen, dass sich Mitarbeiter, die die Möglichkeit zur beruflichen Weiterentwicklung erhalten, wertgeschätzt fühlen und motivierter sind. Dies fördert die Loyalität zum Unternehmen und reduziert die Fluktuation.[3] Ein zunehmend wichtiger Faktor vor dem Hintergrund des deutlich sichtbaren Fachkräftemangels.

Best Practices: Erfolgreiche Weiterbildungskonzepte

Praxisnahe Weiterbildungskonzepte leisten einen wesentlichen Beitrag zur Qualitätssicherung und Risikominimierung in der Energie- und Versorgungswirtschaft. Durch die Zusammenarbeit mit Fachleuten aus Verbänden, Behörden, Verwaltungen sowie Unternehmen der Branche wird eine hohe Aktualität der Inhalte sichergestellt, ergänzt durch praxisnahe Einblicke und rechtliche Hintergrundinformationen. Unterschiedliche Veranstaltungsformate – wie zum Beispiel Grundlagenseminare der BDEW Akademie, BDEW Informationstage zu hochaktuellen Themen bis hin zu Fachkongressen – ermöglichen nicht nur den Wissenstransfer, sondern fördern auch den interdisziplinären Austausch und die Vernetzung innerhalb der Branche.

Abb. 02: EW-Fachtagung »Werkstatt Kabel 2024« [Foto: EW Medien und Kongresse]

3 Vgl. Büro für analytische Sozialforschung (BaS) Hamburg (Hrsg.): Berufliche Weiterbildung in der Praxis. https://www.bildungsspiegel.de/news/weiterbildung-bildungspolitik/7634-berufliche-weiterbildung-in-der-praxis/ [abgerufen am: 05.03.2025]

Praxis-Hacks für nachhaltigen Lernerfolg im Unternehmen:

- Reverse Learning anwenden: Erfahrene Fachkräfte und Sicherheitsbeauftragte führen nach einer Schulung zu neuen Normen oder Richtlinien interne Trainings für Mitarbeiter durch – so wird Wissen praxisnah und auf Augenhöhe vermittelt.
- Fehlertagebuch führen: Die systematische Dokumentation von Beinahe-Unfällen und sicherheitsrelevanten Vorfällen kann dazu dienen, diese in Weiterbildungen zu analysieren und gezielt Maßnahmen zur Unfallprävention abzuleiten.
- Virtuelle Gefahrenanalysen nutzen: Mit VR- oder AR-Technologie lassen sich realistische Baustellenszenarien simulieren, in denen Fachkräfte risikoreiche Situationen gefahrlos trainieren und richtige Verhaltensweisen einüben können.

INTERVIEW – GERIT LIEBMANN

Gerit Liebmann, Leiterin der BDEW Akademie, hat einige Fragen zu den Weiterbildungsangeboten der EW Medien und Kongresse GmbH beantwortet.

Heike Böhmer, Geschäftsführende Direktorin des IFB: Wie unterstützen Ihre Veranstaltungen Unternehmen dabei, gesetzliche Anforderungen und technologische Entwicklungen effizient umzusetzen?

Gerit Liebmann: Bis zu 500 unterschiedliche Veranstaltungen von EW Medien und Kongresse finden Sie auf unserer Veranstaltungsplattform essociation.de. Diese bietet unter den Marken: BDEW, EW Medien, BDEW Akademie und VDE Academy ein umfassendes Weiterbildungsangebot, das branchenübergreifend die wichtigsten Themen der Energie- und Versorgungswirtschaft adressiert. Wir vermitteln praxisnahes Wissen zu aktuellen Rechts- und Regulierungsfragen, Arbeitssicherheit, Leitungsauskunft und Baustellensicherheit im Infrastrukturausbau. Als Teil der VDE Gruppe profitieren wir von unserer Nähe zu Normung und Standardisierung. Unternehmen können sich über unsere Plattform gezielt Weiterbildungsformate zusammenstellen – nach Themen, Marken oder Durchführungsart – und sowohl vor Ort als auch online oder als Inhouse-Seminare daran teilnehmen.

Böhmer: Welche langfristigen Vorteile sehen Sie für Unternehmen, die kontinuierlich in die Weiterbildung ihrer Fachkräfte investieren?

Liebmann: Kontinuierliche Weiterbildung ist ein zentraler Faktor für die langfristige Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, insbesondere in dynamischen Branchen. Eine strukturierte Lernreise – von grundlegenden Fachseminaren bis hin zu spezialisierten Netzwerktreffen – ermöglicht es Fachkräften, sich konstant an neue technologische, regulatorische und methodische Entwicklungen anzupassen. Unternehmen, die in die fortlaufende Qualifizierung ihrer Mitarbeitenden investieren, fördern nicht nur den Wissenstransfer und die Innovationsfähigkeit, sondern steigern auch die betriebliche Effizienz, die Arbeitssicherheit und die Resilienz gegenüber Marktveränderungen.

Böhmer: Wie unterstützen Ihre Weiterbildungsangebote Unternehmen dabei, Fachkräftemangel entgegenzuwirken oder Mitarbeiter langfristig zu binden?

Liebmann: Gezielte Weiterbildung ist ein wirksames Mittel gegen Fachkräftemangel. Unternehmen,

die ihren Mitarbeitern vielseitige Schulungsangebote bieten, zeigen Wertschätzung und fördern langfristige Bindung. Besonders für Quereinsteiger und branchenfremde Fachkräfte sind praxisnahe Grundlagenschulungen mit Networking-Möglichkeiten ein wichtiger Einstieg und führen zu einem schnelleren Onboarding. Das stärkt nicht nur die individuelle Kompetenz, sondern auch die Identifikation mit der Branche und dem Unternehmen.

Böhmer: Welche Rolle spielen Weiterbildungen bei der Reduktion von Schadenhäufigkeiten im Bauwesen?

Liebmann: Weiterbildungen im Bauwesen tragen maßgeblich zur Sicherheit und Effizienz auf Baustellen bei. Sie unterstützen eine präzise Planung, den Einsatz moderner Technologien und die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben. Gerade im Leitungshoch- und tiefbau gewinnen Schulungen zu innovativen Technologien wie BIM (Building Information Modeling), dem Einsatz der Drohnentechnologie oder grabenloser Inspektion an Bedeutung. Sie helfen, Fehler zu vermeiden, Arbeitsabläufe zu optimieren und Sicherheitsstandards einzuhalten. Der direkte Austausch mit Fachexperten und Praxisbeispiele aus dem Arbeitsalltag stellen sicher, dass sowohl neue als auch erfahrene Fachkräfte ihr Wissen stetig aktualisieren und ihrer Sorgfaltspflicht nachkommen.

Böhmer: Nach welchen Kriterien wählen Sie die Referenten für Weiterbildungsformate aus?

Liebmann: Bei der Auswahl der Referenten für Weiterbildungsformate stehen fachliche Expertise, Praxiserfahrung und didaktische Kompetenz im Mittelpunkt. Fachleute aus Bildungseinrichtungen, der Energie- und Versorgungswirtschaft, der Rechtswissenschaft sowie aus den Bereichen Coaching und Motivation bringen unterschiedliche Perspektiven ein, die eine wissenschaftlich fundierte und anwendungsorientierte Wissensvermittlung ermöglichen. Diese interdisziplinäre Zusammensetzung gewährleistet, dass theoretische Grundlagen mit aktuellen regulatorischen Entwicklungen und praxisnahen Lösungsansätzen verknüpft werden, um eine direkte Umsetzung im beruflichen Kontext zu fördern.

Böhmer: Welche Rückmeldungen erhalten Sie von Teilnehmern bezüglich des Mehrwerts Ihrer Weiterbildungsformate?

Liebmann: Feedback hat für uns einen hohen Stellenwert. Für jede Veranstaltung – ob Seminar, Infotag, Tagung oder Kongress – führen wir systematische Feedbackauswertungen durch. Die Rückmeldungen fließen direkt in die Weiterentwicklung unserer Formate, Inhalte und Methoden ein. So stellen wir sicher, dass unser Weiterbildungsangebot kontinuierlich an Mehrwert gewinnt und den Bedürfnissen der Teilnehmer entspricht. Besonders freuen wir uns über die positiven Rückmeldungen zufriedener Teilnehmer, die den direkten Nutzen unserer Veranstaltungen in ihrem Arbeitsalltag bestätigen.

Böhmer: Vielen Dank für das informative Interview!

Fazit: Investition in Weiterbildung zahlt sich aus

Eine kontinuierliche Weiterbildung ist der Schlüssel zu mehr Sicherheit, höherer Bauqualität und zufriedeneren Mitarbeitern im Hoch- und Tiefbau. Sie hilft, Fehler zu vermeiden, Schadenhäufigkeiten zu reduzieren und das Sicherheitsbewusstsein zu stärken. Besonders in Bereichen wie Schadensachbearbeitung, Gütesicherung und erneuerbaren Energien ist fundiertes Wissen essenziell. Unternehmen, die in die Weiterbildung ihrer

Fachkräfte investieren, profitieren langfristig von höherer Produktivität und Mitarbeiterbindung. Zudem trägt eine umfassende Qualifizierung dazu bei, sich an neue gesetzliche Anforderungen und technologische Entwicklungen anzupassen. In einer Branche, die sich stetig modernisiert und zunehmend mit Zukunftstechnologien arbeitet, ist es entscheidend, auf dem neuesten Stand zu bleiben, um Wettbewerbsfähigkeit zu sichern und gleichzeitig die Sicherheit und Qualität der Bauprojekte zu gewährleisten.

Gerit Liebmann ist Diplom-Betriebswirtin und seit 25 Jahren mit Leidenschaft in der beruflichen Weiterbildung aktiv. Seit 2002 gestaltet sie die Weiterbildungsangebote von EW Medien und Kongresse – angefangen als Projektleiterin bei der BDEW Akademie, über die Organisation von Tagungen mit rechtlichem Schwerpunkt bis hin zu großen Kongressen. In den letzten Jahren lag ihr Fokus verstärkt auf der konzeptionellen Arbeit als Leiterin Themenmanagement. Heute steht sie als Leiterin der BDEW Akademie an der Spitze eines engagierten Teams und entwickelt innovative Bildungsformate für die Branche. Ihr Leitspruch ist »Weiterbildung ist der Schlüssel zu Fortschritt – für Unternehmen wie für jeden Einzelnen«.

3.4 Die VFMEA-Methode – auf der Spur von Fehlern und Verschwendungen in Handwerks- und bauausführenden Betrieben

FOTO: SUSANNE FREITAG

Prof. Dr. Ralf Hörstmeier

»Wo gehobelt wird, da fallen Späne«, besagt ein Sprichwort. Der Wandel war in den letzten Jahren das Beständige. Private Kunden und öffentliche Auftraggeber sind kritischer und streitbarer geworden. Mitarbeiter suchen nach Betrieben mit gutem Betriebsklima und möchten kommunikativ eingebunden werden. Klimaschutz und Nachhaltigkeit nehmen an Bedeutung zu, steigern aber auch die betrieblichen Bürokratieaufwendungen. Alles nachvollziehbare Gründe, um die Aufwendungen für Fehler und Verschwendungen zu reduzieren und wirtschaftliche Vorteile zu nutzen, damit mehr Geld vom Umsatz bleibt. Für Prof. Dr.-Ing. Ralf Hörstmeier waren diese sprichwörtlichen Späne vor mehr als zehn Jahren der Anlass, die VFMEA-Methode zu entwickeln. Seitdem unterstützt er Handwerk und Kleinunternehmen aller Branchen dabei, die Methode im Unternehmensalltag umzusetzen und so Zeit und Geld zu sparen. Denn VFMEA steht für Verschwendungs-, Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse und zeigt die kleinen und großen Mankos in Betrieben auf. Hilfe mit und zur Selbsthilfe ist dabei die Devise.

Die Idee zu der Methode entstand 2013 in seiner Zeit als Professor an der Hochschule Bielefeld. Die praxisnahe Ingenieurausbildung führte ihn mit Projekten und Studierenden in verschiedene Unternehmen. Über viele Jahre bekam er so Einblicke in die Aufwendungen von Betrieben bei der Bekämpfung von Fehlern und Verschwendungen. Der Aufwand war stets mit erheblichen Kosten und Personalressourcen verbunden. Da das wirtschaftliche Rückgrat auch von Handwerk und Kleinunternehmen gebildet wird, entstand die Idee zur VFMEA: die Entwicklung eines praxisgerechten Werkzeugs zur Optimierung von Betriebsabläufen. Wichtige Zielvorgaben waren: geringer Aufwand, verständliche Strukturen, kurze Projektzeit, kein zusätzliches Personal, Integration aller im Betrieb tätigen Personen und eine nutzbare, übersichtliche Dokumentation. Zahlreiche Projektpartner waren in der Konzeptphase unterstützend dabei, um die Idee in der Praxis zu einem erfolgreichen Instrument zu schmieden:

- die Steinbeis-Organisation in Stuttgart,
- Handwerkskammern und Handwerksorganisationen,
- die Industrie- und Handelskammer Ostwestfalen zu Bielefeld,
- die Hochschule Bielefeld,
- der VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V.,
- die Vereinigung der Selbständigen (VdS) im Kreis Herford,
- Wirtschaftsförderer und Pilotprojektpartner aus unterschiedlichen Branchen.

Die erste öffentliche Vorstellung am Steinbeis-Tag im September 2013 in Stuttgart traf auf große Resonanz und gab den Startschuss zur Umsetzung. Nach ersten Pilotprojekten in unterschiedlichen Branchen standen anfangs Fehler und Verschwendungen im Fokus. Später kamen Themen wie Nachhaltigkeit und Unternehmenskultur hinzu. Gerade in Zeiten von Nachwuchsmangel gewinnt die Unternehmenskultur – Wie fühlen sich Mitarbeiter eingebunden? – an Bedeutung. Die Entwicklung der VFMEA lässt sich im Internet[1] auch anhand der Referenzen nachvollziehen.

Nicht alle betrieblichen Verschwendungen sind im Blick

Was sind überhaupt Verschwendungen? In Startgesprächen mit Unternehmen werden zumeist nur zögerlich wenige Verschwendungen genannt. Natürlich sind die betrieblichen Gegebenheiten unterschiedlich, abhängig von Branche und Größe. Die Aussage »Sieben von dreizehn auf einen Streich« hört sich märchenhaft an, ist aber konkrete Erfahrung. Dies bedeutet: Es werden 13 inhaltliche Bereiche von Fehlern und Verschwendungen ausgemacht. Daraus entwickelt sich im Verlauf der Realisierung in fast jedem Betrieb eine Auswahl von sieben Bereichen. Dabei gibt es einen Dauerbrenner: das Thema Kommunikation. Dies umfasst die Kommunikation im Betrieb, zwischen Betriebsleitung und Mitarbeitern, unter den Mitarbeitern, mit der Kundschaft und den Auftraggebern. In den Startgesprächen fällt häufig der Satz: »Bei uns ist alles in Ordnung.« Nach Einführung der VFMEA heißt es dann: »Das hätte ich nicht gedacht.«

Die betriebsweite Fehlerkultur ist häufig ein Stiefkind. Lückenhafte Analyse oder fehlende Aufrichtigkeit sind der Nährboden für Wiederholfehler, eine der folgenschwersten Fehlerarten. Das VFMEA-Konzept führt nach etwa fünf Gesprächsterminen zu einem Ergebnis, das wie das Öffnen einer Schatzkiste ist – voller Überraschungen. Nur wenige Branchen verfügen über Berichte zur Entwicklung und Auswirkung von Schäden/Fehlern und Verschwendungen wie es in der Baubranche üblich ist. Die Bauschadenberichte[2] der VHV Allgemeine Versicherung AG unter Bearbeitung des Instituts für Bauforschung e.V. in Hannover geben Einblick in die Details und bestätigen die Dringlichkeit

1 Vgl. Die VFMEA-Methode: Hilfe mit und zur Selbsthilfe. www.vfmea.de [abgerufen am: 11.03.2025]

2 VHV Allgemeine Versicherung AG (Hrsg.): VHV-Bauschadenbericht Hochbau 2019/20 ff. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2020

und den Handlungsbedarf. Hier kann die VFMEA-Methode effektiv unterstützen. Einige Kammern begleiten die VFMEA-Projekte bei ihren Mitgliedern. Das Beraterteam der Handwerkerorganisationen kann nach Einweisung die Methode selbst durchführen. So können noch mehr Betriebe davon profitieren.

Einsicht und Entscheidung – die Methode nimmt alle Mitarbeiter mit

Es braucht den Anstoß für eine neue Art der Herangehensweise an diese Themen – dieser muss aus der Führungsebene kommen.

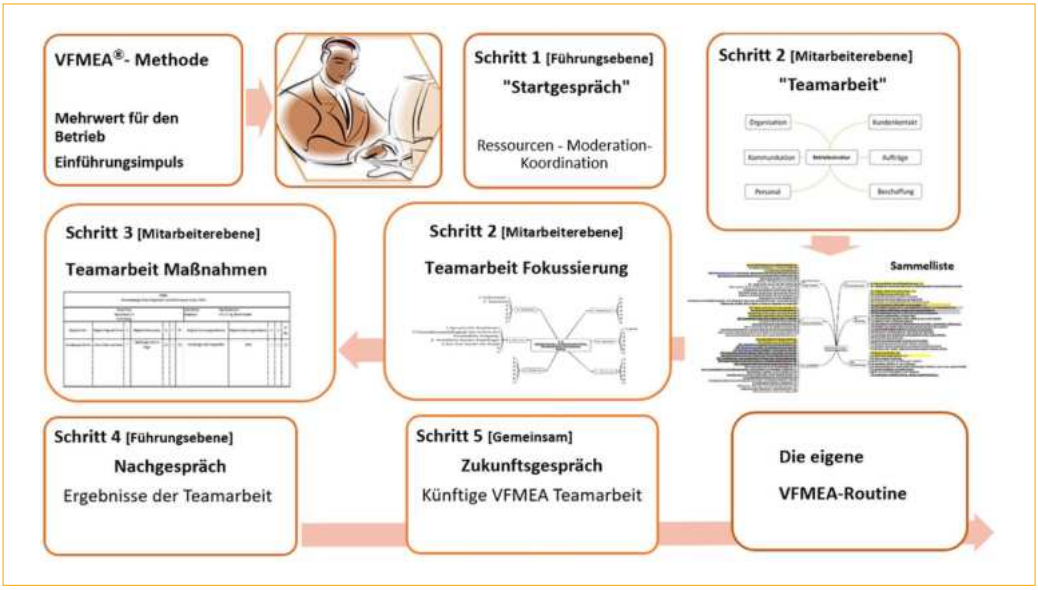


Abb. 01: Bewährte Projektschritte im Ablauf der VFMEA-Methode [Quelle: Prof. Dr.-Ing. Ralf Hörstmeier]

Mit der Systematik einer Betriebsstruktur wird dann häufig erstmalig eine Gesprächsgrundlage im Betrieb geschaffen. Ein besonderes Merkmal der VFMEA-Methode ist der ganzheitliche Ansatz. Beim Erstellen einer ersten Fehler- und Verschwendungssammelliste werden bereits Resultate erkennbar. Auf einmal wird etwas sichtbar, nach dem immer schon gesucht wurde. Jeder Punkt auf der Liste erhält eine Kennzeichnung, die dauerhaft erhalten bleibt, auch wenn das Problem zwischenzeitlich ganz oder teilweise gelöst wurde (Abb. 02). Damit hat der Betrieb nicht nur eine übersichtliche Dokumentation, sondern die gesamte Historie ist nachlesbar. So kann sich auch neues Personal schnell kundig machen. Dies wird als zusätzliche Unterstützung zur Vermeidung von Wiederholfehlern akzeptiert. Ein bewährtes Merkmal der Methode liegt in der Einbin-

dung der Mitarbeiter – sie können ihr häufig erstaunliches Detailwissen konstruktiv einbringen. Damit wird automatisch eine breite Akzeptanz geschaffen, um die vorhandenen Fehler und Verschwendungen gemeinsam zu beseitigen und künftige Probleme zu vermeiden. Es sind dabei nicht immer die großen Dinge: Manchmal ›nerven‹ kleinste Dinge und ›vergiften‹ das Betriebsklima. Respekt und gegenseitige Unterstützung sind die Basis für effiziente Leistungserbringung.

Die klare Strukturierung der Sammelliste und ein gemeinsames Ranking geben den Blick auf die wichtigen Details des Betriebs frei. Mit dieser Perspektive ist auch das Prinzip ›Hilfe mit und zur Selbsthilfe‹ bestens umsetzbar. Einige Betriebe können auf den Ergebnissen der VFMEA-Methode selbstständig aufbauen und das Konzept weiterhin pflegen. Andere Betriebe nutzen die Unterstützung des VFMEA-Teams in vereinbarten Zeitabständen, um eine Aktualisierung oder Belebung zu erhalten. Die Projekterfahrung zeigt, dass dies auch bei Personalwechsel oder Betriebsnachfolge eine gute Hilfestellung ist.

Der Ratschlag kann nur heißen: Betriebe sollten das Gespräch, also die Kommunikation nutzen. Mögliche Hürden sind zu überwinden. Im Vordergrund steht die Zukunft des Betriebs.

Häufig bringen die Startgespräche bereits konkrete Anregungen für schnelle Maßnahmen in den Betrieben.

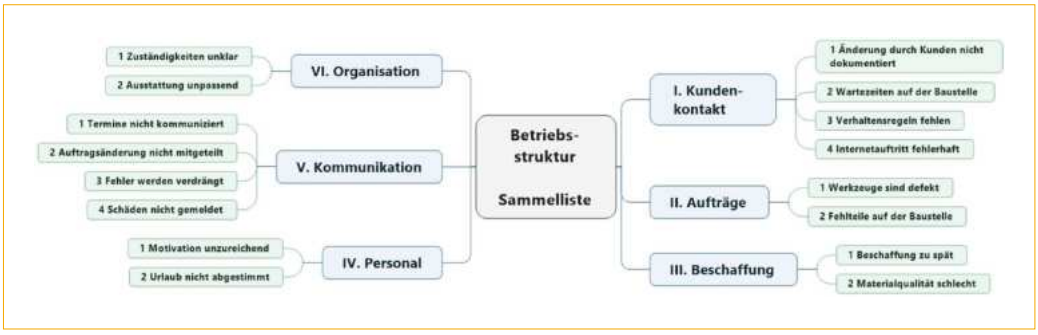


Abb. 02: Fehler- und Verschwendungssammelliste im Rahmen der Betriebsstruktur (Muster) [Quelle: Prof. Dr.-Ing. Ralf Hörstmeier]

Digitalisierung kann unterstützen

Die Unternehmen der Zielgruppe sind sehr unterschiedlich aufgestellt. Die VFMEA-Methode lässt sich jedoch individuell an die Verhältnisse vor Ort anpassen. Vielfach werden bei der Anwendung auch Schwachstellen erkannt, die dann gezielt mit dem Einsatz

von digitalen Instrumenten gelöst werden können. Der ganzheitliche Ansatz der Methode führt auch zu Erkenntnissen, die spezielle Beratungen durch Beratungsbüros oder Handwerkskammern anstoßen. Immer mehr Betriebe befinden sich verstärkt im Ausbau der Digitalisierung, damit laufen zahlreiche Änderungsprozesse effizienter und übersichtlicher ab.

Unabhängig vom Grad der Digitalisierung haben bisher alle Betriebe vom Projekt VFMEA profitiert. Stets bleibt aber der Faktor Mensch zu berücksichtigen. Die Projekterfahrung zeigt, dass der Großteil der Fehler und Verschwendungen auf der menschlichen Seite liegt.

Die VFMEA-Methode schafft häufig die Transparenz der Ursachen. Jeder Punkt der Fehler- und Verschwendungssammelliste wird nicht nur bezüglich seines Einflusses auf Abläufe und Kosten eingeordnet und gerankt, sondern auch mit Ursache-Wirkungs-Ansätzen im Team analysiert.

Damit ist sichergestellt, dass die Prozesse hinterfragt werden und im Zuge von Optimierungsmaßnahmen im Fokus bleiben. Durch die Vielfalt der Betriebe des Handwerks und der Kleinunternehmen gibt es nur selten standardisierte Lösungsansätze.

Fazit und Ausblick

Die ersten zehn Jahre der VFMEA-Methode sind eine Erfolgsgeschichte. Gemeinsam mit Partnern geht die Anwendung der Methode in die Breite. Alle Betriebe können von den Vorteilen profitieren. In Zukunft sollen die Nutzer eine ergänzende App und Handreichungen wie beispielsweise Ablaufpläne erhalten, damit das Prinzip ›Hilfe mit und zur Selbsthilfe‹ noch stärker unterstützt wird.

Professor Dr.-Ing. Ralf Hörstmeier war 30 Jahre an der Hochschule Bielefeld im Fachbereich Maschinenbau tätig. Neben der Lehre in den Fächern Materialfluss und Qualitätsmanagement war er in der praxisnahen Forschung engagiert. Einen besonderen Schwerpunkt bildeten Themen aus dem Bereich Mensch und Technik. Neben diesen Tätigkeiten hat er sich im VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. ehrenamtlich eingebracht. Für seine unternehmerischen Tätigkeiten fand er in der Steinbeis-Beratungszentren GmbH in Stuttgart eine innovative Umgebung. Besonders die speziellen Belange im Handwerk und in Kleinbetrieben waren und sind im Blick gezielter Entwicklungen.

2

4 AKTUELLE SCHADENANALYSE

Am Anfang des vorliegenden Bauschadenberichts »Infrastruktur der Zukunft« 2024/25 stand eine umfangreiche Datenermittlung, die einen wesentlichen Aspekt der gesamten Bearbeitung darstellt. Hierfür wurden von den VHV Versicherungen rund 130.000 anonymisierte Datensätze aus den Jahren 2019 bis 2023 zur Auswertung zur Verfügung gestellt. Aus diesem Datenpool wurden alle Datensätze zu Schäden aus den Bereichen Tiefbau und unterirdische Versorgungsinfrastrukturen herausgefiltert, die als Grundlage für die weitere Bearbeitung dienten. Die so generierte Datenbasis umfasst insgesamt 27.305 Datensätze, die neben Schäden an unterirdischen Infrastrukturen für die Kommunikations-, Wärme- und Energieversorgung auch Schäden an Verkehrswegen und Verkehrsbauwerken, Schäden am Baugrund und Umweltschäden betreffen.

4.1 Entwicklung der Schadenzahlen und Schadenkosten

Einen ersten Überblick über die aktuellen Schadenzahlen aus den Jahren 2019 bis 2023 bietet die Grafik in Abb. 01. Hier wird die Entwicklung der Schadenzahlen aus dem Bereich der Berufs- und Betriebshaftpflichtversicherungen (HV) über einen Zeitraum von fünf Jahren dargestellt.

Demnach liegt der Mittelwert über den gesamten Betrachtungszeitraum bei 5.461 gemeldeten Schadenfällen, wobei für alle fünf Jahre erhebliche Abweichungen von diesem Wert nach oben bzw. nach unten festzustellen sind. Insgesamt ist für den Betrachtungszeitraum ein leichter Rückgang der gemeldeten Schadenfälle um rund 2 Prozent (2,25 Prozent) zu verzeichnen. Die Auswertung der einzelnen Jahre zeigt dagegen zum Teil erhebliche Schwankungen mit Ausschlägen nach oben und nach unten. So bleibt die Anzahl der gemeldeten Schadenfälle in den Jahren 2019 und 2020 ungefähr stabil, während im Folgejahr die Meldungen erheblich zurückgehen und den niedrigsten Wert des Betrachtungszeitraums erreichen. In den Jahren 2022 und 2023 ist dagegen wieder ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen, sodass am Ende des Betrachtungszeitraums wieder fast der Ausgangswert der gemeldeten Schadenfälle erreicht ist.

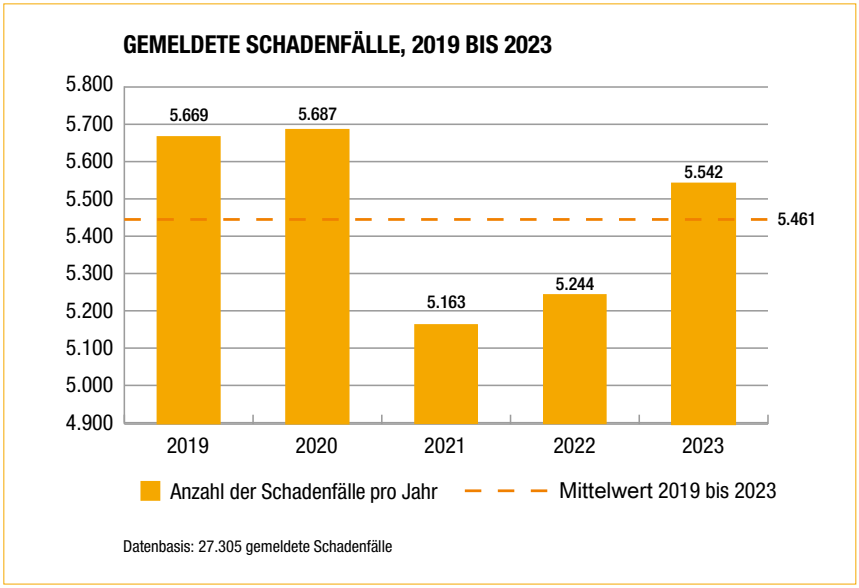


Abb. 01: Anzahl der gemeldeten Schadenfälle, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Um eine Erklärung für das mehr oder weniger abrupte Absinken der gemeldeten Schadenfälle im Jahr 2021 zu finden, wurden die vorliegenden Unterlagen genauer unter die Lupe genommen, was aber zu keinem konkreten Ergebnis führte. Es ist lediglich festzustellen, dass in diesem Jahr insgesamt weniger Schadenfälle gemeldet worden sind, wobei aber das jeweilige Verhältnis von Schadenanzahl zu Schadenart (vgl. Kap. 4.2 »Entwicklung der Schadenarten«), Schadenursache (vgl. Kap. 4.3 »Entwicklung der Schadenursachen«) und Schadenstelle (vgl. Kap. 4.4 »Entwicklung der Schadenstellen«) dem der anderen Jahre des Betrachtungszeitraums gleicht bzw. ähnelt.

Möglicherweise lässt sich der Rückgang der gemeldeten Schadenfälle aber, zumindest teilweise, auf die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie zurückführen. Nach Untersuchungen des DIW Berlin[1] kam es vor allem im Jahr 2020 zu einem Rückgang der Tiefbaumaßnahmen, nachdem in den vorherigen Jahren noch deutliche Wachstumsraten zu verzeichnen waren. Diese pandemiebedingte Auftragsschwäche (unter anderem aufgrund einer verringerten Nachfrage durch kommunale und gewerbliche Bauherren) hatte eine verringerte Bautätigkeit zur Folge, was im darauffolgenden Jahr 2021 mutmaßlich zu weniger Bauschäden und damit zu geringeren Schadenmeldungen geführt haben

1 Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (DIW Berlin): Bauwirtschaft trotzt der Corona-Krise – dennoch ruhigeres Geschäft im Jahr 2021. DIW Wochenbericht 1/2 / 2021, S. 3 – 14. https://www.diw.de/de/diw_01.c.808427.de/publikationen/wochenberichte/2021_01_1/bauwirtschaft_trotzt_der_corona-krise_____dennoch_ruhigeres_geschaeft_im_jahr_2021.html [abgerufen am: 16.01.2025]

könnte. Gemäß DIW Berlin[2] sind für die Jahre 2021 und 2022 wieder leichte Zuwachsraten bei den Auftragseingängen prognostiziert worden, was sich mit den in den Folgejahren ebenfalls wieder leicht steigenden Schadenmeldungen decken würde.

Ob sich der grundsätzliche Trend der zunehmenden Schadenzahlen verfestigt, ist anhand dieser Auswertung allerdings nicht absehbar. Da ein – in diesem Zusammenhang – recht kurzer Zeitraum von fünf Jahren betrachtet wird, können wirkliche Tendenzen naturgemäß nicht abgebildet werden. Darüber hinaus sei auch noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich hier ausschließlich um Daten der VHV Versicherungen handelt und damit kein repräsentatives Gesamtbild sämtlicher bei allen Versicherungen gemeldeten Schadenfälle dargestellt wird.

Trotzdem ist es möglich, den Betrachtungszeitraum zumindest ein wenig zu erweitern. Dafür wird auf die entsprechenden Auswertungen der ersten beiden VHV-Tiefbauberichte[3, 4] zurückgegriffen, in denen die Entwicklung der Schadenzahlen von 2015 bis 2019 und von 2017 bis 2021 untersucht werden. Mit diesen Daten stehen vergleichbare Zahlen als Erweiterung der aktuellen Betrachtung über einen Zeitraum von nun neun Jahren zur Verfügung, die in der Grafik in Abb. 02 zusammengeführt werden. Dabei zeigt sich eine gewisse Gleichmäßigkeit bei Rückgang und Zunahme der Schadenfälle.

Hier ist zu ergänzen, dass bei den Tiefbautätigkeiten seit Jahren ein kontinuierlicher Zuwachs zu verzeichnen ist, die vorab beschriebene »Corona-Delle« einmal ausgenommen. Dieser Sachverhalt ist unter anderem auf notwendige Reparaturarbeiten an den häufig veralteten Versorgungsleitungen zurückzuführen. Vor allem aber besteht im Bereich der Telekommunikationsinfrastruktur deutschlandweit ein großer Ausbaubedarf. Da bei zunehmender Bautätigkeit auch mit zunehmender Schadenhäufigkeit zu rechnen ist, können steigende Schadenzahlen im Grunde nicht überraschen.

2 Vgl. DIW Berlin, 2021, S. 3 – 14

3 VHV Allgemeine Versicherung AG (Hrsg.): VHV-Bauschadenbericht Tiefbau und Infrastruktur 2020/21. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2021

4 VHV Allgemeine Versicherung AG (Hrsg.): VHV-Bauschadenbericht Tiefbau und Infrastruktur 2022/23. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2023

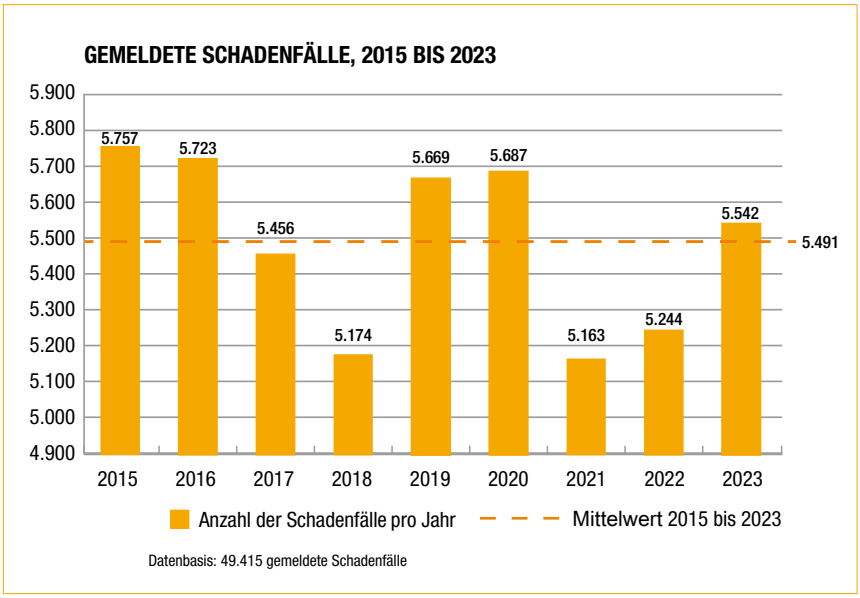


Abb. 02: Anzahl der gemeldeten Schadenfälle, 2015 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Bei der Interpretation der Schadenzahlen ist zu berücksichtigen, dass die derzeit vorliegenden bzw. gemeldeten Schadenzahlen aller Wahrscheinlichkeit nach nicht die endgültigen Zahlen darstellen. Bei einem relativ kurzen Betrachtungszeitraum von 5 Jahren ist auch später noch mit (Nach-)Meldungen weiterer Schadenfälle zu rechnen, beispielsweise während der Gewährleistungsphase. Aus diesem Grund ist bei einer Schadenanalyse neben dem Meldejahr, also dem Zeitpunkt der Schadenmeldung beim Versicherer, auch das Schadenjahr, also der Zeitpunkt des Schadenereignisses, zu beachten.

Die entsprechende Untersuchung der vorliegenden Schadenfälle ergibt, dass rund drei Viertel aller Schäden im Jahr des Auftretens gemeldet werden; hier entspricht das Meldejahr dem Schadenjahr. Bei rund einem Fünftel der Schadenfälle liegt zwischen Schadenereignis und Schadenmeldung ein Jahr (bzw. 12 bis 23 Monate), während noch ungefähr 2 Prozent der Schadenfälle nach rund 2 Jahren (24 bis 35 Monate) gemeldet werden. Dass die Schadenmeldung nach fünf oder mehr Jahren erfolgt, kommt dagegen sehr selten vor (vgl. Abb. 03).

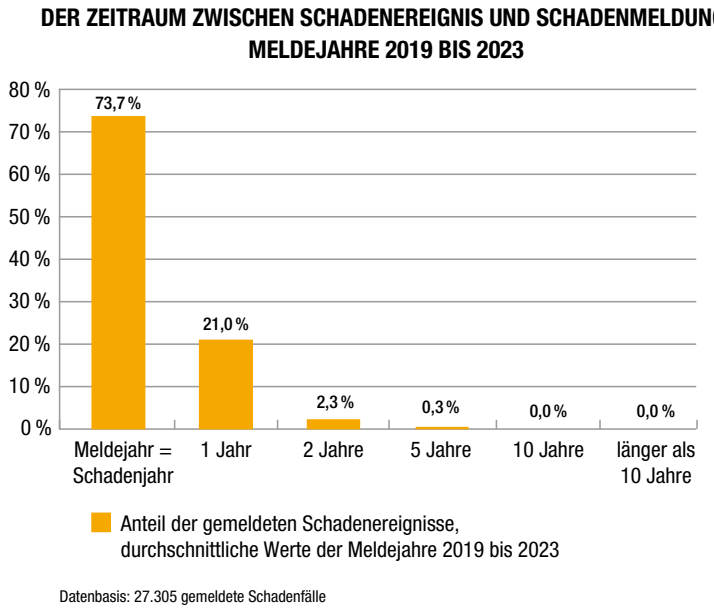


Abb. 03: Zeitraum zwischen Schadenereignis und Schadenmeldung, Meldejahre 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Hieraus ergibt sich, dass die vorliegenden Schadenzahlen nicht nur geschlossene Schadenfälle enthalten, sondern auch Schadenfälle, die sich noch in Bearbeitung befinden. Unter Berücksichtigung dieser Umstände wird der Zeitraum zwischen dem Schadenereignis, also dem Auftreten des Schadens, und der Schadenmeldung, also dem Erkennen und Melden beim Versicherer, noch einmal genauer untersucht. Wie der Grafik in Abb. 04 zu entnehmen ist, gibt es diesbezüglich zum Teil erhebliche Unterschiede zwischen den geschlossenen und den noch offenen Schadenfällen.

So beträgt bei den im Meldejahr abgeschlossenen Schadenfällen (Meldejahr = Schadenjahr) die Dauer zwischen Schadenereignis und Schadenmeldung über den gesamten Betrachtungszeitraum gesehen durchschnittlich rund 4,5 Monate. Die tatsächlichen Werte der Jahre 2019 bis 2023 liegen jeweils nur geringfügig darüber oder darunter und bleiben damit im Wesentlichen stabil. Ganz anders verhält es sich bei den im jeweiligen Meldejahr noch nicht abgeschlossenen Schadenfällen, denn hier liegt zwischen Schadenereignis und Schadenmeldung mit durchschnittlich 6,5 Monaten ein wesentlich längerer Zeitraum als bei den geschlossenen Schadenfällen. Darüber hinaus ist über den gesamten Betrachtungszeitraum ein deutliches Absinken der Dauer zu erkennen. Diese beträgt im Meldejahr 2019 durchschnittlich 6,8 Monate, im Meldejahr 2023 dagegen nur noch durchschnittlich 5,8 Monate (vgl. Abb. 04).

Aus diesen Daten lässt sich möglicherweise ein Zusammenhang ableiten, der zwischen der »Meldedauer« und dem Umfang eines Schadenfalls besteht. So sind Schadenfälle, die relativ schnell erkannt werden (zum Beispiel offensichtliche Schäden), offenbar auch schnell zu beheben und damit abzuschließen. Schadenfälle, die dagegen erst nach längerer Zeit erkannt werden (zum Beispiel verdeckte Schäden), befinden sich demnach auch länger in Bearbeitung. Ein Grund hierfür könnte die Komplexität der Schäden sein, die sich über einen längeren Zeitraum entwickeln konnten.

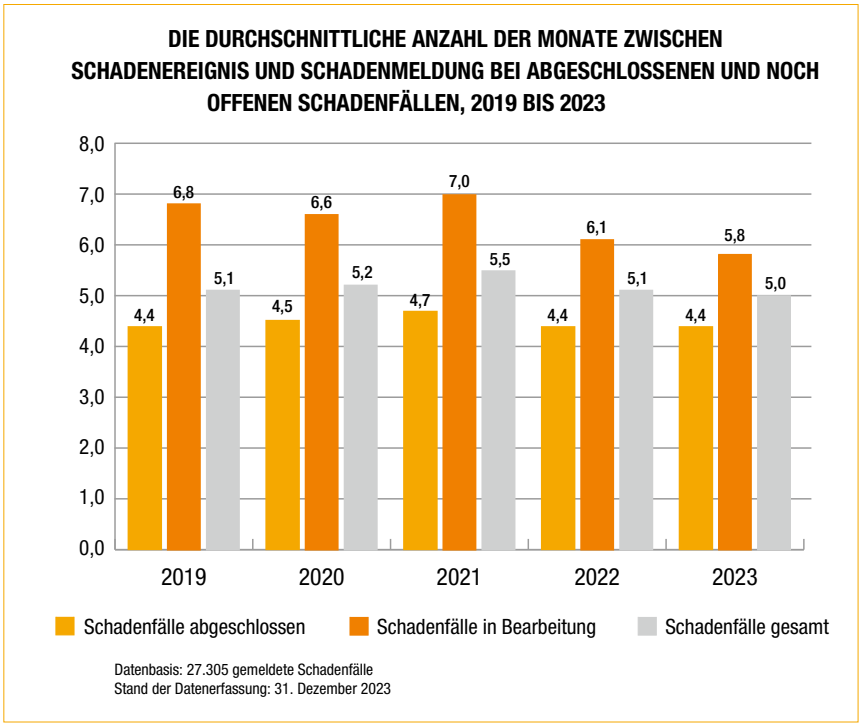


Abb. 04: Durchschnittliche Anzahl der Monate zwischen Schadenereignis und Schadenmeldung bei geschlossenen und noch offenen Schadenfällen, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Einen Überblick über das Verhältnis von geschlossenen zu noch offenen Schadenfällen zum Stichtag 31. Dezember 2023 (Stand der Datenerhebung) liefert die Grafik in Abb. 05. Die Bearbeitungsquote bezieht sich auf die im jeweiligen Jahr gemeldeten Schadenfälle.

Wie der Grafik zu entnehmen ist, ändert sich die Relation von den geschlossenen zu den noch offenen Schadenfällen über den Untersuchungszeitraum deutlich. So sind von den im Jahr 2019 gemeldeten Schadenfällen zum Stichtag rund 70 Prozent abgeschlossen bzw. fertig bearbeitet, während die Bearbeitungsquote der in den Folgejahren gemeldeten Schadenfälle kontinuierlich absinkt und für die im Jahr 2023 gemeldeten Schadenfälle bei rund 58 Prozent liegt. Der Anteil der noch offenen bzw. in Bearbeitung befindlichen Schadenfälle steigt dagegen mit zunehmender Aktualität des Meldejahrs entsprechend an.

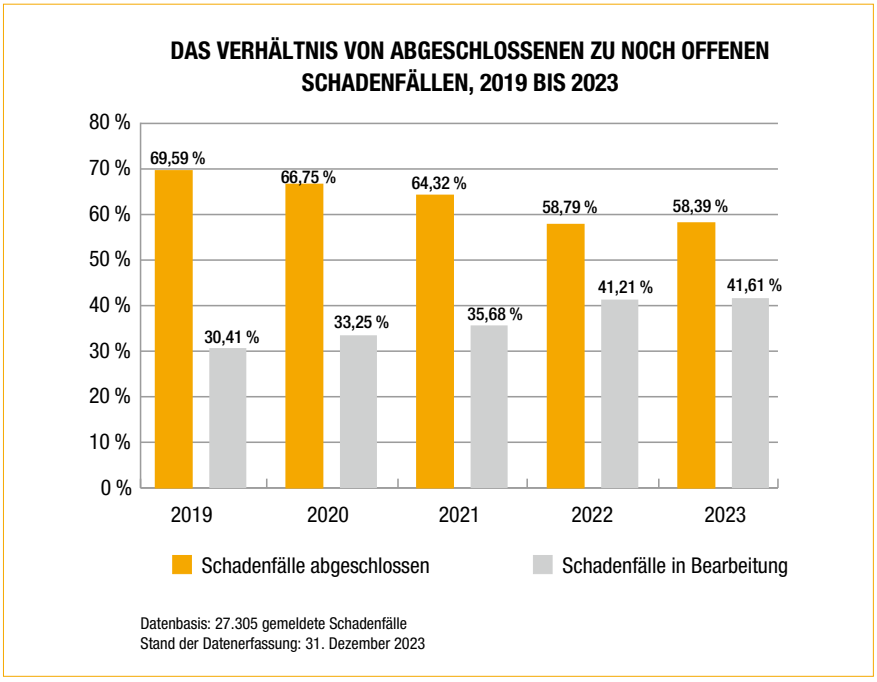


Abb. 05: Verhältnis von abgeschlossenen zu noch offenen Schadenfällen, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Zu einer vollständigen Beschreibung der Entwicklung der Schadenfälle gehört neben der Betrachtung der Schadenzahlen auch die der anfallenden Aufwendungen (»Schadenkosten«). Wie die Grafik in Abb. 06 zeigt, steigen diese über den gesamten Betrachtungszeitraum kontinuierlich an. Liegt der Gesamtaufwand im Jahr 2019 noch bei 16,5 Millionen Euro, so beträgt er ein Jahr später schon rund 19 Millionen Euro und steigt bis zum Jahr 2023 auf weit über 23 Millionen Euro pro Jahr an. Auf den gesamten Betrachtungszeitraum bezogen entspricht das einem Anstieg von mehr als 40 Prozent.

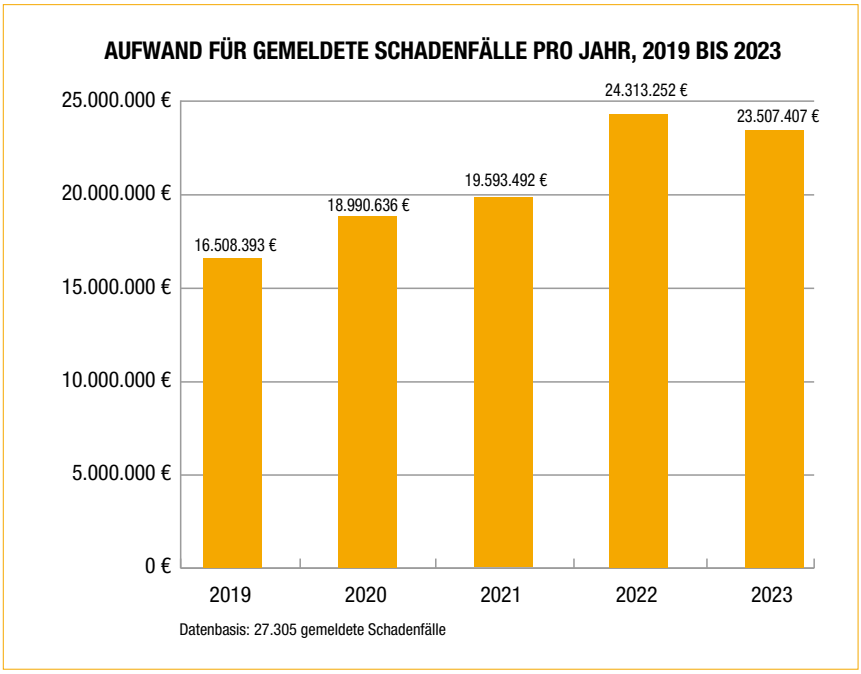


Abb. 06: Aufwand für die gemeldeten Schadenfälle pro Jahr, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

In diesem Zusammenhang soll kurz auf die Unterschiede eingegangen werden, die die Aufwendungen für geschlossene und noch offene Schadenfälle betreffen. Wie in Abb. 07 zu erkennen ist, sind bei den im Meldejahr abgeschlossenen Schadenfällen (Meldejahr = Schadenjahr) sowohl die Schadenzahlen als auch die Schadenkosten tendenziell rückläufig, einzig im Jahr 2023 gibt es hier einen »Ausreißer« nach oben. Über den gesamten Betrachtungszeitraum geht die Anzahl der Schadenfälle um rund 18 Prozent zurück, während die anfallenden Aufwendungen für die im Meldejahr abgeschlossenen Schadenfälle in ähnlichem Umfang um rund 19 Prozent sinken.

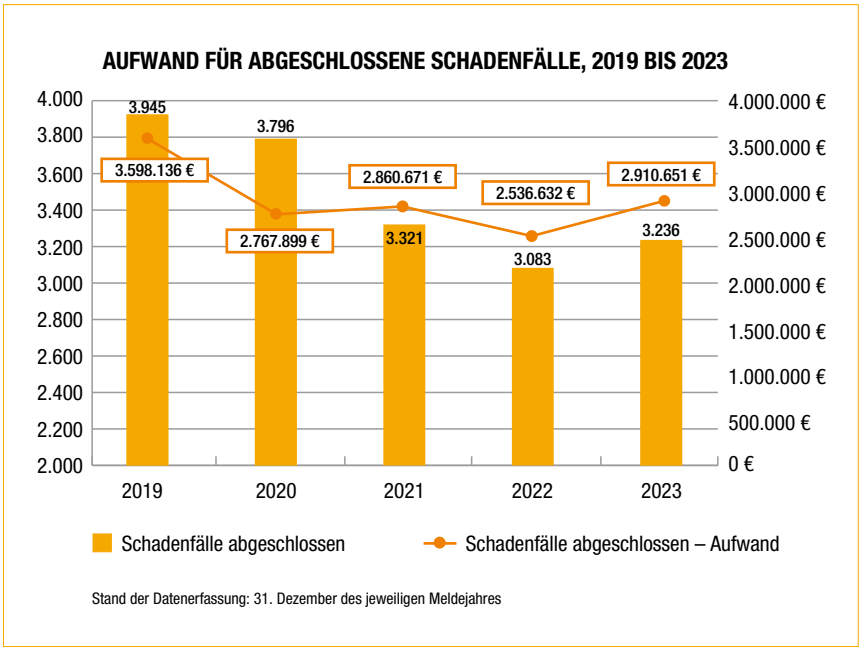


Abb. 07: Aufwand für abgeschlossene Schadenfälle, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Eine entgegengesetzte Entwicklung ist bei den anfallenden Aufwendungen für die Schadenfälle in Bearbeitung zu erkennen (vgl. Abb. 08). So zeigt sich über den gesamten Betrachtungszeitraum ein im Wesentlichen durchgehender Anstieg von rund 12,9 Millionen Euro im Jahr 2019 auf rund 20,6 Millionen Euro im Jahr 2023, was einem Zuwachs von rund 60 Prozent entspricht. Parallel dazu steigen auch die betreffenden Schadenzahlen an, wobei hier der Anstieg um rund 34 Prozent nicht ganz so deutlich ausfällt wie bei den Aufwendungen.

Damit zeigt sich, dass Schadenfälle, die erst nach längerer Zeit erkannt werden, im Durchschnitt nicht nur länger bearbeitet werden als schnell erkannte Schäden (siehe oben), sondern dass auch die Schadenkosten um ein Vielfaches höher liegen.

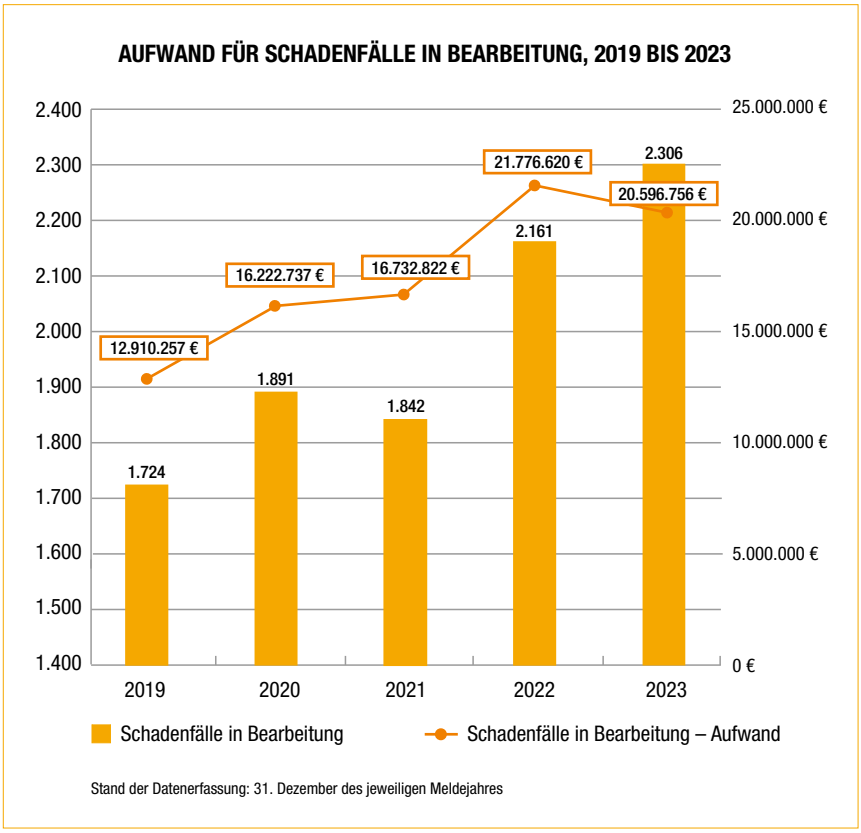


Abb. 08: Aufwand für Schadenfälle in Bearbeitung, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Eine Betrachtung der aufzuwendenden den Schadenkosten je Schadenfall ermöglicht die Grafik in Abb. 09. Hier wird gezeigt, dass – analog zu den Gesamtschadenkosten (vgl. Abb. 06) – auch bei den durchschnittlich pro Schadenfall und Jahr anfallenden Schadenkosten ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen ist. Dieser Anstieg verläuft über den gesamten Betrachtungszeitraum nahezu linear, bis auf einen leichten Rückgang im Jahr 2023. Insgesamt steigen die durchschnittlichen Aufwendungen von 2.912 Euro auf 4.242 Euro je Schadenfall und Jahr. Dies entspricht einem Gesamtanstieg von rund 46 Prozent über den gesamten Betrachtungszeitraum von 5 Jahren.

Diese Entwicklung ist aufgrund der Höhe der Steigerung und der daraus resultierenden Kosten für sich genommen schon bemerkenswert. Hier setzt sich allerdings auch ein Trend fort, der bereits im vorherigen Tiefbaubericht zu beobachten war.[5] Aus diesen

5 VHV Allgemeine Versicherung AG (Hrsg.): VHV-Bauschadenbericht Tiefbau und Infrastruktur 2022/23. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2023, S. 89

Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die Regulierung eines Tiefbauschadens offenbar immer höhere Kosten verursacht. Um diese These zu überprüfen, werden die vorliegenden Daten genauer betrachtet.

Wie aus Abb. 09 hervorgeht, sind für das Jahr 2019 rund 5.700 Schadenfälle gemeldet, wobei der hierfür anfallende durchschnittliche Aufwand bei rund 2.900 Euro je Fall und Jahr liegt; hierbei handelt es sich um die niedrigsten Schadenkosten des Betrachtungszeitraums. Im Folgejahr bleibt die Anzahl der gemeldeten Schadenfälle in etwa stabil, während die aufzuwendenden Schadenkosten deutlich ansteigen (plus 14,7 Prozent). Im Jahr 2021 dreht sich die Vorjahrestendenz teilweise um und die Anzahl der gemeldeten Schadenfälle fällt (minus 9,2 Prozent), während die Schadenkosten weiter steigen (plus 13,7 Prozent). Für das darauffolgende Jahr ist sowohl bei der Anzahl der gemeldeten Schadenfälle als auch bei den Schadenkosten ein Anstieg zu verzeichnen, wenn auch unterschiedlich stark. So steigen die Schadenzahlen eher gering an (plus 1,6 Prozent), während die Schadenkosten wesentlich stärker zulegen (plus 22,1 Prozent). Auch im Jahr 2023 steigen die Schadenzahlen weiter an (plus 5,7 Prozent), während die durchschnittlichen Aufwendungen im Vergleich zum Vorjahr abnehmen (minus 8,5 Prozent); mit Schadenkosten von rund 4.200 Euro je Fall und Jahr handelt es sich damit aber immer noch um die zweithöchsten durchschnittlichen Aufwendungen des Betrachtungszeitraums.

Insgesamt beläuft sich der Anstieg des durchschnittlichen Aufwands je Schadenfall pro Jahr über den Betrachtungszeitraum auf rund 46 Prozent, womit sich die Annahme der steigenden Aufwendungen für die Regulierung von Tiefbauschäden grundsätzlich bestätigt. Dies ist unter anderem auf die Entwicklung der Preise im Bauhauptgewerbe zurückzuführen, die im gleichen Zeitraum um rund 38 Prozent gestiegen sind.[6] Als Gründe für den starken Anstieg sind vor allem die ebenfalls stark gestiegenen Rohstoff- und Energiepreise zu nennen. Wie den Untersuchungen des Hauptverbandes der Deutschen Bauindustrie zu entnehmen ist, lagen im Jahr 2023 die Preise für Bitumen aus Erdöl im Jahresdurchschnitt um rund 45 Prozent und für Energie um rund 95 Prozent über dem Niveau von 2019.[7] Aber auch Materialknappheit und logistische Probleme wie unterbrochene Lieferketten, Personalmangel und verminderte Transportkapazitäten als direkte Folgen der COVID-19-Pandemie und des Ukrainekrieges tragen zu den erheblichen Kostensteigerungen bei. Darüber hinaus ist die Entwicklung der Baukosten und der Schadenkosten (Aufwendungen) immer auch in Verbindung mit der Entwicklung der Lohnkosten zu sehen. Wie Untersuchungen des Hauptverbands der Deutschen Bauindustrie zeigen[8], steigen die Tarifstundenlöhne und Lohnzusatzkosten im Bauhauptgewerbe seit dem Jahr 2007 kontinuierlich an, was zusätzlich zu einem

6 Vgl. https://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/publikationen/bauwirtschaft-im-zahlenbild [abgerufen am: 20.02.2025]

7 Vgl. ebd.

8 Vgl. ebd.

Anstieg der anfallenden Aufwendungen beiträgt. Die Grafik in Abb. 09 zeigt die Auswirkungen der hier beschriebenen Preisentwicklung im Baugewerbe auf die Entwicklung des durchschnittlichen Aufwands je Schadenfall pro Jahr sehr anschaulich.

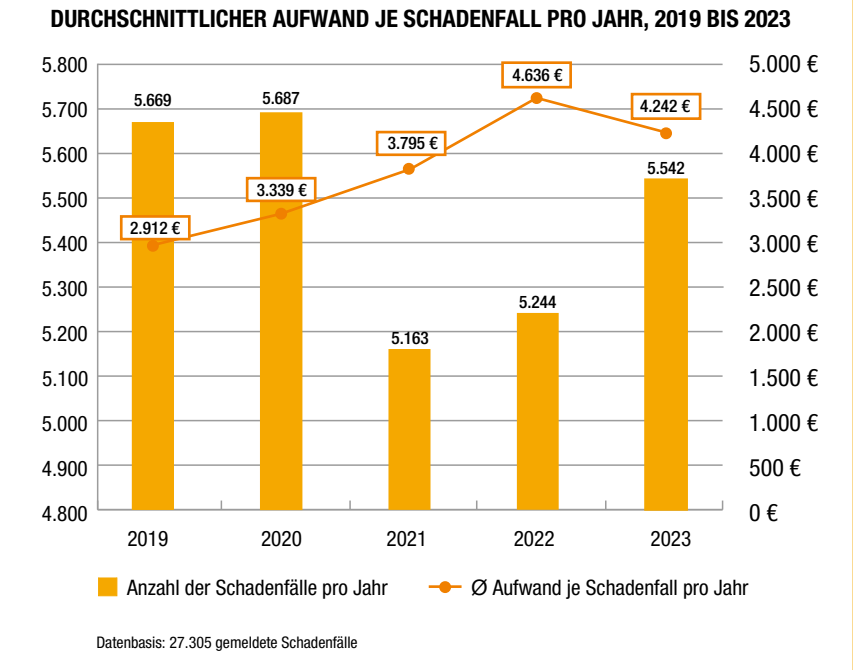


Abb. 09: Durchschnittlicher Aufwand je Schadenfall pro Jahr, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Im Zusammenhang mit den Aussagen zu Aufwendungen für die Regulierung von Schäden soll der Begriff »Aufwand« genauer erläutert werden. Hierbei handelt es sich um die Gesamtheit aller Kosten, die mit einer Schadenbeseitigung verbunden sind. Im Einzelnen setzen sich diese Kosten zusammen aus der versicherungstechnischen Rückstellung, den Regulierungskosten und der eigentlichen Zahlung.

Die versicherungstechnische Rückstellung wird auch Reserve genannt. Hierbei handelt es sich um Rückstellungen, die jeweils fallabhängig und als anfängliche Schätzung für noch nicht abgeschlossene Schadenfälle gebildet werden. Die Höhe der Summe wird spätestens nach sechs Monaten überprüft und gegebenenfalls angepasst.

Bei den Regulierungskosten handelt es sich um Kosten, die mit der eigentlichen Bearbeitung des Schadenfalls zu tun haben. Hierunter fallen zum Beispiel Kosten für beteiligte externe Personen oder Institutionen wie Anwälte oder Gutachter.

Die Zahlung steht am Ende einer Fallbearbeitung und umfasst die ermittelte Geldleistung, die zu zahlen ist.

Die grafische Darstellung der prozentualen Zusammensetzung der einzelnen Kostenkomponenten veranschaulicht eindrucksvoll deren Größenverhältnis zueinander und mag im ersten Moment überraschen. Wie aus Abb. 10 zu entnehmen ist, liegt der Kostenschwerpunkt eindeutig auf den Rückstellungen bzw. auf dem Anlegen von Reserven. Hierzu sind die Versicherer verpflichtet, um bereits eingetretene, aber noch nicht abgewickelte Schadenfälle abzudecken. Insgesamt entfallen auf die Rückstellungen jährlich durchschnittlich 79 Prozent des Gesamtaufwands, während der Anteil der tatsächlich geleisteten Zahlungen mit jährlich durchschnittlich 20 Prozent weitaus geringer ausfällt. Die Regulierungskosten schließlich stellen mit jährlich durchschnittlich 1,4 Prozent den geringsten Kostenanteil dar. Aus der Grafik geht weiterhin hervor, dass die ermittelten Zahlen und deren Größenverhältnis zueinander über den Betrachtungszeitraum im Wesentlichen stabil sind. Insgesamt ist aber zu erkennen, dass sich der Umfang der Rückstellungen über den Betrachtungszeitraum tendenziell erhöht.

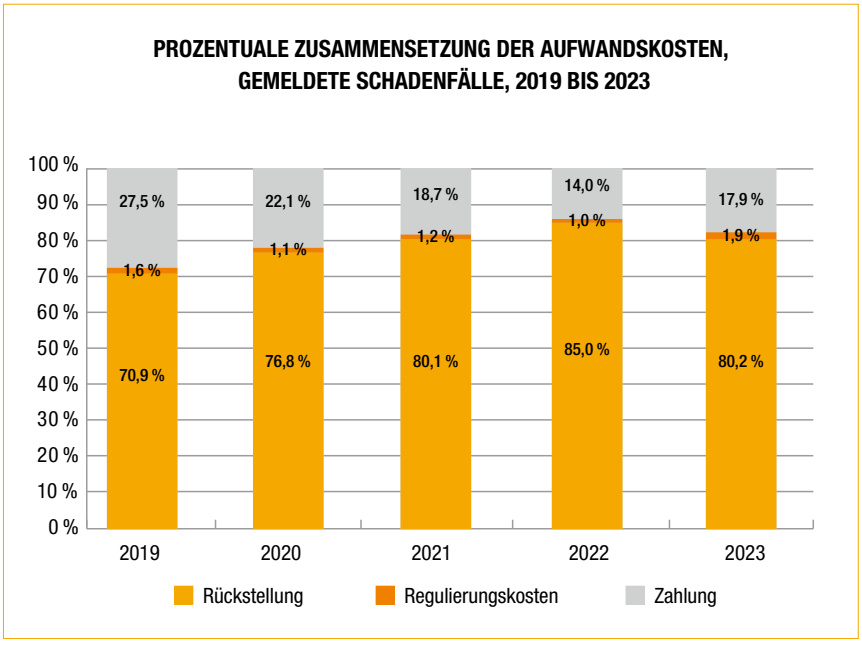


Abb. 10: Die prozentuale Zusammensetzung der Aufwandskosten aller gemeldeten Schadenfälle, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Abschließend soll der Umfang der einzelnen Kostenkomponenten je Schadenfall pro Jahr anhand konkreter Summen anschaulich dargestellt werden. Wie aus der Grafik in

Abb. 11 hervorgeht, sind die Regulierungskosten über den gesamten Betrachtungszeitraum relativ stabil, bis auf einen deutlichen »Ausreißer« nach oben im Jahr 2023. Bei den Zahlungen ist dagegen ein moderater Rückgang zu erkennen. Eine ganz andere Entwicklung zeigt sich bei den Rückstellungen, die zwischen 2019 und 2023 um fast 65 Prozent steigen.

Um diesen deutlichen Anstieg zu verstehen, der sich vor allem in den Jahren 2020 bis 2022 zeigt, wurden die vorliegenden Unterlagen erneut genauer untersucht. Für diese Jahre sind (stark) steigende Aufwendungen bei gleichzeitig sinkenden bzw. nur gering zunehmenden Schadenfällen dokumentiert worden (vgl. Abb. 09). Aus diesem Grund ist zu vermuten, dass die beschriebene Entwicklung bei den Rückstellungen mit der Art der Schäden in Verbindung stehen könnte. Entsprechende Untersuchungen und die Ergebnisse werden in Kapitel 4.2 »Entwicklung der Schadenarten« dargestellt.

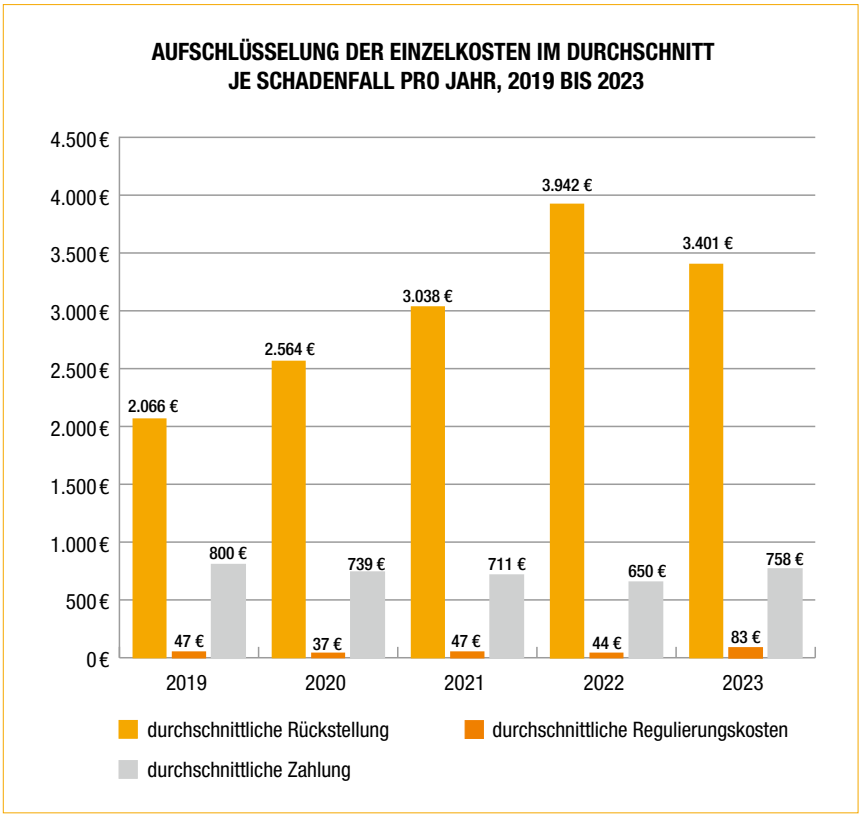


Abb. 11: Die Aufschlüsselung der durchschnittlichen Einzelkosten je Schadenfall pro Jahr, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

4.2 Entwicklung der Schadenarten

Nachdem bisher die abstrakten Schadenzahlen und die daraus resultierenden Kosten thematisiert worden sind, soll nun ganz konkret auf die tatsächlichen Schäden eingegangen werden. Dazu wurden aus den vorliegenden Datensätzen die wesentlichen Schadenarten herausgefiltert.

Schadenarten beschreiben ganz grundsätzlich, um welchen Schaden es sich im betreffenden Fall handelt. Aus der Grafik in Abb. 12 geht hervor, dass sich die Schäden im Untersuchungszeitraum zwischen 2019 und 2023 auf einige wenige Schadenarten verteilen. Hier liegt der Schwerpunkt mit einem Anteil von mehr als 85 Prozent ganz eindeutig bei den Leitungsschäden. Weitere rund 12 Prozent entfallen auf nicht näher definierte sonstige Schäden. Die »Entschlüsselung« der tatsächlichen Schadenarten, die sich dahinter verbergen, war den Autoren nicht möglich. Andere festgestellte Schadenarten sind Schäden an Verkehrswegen und Verkehrsbauwerken, Schäden am Baugrund und Umweltschäden, die mit insgesamt rund 3 Prozent (2,77 Prozent) aber nur einen vergleichsweise geringen Anteil an den Gesamtschadenarten darstellen. Damit decken sich diese Entwicklungen im Wesentlichen mit den Ergebnissen des vorherigen Tiefbauberichts[9].

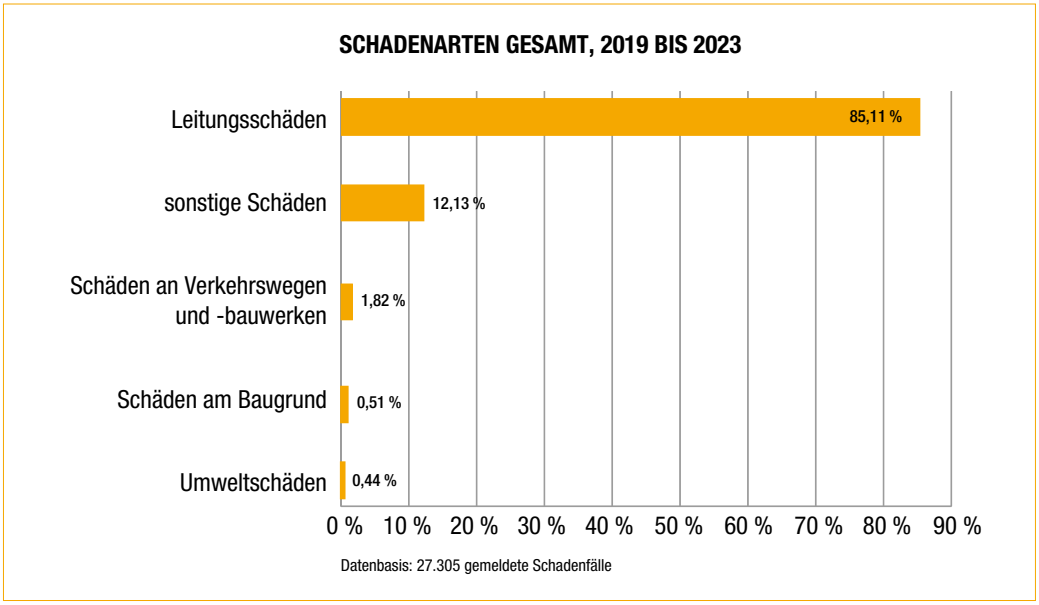


Abb. 12: Die festgestellten Schadenarten, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

9 VHV Allgemeine Versicherung AG (Hrsg.): VHV-Bauschadenbericht Tiefbau und Infrastruktur 2022/23. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2023, S. 93

Die Entwicklung der Schadenarten über den Betrachtungszeitraum ist der Grafik in Abb. 13 zu entnehmen. Hier wird der jeweilige prozentuale Anteil der drei häufigsten Schadenarten an der Gesamtschadenzahl dargestellt. Wie die Grafik zeigt, nimmt der Anteil der Leitungsschäden über den Betrachtungszeitraum leicht ab, während die sonstigen Schäden und die Schäden an Verkehrswegen und Verkehrsbauwerken zum Teil deutlich ansteigen.

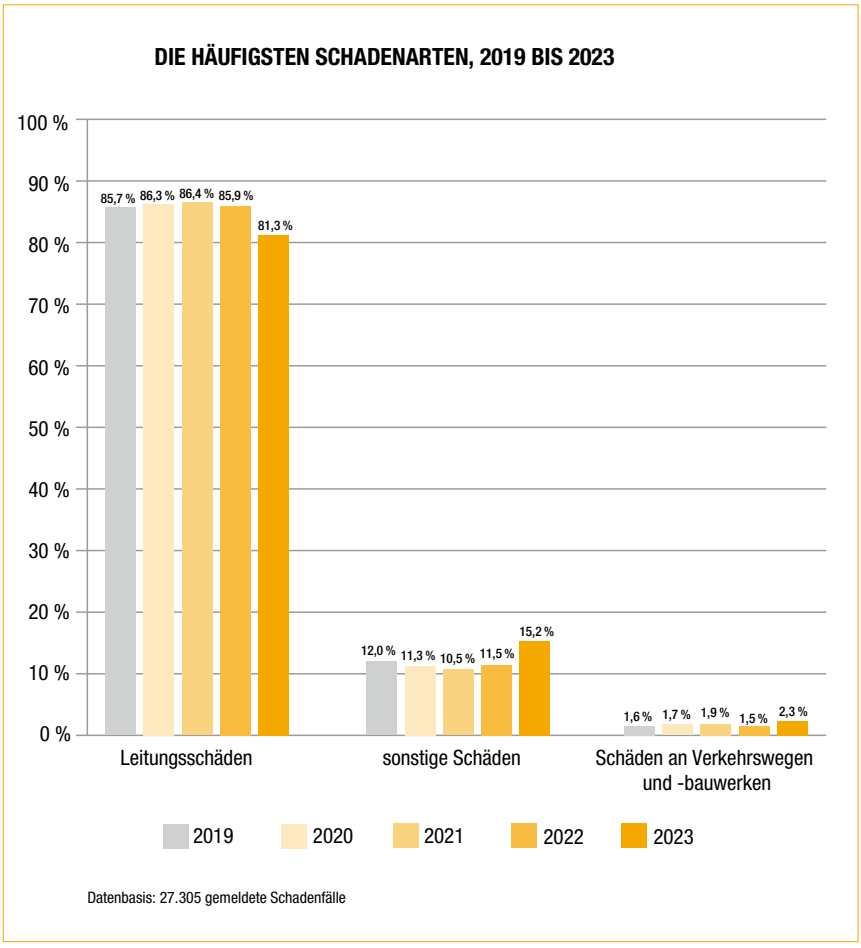


Abb. 13: Die häufigsten festgestellten Schadenarten, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

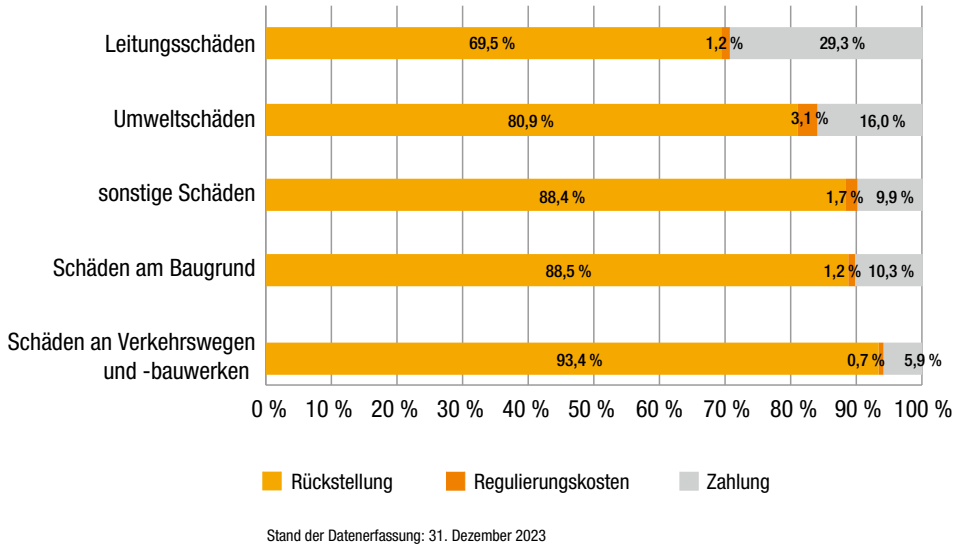
Für eine eingehende Schadenanalyse ist neben der Aufschlüsselung in die einzelnen Schadenarten insbesondere der damit verbundene finanzielle Aufwand für die jeweilige Schadenbeseitigung von Bedeutung. Die prozentualen Anteile der einzelnen Kostenkomponenten an den gesamten Aufwendungen je Schadenart sind in Abb. 14 dargestellt.

Es ist auffällig, wie sehr sich vor allem die Anteile der versicherungstechnischen Rückstellungen und die der Zahlungen je nach Schadenart unterscheiden. So entfallen bei Schäden an Verkehrswegen und Verkehrsbauwerken durchschnittlich rund 93 Prozent und damit fast die gesamten Aufwendungen auf die Rückstellungen, während der Anteil für die Zahlungen vergleichsweise gering ist und durchschnittlich bei rund 6 Prozent liegt. Demgegenüber werden beispielsweise bei Leitungsschäden deutlich geringere Reserven gebildet und höhere Zahlungen geleistet. Hier beträgt der Anteil der Rückstellungen durchschnittlich rund 70 Prozent, während auf die Zahlungen fast 30 Prozent der gesamten Aufwendungen entfallen.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die betreffende Datenbasis nicht nur aus abgeschlossenen Schadenfällen besteht. In die Auswertung sind ebenso Schadenfälle eingeflossen, die sich noch in Bearbeitung befinden. Dies bedeutet, dass die Auswertung eine Momentaufnahme darstellt, da parallel sowohl die Rückstellungen für die noch nicht geschlossenen Schadenfälle als auch die Zahlungen für die bereits geschlossenen Schadenfälle enthalten sind.

Insofern ist nicht grundsätzlich davon auszugehen, dass das Verhältnis von Rückstellung zu Zahlung stets wie in der Grafik in Abb. 14 dargestellt ausfällt. Bei der Höhe der versicherungstechnischen Rückstellungen handelt es sich um Einzelfallentscheidungen, die zu Beginn der Schadenbearbeitung anhand der vorliegenden Informationen vorgenommen werden und immer auf Schätzungen zum erwarteten Aufwand beruhen. Dennoch ist anzunehmen, dass bei Schadenfällen mit erfahrungsgemäß hohen Schadenbeseitigungskosten tendenziell größere Reserven gebildet werden als bei solchen mit geringeren Schadenbeseitigungskosten.

VERGLEICHENDE BETRACHTUNG DER PROZENTUALEN ANTEILE VON RÜCKSTELLUNG, REGULIERUNGSKOSTEN UND ZAHLUNG AN DEN GESAMTEN AUFWENDUNGEN JE SCHADENART, 2019 BIS 2023



Stand der Datenerfassung: 31. Dezember 2023

Abb. 14: Die prozentuale Zusammensetzung der einzelnen Kostenkomponenten an den gesamten Aufwendungen je Schadenart, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Während mit der Grafik in Abb. 14 das relative Verhältnis der einzelnen Kostenkomponenten zueinander dokumentiert wird, sollen im Folgenden diese Daten zusätzlich mit absoluten Zahlen – also mit konkreten Summen – hinterlegt werden. Wie die Grafik in Abb. 15 zeigt, lässt sich so die Relevanz der einzelnen Schadenarten wesentlich plastischer darstellen. Mit dem Hintergrundwissen, dass die Höhe einer Rückstellung immer auf einer Risikoabschätzung beruht, können zumindest vorsichtige Rückschlüsse auf die erwarteten Schadenbeseitigungskosten gezogen werden. So wird auch eher nachvollziehbar, warum die Rückstellungen für Leitungsschäden die beachtliche Höhe von rund 36 Millionen Euro aufweisen und damit nur um ein Fünftel niedriger ausfallen als die Rückstellungen aller weiteren Schadenarten zusammen (Σ = rund 45 Millionen Euro).

Bei Leitungsschäden handelt es sich ganz allgemein um Beschädigungen der Versorgungsinfrastruktur, die zu Einschränkungen bis hin zum vollständigen Ausfall der Nutzung führen können. Charakteristisch für Schadenbehebungen im Tiefbaubereich ist, dass in diesem Rahmen nicht nur der eigentliche Schaden beseitigt wird, sondern meist auch noch zusätzliche Maßnahmen erforderlich werden. So wird zum Beispiel bei einer

Leckage in einer Wasserleitung nicht nur das beschädigte Rohrstück ersetzt. Kam es auch zu Unterspülungen, muss der gesamte betroffene Bereich freigelegt und vor Einsturz gesichert werden. Bei einem unkontrollierten Wasseraustritt können zudem die Standsicherheit der Baugrube und der benachbarten Gebäude beeinträchtigt sein. Hier wäre unter anderem die Tragfähigkeit des Baugrundes zu prüfen, im schlimmsten Fall müsste die Standsicherheit der angrenzenden Gebäude nachgewiesen werden. Aufgrund dieser und ähnlich umfangreicher Schadenbehebungsmaßnahmen werden gerade bei Leitungsschäden vergleichsweise große Reserven gebildet.

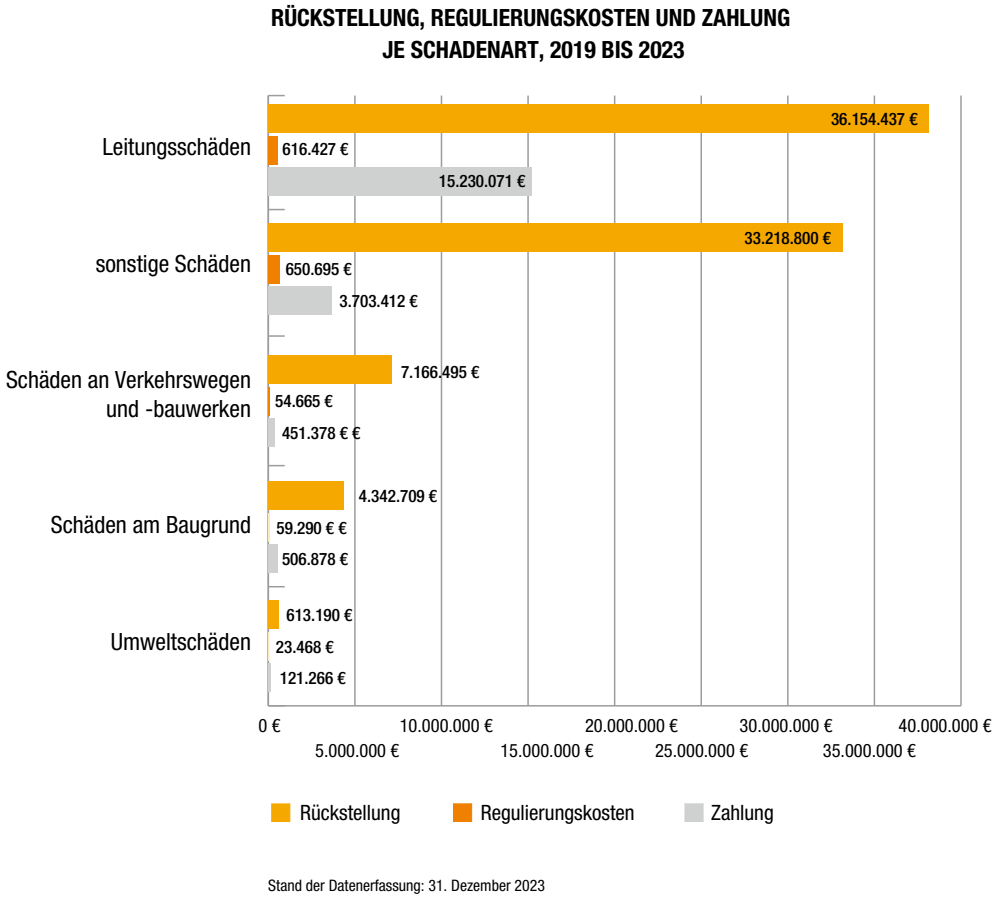


Abb. 15: Rückstellung, Regulierungskosten und Zahlung je Schadenart, 2019 bis 2023
[Grafik: IFB, Daten: VHV]

Etwas genauer sollen die Regulierungskosten und die Zahlungen betrachtet werden. Von den Baubeteiligten wird immer wieder die Vermutung geäußert, dass die Schadenbehebungen von Jahr zu Jahr mehr Kosten verursachen. Um diese Annahme zu überprüfen, werden die Entwicklung der Regulierungskosten und die Entwicklung der Zahlungen über die letzten fünf Jahre unter die Lupe genommen.

Wie der Grafik in Abb. 16 zu entnehmen ist, gibt es bei den Regulierungskosten keine einheitliche Tendenz. So zeigt sich bei Schäden an Verkehrswegen und Verkehrsbauwerken nach einem anfänglich starken Absinken ab dem Jahr 2020 ein kontinuierlicher Anstieg der Kosten, die im Jahr 2023 fast das eineinhalbfache des Ausgangswerts betragen. Bei sonstigen Schäden ist eine ähnliche Entwicklung zu erkennen mit erst sinkenden und dann über mehrere Jahre steigenden Kosten. Hier fällt allerdings die extrem hohe Summe für das Jahr 2023 auf, die genauer untersucht wurde. Demnach wurden in dem Jahr deutlich mehr Fälle der betreffenden Schadenart gemeldet als in den vorhergehenden Jahren, und einige dieser Schadenfälle weisen vergleichsweise hohe Regulierungskosten auf.

Bei Umweltschäden und Schäden am Baugrund ist eine grundsätzlich steigende Tendenz zu erkennen, wobei auch hier einige besonders hohe Werte auffallen. Die Untersuchung des »Ausreißers« bei Umweltschäden (Jahr 2022) ergab, dass dieser auf einen einzigen Schadenfall mit besonders hohen Regulierungskosten zurückzuführen ist. Die Ursache für die beiden auffälligen Werte bei Schäden am Baugrund (Jahre 2021 und 2022) ist dagegen wesentlich unspektakulärer und beruht auf jeweils besonders vielen Schadenmeldungen, die mit der Zahlung von Regulierungskosten verbunden sind.

Demgegenüber kann für die Entwicklung bei Leitungsschäden keine klare Prognose gegeben werden. Wie die Grafik in Abb. 16 zeigt, sind hier für die Regulierungskosten keine Tendenzen zu erkennen, die Kosten fallen bzw. steigen im Jahresrhythmus. Über den gesamten Betrachtungszeitraum sind die Regulierungskosten allerdings leicht rückläufig bei ebenfalls leicht sinkenden Schadenmeldungen.

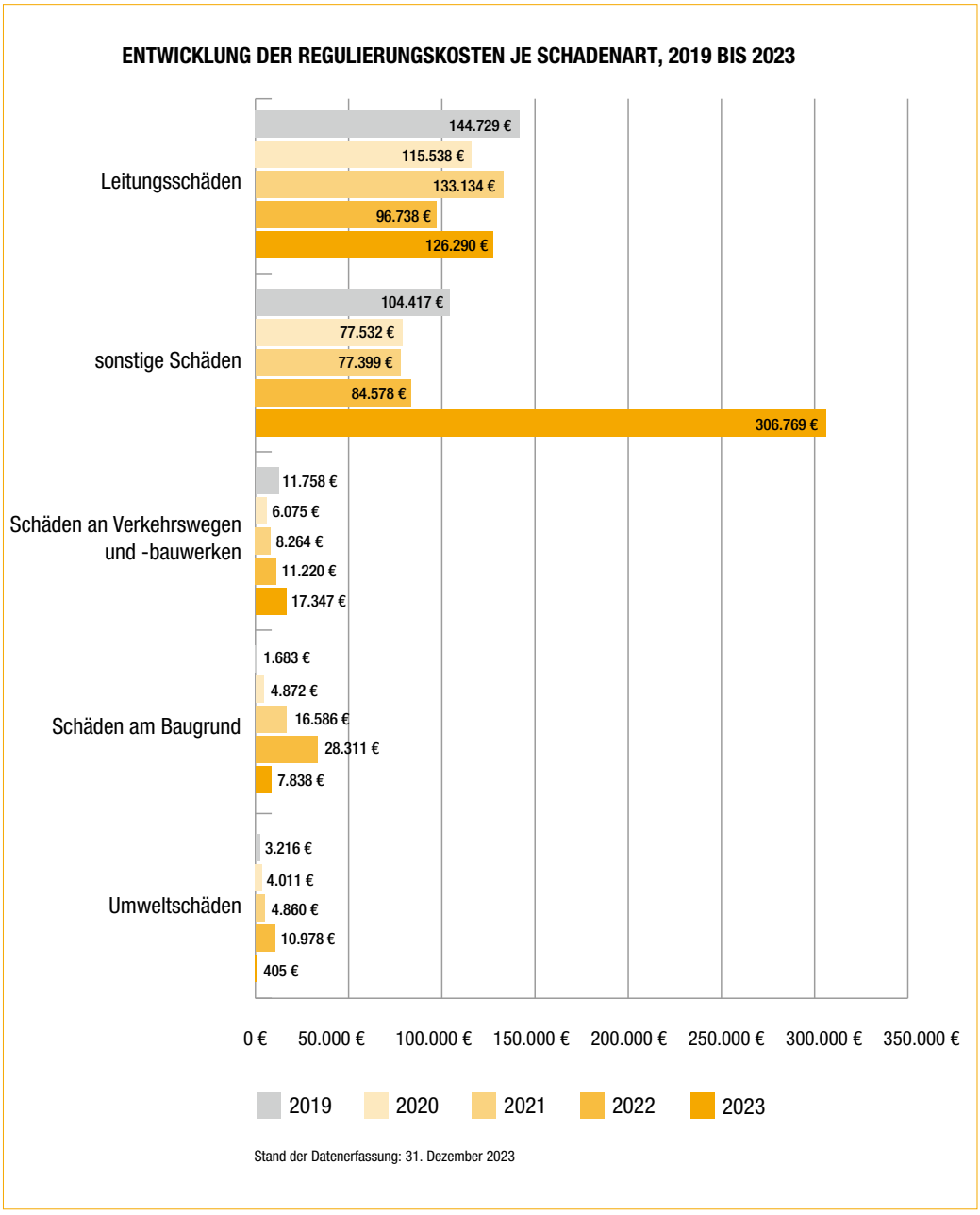


Abb. 16: Entwicklung der Regulierungskosten je Schadenart, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Auch bei der Entwicklung der Zahlungen, also den ermittelten und ausbezahlten Schadenbeträgen, gibt es über den Betrachtungszeitraum keinen einheitlichen Trend. Wie die Grafik in Abb. 17 zeigt, sind bei den Schadenarten sowohl steigende als auch sinkende Zahlungen zu erkennen.

Den quantitativ höchsten Anstieg gibt es bei Schäden am Baugrund. Hier haben die Zahlungen zwischen 2019 und 2023 um mehr als das Achtfache zugenommen, während sich die Anzahl der Schadenfälle nur ungefähr verdoppelt hat. Insgesamt schwanken die Zahlungen über den Betrachtungszeitraum stark, wobei in den Jahren 2020 und 2023 besonders hohe Werte erreicht werden. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Schäden an Verkehrswegen und Verkehrsbauwerken. Auch hier gibt es bei den Zahlungen auffällige Ausschläge nach oben und nach unten, wenn auch nicht so ausgeprägt wie bei den Schäden am Baugrund. Insgesamt ist über den Betrachtungszeitraum eine Zunahme der Zahlungen von rund 30 Prozent zu verzeichnen. Auch wenn sich bei beiden Schadenarten die Anzahl der gemeldeten Schadenfälle über den Betrachtungszeitraum zum Teil stark erhöht hat, ist diese Entwicklung nur zum Teil für den Anstieg der Zahlungen verantwortlich. So zeigt sich bei genauerer Betrachtung der vorliegenden Daten, dass es jeweils einige wenige Schadenfälle mit vergleichsweise extrem hohen Schadenbeträgen gibt, die für die auffälligen Ausschläge in der grafischen Auswertung sorgen.

Etwas anders ist die Situation bei Leitungsschäden und sonstigen Schäden. Hier ist im Wesentlichen ein Rückgang der Zahlungen zu erkennen (minus 13 Prozent und minus 1 Prozent), wenn auch bei beiden Schadenarten im Jahr 2023 die Zahlungen plötzlich (stark) ansteigen. Während hier die Zahlungen also tendenziell rückläufig sind, steigt die Anzahl der gemeldeten Schadenfälle (sonstige Schäden) bzw. fällt weniger stark als die dazugehörigen Zahlungen (Leitungsschäden). Ausschließlich rückläufig sind dagegen die Zahlungen für Umweltschäden. Hier ist über den Betrachtungszeitraum ein kontinuierlicher Rückgang um rund 60 Prozent zu verzeichnen, während die Anzahl der gemeldeten Schadenfälle in gleichem Maße steigt.

Zusammengefasst lässt sich anhand der vorliegenden Zahlen die Annahme der steigenden Aufwendungen für die Behebung von Bauschäden nur zum Teil bestätigen. Wie die Auswertungen gezeigt haben, ist vor allem bei den Regulierungskosten ein Anstieg zu erkennen, während bei den Zahlungen nicht nur Steigerungen, sondern auch Rückgänge zu verzeichnen sind. Allerdings ist anzunehmen, dass die nach der Corona-Pandemie wieder stärker werdende Nachfrage bzw. wieder zunehmende Ausführung von Infrastrukturprojekten (zum Beispiel Breitbandausbau, Neu- und Ausbau Schienenverkehr) auch zu einem Anstieg der anfallenden Aufwendungen für mögliche Schadenbehebungen führen könnte.

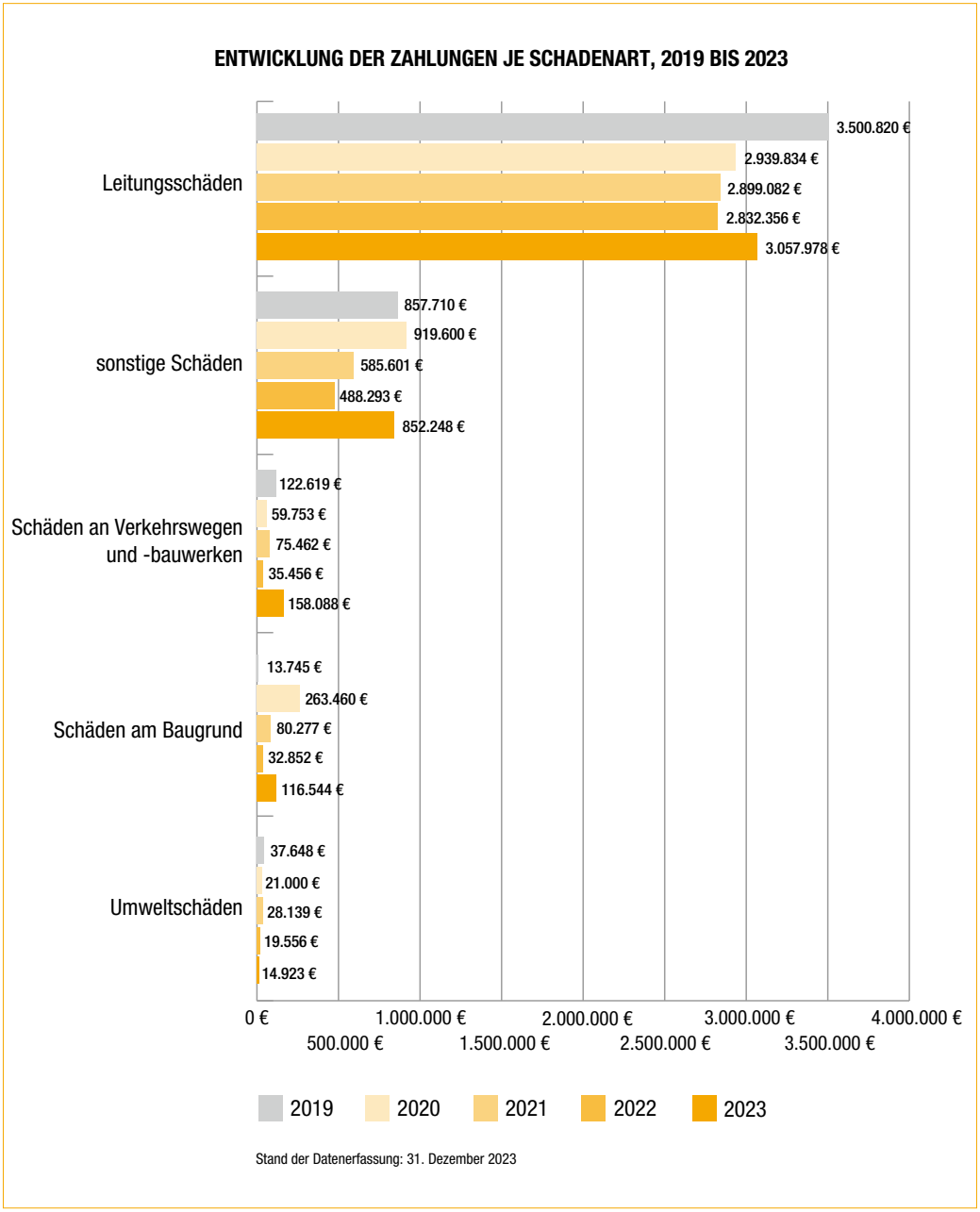


Abb. 17: Entwicklung der Zahlungen je Schadenart, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

4.3 Entwicklung der Schadenursachen

Um das Thema Bauschäden vollumfänglich zu untersuchen, müssen neben den Schadenarten auch die Schadenursachen – also die Auslöser für das Auftreten eines Bauschadens – betrachtet werden. Anderenfalls ist es kaum möglich, die richtigen Schlüsse aus den Auswertungen zu ziehen, die im besten Fall zu einem insgesamt geringeren Schadenaufkommen führen sollen.

Wie die Grafik in Abb. 18 zeigt, sind die ermittelten Schadenursachen ausgesprochen vielfältig. Es ist aber auch deutlich zu erkennen, dass für die Gesamtheit der aufgetretenen Schäden einige wenige Auslöser schadenursächlich sind. So lassen sich rund 95 Prozent der Schadenfälle auf gerade einmal fünf unterschiedliche Schadenursachen zurückführen. Hierbei handelt es sich mit einem Anteil von mehr als 50 Prozent vor allem um die unsachgemäße Bedienung von Arbeitsmaschinen/Kraftfahrzeugen (überwiegend Schäden durch mechanische Fremdeinwirkung an Versorgungs- und Telekommunikationsleitungen).

Weitere Schadenursachen sind Ausführungs-/Montagefehler (zum Beispiel zu geringe Verlegetiefe von Glasfaserkabeln, nicht ordnungsgemäß verbundene Spundwandbohlen für einen wasserdichten Verbau), sonstige Ursachen (aus dem vorliegenden Datenmaterial ergaben sich keine Aufschlüsse über die konkreten Schadenursachen), Schutzmaßnahmen (zum Beispiel ungenügender Schutz vor mechanischer Belastung von noch offenliegenden erdverlegten Leitungen, kein Schutz vor vorzeitiger Austrocknung von frisch eingebautem Beton für eine Fahrbahndecke) und Verkehrssicherungspflichten (zum Beispiel nicht ausreichende Absturzsicherung einer Baugrube, zu geringe Sicherheitsabstände zu bestehenden erdverlegten Ver-/Entsorgungsleitungen). Die weiteren Schäden gehen auf zahlreiche andere, eher selten auftretende Ursachen zurück.

Werden die relevanten Schadenursachen themenbezogen zusammengefasst, zeigt sich, dass ein Großteil der gemeldeten Schäden auf mangelhafte Arbeitssorgfalt zurückzuführen ist. Hierzu zählen »Arbeitsmaschinen/Kraftfahrzeuge«, »Ausführungs-/Montagefehler«, »Schweiß-/Schneide-/Bohrarbeiten«, »Ramm-/Verbauarbeiten«, »Abbruch-/Einreißarbeiten«, »Arbeitsmaschinen/Kraftfahrzeuge geliehen/Kraftfahrzeuge gemietet« und »Unterfangungs-/Unterfahrungsarbeiten«, die mit einem Anteil von 73 Prozent rund drei Viertel aller gemeldeten Schadenursachen ausmachen. Deutlich geringer fällt der Anteil der mangelhaften Überwachung vor Ort aus. Unter diesem Oberbegriff werden die Schadenursachen »Schutzmaßnahmen«, »Verkehrssicherungspflicht«, »Bauüberwachung« und »Absprachen/Einweisung/Erkundung/Koordination« zusammengefasst, die für 11 Prozent der gemeldeten Schäden verantwortlich sind. Einen weiteren Themenkomplex stellt die mangelhafte Planung dar. Hierzu zählen »Ausführungsplanung«, »Grundlagenermittlung«, »Entwurfsplanung«, »statische Berechnung«, »Genehmigungsplanung«,

»Mitwirkung bei der Vergabe«, »Vorplanung« und »Vorbereitung der Vergabe«. Der entsprechende Anteil an den gesamten Schadenursachen beträgt allerdings nur rund zwei Prozent und hat daher keine große Bedeutung.

In diesem Zusammenhang soll kurz auf die Ergebnisse der Studie »Kabel- und Leitungsschäden«[10] aus dem Jahr 1990 bzw. 1995 (Jahr der 2. Auflage, mit unveränderter Datenbasis) eingegangen werden. Hier wird für 55 Prozent der gemeldeten Schadenfälle eine »mangelnde Arbeitssorgfalt« als Schadenursache angegeben, was im Vergleich mit den aktuellen Ergebnissen einen Anstieg um fast 20 Prozentpunkte in rund 30 Jahren bedeutet. Da die beiden Studien aber schon aufgrund der sehr unterschiedlichen Datenbasis nicht vergleichbar sind, soll mit den angeführten Zahlen nur eine grundsätzliche Entwicklungstendenz dargestellt werden.

10 Institut für Bauschadensforschung e.V. (Hrsg.): Kabel- und Leitungsschäden. Entstehungsursachen und Möglichkeiten zur Schadensprophylaxe. 2. Aufl. Hannover: Selbstverlag, 1995

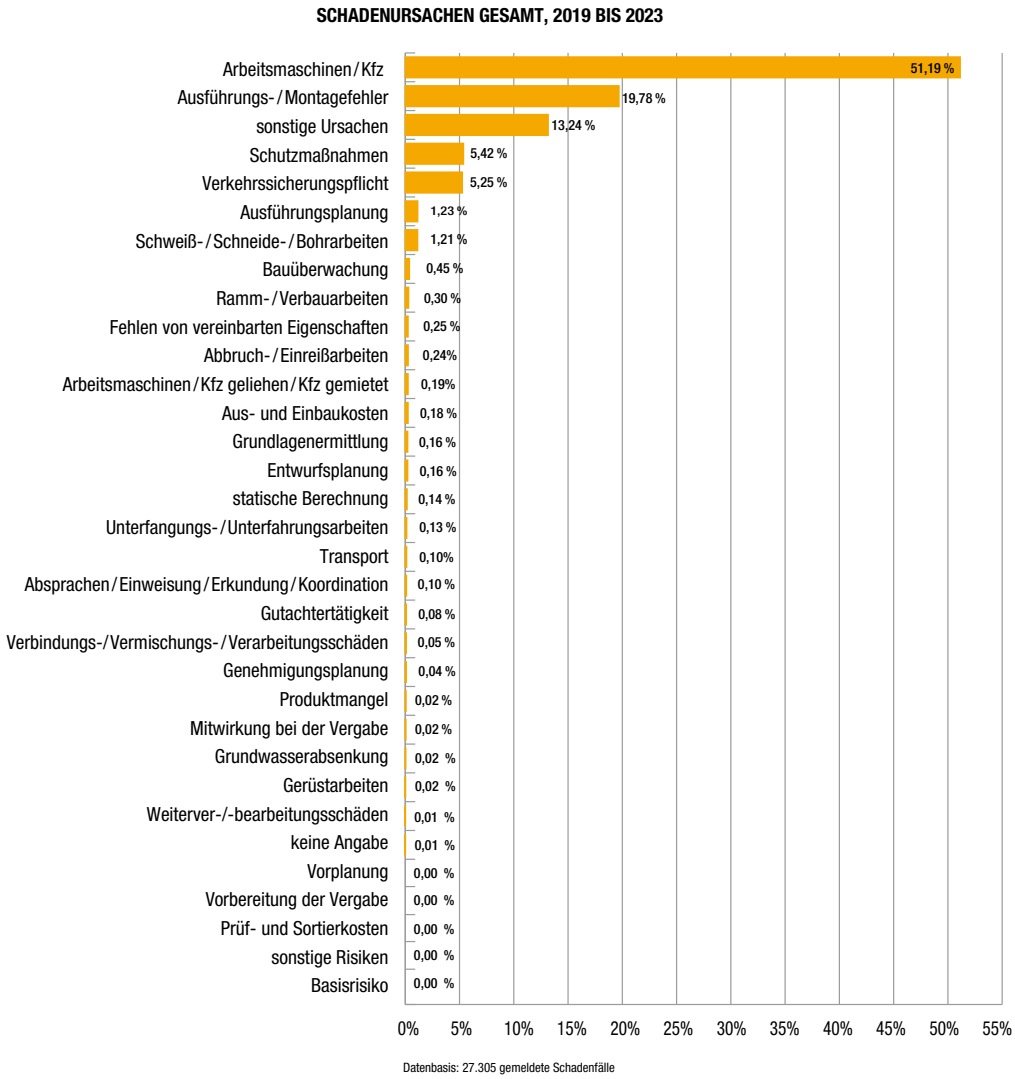


Abb. 18: Die festgestellten Schadenursachen, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Eine weitere Betrachtung ist der Grafik in Abb. 19 zu entnehmen. Hier wird der jeweilige prozentuale Anteil der fünf häufigsten Schadenursachen an der Gesamtschadenzahl über den gesamten Untersuchungszeitraum dargestellt. Demnach ist bei Schadenfällen aufgrund verletzter Versicherungspflichten ein Anstieg von 4,7 Prozent im Jahr 2019 auf 7,7 Prozent im Jahr 2023 festzustellen. In Zahlen ausgedrückt gibt es hier eine

Zunahme von 266 auf 427 Schadenfälle, was einem Zuwachs von rund 61 Prozent entspricht. Bei sonstigen Ursachen und Ausführungs-/Montagefehlern fällt der Anstieg im Untersuchungszeitraum dagegen sehr viel geringer aus. So steigt der Anteil der Schadenfälle durch sonstige Ursachen von 13,2 Prozent bzw. 750 Schadenfällen auf 15,8 Prozent bzw. 873 Schadenfälle, während sich der Anteil der durch Ausführungs-/Montagefehler verursachten Schadenfälle von 19,1 Prozent bzw. 1.084 Schadenfällen auf 22,8 Prozent bzw. 1.262 Schadenfälle erhöht. Dies entspricht jeweils einem Anstieg von rund 16 Prozent.

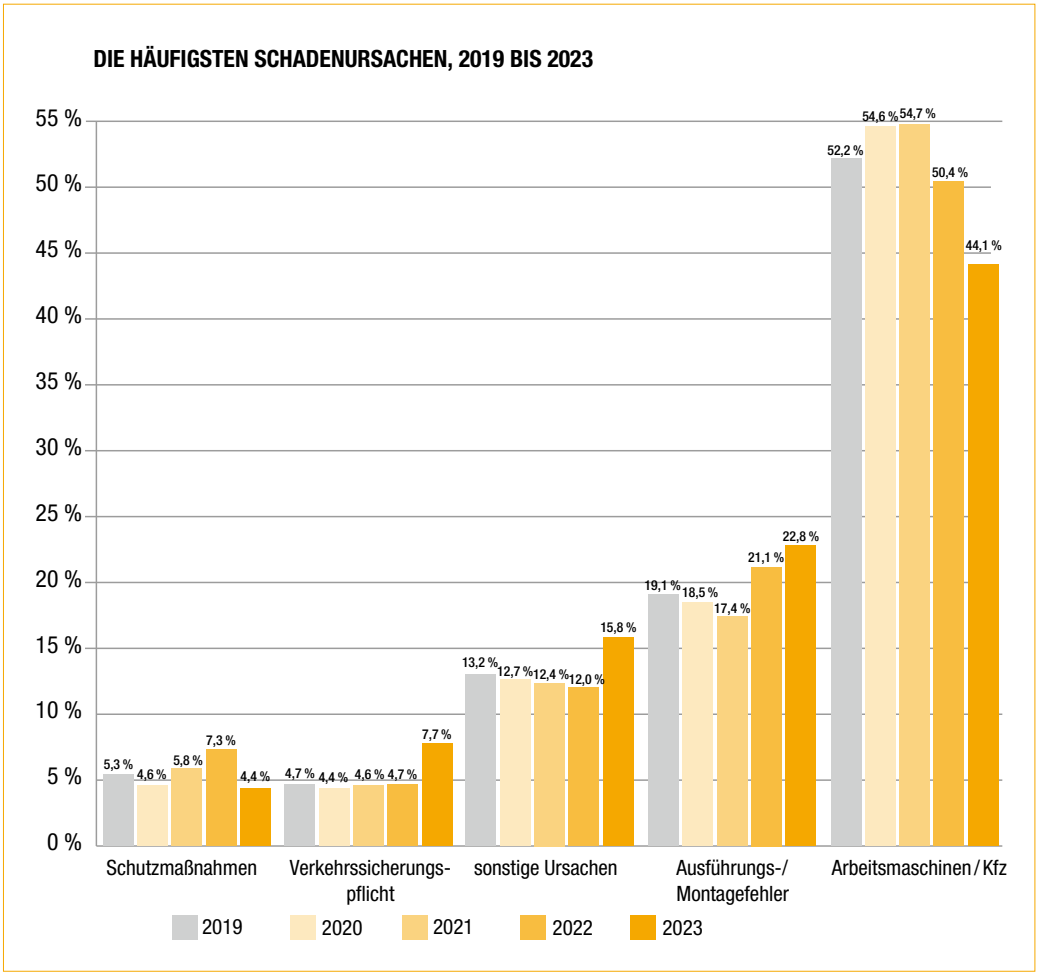


Abb. 19: Die häufigsten festgestellten Schadenursachen, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Die Grafik zeigt jedoch auch Schadenursachen auf, deren Häufigkeit über den Betrachtungszeitraum abgenommen hat. So ist der Anteil der Schadenfälle aufgrund mangelhafter Schutzmaßnahmen von 5,3 Prozent im Jahr 2019 auf 4,4 Prozent im Jahr 2023 gesunken. In Zahlen ausgedrückt gibt es hier einen Rückgang von 300 auf 242 Schadenfälle, was einer Abnahme von rund 19 Prozent entspricht. Auch bei der unsachgemäßen Bedienung von Arbeitsmaschinen/Kraftfahrzeugen ist ein Rückgang festzustellen. Hier sinkt der Anteil von 52,2 Prozent bzw. 2.962 Schadenfällen auf 44,1 Prozent bzw. 2.446 Schadenfälle, was einem Rückgang von rund 17 Prozent entspricht.

In diesem Zusammenhang soll kurz auf die Ergebnisse der Studie »Analyse von Kabel- und Leitungsschäden«[11] aus dem Jahr 2014 eingegangen werden. Demnach wurden rund 88 Prozent der dort untersuchten Tiefbauschäden durch Arbeitsmaschinen bzw. durch deren falsche Bedienung verursacht, wobei Bagger mit rund 80 Prozent als weitaus häufigste »schadenverursachende« Baumaschine ermittelt wurden.

Vergleicht man diese Zahlen mit den aktuellen Ergebnissen, so lässt sich eine Halbierung der Schäden von rund 88 Prozent im Jahr 2014 auf rund 44 Prozent im Jahr 2023 feststellen. Diese grundsätzlich positive Entwicklung ist unter anderem auf mehrere Maßnahmen zurückzuführen, die in den letzten Jahren immer häufiger zur Anwendung bzw. Ausführung kamen. So führen beispielsweise der Einsatz von digitalen Verfahren zur Leitungsortung, die vermehrte Nutzung von Leitungsauskunftsportalen sowie Kompetenzschulungen der Fachkräfte zu einer spürbaren Verringerung der Tiefbauschäden durch Arbeitsmaschinen.

11 Institut für Bauforschung e.V. (Hrsg.): Analyse von Kabel- und Leitungsschäden. Entstehung, Schadenvolumen, Folgeprozesse, Prävention. Hannover: Selbstverlag, 2014

4.4 Entwicklung der Schadenstellen

Zu einer ganzheitlichen Betrachtung eines Bauschadens gehört neben der Beschäftigung mit der Schadenursache auch die Untersuchung der Schadenstelle, also des beschädigten Bauteils. Wie der Grafik in Abb. 20 zu entnehmen ist, konzentrieren sich fast 90 Prozent der Schadenfälle auf gerade einmal drei Schadenstellen. Hierbei handelt es sich um Kommunikationsleitungen (zum Beispiel Fernmelde- und Glasfaserkabel für die Datenübertragung), Starkstromkabel (Mittel- und Hochspannungskabel für die Energieübertragung) und Gasleitungen (Rohrleitungen für den Transport von Erdgas und weiteren brennbaren Gasen). Die übrigen rund 10 Prozent der Schadenfälle finden sich an Schadenstellen wie Trinkwasserleitungen (Rohrleitungen für den Transport von Frischwasser) und Abwasserleitungen (Abwasserkanäle für den Transport von Niederschlags- und Schmutzwasser) sowie an Verkehrswegen und Verkehrsbauwerken (zum Beispiel Straßen, Brücken, Bahnanlagen), am Baugrund (vor Ort anstehender Boden) und in der Umwelt (hiermit sind Umweltschäden gemeint, zum Beispiel mit alkalischem Baustellenabwasser kontaminiertes Grundwasser, mit Dieselkraftstoff kontaminierter Boden).

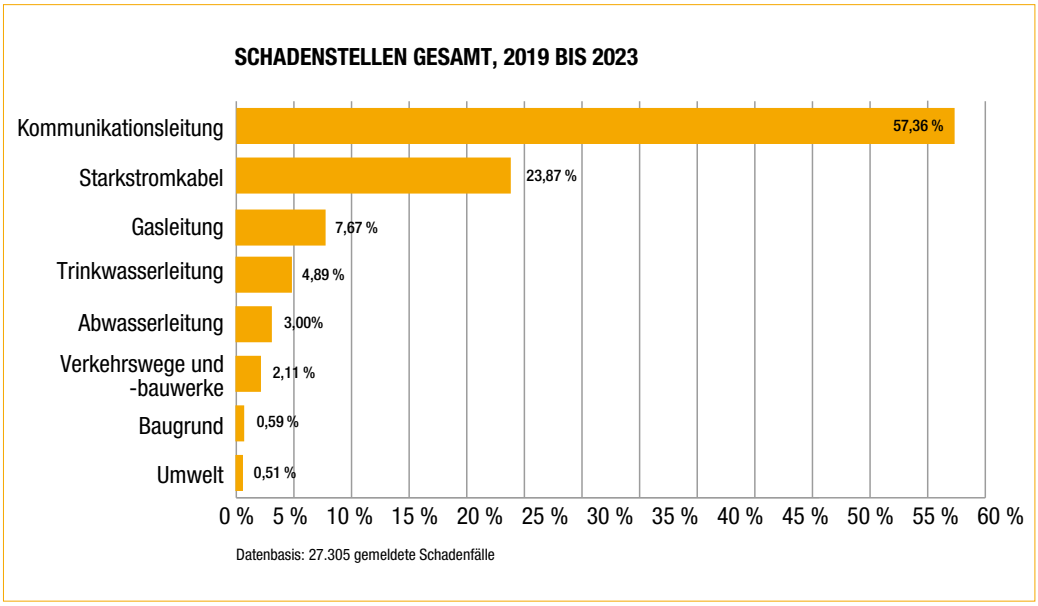


Abb. 20: Die festgestellten Schadenstellen, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Eine genauere Betrachtung der Entwicklung der drei häufigsten Schadenstellen zeigt die Auswertung der Daten in Abb. 21. Wie der Grafik zu entnehmen ist, nehmen die Schadenzahlen von beschädigten Gasleitungen (minus 12,3 Prozent) und Starkstromkabeln (minus 9,3 Prozent) über den Betrachtungszeitraum kontinuierlich ab. Insge-

samt liegt der Anteil der beschädigten Gasleitungen bei durchschnittlich 7,6 Prozent, bei Starkstromkabeln beträgt der Anteil durchschnittlich rund 24 Prozent. Starkstromkabel sind damit in rund einem Viertel aller gemeldeten Fälle die von einem Schaden betroffenen Bauteile. Bei beschädigten Kommunikationsleitungen ist ein minimaler Anstieg der Schadenzahlen zu erkennen (plus 2,3 Prozent). Im Durchschnitt liegt der Anteil der beschädigten Kommunikationsleitungen bei 57,7 Prozent und stellt damit das mit Abstand häufigste von Schäden betroffene Bauteil dar.

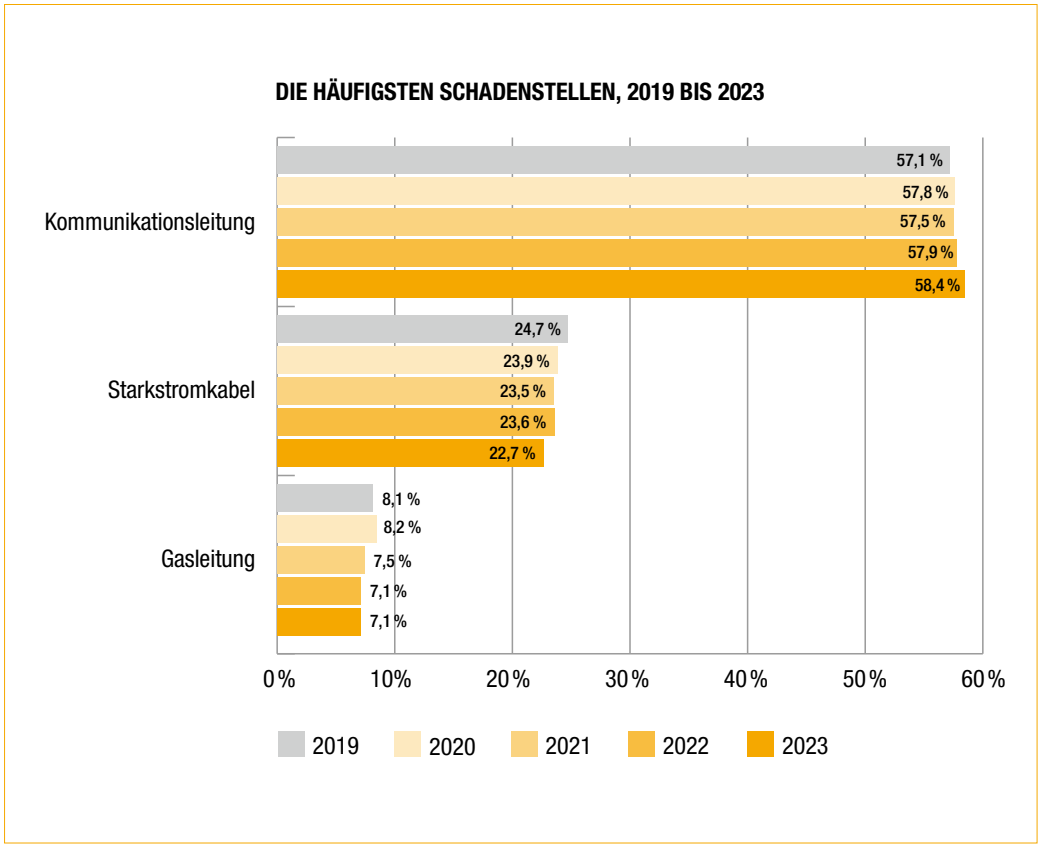


Abb. 21: Die häufigsten Schadenstellen, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Um darüber hinaus grundsätzliche Aussagen zur Entwicklung der Schadenstellen treffen zu können, wird auf die entsprechende Auswertung des ersten VHV-Bauschadenberichts zum Thema Tiefbau und Infrastruktur[12] (Meldejahre 2015 bis 2019) zurückgegriffen. Da

12 VHV Allgemeine Versicherung AG (Hrsg.): VHV-Bauschadenbericht Tiefbau und Infrastruktur 2020/21. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2021, S. 79

zudem Vergleichsdaten aus den bereits erwähnten älteren Studien zu Kabel- und Leitungsschäden[13,14] vorliegen, werden auch diese Daten einbezogen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit beschränkt sich die grafische Darstellung auf die drei häufigsten Schadenstellen (vgl. Abb. 22).

Bei der Betrachtung der Auswertung fällt auf, dass sich die jeweils ermittelten Schadenhäufigkeiten vor allem bei den beiden älteren Studien teils erheblich voneinander unterscheiden. So ist zwischen 1990 und 2010 bei den Kommunikationsleitungen fast eine Verdoppelung der Schadenhäufigkeit zu verzeichnen, während im gleichen Zeitraum die Schadenhäufigkeit bei Starkstromkabeln um rund 70 Prozent und bei Gasleitungen um mehr als 40 Prozent sinkt. Wie der Grafik zu entnehmen ist, kommt es zwischen 2015 und 2023 zu einer Stabilisierung der Zahlen. Demnach gibt es in den beiden aktuellen Studien keine wesentlichen Unterschiede bei den jeweils ausgewerteten Schadenstellen. Konkret liegt der Anteil der beschädigten Kommunikationsleitungen über den Betrachtungszeitraum von neun Jahren (2015 bis 2023) bei durchschnittlich rund 57 Prozent, bei Starkstromkabeln beträgt der Anteil durchschnittlich rund 24 Prozent und bei Gasleitungen durchschnittlich rund 8 Prozent.

Über den gesamten Betrachtungszeitraum (1990 bis 2023) ist bei der Entwicklung der Schadenstellen ebenfalls keine einheitliche Tendenz zu erkennen. So geht der Anteil der beschädigten Starkstromkabel zurück (minus 21 Prozent), während bei Gasleitungen (plus 74 Prozent) und Kommunikationsleitungen (plus 44 Prozent) eine Zunahme der Schadenhäufigkeit festzustellen ist.

Hier ist zu ergänzen, dass den Autoren die im Grunde schlechte Vergleichbarkeit der Zahlen bzw. der Studien bewusst ist. Wie die entsprechenden Angaben in der Grafik nahelegen, sind die Datengrundlagen eigentlich zu verschieden. Für diese (nicht wissenschaftliche) Herangehensweise spricht allerdings, dass sich so die Entwicklung der Schadenstellen über einen Zeitraum von mehr als 30 Jahren zumindest in der Tendenz darstellen lässt.

13 Institut für Bauforschung e.V. (Hrsg.): Analyse von Kabel- und Leitungsschäden. Entstehung, Schadenvolumen, Folgeprozesse, Prävention. Hannover: Selbstverlag, 2014, S. 43

14 Institut für Bauschadensforschung e.V. (Hrsg.): Kabel- und Leitungsschäden. Entstehungsursachen und Möglichkeiten zur Schadensprophylaxe. 2. Aufl. Hannover: Selbstverlag, 1995, S. 3

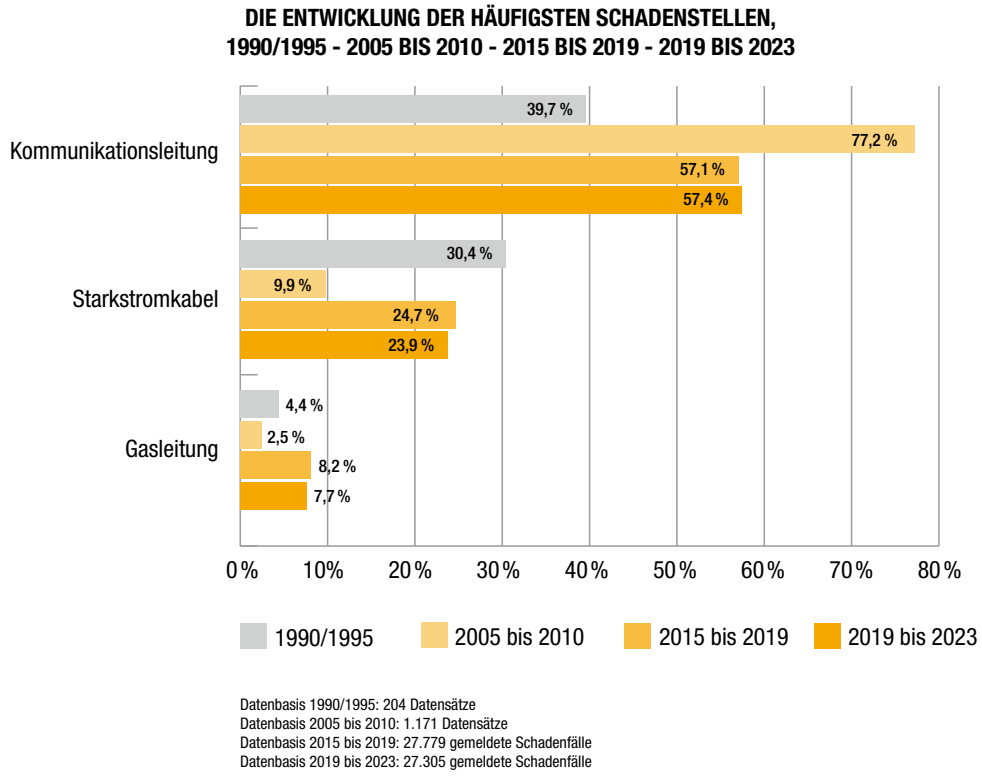


Abb. 22: Die Entwicklung der häufigsten Schadenstellen, 1990 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

4.5 Entwicklung der Schwerpunktschäden und Perspektiven zur Schadenprävention

Die aktuelle Schadenanalyse zeigt, dass wir im Bereich der Tiefbauschäden im Wesentlichen wiederkehrende Schadenarten und Schadenursachen auftreten. Wie schon die vorhergehenden Bauschadenberichte zu diesem Thema kommt auch die jetzige Untersuchung zu dem Ergebnis, dass in diesen Punkten keine wesentlichen Veränderungen zu verzeichnen sind. Nachfolgend wird genauer auf die Entwicklung und die Ursachen der sogenannten Schwerpunktschäden eingegangen.

Außerdem werden wir Maßnahmen zur Schadenprävention betrachtet. Dabei stehen vor allem die Qualität der Bauausführung und der Bauüberwachung im Fokus.

Schwerpunktschäden

Die vorhergehenden Untersuchungen haben gezeigt, dass es sich bei dem im Betrachtungszeitraum am häufigsten gemeldeten Tiefbauschaden um einen bekannten Klassiker handelt. Häufigste Schadenart sind demnach Leitungsschäden, die mit 85 Prozent den weitaus größten Anteil an den gemeldeten Schadenarten stellen (vgl. Abb. 12). Aus der Gesamtbetrachtung der zugrunde liegenden Datenbasis (27.305 Datensätze) ist zudem bekannt, dass Leitungsschäden nicht nur in Bezug auf die reine Anzahl und die Schadenhöhe, sondern auch hinsichtlich der geleisteten Zahlungen die mit Abstand höchsten Anteile verzeichnen (vgl. Abb. 14).

Über die wirtschaftliche Bedeutung von Kabel- und Leitungsschäden wird bereits seit Beginn der 1980er-Jahre diskutiert. Die Schadenhäufigkeit an unterirdischen Leitungen und Anlagen stieg stetig an und verursachte erhebliche Schadenbeseitigungskosten. Mit dem Ziel, geeignete Maßnahmen zur Schadenprophylaxe zu erarbeiten, verfasste das Institut für Bauschadensforschung e.V. einen Forschungsbericht, der im Jahr 1990 fertiggestellt wurde. Als Datenbasis dienten die Angaben zu rund 200 Schadenfällen an unterirdischen Leitungen und Anlagen aus den Jahren 1985 bis 1987. Die Daten wurden im Rahmen einer anonymisierten Umfrage bei Baufirmen aus ganz Deutschland erfragt. Aufgrund der großen Nachfrage des Forschungsberichts wurde die Studie im Jahr 1995 aktualisiert und neu aufgelegt.[15] Die Datenbasis einer weiteren Studie aus dem Jahr 2014 bilden rund 1.200 Schadenfälle an erdverlegten Leitungen aus dem Zeitraum 2005 bis 2010, die in einer bundesweit durchgeführten Umfrage unter Tief-

15 Vgl. Institut für Bauschadensforschung e.V. (Hrsg.): Kabel- und Leitungsschäden. Entstehungsursachen und Möglichkeiten zur Schadensprophylaxe. 2. Aufl. Hannover: Selbstverlag, 1995

bauunternehmen ermittelt wurden.[16] Die Schadenfälle wurden unter anderem im Hinblick auf die Schadenursachen, die Schadenhöhe und die Schadenfolgen analysiert.

Bei dem Vergleich der beiden Studien zeigte sich, dass der weitaus stärkste Anstieg unter den beschädigten Objekten bei den Kommunikationsleitungen zu verzeichnen ist. Hier ist mit einem Anstieg von 40 Prozent im Jahr 1995 auf 77 Prozent im Jahr 2014 fast eine Verdoppelung der entsprechenden Schadenanteile eingetreten. Auch bei der unsachgemäßen Bedienung von Baggermaschinen als »führende« Schadenursache ist eine steigende Tendenz zu beobachten. Wurde in der Studie von 1995 bereits in 65 Prozent aller Fälle der Bagger als »Schadenfälle verursachende Arbeitsmaschine« genannt, so steigt dieser Anteil in der Folgestudie noch einmal an und liegt im Jahr 2014 bei mehr als 78 Prozent. Auch in der vorliegenden aktuellen Studie stellt die »nicht sachgemäße Bedienung von Arbeitsmaschinen« mit 51 Prozent aller angezeigten Fälle weiterhin die häufigste angezeigte Schadenursache dar (vgl. Abb. 18). Insofern handelt es sich auch bei den Schadenursachen von Leitungsschäden überwiegend um »klassische« Ursachen.

Zusätzlich wurde von den Autoren im Herbst 2020 eine Blitzumfrage[17] durchgeführt, bei der speziell Mitgliedsunternehmen der Bauwirtschaft zum Thema Kabel- und Leitungsschäden befragt worden sind (Abfragezeitraum: die Jahre 2015 bis 2019). Von besonderem Interesse ist die Auswertung zu den (selbst) verursachten Kabel- und Leitungsschäden. Demnach hat mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen im Betrachtungszeitraum bis zu 100 Schadenfälle verschuldet, während rund 28 Prozent zwischen 200 und 400 Schadenfälle verursacht haben. Weitere 6 Prozent der Unternehmen gaben eine Anzahl von mehr als 500 verursachten Kabel- und Leitungsschäden an.

Im Rahmen der Bearbeitung der aktuellen Studie wurde zudem festgestellt, dass die schwersten Leitungsschäden mit einem erheblichen Schadenbeseitigungsaufwand vor allem durch den bereits erwähnten Themenkomplex Arbeitsmaschinen/Kraftfahrzeuge verursacht worden sind, gefolgt von Ausführungs-/Montagefehlern (vgl. Abb. 23).

16 Vgl. Institut für Bauforschung e. V. (Hrsg.): Analyse von Kabel- und Leitungsschäden. Entstehung, Schadenvolumen, Folgeprozesse, Prävention. Hannover: Selbstverlag, 2014

17 Institut für Bauforschung e. V. (Hrsg.): Umfrage zu Kabel- und Leitungsschäden – Schadenstatistik/Kosten. Hannover: Selbstverlag, 2020

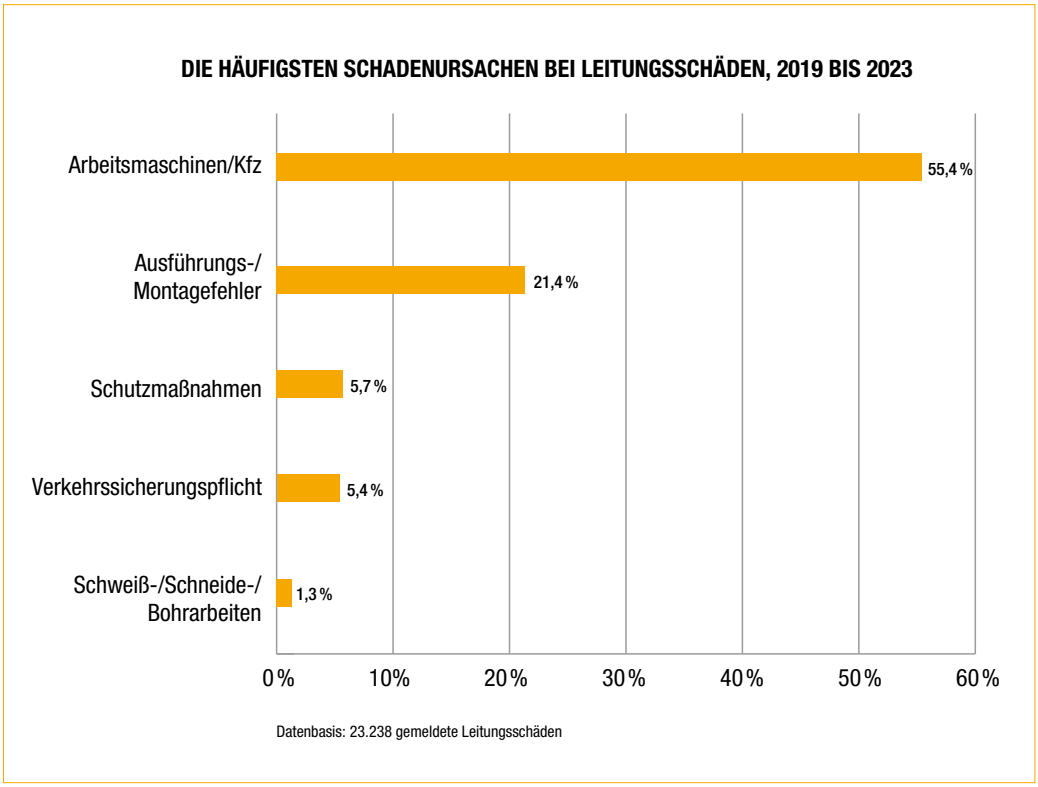


Abb. 23: Die häufigsten Schadenursachen bei Leitungsschäden, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Dabei sind vor allem Kommunikationsleitungen und Starkstromkabel von Beschädigungen betroffen (vgl. Abb. 24). Insgesamt entfallen mehr als drei Viertel aller Leitungsschäden auf diese beiden Leitungsarten.

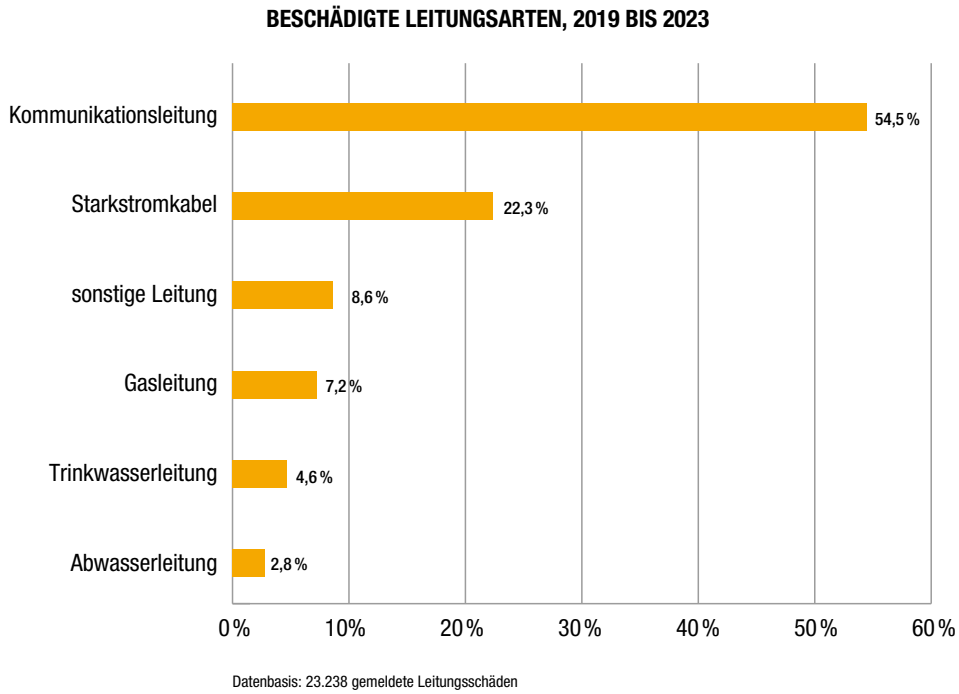


Abb. 24: Die von Beschädigungen betroffenen Leitungsarten, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Diese Ergebnisse decken sich mit den Feststellungen der bisherigen Tiefbauberichte, in denen entsprechende Schadendaten aus den Jahren 2015 bis 2023 analysiert worden sind. Damit stehen vergleichbare Zahlen als Erweiterung der aktuellen Daten (vgl. Kap. 4.2) zur Verfügung, die in der Grafik in Abb. 25 zusammengeführt werden. Hier zeigt sich, dass die Schadenhäufigkeit bei Starkstromkabeln über den gesamten Untersuchungszeitraum eine leicht rückläufige Tendenz aufweist (minus 3 Prozent), während bei den Kommunikationsleitungen tendenziell ein leichter Anstieg der Zahlen (plus 13 Prozent) zu verzeichnen ist.

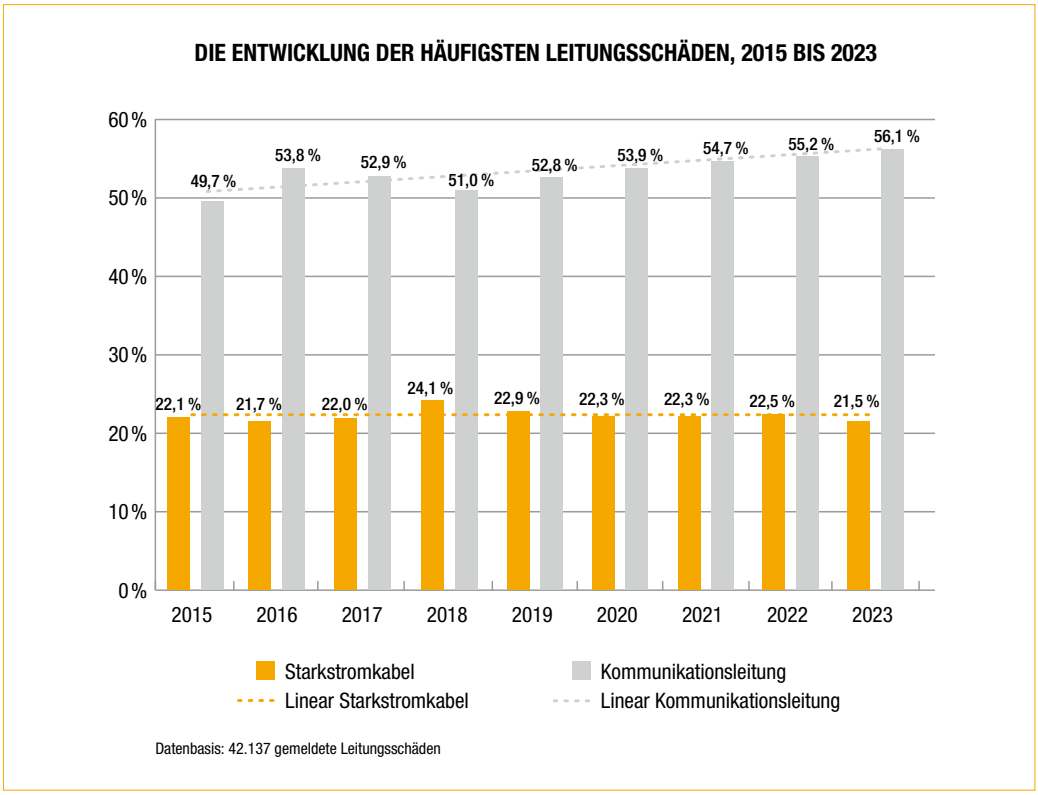


Abb. 25: Die Entwicklung der häufigsten Leitungsschäden, 2015 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Die Häufigkeit von Leitungsschäden lässt sich vor allem mit der stetig steigenden Verdichtung der Leitungsinfrastruktur im Baugrund erklären. In diesem Zusammenhang ist zum Beispiel auf den notwendigen Ausbau des Kommunikationsnetzes (»Breitbandausbau«) zu verweisen. Diese Entwicklung führt dazu, dass beispielsweise bei Reparaturarbeiten an bestehenden Leitungen oder beim Verlegen von neuen Leitungen die Wahrscheinlichkeit von Beschädigungen am vorhandenen Leitungsnetz weiter zunimmt. Erschwerend kommt hinzu, dass vor den Tiefbaumaßnahmen teilweise keine Leitungsauskunft eingeholt wird bzw. dass die eingeholten Auskünfte nicht aussagekräftig sind. Wenn aber die genaue Lage von vorhandenen Leitungen nicht bekannt ist, können Tiefbauarbeiten im betreffenden Gebiet zu folgenschweren (Leitungs-)Schäden führen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn beispielsweise Hochspannungskabel für die elektrische Energieversorgung oder Kommunikationsleitungen wie Glasfaserkabel für den Datentransfer betroffen sind. Aufgrund ihrer vergleichsweise oberflächennahen Verlegetiefe von 50 bis 80 Zentimetern (zum Teil aber auch nur einige wenige Zentimeter) sind diese Leitungsarten besonders anfällig für mechanische Beschädigungen, wie die vorhergehenden Auswertungen bereits gezeigt haben.

Perspektivisch ist aber auch mit einer starken Zunahme von Schäden an der Verkehrsinfrastruktur zu rechnen, da eine insgesamt ungenügende Instandhaltung der Bauwerke zu einem umfassenden Sanierungsstau geführt hat. Dies äußert sich unter anderem in einer Beschädigung der Bausubstanz bis hin zur Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit. Hier sind vor allem Brückenbauwerke und Schienenanlagen zu nennen. Darüber hinaus wird es im Zusammenhang mit der angestrebten Energiewende zu massiv verstärkten Tiefbautätigkeiten kommen. So erfordert beispielsweise der Ausbau der Windenergie eine erhebliche Erweiterung der Übertragungsnetze. Dazu müssen kurz- und mittelfristig mehrere Tausend Kilometer Erdkabel neu verlegt sowie bestehende Leitungen optimiert und verstärkt werden. Auch der Ausbau der kommunalen Wärmenetze für die geplante klimaneutrale Wärmeversorgung wird zusätzliche Tiefbautätigkeiten zur Folge haben.

Darüber hinaus kann der auf Baustellen vorherrschende Zeitdruck zu einer mangelhaften Sorgfalt in der Ausführung und der Bauüberwachung führen. Qualitätsverluste bei den Bauleistungen sind die direkte Folge dieser Entwicklung. Erschwerend kommt hinzu, dass es über viele Jahre immer weniger (geeignete) Bewerber in den klassischen Ausbildungsberufen im Bauhandwerk gab und damit auch die Anzahl der sachkundigen Personen mit Handwerkskammerabschlüssen sinkt. Gleichzeitig ist eine stetige Weiterentwicklung der Bauprodukte zu beobachten, die häufig ein tieferes Verständnis für chemische und bauphysikalische Abläufe erfordert. Bei unzureichenden bautechnischen Vorkenntnissen besteht die Gefahr, dass diese Prozesse nicht vorhergesehen oder richtig eingeschätzt werden.

Weiterhin sind viele der auftretenden Bauschäden auf eine mangelhafte Schnittstellenkoordination zurückzuführen. Diese äußert sich häufig darin, dass parallel ablaufende Arbeiten unterschiedlicher Gewerke an einem Bauteil zu Unklarheiten über die Zuständigkeiten führen. Zusätzlich nachteilig wirkt sich aus, dass die gängige Praxis der Weitergabe von Teilgewerken an verschiedene Subunternehmer und Sub-Subunternehmer zu einer mangelnden Transparenz in Bezug auf die tatsächlich am Bau beteiligten Personen führt.

Zusammengefasst handelt es sich bei den wesentlichen erfassten Ursachen für Leitungsschäden um:

- unsachgemäße Bedienung von Arbeitsmaschinen/Kraftfahrzeugen (vor allem Baggermaschinen),
- Ausführungs-/Montagefehler, häufig aufgrund des mangelnden (bau-)technischen Verständnisses der Ausführenden,
- Flüchtigkeitsfehler aufgrund des hohen Zeitdrucks bei der Fertigstellung von Bauvorhaben,
- unzureichende Kenntnis über Art und Lage von erdverlegten Leitungen,
- fehlende oder unzureichende Kontrollen während und nach der Fertigstellung von betreffenden Tiefbauleistungen.

Die genannten Fehlerquellen lassen sich überwiegend unter dem Themenkomplex »mangelhafte Arbeitssorgfalt« zusammenfassen. Qualitätsverluste bei den Tiefbauleistungen sind die direkte Folge dieser Entwicklung. Erschwerend kommt der allgegenwärtige Fachkräftemangel hinzu. Parallel wird das Bauen im Bereich Tiefbau immer komplexer. Aber auch Mängel in der Ausführungsplanung, der konkreten Grundlage für das Bauen vor Ort, sind immer häufiger zu beobachten, ebenso wie unzureichende Kontrollen während und nach der Fertigstellung von Bauleistungen.

Abschließend soll der Fokus auf die anfallenden Schadenbeseitigungskosten von Leitungsschäden gelegt werden. Wie der Grafik in Abb. 26 zu entnehmen ist, zeigt sich über den Betrachtungszeitraum eine zum Teil deutliche Steigerung der Aufwendungen, obwohl sich die Schadenzahlen nicht im gleichen Verhältnis ändern. Diese Erkenntnisse decken sich mit den bisherigen Auswertungen, wonach vor allem bei den Leitungsschäden weiter steigende Schadenzahlen und damit steigende Schadenbeseitigungskosten zu erwarten sind.

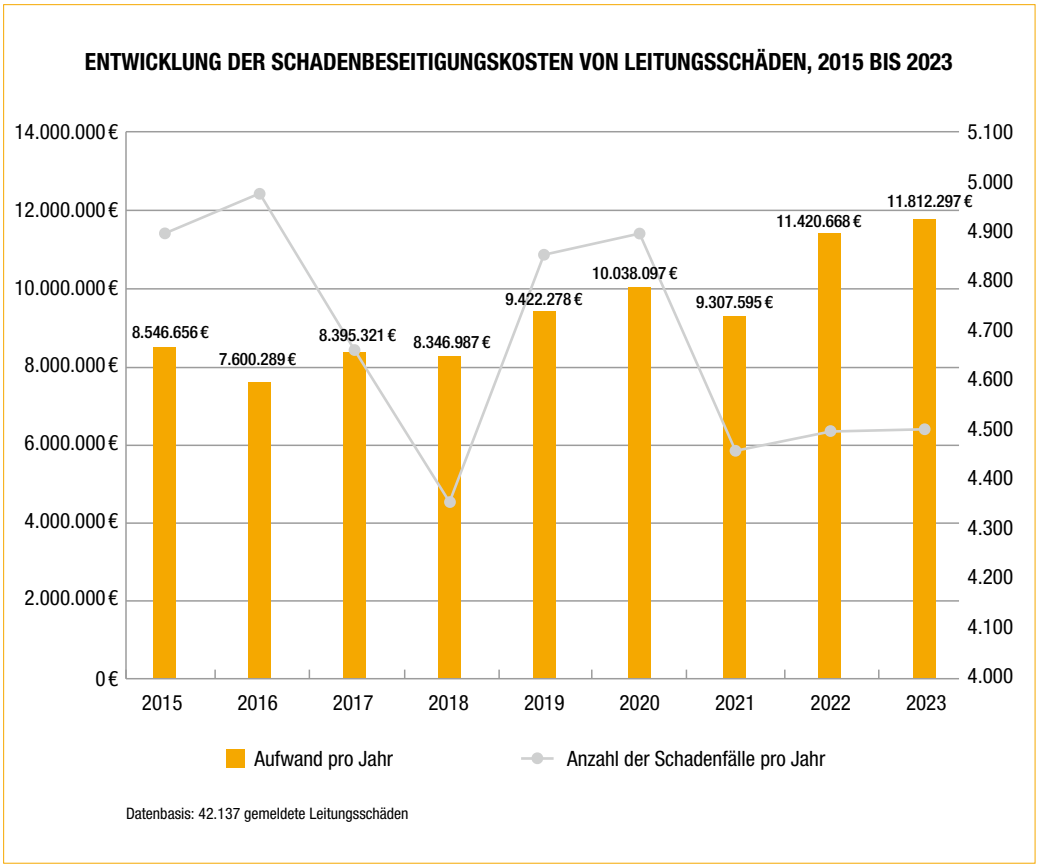


Abb. 26: Die Entwicklung der Schadenbeseitigungskosten von Leitungsschäden, 2015 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Schadenprävention

Vor allem mit Blick auf die Entwicklung der Bauqualität können die Untersuchungsergebnisse nicht zufriedenstellen. Um Tiefbauschäden weitestgehend zu vermeiden oder zumindest die Anzahl deutlich zu reduzieren, sind insbesondere bei der Qualität der Bauausführung und der Bauüberwachung Veränderungen notwendig.

So kann gerade eine gute und praxisnahe Qualifikation von Fachkräften maßgeblich zu einer fachgerechten und qualitätsvollen Ausführung von Tiefbauleistungen beitragen und damit einen entscheidenden Aspekt bei der Prävention von Tiefbauschäden darstellen. Fachkräfte, die im Rahmen ihrer Ausbildung umfangreiche entsprechende Kompetenzen erlangt haben, können mit den immer komplexer werdenden Bauaufgaben sicher und selbstverantwortlich umgehen. Wichtig sind in diesem Zusammenhang moderne und bedarfsgerechte Ausbildungen, gute und möglichst bundeslandübergreifend einheitliche Ausbildungsstandards sowie gezielte Weiterbildungsmöglichkeiten zur Anpassung und Fortentwicklung der erworbenen Kompetenzen.

Ein weiterer wesentlicher Faktor bei der Schadenprävention ist die kontinuierliche Überwachung der Tiefbauprojekte nach vorab definierten Qualitätsstandards. Durch eine regelmäßige Überprüfung der Einhaltung von technischen Anforderungen, Umweltschutzmaßnahmen und Sicherheits-/Arbeitsschutzvorschriften können die Ausführungsqualität von Tiefbauleistungen wie auch die Sicherheit auf Baustellen gewährleistet werden.

Neben der Qualifikation von Fachkräften und der Bauüberwachung stellt die Koordination der fachlichen und kommunikativen Schnittstellen im Baubetrieb einen weiteren relevanten Aspekt im Hinblick auf die Schadenprävention dar. Gerade in diesem Bereich kann es aufgrund der Komplexität der Bauaufgaben und der zahlreichen Baubeteiligten zum Verlust von Informationen, zu Missverständnissen und Fehlern kommen, was am Ende häufig zu Verzögerungen im Bauablauf und zu Qualitätsmängeln führt. Die vorausschauende Organisation einer Baustelle und die integrierende Koordination aller am Bau Beteiligten stellen aber die Grundlage jedes Bauvorhabens dar. Dazu zählen die Erarbeitung eindeutiger Leistungsverzeichnisse und Bauzeitenpläne sowie das Durchsetzen eines regelmäßigen Dialogs der beteiligten Gewerke mit dem Ziel einer engen Abstimmung der jeweiligen Arbeiten.

Insgesamt kann die Anwendung der genannten Maßnahmen dazu beitragen, das jährliche Schadenaufkommen und die damit verbundenen Schadenkosten nachhaltig zu senken.

4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Die Untersuchung zur Entwicklung der Bauschäden im Bereich Tiefbau und Infrastruktur hat im Hinblick auf die Schadenzahlen zu überraschenden Ergebnissen geführt. Wurden in den ersten beiden Tiefbauberichten noch in etwa gleichbleibende bzw. sinkende Schadenzahlen festgestellt, so zeigt sich in der aktuellen Auswertung in diesem Bereich eine grundsätzlich steigende Tendenz (vgl. Kap. 4.1). Bestätigt wurde zudem die von vielen Baubeteiligten gefühlte bzw. wahrgenommene kontinuierliche Steigerung der Aufwendungen für die Schadenbeseitigung (vgl. Kap. 4.1).

Darüber hinaus hat die Schadenanalyse im Wesentlichen zu Ergebnissen geführt, die in dieser oder ähnlicher Form erwartet worden waren. Wie die ersten beiden Tiefbauberichte zeigt auch der aktuelle Bericht, dass es sich bei der mit Abstand häufigsten Schadenart um Leitungsschäden handelt (vgl. Kap. 4.2) und dass die meisten Tiefbauschäden durch eine unsachgemäße Bedienung von Arbeitsmaschinen verursacht werden (vgl. Kap. 4.3) – bei diesen Ergebnissen sind über den erweiterten Betrachtungszeitraum von 9 Jahren (2015 bis 2023) keine Veränderungen festzustellen. Auch bei den Schadenstellen gibt es keine Überraschungen, hier sind Kommunikationsleitungen deutlich am häufigsten betroffen (vgl. Kap. 4.4).

Die herausgearbeiteten Schwerpunktschäden lassen sich auf einige wenige grundlegende Ursachen zurückführen, die im Wesentlichen durch mangelhafte Arbeitssorgfalt und fehlende Fachkräfte bei parallel steigenden (technischen) Anforderungen an die Tiefbauarbeiten und durch unzureichende Kontrollen während und nach der Fertigstellung von Bauleistungen zu erklären sind (vgl. Kap. 4.5). Diese Umstände führen in ihrer Gesamtheit zu einem empfundenen Qualitätsverlust bei den Ausführungen, wobei sich diese Wahrnehmung eindeutig mit konkreten Zahlen untermauern lässt.

Werden die Daten aus dem aktuellen Bericht zugrunde gelegt, ergibt sich bei der verwendeten Datenbasis von rund 27.300 Schadenfällen in fünf aufeinanderfolgenden Kalenderjahren bei einer etwa gleichbleibenden Anzahl von Versicherungsverträgen ein Schadenaufwand von insgesamt rund 100 Millionen Euro. Weiterhin zeigt sich ein kontinuierlicher Anstieg der jährlichen Aufwendungen für die Schadenbeseitigung, der sich über den Betrachtungszeitraum um rund 42 Prozent erhöht (vgl. Abb. 06). Noch deutlicher fällt der Anstieg der Kosten aus, die im Durchschnitt pro Schadenfall und Jahr aufzuwenden sind. Hier ist ein Plus von rund 46 Prozent zu verzeichnen (vgl. Abb. 09).

Mit den Daten aus den ersten beiden VHV-Bauschadenberichten stehen zudem vergleichbare Zahlen als Erweiterung der aktuellen Betrachtung zur Verfügung, die in der Grafik in Abb. 27 zusammengeführt werden. Hier ist die Entwicklung der Schadenaufwendungen zwischen 2015 und 2023 dargestellt, wobei ein stetiger Anstieg der Zahlen zu erkennen ist. Insgesamt ist für die untersuchten neun Jahre eine Steigerung der durchschnittlichen Aufwendungen pro Jahr in Höhe von rund 16 Millionen Euro im Jahr 2015 auf rund 23,5 Millionen Euro im Jahr 2023 zu verzeichnen, was einem Anstieg von rund 45 Prozent entspricht. Alles in allem belaufen sich die Schadenaufwendungen für die Jahre 2015 bis 2023 auf rund 165 Millionen Euro. Anhand dieser Zahlen lässt sich die Annahme der steigenden Aufwendungen für die Abwicklung von Tiefbauschäden zweifelsfrei bestätigen.[18]

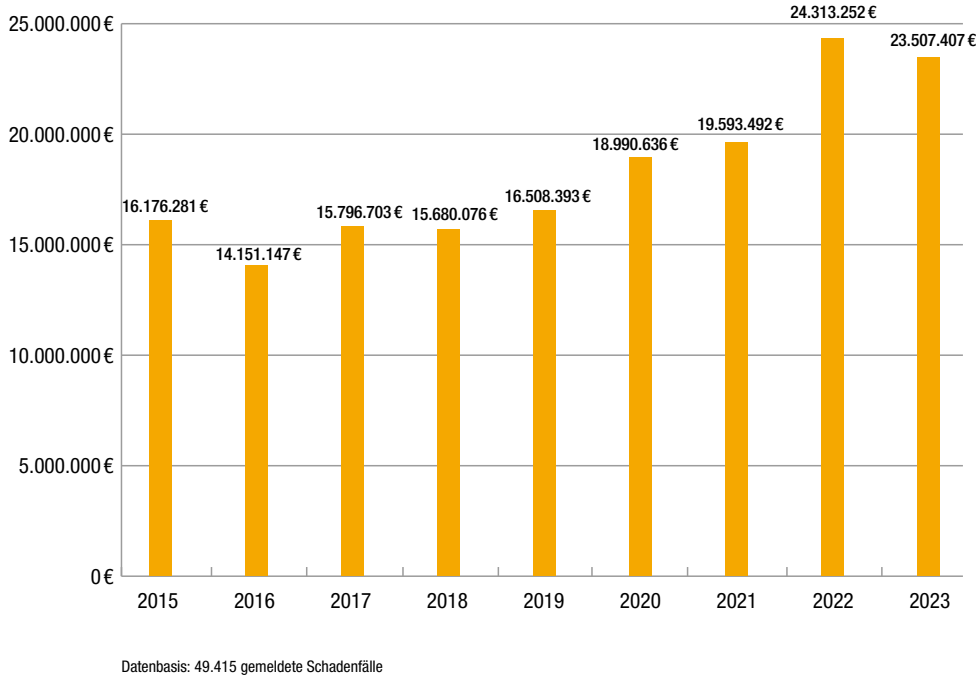


Abb. 27: Der Aufwand für die gemeldeten Schadenfälle pro Jahr, 2015 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

18 Stand der Datenerhebung: 31.12.2023

Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei der genannten Summe um die Gesamtheit aller Kosten handelt, die mit der (versicherungstechnischen) Schadenbeseitigung verbunden sind. Im Einzelnen setzen sich diese Kosten zusammen aus den Rückstellungen, den Regulierungskosten und den eigentlichen Zahlungen (vgl. Kap. 4.1).

Bei der Zahlung handelt es sich um die ermittelte Geldleistung, die am Ende einer Fallbearbeitung zur Schadenbehebung ausgezahlt wird. Insofern ermöglicht der Blick auf die Zahlungssummen einen realistischeren Blick auf die für den Versicherer tatsächlich angefallenen Schadenbeseitigungskosten. Einen entsprechenden Überblick gibt die Grafik in Abb. 28, in der die Zahlungen für abgeschlossene Schadenfälle zwischen 2015 und 2023 dargestellt werden. Im Gegensatz zu den Aufwendungen ist hier ein leichter Abwärtstrend zu erkennen, wobei im Jahr 2023 die tatsächlich ausgezahlten Summen wieder deutlich ansteigen. Insgesamt sinken die Zahlungen für abgeschlossene Schadenfälle von rund 3,5 Millionen Euro im Jahr 2015 auf rund 2,8 Millionen Euro im Jahr 2023, was einem Rückgang von rund 20 Prozent entspricht.

Zusammengefasst lässt sich anhand der vorliegenden Zahlen die Annahme der steigenden Kosten für die Behebung von Bauschäden nur zum Teil bestätigen. Allerdings ist anzunehmen, dass mit den wieder deutlich zunehmenden Tiefbautätigkeiten und dem wieder einsetzenden Infrastrukturausbau nach der COVID-19-Pandemie auch mit einer wieder zunehmenden Schadenhäufigkeit und damit mit wieder ansteigenden Schadenbeseitigungskosten zu rechnen ist.

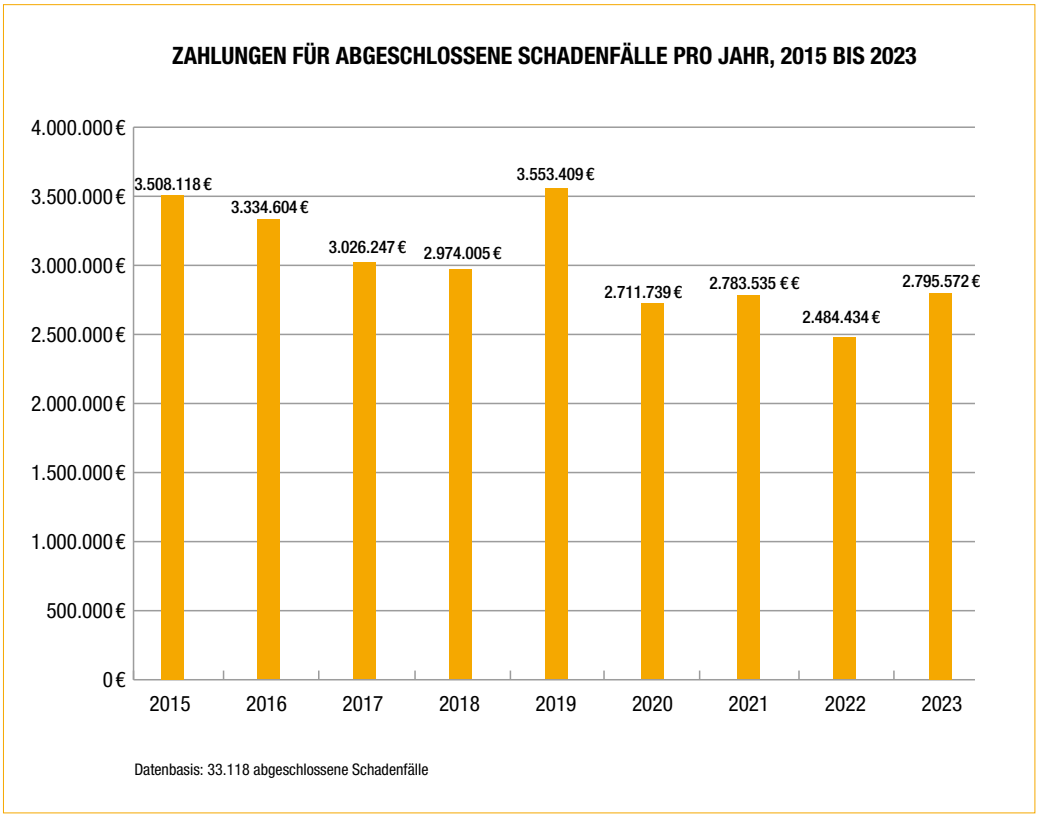


Abb. 28: Die Zahlungen für die abgeschlossenen Schadenfälle pro Jahr, 2015 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Bei der Einordnung der genannten Summen ist zu berücksichtigen, dass ausschließlich bei der VHV gemeldete Schadenfälle betrachtet werden und sich damit kein repräsentatives Gesamtbild sämtlicher bei allen Versicherungen gemeldeten Schadenfälle darstellt.

Fazit

Die herausgearbeiteten Schwerpunktschäden beruhen im Wesentlichen auf einigen wenigen, aber grundlegenden Schadenursachen, wobei bei der Art der Ursachen seit Jahren keine Veränderung festzustellen ist bzw. immer wieder die selben Ursachen erkannt werden. Hierbei handelt es sich vor allem um mangelhafte Arbeitssorgfalt bei parallel steigenden (technischen) Anforderungen an die Tiefbauarbeiten und unzureichende Kontrollen während und nach der Fertigstellung von Bauleistungen. Diese belegten Fakten führen bei den Baubeteiligten immer häufiger auch zu einem empfundenen umfassenden Qualitätsverlust der ausgeführten Arbeiten. Dies bestätigen zudem die Praxiserfahrungen der Autoren.

Der Blick auf den üblichen Handlungs-/Prozessablauf im Tiefbau zeigt, dass bereits die Planungsphase entscheidend ist für den erfolgreichen Abschluss einer Bauleistung. Die Verantwortung dafür beginnt also schon beim Planer, der mit dem erforderlichen Wissen und unter Beachtung der geltenden Regeln und der örtlichen Gegebenheiten (zum Beispiel der Kenntnis über die Lage vorhandener Leitungen im Bestand) die Planung erarbeitet. Die Verantwortung für die Ausführung liegt dann bei den Fachkräften vor Ort. Um alle Baubeteiligten gleichermaßen in die Bauaufgabe einzubinden, ist ein frühzeitiger und umfassender Informationsaustausch sinnvoll und entscheidend. Beispielsweise können vom Planungsbeginn an stattfindende regelmäßige Baubesprechungen bzw. Meetings und ein kontinuierlicher (digitaler) Informations- und Datenaustausch helfen, bestimmte Ausführungsschritte – oder deren Änderung – transparent darzustellen. An den Besprechungen bzw. Meetings sollten neben den verantwortlichen Planern und den Vertretern des Auftraggebers immer auch die auf der Baustelle aufsichtführenden Personen teilnehmen.

Eine zentrale Voraussetzung für einen erfolgreichen Bauablauf besteht darin, dass alle am Bau Beteiligten ihre jeweiligen Verantwortlichkeiten klar definieren und sich dieser bewusst sind. Darüber hinaus trägt ein umfassendes Verständnis der Prozessabläufe sowie der technischen und logistischen Zusammenhänge wesentlich dazu bei, die Qualität der Bauausführung zu steigern.

Weiterhin kann eine unabhängige Qualitätssicherung wesentlich zur Verbesserung der Bauqualität beitragen. Dabei übernehmen externe, qualifizierte Ingenieurbüros ergänzend zur regulären Bauüberwachung die Kontrolle der Bauausführung. Durch diese unabhängige Überprüfung wird sichergestellt, dass Mängel und/oder Schäden frühzeitig erkannt und sämtliche festgelegten Vorgaben eingehalten werden. Dies führt zu einer Reduktion des Schadenrisikos und erhöht die Gesamtsicherheit sowie die Qualität der Bauleistung.

Aus den genannten Punkten lassen sich Maßnahmen ableiten, die sowohl maßgeblich zum Rückgang von Schäden im Tiefbau beitragen als auch zu einer deutlichen Reduzierung der tatsächlichen Schadenbeseitigungskosten führen können.

Folgende Maßnahmen zur Schadenverringerung können demnach formuliert werden:

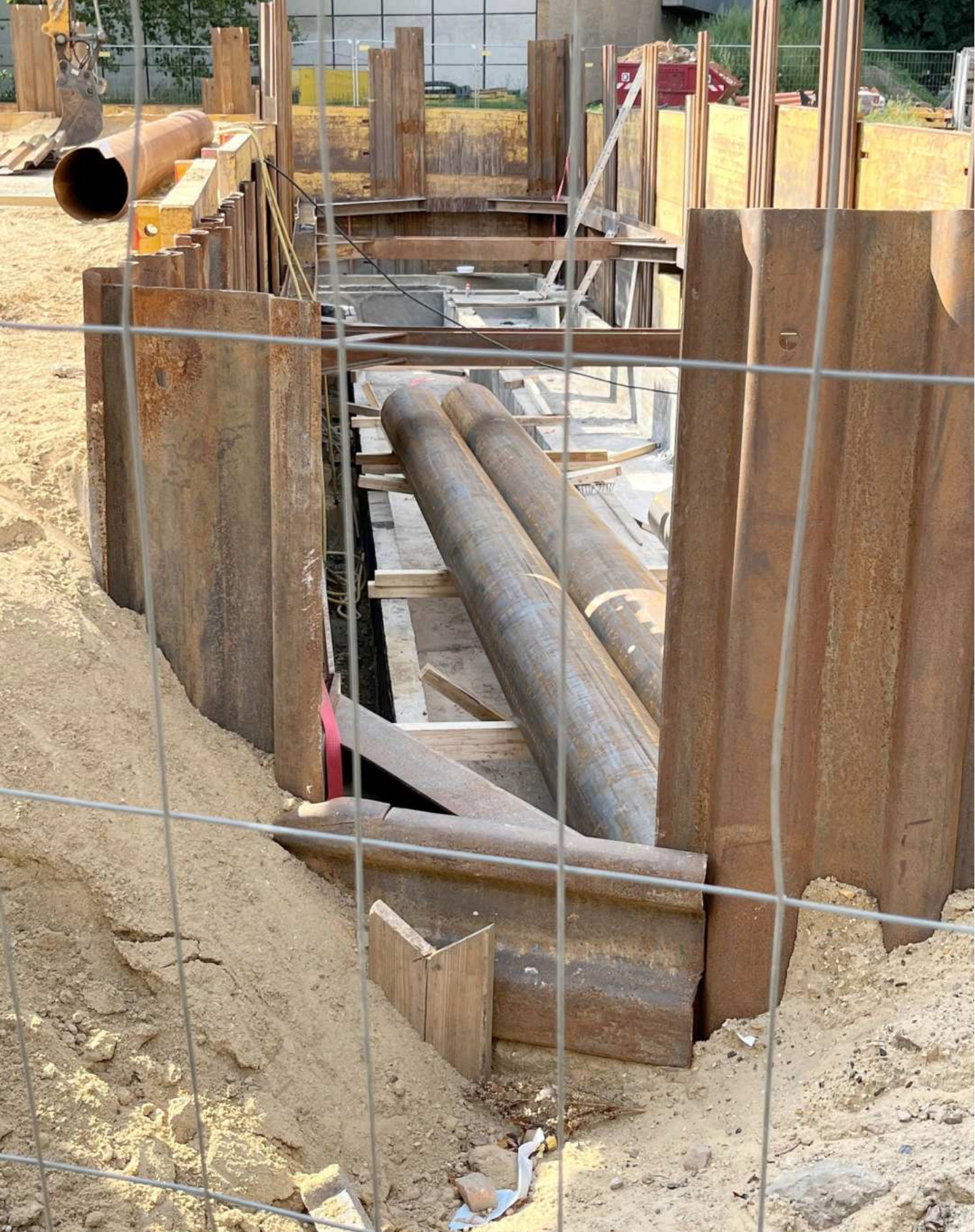
- fachgerechte Vorbereitung und Planung der Tiefbauarbeiten,
- Anwendung der Möglichkeiten der Leitungsauskunft und Verfahren zur Leitungsortung,
- Verfügbarkeit detaillierter Lagepläne,
- Einsatz genormter Schutz- und Warneinrichtungen (zum Beispiel detektierbare Trassenbänder, Kabelabdeckungen) zur besseren Kennzeichnung erdverlegter Kabel und Leitungen,
- sorgfältige Ausführung der Tiefbauarbeiten,
- Beschäftigung von sachkundigen Fachkräften,
- frühzeitige und umfassende Kommunikation zwischen allen Baubeteiligten,
- systematische Qualitätskontrollen durch unabhängige Prüfer.

Wenn die zuvor genannten Aspekte auf ihre grundlegenden Aussagen reduziert werden, kristallisieren sich Forderungen heraus, die im Wesentlichen keine neuen Ansprüche darstellen. Insbesondere handelt es sich bei der Qualifikationsoffensive zur Bekämpfung des Fachkräftemangels sowie bei der Vereinfachung der Bereitstellung aussagekräftiger Leitungsauskünfte um bereits seit vielen Jahren geäußerte Forderungen.

Zusätzlich zu diesen bekannten Problemfeldern muss sich die Bauwirtschaft noch immer mit den Auswirkungen des Kriegs in der Ukraine befassen. So waren gerade die Jahre 2021 und 2022 von erheblichen Preissteigerungen betroffen, wobei insbesondere die Preise für Transportbeton, Asphalt und Dieselkraftstoff deutlich angezogen haben. Diese Entwicklungen sowie die (nach den gerade überstandenen »Pandemiejahren«) teilweise noch bestehenden Lieferengpässe bei Baumaterialien haben zu Bauverzögerungen, Baustopps, Stornierungen von Aufträgen und Umsatzrückgängen geführt und in der Folge das Insolvenzrisiko im Baugewerbe erhöht. Trotzdem halten die Tiefbauunternehmen an ihren Fachkräften fest und bilden auch weiter aus.

Die Konjunkturprognose für die Baubranche ist derzeit ambivalent. Während der Umsatz im Hochbaubereich immer noch rückläufig ist, wird im Tiefbaubereich für das aktuelle Jahr 2025 von einem leichten Wachstum ausgegangen. Noch besser sind die Aussichten für den sogenannten Wirtschaftstiefbau, wo die Aufträge um rund 28 Prozent zulegten.[19] Zurückzuführen sind diese positiven Nachrichten vor allem auf verstärkte Investitionen der Betreiber und Versorger in den Schienen- und Breitbandausbau sowie in den Ausbau der Energieinfrastruktur.

19 Zentralverband Deutsches Baugewerbe (ZDB): Bauhauptgewerbe: Aufträge steigen zum Jahresstart deutlich. Pressemeldung vom 25.03.2025. https://www.zdb.de/meldungen/bauhauptgewerbe-auftraege-steigen-zum-jahresstart-deutlich [abgerufen am: 31.03.2025]



5 SCHADENBEISPIELE

5.1 FALLBEISPIEL

MANGELHAFTER SCHICHTENVERBUND IN DER ASPHALTDECKE EINER SANIERTEN AUTOBAHN

Was ist passiert?

Im Rahmen einer Autobahnsanierung wurde eine Asphaltdecke mangelhaft verdichtet, was zu einem gestörten Schichtenverbund innerhalb der Asphaltschicht führte. Schadenursächlich war der Einsatz einer für die Vorverdichtung nicht geeigneten Walze.

SCHADENQUELLE

Wie kam es dazu?

Vom Suchen und Finden der Ursache

Die Fahrbahndecke einer vierspurigen Autobahn musste saniert werden. Eine immer stärkere Verkehrsbelastung hatte bei dem nicht darauf ausgelegten Straßenaufbau zu Rissbildungen und weiteren Schad- und Fehlstellen auf der Betonoberfläche geführt. Mit den Sanierungsarbeiten des rund 10 Kilometer langen Streckenabschnitts wurde ein Tiefbauunternehmen beauftragt, das sich auf Straßenbauarbeiten spezialisiert hat. Die Arbeiten sollten in zwei Bauabschnitten erfolgen (je Fahrtrichtung ein Bauabschnitt).

Das Sanierungsziel war die Herstellung eines belastbareren Oberbaus, um damit auf das gestiegene Verkehrsaufkommen zu reagieren. Bei dem Oberbau handelt es sich um den oberen Teil des Straßenaufbaus, dessen Gesamtdicke in Abhängigkeit von der erwar-

teten Verkehrsbelastung gewählt wird. Im vorliegenden Fall lag diese ursprünglich bei 85 Zentimetern und setzte sich aus einer 27 Zentimeter dicken Betondecke (ursprüngliche Fahrbahndecke), einer 15 Zentimeter dicken (hydraulisch gebundenen) Tragschicht und einer 43 Zentimeter dicken Frostschutzschicht zusammen.

Der vorgesehene neue Aufbau sah eine zusätzliche 12 Zentimeter dicke Asphaltschicht vor, die auf die bestehende Betondecke aufgebracht werden sollte. Dazu wurde der Beton gründlich gereinigt und mit einem Haftkleber bzw. einer wasserfreien Bitumenemulsion behandelt, bevor die neue Asphaltdecke aufgebracht wurde. Eingebaut wurden eine 8 Zentimeter dicke Asphaltbinderschicht und eine darüber liegende 4 Zentimeter dicke Asphaltdeckschicht (Fahrbahndecke = Nutzschicht); diese beiden Schichten werden gemäß RStO 12/24[1] zur Asphaltdecke zusammengefasst. Das Verdichten des Asphaltmischguts erfolgte durch mehrere Walzeinsätze mit einer Tandemvibrationswalze. Aufgrund der während des Einbaus günstigen Witterungsbedingungen (Lufttemperatur immer über 10° C, keine Niederschläge) konnte die Sanierung des Streckenabschnitts innerhalb des vorgegebenen Zeitplans fertiggestellt werden.

Im Rahmen der üblichen Prüfungen zur Qualitätssicherung des eingebauten Asphalts wurden nach Fertigstellung des sanierten Streckenabschnitts Kontrollprüfungen gemäß den anzuwendenden Richtlinien der ZTV Asphalt-StB 07/13[2] durchgeführt. Dabei wurden eine bestimmte Anzahl Bohrkerne aus dem Straßenoberbau gezogen und unter anderem hinsichtlich Schichtdicke, Verdichtungsgrad und Schichtenverbund untersucht.

Das beauftragte Prüfinstitut testete die Bohrkerne überwiegend ohne Beanstandungen. Bei der Bestimmung der Wirksamkeit des Schichtenverbundes kam es jedoch bei zahlreichen Bohrkernen zu Abrissen innerhalb der neuen Asphaltdecke, genauer gesagt innerhalb der Asphaltbinderschicht (vgl. Abb. 01).

1 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen. Köln: FGSV Verlag, 2024

2 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt. Köln: FGSV Verlag, 2013

Abb. 01: Geprüfter Bohrkern, Abriss innerhalb der neuen Asphaltdecke

Der Schichtenverbund beschreibt die Verbindung zwischen den Einzelschichten des Asphaltoberbaus, der – verkürzt dargestellt – durch Verzahnung und Verklebung des Mischguts beim Einbau entsteht. Entscheidend sind dabei unter anderem die Einbautemperatur und die Einbautechnik sowie die Zusammensetzung des jeweiligen Mischguts und dessen Verdichtung.

Als Ursache für den im vorliegenden Fall unwirksamen Schichtenverbund wurde ein mangelhafter Einbau des eigentlich einwandfreien Asphaltmischguts festgestellt. Wie sich herausstellte, wurde für den ersten Walzgang eine sogenannte Tandemvibrationswalze eingesetzt, wie sie üblicherweise für die Endbearbeitung von Asphalt eingesetzt wird. Hier erfolgte eine »Überverdichtung« des Mischguts, sodass eine zuverlässige Verbindung innerhalb der Asphaltschicht nicht hergestellt werden konnte.

SCHADENBEHEBUNG

Der Weg zur geeigneten Sanierung

Was wurde unternommen?

Der unwirksame Schichtenverbund betraf den gesamten sanierten ersten Streckenabschnitt. Für die Schadenbehebung kam daher nur ein vollständiger Ersatz der neu erstellten Asphaltdecke infrage. Dazu wurden die einzelnen Asphaltschichten (4 Zentimeter Deckschicht, 8 Zentimeter Binderschicht) bis auf die Betondecke abgefräst und im Anschluss die neue Asphaltdecke fachgerecht unter Einhaltung der geltenden technischen Vorgaben wiederhergestellt.

SCHADENREGULIERUNG

Klärung der Verantwortlichkeiten

Wer ist wofür verantwortlich?

Für die abschließende Regulierung eines Schadens müssen die Verantwortlichkeiten der einzelnen Beteiligten geklärt werden. Im konkreten Fall lagen diese bei dem Tiefbauunternehmen, das für die Sanierung des betreffenden Streckenabschnitts bzw. für die mangelhafte Ausführung der Asphaltdecke verantwortlich war, sowie bei dem für die Bauüberwachung der Asphaltierungsarbeiten zuständigen Ingenieurbüro. Die (technischen) Verantwortlichkeiten wurden folgendermaßen quotiert:

- Tiefbauunternehmen (Ausführung) – 50 Prozent
- Ingenieurbüro (Bauüberwachung) – 50 Prozent

Die schadenbedingten Gesamtkosten wurden mit rund 3,6 Millionen Euro (netto) veranschlagt. Diese Summe setzt sich vor allem zusammen aus den Kosten für den Rückbau (einschließlich Entsorgung) und das Wiederherstellen der Asphaltdecke sowie die Mitarbeiterstunden (Normalstunden, Überstunden und Wochenendstunden).

Bei den Rückbau- und Wiederherstellungsarbeiten handelt es sich um eine Schadenbeseitigung an der eigenen Leistung des Tiefbauunternehmens; diese wurden vom Haftpflichtversicherer nicht übernommen.

SCHADENVERMEIDUNG

Sinnvolle Lösungsansätze

Wie geht es richtig?

Bei der Herstellung einer neuen Straßenbefestigung wurde das Asphaltmischgut mangelhaft verdichtet, sodass kein ausreichender Schichtenverbund in der Asphaltschicht entstehen konnte.

Die Relevanz eines vollflächigen und zuverlässigen Schichtenverbunds ergibt sich daraus, dass die dauerhaften Beanspruchungen aus der Verkehrslast und der Bewitterung vom Asphaltoberbau schadlos aufgenommen und in den Unterbau abgetragen werden müssen. Der Zustand des Schichtenverbunds ist somit entscheidend für die Dauerhaftigkeit bzw. die Nutzungsdauer einer Straße.

In diesem Zusammenhang sind für den Asphalteinbau zahlreiche Regeln zu berücksichtigen. Diese betreffen unter anderem die Einbautemperatur, die je nach Beschaffenheit des Asphaltmischguts 140 bis 180 °C beträgt; zu kaltes oder hitzegeschädigtes Mischgut darf nicht eingebaut werden. Weiterhin ist die Einbaugeschwindigkeit zu beachten, die über die gesamte Einbauzeit möglichst gleichmäßig sein sollte. Von besonderer Bedeutung sind die Witterungsverhältnisse, denn der Einbau von Asphalt erfordert, je nach Art des Asphaltmischguts, bestimmte Umgebungslufttemperaturen; bei Regen und nassen oder gefrorenen Unterlagen dürfen die Arbeiten nicht durchgeführt werden. Nach dem Einbau werden die einzelnen Asphaltschichten durch mehrmaliges Walzen verdichtet. Dabei ist die Art der eingesetzten Walze unter anderem in Abhängigkeit von der Art des Asphaltmischguts und der Einbaudicke der einzelnen Schichten zu wählen.

5.2 FALLBEISPIEL

BESCHÄDIGUNG EINES ERDKABELS BEI EINER GEHWEGSANIERUNG

Was ist passiert?

Bei einer Gehwegsanierung wurde ein erdverlegtes Mittelspannungskabel beim Freilegen beschädigt. Es kam zu einem elektrischen Kurzschluss, was in der Folge zu zahlreichen Schäden im Verteilnetz führte. Gemäß dem vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Leitungsplan sollte das Kabel an anderer Stelle verlegt sein, als es tatsächlich der Fall war.

SCHADENQUELLE

Wie kam es dazu?

Vom Suchen und Finden der Ursache

Im Rahmen der Vorbereitungsarbeiten für die Grundsanierung eines innerstädtischen Gehwegs sollte das bestehende Pflaster einschließlich des Pflasterbetts und der Tragschicht bis auf den Unterbau entfernt und erneuert werden (vgl. Abb. 01). Die Arbeiten wurden von einem Tiefbauunternehmen im Auftrag der Stadt durchgeführt, die auch den Leitungsplan mit der vorhandenen Leitungsinfrastruktur im betreffenden Gebiet zur Verfügung gestellt hatte. Der Auftragnehmer führte keine weiteren Prüfungen hinsichtlich der Richtigkeit der Planunterlagen durch.

Aus dem vorliegenden Leitungsplan ging hervor, dass der Boden im Bereich des betreffenden Gehwegs leitungsfrei sein sollte; in einem parallel dazu verlaufenden begrünten Seitenstreifen, der von den Sanierungsarbeiten ausgenommen war, sollte ein Mittelspannungskabel (Betriebsspannung 10 kV) in 1,50 Metern Tiefe verlegt sein. Für die Arbeiten zum Aufnehmen der Pflastersteine und der weiteren auszutauschenden Materialien war die Verwendung von Baumaschinen zugelassen, zum Einsatz kam ein Bagger mit Zweischalengreifer.

Abb. 01: Blick auf den Gehweg; die Pflastersteine sind bereits entfernt

In einer Tiefe von rund 40 Zentimetern stießen die Beschäftigten des Tiefbauunternehmens unvermutet auf ein Erdkabel, das dabei stark beschädigt wurde (vgl. Abb. 02). Da das zugehörige Verteilnetz nicht freigeschaltet war und daher unter Spannung stand, verursachte der Kontakt des metallischen (und damit elektrisch leitfähigen) Greifwerkzeugs mit dem spannungsführenden Kabel einen elektrischen Kurzschluss. Als Folge kam es zu einem Stromausfall, von dem zwei angrenzende Stadtteile mit etwa 21.000 privaten Haushalten betroffen waren.

Abb. 02: Beschädigtes Erdkabel

Wie sich herausstellte, waren die Angaben im Leitungsplan nicht korrekt. So unterschieden sich der eingezeichnete und der tatsächliche Verlauf des Erdkabels erheblich.

SCHADENBEHEBUNG

Der Weg zur geeigneten Sanierung

Was wurde unternommen?

Aus Sicherheitsgründen wurden die laufenden Arbeiten sofort eingestellt und die betreffende Schadenstelle gesichert. Der benachrichtigte Netzbetreiber schickte umgehend ein Service-Team zum Schadenort, um das Ausmaß des Schadens festzustellen.

Im nächsten Schritt erfolgte die Reparatur des defekten Erdkabels. Dafür wurde das Netz abgeschaltet und das Kabel großräumig freigelegt. Die Reparatur selbst erfolgte durch das Herausschneiden des beschädigten Abschnitts und das Einsetzen eines neuen Teilstücks (vgl. Abb. 03). Die Verbindungsstellen wurden mit sogenannten Schrumpfmuffen gesichert. Zum Abschluss der Reparaturarbeiten erfolgte das Messen des Isolationswiderstands in der Kabelstrecke. Diese Überprüfung muss grundsätzlich vor Wiederinbetriebnahme durchgeführt werden und dient der Sicherstellung der vollen Funktionsfähigkeit einer elektrischen Anlage. Nach erfolgreicher Messung erfolgte das erneute Zuschalten in das Verteilnetz. Nach rund 11 Stunden war der Schaden behoben und die Versorgungsunterbrechung beendet.

Darüber hinaus kündigte der Netzbetreiber an, das Erdkabel im Rahmen der sowieso stattfindenden Tiefbauarbeiten auf die ursprünglich vorgesehene Verlegetiefe umlegen zu lassen.

Abb. 03: Für die Reparatur vorbereitetes Erdkabel

SCHADENREGULIERUNG

Klärung der Verantwortlichkeiten

Wer ist wofür verantwortlich? ⚠

Für die abschließende Regulierung eines Schadens müssen die Verantwortlichkeiten der einzelnen Beteiligten geklärt werden. Im konkreten Fall lag die Verantwortlichkeit für die Beschädigung eines Erdkabels bei dem Tiefbauunternehmen, das im Auftrag einer Gemeinde Erdarbeiten durchgeführt hatte, ohne vorher die vom Auftraggeber erhaltenen Leitungsauskünfte auf Vollständigkeit zu kontrollieren.

Da der Schadenfall noch nicht abgeschlossen ist, kann zu den Gesamtkosten noch keine endgültige Aussage getroffen werden. Derzeit werden die Schadenbeseitigungskosten auf rund 15.000 Euro (netto) geschätzt. Diese Summe setzt sich zusammen aus den Kosten für die Notfallreparaturarbeiten, die Mitarbeiterstunden (Normal-, Über- und Nachtstunden) und das eingesetzte Material. Strittig ist noch, wer gegenüber den Kunden des Netzbetreibers schadenersatzpflichtig ist und für die Schäden durch den halbtägigen Stromausfall aufzukommen hat.

SCHADENVERMEIDUNG

Sinnvolle Lösungsansätze

Wie geht es richtig? ⚠

Im Rahmen von Erdarbeiten wurde ein Erdkabel beschädigt, sodass es zu einem umfassenden Stromausfall kam. In dem vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Leitungsplan war der Verlauf des Erdkabels an anderer Stelle verzeichnet.

Alle im Baugrund stattfindenden Arbeiten setzen eine umfassende Leitungsauskunft für das betreffende Gebiet voraus. Nur mit detailliertem Wissen über die vorhandene Leitungsinfrastruktur können Schäden verhindert werden. Grundsätzlich ist bei Tiefbauarbeiten im innerstädtischen Bereich von dem Vorhandensein der unterschiedlichsten Versorgungsleitungen auszugehen. Daher muss vor jeder Tiefbaumaßnahme verpflichtend eine Leitungsauskunft aller involvierten Netzbetreiber mit Angaben zu Lage und Verlauf der erdverlegten Leitungen eingeholt werden (sogenannte Erkundungspflicht). Es ist nicht ausreichend, sich lediglich auf (mündliche) Auskünfte und/oder auf die Vollständigkeit der vom Auftraggeber übergebenen Planunterlagen zu verlassen.

Weiterhin ist es unzulässig, ohne genaue Kenntnis der Lage (Verlauf und Tiefe) von erdverlegten Kabeln und Rohrleitungen Gegenstände in das Erdreich zu treiben.[3] Insbesondere der Bereich der Energieversorgung zählt zu den sogenannten kritischen Infrastrukturen und hat damit eine besondere Relevanz für die Gesellschaft. Ausfälle oder Behinderungen können im Notfall existenzielle Bedrohungen darstellen.

Daher müssen bei Tiefbauarbeiten in der Nähe von erdverlegten Leitungen grundsätzlich Schutz- und Sicherungsmaßnahmen eingehalten werden, wie sie unter anderem den einschlägigen DGUV-Informationen zu entnehmen sind. Dazu gehört vor allem das Freischalten von elektrischen Leitungen vor Beginn der Arbeiten, um elektrische Gefährdungen der Beschäftigten zu vermeiden. Elektrische Leitungen gelten solange als unter Spannung stehend, bis der Netzbetreiber explizit deren Spannungsfreiheit bestätigt hat.

Kommt es bei Tiefbauarbeiten im Zusammenhang mit elektrischen Leitungen zum Schadenfall, gilt stets, dass die Arbeiten sofort zu unterbrechen und der Aufsichtführende des ausführenden Unternehmens sowie der Netzbetreiber bzw. die Netzleitstelle zu informieren sind. Die Beschäftigten auf der Baustelle müssen sich umgehend aus der Gefahrenzone begeben und einen bestimmten, von der Spannungshöhe abhängigen Sicherheitsabstand einhalten. Zusätzlich ist die Baugrube entsprechend zu sichern. Grundsätzlich gilt, dass alle Sicherungs- und Schutzmaßnahmen mit den Leitungsbetreibern abzustimmen sind.

3 Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) (Hrsg.): DGUV Information 203-017 – Schutzmaßnahmen bei Erdarbeiten in der Nähe erdverlegter Kabel und Rohrleitungen. Berlin, 2019

5.3 FALLBEISPIEL

BESCHÄDIGTE ABDICHTUNG EINER TIEFGARAGENRAMPE DURCH EINE MANGELHAFT AUSGEFÜHRTE ELEKTRO-INSTALLATION

Was ist passiert?

Beim nicht fachgerechten Verlegen von Leerrohren für die Stromversorgung einer Schrankenanlage und einer Freiflächenheizung in einer Tiefgarage wurde die Rampenabdichtung erheblich beschädigt. Dadurch war die Abdichtung nicht mehr voll funktionsfähig.

SCHADENQUELLE

Wie kam es dazu?

Vom Suchen und Finden der Ursache

Für eine neu gebaute Gewerbeimmobilie sollten die Zu- und die Ausfahrtsrampe der Tiefgarage mit Freiflächenheizungen ausgestattet werden. Mithilfe dieser Heizsysteme können Freiflächen in den Wintermonaten schnee- und eisfrei und damit unabhängig von der Witterung ganzjährig begeh- und befahrbar gehalten werden. Bei den Rampen handelt es sich um Bauteile aus Stahlbeton mit einer Nutzschicht aus Gussasphalt.

Der geplante Aufbau des Rampenbelags sah eine Versiegelung der (gesäuberten) Betonflächen mit Epoxidharz vor, worauf eine zweilagige Abdichtung aus einer Lage Polymerbitumen-Schweißbahnen und einer 2,5 Zentimeter dicken Gussasphaltschicht als Schutzschicht aufgebracht werden sollte. Auf dem abgekühlten Gussasphalt sollten die Freiflächenheizmatten für die Rampenheizung verlegt und darauf eine 2 Zentimeter dicke Gussasphaltschicht als Zwischenschicht aufgebracht werden. Als abschließende Deck- bzw. Nutzschicht war eine weitere 3 Zentimeter dicke Gussasphaltschicht vorgesehen.

Am Rampenfuß war eine für Parkhäuser und Tiefgaragen übliche automatische Schrankenanlage für die Zufahrtskontrolle geplant, die auf einer später zu betonierenden Mittelinsel errichtet werden sollte.

Zu Beginn der Baumaßnahme wurden die Tiefgaragenrampen hergestellt und von den Bauwerksabdichtern die erste Abdichtungsebene aus Polymerbitumen-Schweißbahnen aufgebracht. Im Anschluss sollten die Leerrohre für die später zu installierenden elektrischen Leitungen für die Schrankenanlage und die Rampenheizung montiert werden; der Verlauf der Leerrohre war parallel zur Fahrtrichtung zwischen den Rampen geplant. Dafür bohrten die beauftragten Elektroinstallateure oberhalb der (später auszuführenden) Mittelinsel mehrere Löcher in die Rampe, um die Leerrohre aus dem Untergeschoss ins Erdgeschoss zu verziehen (vgl. Abb. 01). Das Bohren erfolgte als »Nassbohren«, wobei das verwendete Wasser den entstehenden Staub bindet. Das dementsprechend verunreinigte Wasser trat an den Bohrlöchern aus und verteilte sich auf einem Teil der abgedichteten Fläche.

Abb. 01: Blick auf die Zu- und die Ausfahrtsrampe mit den mittig zwischen den Fahrbahnen verlegten Leerrohren

Da die Durchdringung für die Leerrohre durch die abgedichtete Rampenfläche ohne die üblicherweise zu verwendenden Dichtmanschetten ausgeführt wurde, war die Abdichtung nicht mehr voll funktionsfähig. Weiterhin wurden die Leerrohre mit Schellen auf dem Untergrund verschraubt, wodurch die Abdichtung zusätzlich perforiert worden ist (vgl. Abb. 02).

Abb. 02: Durch Verschraubungen perforierte erste Abdichtungsebene; die weiße Färbung wurde von der beim Bohren anfallenden Betonschlämme verursacht

Verwendet wurden Leerrohre mit einem Außendurchmesser von 3,2 Zentimetern. Bei einem Gesamtaufbau der Rampe von rund 7,5 Zentimetern (Schutzschicht, Zwischenschicht und Deckschicht) hätte das Verziehen der Leerrohre vom Unter- in das Erdgeschoss nur mit einem sehr engen Biegeradius ausgeführt werden können.

SCHADENBEHEBUNG

Der Weg zur geeigneten Sanierung

Was wurde unternommen?

Um die vorhandene und intakte Lage aus Polymerbitumen-Schweißbahnen auf den Rampen vor mechanischen Beschädigungen während der Sanierungsarbeiten an den beschädigten Abdichtungsbahnen im Bereich der späteren Mittelinsel zu schützen, wurde dort schon die Gussasphaltschutzschicht eingebaut. Dazu wurde der zu sanierende Bereich mit Metallschienen abgetrennt und gesichert, während auf die restliche Rampenfläche der Gussasphalt aufgebracht wurde (vgl. Abb. 03 und Abb. 04).

Abb. 03: Mit Metallschienen abgetrennter und gesicherter Sanierungsbereich

Für die eigentlichen Sanierungsarbeiten wurden zuerst die Leerrohre rückgebaut, die mit Betonschlämme verschmutzten Abdichtungsbahnen gereinigt und die neu verzogenen Leerrohre im Bereich der Durchdringungen mit Flüssigkunststoff eingedichtet. Um für die Leerrohre einen größeren Biegeradius zu ermöglichen, wurde die Planung für die Ausführung der Mittelinsel geändert und diese um 3 Meter über den Punkt der Rohrdurchdringung hinaus verlängert. Durch diese Maßnahme wurde der Aufbau in diesem Bereich um etwa 12 Zentimeter erhöht.

Im Anschluss wurden auch in dem für die Sanierung ausgesparten Bereich die noch fehlende Schutzschicht aus Gussasphalt eingebaut und später auf der gesamten Rampenfläche die 2 Zentimeter dicke Zwischenschicht aus Gussasphalt wie geplant aufgebracht.

Abb. 04: Blick auf die noch zu sanierende erste Abdichtungsebene und die umgebende, bereits ausgeführte Schutzschicht aus Gussasphalt

Nach dem Erkalten wurde die Einfassung der Mittelinsel gesetzt und die Leerrohre auf der Gussasphaltschicht bis zum späteren Standort der Schrankenanlage verlegt. Abschließend erfolgte das Verfüllen der Einfassung mit Beton und auf der Rampenfläche der Einbau der 3 Zentimeter dicken Nutzschicht aus Gussasphalt.

Durch das Verlegen der Leerrohre im Bereich der Mittelinsel ergab sich aufgrund des nun höheren Aufbaus im Bereich der Durchdringungen die Möglichkeit eines größeren Biegeradius, wodurch sich auch das Einziehen der Kabel erleichterte.

SCHADENREGULIERUNG

Klärung der Verantwortlichkeiten

Für die abschließende Regulierung eines Schadens müssen die Verantwortlichkeiten der einzelnen Beteiligten geklärt werden. Im konkreten Fall lagen diese bei dem Elektro-

Wer ist wofür verantwortlich? ⚠

installationsunternehmen, das für den mangelhaften Einbau der Leerrohre bzw. für die Beschädigung der ersten Abdichtungsebene verantwortlich war.

Die schadenbedingten Gesamtkosten wurden mit rund 12.000 Euro (netto) veranschlagt. Diese Summe setzt sich vor allem zusammen aus den Kosten für die partielle Reinigung der ersten Abdichtungsebene (Polymerbitumen-Schweißbahn) und die Planung und Ausführung der Verlängerung der Mittelinsel. Beim Rückbau und fachgerechten Neuverziehen der Leerrohre handelte es sich um eine Schadenbeseitigung an der eigenen Leistung des Elektroinstallationsunternehmens. Die hierfür anfallenden Kosten wurden insofern nicht berücksichtigt.

SCHADENVERMEIDUNG

Sinnvolle Lösungsansätze

⚠ **Wie geht es richtig?**

Im Rahmen von Elektroinstallationsarbeiten wurde die von den Bauwerksabdichtern hergestellte Bahnenabdichtung einer Tiefgaragenrampe durchbohrt. Als Folge der Beschädigung war die Abdichtung nicht mehr voll funktionsfähig.

Bei der Erstellung von Bauwerken sind üblicherweise mehrere Gewerke parallel und nacheinander auf der Baustelle beschäftigt. Insofern kann es vorkommen, dass die fertige Leistung eines Gewerks durch die Arbeiten eines Folgegewerks beschädigt wird. Zwar ist ein Auftragnehmer gemäß VOB/B[4] dazu verpflichtet, die von ihm ausgeführte Leistung bis zur Abnahme vor Beschädigungen zu schützen.[5] Wird aber diese Leistung fahrlässig oder vorsätzlich von einem anderen Auftragnehmer beschädigt, so kann der Geschädigte den an seiner Leistung verursachten Schaden gegenüber dem Verursacher geltend machen.

Sorgfalt und Aufmerksamkeit sind nicht nur bei der Herstellung der eigenen Leistung wichtig. Für einen möglichst ungestörten Bauablauf ist auch entscheidend, dass jedes nachfolgende Gewerk die (fertigen) Leistungen der vorhergehenden Gewerke weder beschädigt noch zerstört.

4 DIN 1961 VOB/B Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen - Teil B: Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen

5 Vgl. VOB/B § 4 Abs. 5

5.4 FALLBEISPIEL

ABSACKEN EINER FAHRBAHNDECKE DURCH UNTERSPÜLUNG EINER ENTWÄSSERUNGSLEITUNG

Was ist passiert?

Durch eine nicht entdeckte Leckage einer Entwässerungsleitung wurden die Rohre über einen längeren Zeitraum unterspült. Als Folge kam es zu einem Absacken der Fahrbahndecke.

SCHADENQUELLE

Wie kam es dazu?

Vom Suchen und Finden der Ursache

Im Rahmen von regelmäßig stattfindenden Überprüfungen wurde von der verantwortlichen Straßenmeisterei die teilweise abgesackte Fahrbahndecke einer vor zwei Jahren sanierten Landstraße entdeckt. Eine offensichtliche Ursache für das Absacken war nicht zu erkennen. Allerdings gab es die Vermutung, dass eine unter der Straße verlaufende Entwässerungsleitung beschädigt und es so zu einer Unterspülung gekommen sein könnte. Über diese Entwässerungsleitung wird vor allem das auf der Straßenoberfläche anfallende Wasser aufgenommen und abgeleitet.

Nachdem der betroffene Streckenabschnitt gesperrt worden war, sollte die Ursachenforschung beginnen. Dazu wurde der Fahrbahnbelag großflächig abgefräst, bis das durch die Absackung entstandene Loch gut einsehbar war (vgl. Abb. 01 und Abb. 02). Die Einbruchstelle war rund 40 Zentimeter lang und rund 25 Zentimeter breit. Weiterhin wurde festgestellt, dass die Fahrbahndecke im angrenzenden Bereich mehrere Hohllagen aufwies.

Wie sich nach dem Entfernen der hohlliegenden Fahrbahndecke herausstellte, war eine Doppelsteckmuffe nicht fachgerecht montiert und verrutscht, was dazu führte, dass die Rohrleitung insgesamt nicht mehr wasserdicht war. Durch die so entstandene Undichtheit konnte über einen längeren Zeitraum unentdeckt Wasser austreten und die betroffene Leitungszone teilweise ausspülen. Bei der Leitungszone handelt es sich um den Bereich, der eine Leitung direkt umgibt. Dabei wird zwischen der unteren und der obe-

ren Bettungsschicht sowie zwischen der Seitenverfüllung und der Abdeckung unterschieden. Entscheidend für den korrekten Einbau der Rohre ist die schadenfreie Einbettung in der Leitungszone. Hierfür sind nichtbindige oder schwachbindige, steinfreie und verdichtungsfähige Baustoffe zu verwenden.

Im vorliegenden Fall wurden die Leitungsrohre auf einem Sandbett verlegt. Durch den ungeplanten Wasseraustritt aufgrund der Leckage wurde das feine Verfüllmaterial teilweise weggespült, bis es zu größeren Hohllagen in der Leitungszone kam. Diese Hohllagen sowie die Belastungen durch den Fahrzeugverkehr führten schließlich zum Absacken der Fahrbahndecke.

Abb. 01: Abgesackter Bereich der Fahrbahndecke

Abb. 02: Wie Abb. 01

SCHADENBEHEBUNG

Der Weg zur geeigneten Sanierung

Was wurde unternommen?

Der erste Schritt zur Schadenbehebung bestand darin, das Ausmaß der Hohlräume unter der Fahrbahndecke zu ermitteln. Dazu wurde der betreffende Streckenabschnitt gesperrt und überprüft. Nach Feststellung der hohlliegenden Flächen wurde der entsprechende Fahrbahnbereich komplett entfernt. Die Hohllagen waren ausschließlich im Bereich der Absackung bzw. der mangelhaften Leitungsverbindung festzustellen.

Im nächsten Schritt wurde die im unterspülten Bereich liegende Rohrleitung entfernt, die untere Bettungsschicht erneuert und die Rohrleitung fachgerecht neu verlegt. Als letzter Schritt erfolgten die Verfüllung der Leitungszone und die Wiederherstellung der Straßenbefestigung (sogenannter Oberbau) einschließlich der Fahrbahndecke.

SCHADENREGULIERUNG

Klärung der Verantwortlichkeiten

Wer ist wofür verantwortlich?

Für die abschließende Regulierung eines Schadens müssen die Verantwortlichkeiten der einzelnen Beteiligten geklärt werden. Im konkreten Fall lagen diese bei dem Tiefbauunternehmen, das für das Verlegen der Entwässerungsleitungen verantwortlich war, sowie bei dem für die Bauüberwachung zuständigen Ingenieurbüro. Die (technischen) Verantwortlichkeiten wurden folgendermaßen quotiert:

- Tiefbauunternehmen (Ausführung) – 60 Prozent
- Ingenieurbüro (Bauüberwachung) – 40 Prozent

Das **Tiefbauunternehmen** bzw. die Rohrleitungsbauer vor Ort haben eine Rohrverbindung (Doppelsteckmuffe) nicht fachgerecht montiert. Hier war die wasserdichte Verbindung der Rohrleitung nicht gegeben.

Das **Ingenieurbüro** war unter anderem für die Bauüberwachung der Ausführungsarbeiten für die Straßensanierung verantwortlich und damit auch für die Überwachung der fachgerechten Ausführung der Entwässerungsleitung.

Die schadenbedingten Gesamtkosten wurden mit rund 28.000 Euro (netto) veranschlagt. Diese Summe setzt sich vor allem zusammen aus den Kosten für die Überprüfung des beschädigten Streckenabschnitts hinsichtlich weiterer Hohlstellen, das (teilweise) Neuverlegen der Entwässerungsleitung und das Wiederherstellen des Straßenoberbaus.

SCHADENVERMEIDUNG

Sinnvolle Lösungsansätze

Wie geht es richtig?

Durch eine nicht fachgerecht montierte Rohrverbindung einer Entwässerungsleitung im Bereich einer Landstraße kam es zu einem ungeplanten Wasseraustritt, der zu einer teilweisen Unterspülung der Leitung führte. In der Folge gab die Fahrbahndecke nach und sackte an einer Stelle ab.

Sorgfalt und Aufmerksamkeit sind bei der Herstellung von Anlagen zur Straßenentwässerung von großer Bedeutung. Mithilfe einer funktionsfähigen Entwässerung werden Regen- und Oberflächenwasser sicher abgeleitet und gewährleisten so den dauerhaften Bestand und die Verkehrssicherheit von Straßen und Fahrbahnen.

In diesem Zusammenhang ist auch die mit der Bauüberwachung bevollmächtigte Person in der Pflicht. Als verantwortliche Person für die ordnungsgemäße Ausführung der Arbeiten hat die Bauüberwachung darauf zu achten, dass alle Arbeiten in Übereinstimmung mit der (Ausführungs-)Planung, den anerkannten Regeln der Technik und den geltenden Vorschriften ausgeführt werden.

5.5 FALLBEISPIEL

BLASENBILDUNG IM GUSSASPHALTBELAG EINER NEU GEBAUTEN AUTOBAHNBRÜCKE

Was ist passiert?

Bei der Ausführung des Fahrbahnbelags auf einer neu gebauten Autobahnbrücke wurde vor dem Einbau des Gussasphalts die Unterlage nicht ausreichend getrocknet. Als Folge des mangelhaften Einbaus kam es zu Wassereinschlüssen im Asphaltbelag und später zu umfangreichen Blasenbildungen.

SCHADENQUELLE

Wie kam es dazu?

Vom Suchen und Finden der Ursache

Eine mehrere Jahrzehnte alte Autobahnbrücke wurde wegen stark beeinträchtigter Standsicherheit abgerissen und durch einen Neubau ersetzt. Die Fahrbahnbeläge auf der neuen Stahlbetonkonstruktion wurden mit einem temperaturabgesenkten Gussasphalt (TA-Asphalt) ausgeführt. Hierbei handelt es sich um Asphaltmischgut, das bei Temperaturen zwischen 200 und 230 °C – und damit bei niedrigeren Temperaturen als noch bis vor einigen Jahren üblich – hergestellt und verarbeitet wird. Der Einsatz von TA-Asphalt ist seit dem Jahr 2008 die Regel. Mit dieser Bauweise soll unter anderem eine Reduzierung der beim Verarbeiten frei werdenden Dämpfe und Aerosole sowie eine Reduzierung des Energieverbrauchs erzielt werden. Anders als bei »konventionellem« Walzasphalt erfolgt der Einbau von Gussasphalt aufgrund der fließfähigen Beschaffenheit ohne den Einsatz von Walzen und muss nicht verdichtet werden.

Der Aufbau des Brückenbelags erfolgte in Abhängigkeit von der erwarteten Verkehrsbelastung und sah eine Gesamtdicke von rund 7,5 Zentimetern vor. Ausgeführt wurde eine Epoxidharzversiegelung der Stahlbeton-Fahrbahnplatte, auf die eine Dichtungsschicht aus einer Polymerbitumen-Schweißbahn und eine 3,5 Zentimeter dicke Gussasphaltschicht als Schutzschicht aufgebracht wurden. Als Deckschicht (Nutzschicht) wurde

abschließend eine weitere 3,5 Zentimeter dicke Gussasphaltschicht eingebaut.[6] Die Ausführung des insgesamt rund 2 Kilometer langen zu erneuernden Streckenabschnitts, einschließlich der rund 150 Meter langen Fahrbahn auf der Brücke, erfolgte durch ein Tiefbauunternehmen für Verkehrswegebau.

Ein halbes Jahr nach der Fertigstellung wurden im Frühsommer zahlreiche Blasenbildungen im Asphaltbelag festgestellt. Dieses Phänomen beschränkte sich auf den Streckenabschnitt der Autobahnbrücke und war dort vor allem im Randbereich der Fahrbahnen zu erkennen. Der Auftraggeber wollte diesen Zustand nicht hinnehmen und verlangte vom Auftragnehmer geeignete Nacharbeiten, um diesen Mangel zu beheben. Beide Parteien einigten sich darauf, den Belag des gesamten Brückenabschnitts durch Rück- und Neubau zu sanieren (vgl. Abb. 01).

Abb. 01: Blick auf den teilweise abgefrästen Asphaltbelag

6 Vgl. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt. Köln: FGSV Verlag, 2013

Im Rahmen der Sanierungsarbeiten wurden beim Abfräsen des Asphaltbelags zahlreiche Hohlräume entdeckt (vgl. Abb. 02 bis Abb. 04). Die Größe der Hohlräume variierte zwischen 3 und 10 Zentimetern Durchmesser.

Abb. 02: Hohlräume im Asphaltbelag

Abb. 03: Wie Abb. 02

Abb. 04: Hohlräume im Asphaltbelag nach dem Abfräsen der Blasen

Wie dem Bautagebuch der Baustelle zu entnehmen ist, herrschte während der Ausführung des Fahrbahnbelags leicht regnerisches Wetter. Vor dem Einbau des Gussasphalts wurde das angefallene Niederschlagswasser nur unzureichend entfernt, sodass der Einbau auf einer nassen Unterlage erfolgte. Als Folge wurde das Wasser zwischen den nach unten (Polymerbitumen-Schweißbahn) und nach oben (Gussasphalt) wasserundurchlässigen Schichten eingeschlossen. Als im Frühsommer die Temperaturen anstiegen und sich der Fahrbahnbelag deutlich erwärmte, verdampfte das eingeschlossene Wasser teilweise. Da der Wasserdampf aber nicht entweichen konnte, erhöhte sich der Dampfdruck im Inneren des Asphalts stetig und führte so zu den an der Oberfläche sichtbaren Ausbeulungen bzw. Blasen.

Dass die sichtbaren Blasen ausschließlich in den Randbereichen der Fahrbahnen auftraten, hängt mit der unterschiedlichen Verkehrsbelastung der Flächen zusammen. So wurde in den stark belasteten Bereichen in Fahrbahnmitte das eingeschlossene Wasser innerhalb des Asphaltbelags »weggedrückt«, während sich in den wenig belasteten Randbereichen die beschriebenen wasser-/gasgefüllten Blasen bilden konnten.

SCHADENBEHEBUNG

Der Weg zur geeigneten Sanierung

Was wurde unternommen?

Bei vereinzelten Blasen im Asphaltbelag besteht die Möglichkeit, die Hohlräume aufzustechen und wieder plan anzudrücken. Im vorliegenden Fall war jedoch der gesamte Streckenabschnitt auf der Autobahnbrücke betroffen. Für die Schadenbehebung kam daher nur ein vollständiger Ersatz des betreffenden Brückenbelags infrage. Dazu wurde der gesamte Gussasphaltbelag bis auf die Stahlbeton-Fahrbahnplatte abgefräst und im Anschluss ein neuer Gussasphalt fachgerecht unter Einhaltung der geltenden technischen Vorgaben eingebaut.

SCHADENREGULIERUNG

Klärung der Verantwortlichkeiten

Wer ist wofür verantwortlich?

Für die abschließende Regulierung eines Schadens müssen die Verantwortlichkeiten der einzelnen Beteiligten geklärt werden. Im konkreten Fall lagen diese bei dem Tiefbauunternehmen, das für die Ausführung des betreffenden Streckenabschnitts bzw. für den mangelhaften Einbau des Gussasphaltbelags auf der Autobahnbrücke verantwortlich war, sowie bei dem für die Bauüberwachung der Asphaltierungsarbeiten zuständigen Ingenieurbüro. Die (technischen) Verantwortlichkeiten wurden folgendermaßen quotiert:

- Tiefbauunternehmen (Ausführung) – 60 Prozent
- Ingenieurbüro (Bauüberwachung) – 40 Prozent

Die schadenbedingten Gesamtkosten wurden mit rund 500.000 Euro (netto) veranschlagt. Diese Summe setzt sich vor allem zusammen aus den Kosten für den Rückbau (einschließlich Entsorgung) und das Wiederherstellen des Asphaltbelags sowie die Mitarbeiterstunden (Normalstunden und Überstunden).

Bei den Rückbau- und Wiederherstellungsarbeiten handelt es sich um eine Schadenbeseitigung an der eigenen Leistung des Tiefbauunternehmens; diese wurden vom Haftpflichtversicherer nicht übernommen.

SCHADENVERMEIDUNG

Sinnvolle Lösungsansätze

Wie geht es richtig?

Bei der Herstellung des Fahrbahnbelags auf einer Autobahnbrücke wurde der verwendete (temperaturabgesenkte) Gussasphalt auf nasser Unterlage eingebaut. Wassereinschlüsse führten später zu zahlreichen Blasenbildungen.

Um Blasenbildungen in Gussasphaltbelägen zu vermeiden, ist vor allem darauf zu achten, dass das Material auf einer grundsätzlich trockenen Unterlage eingebaut wird. In der Baustellenpraxis bedeutet diese Voraussetzung, dass auf der Unterlage mindestens kein geschlossener Wasserfilm vorhanden sein darf. Um aufsteigende Feuchtigkeit aus der Unterkonstruktion zu verhindern, ist bei Betonbrücken auf der Stahlbeton-Fahrbahnplatte ein Abdichtungssystem aus einer Polymerbitumen-Schweißbahn und einer Gussasphaltschicht anzuordnen. Der Gussasphalt schützt dabei die Dichtungsschicht gegen mechanische Einwirkungen und hat eine zusätzlich abdichtende Funktion.[7]

Bei sorgfältigem Einbau ist Gussasphalt als Deck- und Schutzschicht für hoch belastete Fahrbahnbeläge auf (Autobahn-)Brücken ein besonders gut geeigneter Baustoff, da er verformungsbeständig, abriebfest und dauerhaft griffig ist. Da Gussasphalt zudem wasserdicht ist, schützt er die Brückenkonstruktion vor dem Eindringen von Feuchtigkeit und in der Folge vor Korrosion. Alternativ zu Gussasphalt kann Splittmastixasphalt, eine stark belastbare Asphaltsorte mit einem hohen Anteil an Splitt und Bitumen, als Deckschicht für Brücken verwendet werden.

7 Vgl. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV (Hrsg.): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Teil 6: Bauwerksausstattung, Abschnitt 1: Brückenbeläge auf Beton mit einer Dichtungsschicht aus einer Polymerbitumen-Schweißbahn (ZTV-Ing 6-1). Köln: FGSV Verlag, 2021

5.6 FALLBEISPIEL

BESCHÄDIGTER ABWASSERKANAL DURCH FALSCH GERAMMTE SCHUTZPLANKENPFOSTEN

Was ist passiert?

Bei Reparaturarbeiten an einer seitlichen Schutzeinrichtung an einer Autobahnstrecke kam es beim Einrammen mehrerer Schutzplankenpfosten zu einer Beschädigung eines Abwasserkanals. In dem vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Leitungsplan war der Verlauf des Kanals an anderer Stelle verzeichnet.

SCHADENQUELLE

Wie kam es dazu?

Vom Suchen und Finden der Ursache

Bei einem Abwasserkanal zur Fahrbahnentwässerung einer Autobahn wurde ein verminderter Durchfluss festgestellt. Als Ursache wurde eine Verstopfung vermutet, die durch eine Kanaluntersuchung des betreffenden Leitungsabschnitts mit einer Kamerabefahrung genau lokalisiert werden sollte. Wie sich herausstellte, gab es einen erheblichen Wurzeleinwuchs in den Kanal, der über einen Riss im Betonrohr erfolgt war. Darüber hinaus wurde bei der Untersuchung festgestellt, dass neben dem eingewachsenen Wurzelwerk weitere Hindernisse im Kanal vorhanden waren, die von oben durch die Rohrwand ragten. Erkennbar war zunächst ein Metallprofil, das im Scheitelpunkt des Betonrohres steckte (vgl. Abb. 01). Bei genauerer Untersuchung ergab sich, dass es sich bei dem Objekt um das Pfostenende einer Schutzplanke handelte.

Abb. 01: Metallprofil in der Rohrwand des Abwasserkanals

Schutzplanken dienen im Straßenverkehr unter anderem als Straßenbegrenzung und als passive Schutzeinrichtung, die das Abkommen von Fahrzeugen von der Straße verhindern sollen. Damit tragen sie maßgeblich zur Verkehrssicherheit bei. Die Pfosten, an denen die Schutzplanken befestigt werden, werden durch Einrammen im Boden verankert. Im vorliegenden Fall handelte es sich bei dem Pfosten um ein sogenanntes Sigma-Profil mit den Abmessungen 100 Millimeter × 55 Millimeter. Wie sich nach einer weiteren Kamerabefahrung des Abwasserkanals herausstellte, ragten insgesamt acht Schutzplankenpfosten in einem Abstand von jeweils rund 2 Metern in das Kanalrohr (vgl. Abb. 02 und Abb. 03) und hatten dieses teilweise erheblich beschädigt (vgl. Abb. 04).

Abb. 02: Eingerammter Schutzplankenpfosten im Abwasserkanal

Abb. 03: Blick auf weitere eingerammte Schutzplankenpfosten

Abb. 04: Durch das Einrammen beschädigtes Kanalrohr

Als schadenursächlich wurde eine vor mehreren Monaten durchgeführte Reparatur an den betreffenden Schutzplanken ermittelt, die durch einen Verkehrsunfall schwer beschädigt worden waren. Hier war die seitliche Schutzeinrichtung, das sogenannte Fahrzeug-Rückhaltesystem, auf einer Länge von rund 20 Metern betroffen, weshalb dieser Abschnitt komplett erneuert werden musste. Im Rahmen dieser Reparaturarbeiten wurden unter anderem acht beschädigte Schutzplankenpfosten entfernt und acht neue Schutzplankenpfosten eingebaut. Diese 1,7 Meter langen Pfosten wurden in einem Abstand von 2 Metern mit einer Einbindetiefe von rund 1 Meter in den Boden gerammt.

Die Arbeiten wurden von einem Tiefbauunternehmen im Auftrag des betreffenden Landesbetriebs für Straßenbau durchgeführt, das auch den Leitungsplan mit der vorhandenen Leitungsinfrastruktur im betreffenden Gebiet zur Verfügung gestellt hatte. Der Auftragnehmer führte keine weiteren Prüfungen hinsichtlich der Richtigkeit der Planunterlagen durch.

Laut Leitungsplan sollte der (später beschädigte) Abwasserkanal in 2 Metern Tiefe und mit einem Abstand von 1 Meter vom Fahrbahnrand verlegt sein. Die neuen Schutzplankenpfosten wurden mittig in diesen 1 Meter breiten Streifen eingebaut, sodass laut vorliegendem Plan ein ausreichender Sicherheitsabstand bis zum Abwasserkanal verblieben wäre. Nach Aussage der ausführenden Schutzplankenmonteure war beim Einrammen der neuen Pfosten kein wesentlicher Widerstand festgestellt worden, weshalb die Angaben im vorliegenden Leitungsplan nicht angezweifelt worden sind.

Wie sich später herausstellte, waren die Angaben im Leitungsplan jedoch nicht korrekt, denn der Abwasserkanal war nur in rund einem 1 Meter Tiefe und mit etwa 0,5 Meter Abstand zum Fahrbahnrand verlegt. Hier unterschieden sich der eingezeichnete und der tatsächliche Verlauf des Kanals sowohl in der Tiefe als auch im Abstand zum Fahrbahnrand.

SCHADENBEHEBUNG

Der Weg zur geeigneten Sanierung

⚠ **Was wurde unternommen?**

Die Schadenbehebung bestand darin, den beschädigten Teil des Abwasserkanals rückzubauen und mit neuen Betonrohren wiederherzustellen. Im Zuge der Sanierungsarbeiten wurde der Abwasserkanal zudem tiefer gelegt, um die Kanalrohre zukünftig vor weiteren Beschädigungen zu schützen. Weiterhin wurde das für die Arbeiten am Abwasserkanal rückgebaute Fahrzeug-Rückhaltesystem neu montiert.

SCHADENREGULIERUNG

Klärung der Verantwortlichkeiten

⚠ **Wer ist wofür verantwortlich?**

Für die abschließende Regulierung eines Schadens müssen die Verantwortlichkeiten der einzelnen Beteiligten geklärt werden. Im konkreten Fall lagen diese bei dem Tiefbauunternehmen, das das Fahrzeug-Rückhaltesystem erneuert und die Schutzplankenpfosten in den Boden eingerammt hatte, ohne vorher die vom Auftraggeber erhaltenen Leitungsauskünfte zu kontrollieren.

Die schadenbedingten Gesamtkosten wurden mit rund 18.000 Euro (netto) veranschlagt. Diese Summe setzt sich vor allem zusammen aus den Kosten für den Austausch der beschädigten Kanalrohre und die Erneuerung des für die Tiefbauarbeiten rückgebauten Fahrzeug-Rückhaltesystems.

SCHADENVERMEIDUNG

Sinnvolle Lösungsansätze

Wie geht es richtig?

Im Rahmen von Reparaturarbeiten an einem Fahrzeug-Rückhaltesystem an einer Autobahn wurden mehrere Schutzplankenpfosten in einen Abwasserkanal gerammt, sodass dieser erheblich beschädigt wurde. In dem vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Leitungsplan war der Verlauf des Abwasserkanals an anderer Stelle verzeichnet.

Alle im Baugrund stattfindenden Arbeiten setzen eine umfassende Leitungsauskunft für das betreffende Gebiet voraus. Nur mit detailliertem Wissen über die vorhandene Leitungsinfrastruktur können Schäden verhindert werden. Als vorbereitende Maßnahme der Rammarbeiten für das Aufstellen der Schutzplankenpfosten hätte der Verlauf des Abwasserkanals trotz Übergabe der Leitungsauskunft durch den Auftraggeber überprüft werden müssen. Ohne genaue Kenntnis der Lage (Verlauf und Tiefe) von erdverlegten Ver- und Entsorgungsleitungen ist es unzulässig, Gegenstände in das Erdreich zu treiben.[8]

8 DGUV Information 203-017 »Schutzmaßnahmen bei Erdarbeiten in der Nähe erdverlegter Kabel und Rohrleitungen«; Ausgabe Februar 2019

6 TRANSFORMATION DER INFRASTRUKTUR

Im folgenden Kapitel steht mit der Transformation der Infrastrukturen ein Thema im Fokus, das die Branche aktuell besonders beschäftigt. Forschungsinstitute, Unternehmen, Verbände und weitere (Bau-)Beteiligte thematisieren konkrete Problemfelder und zeigen zahlreiche Lösungsmöglichkeiten auf, die den Schutz und die Weiterentwicklung der technischen Infrastrukturen sowie die Gestaltung zukunftsfähiger Städte und Quartiere betreffen.

6.1 Boden, Material und sicherer Leitungstiefbau

Kontinuierliche Baumaßnahmen im Tiefbau sind entscheidend für die Weiterentwicklung der technischen Versorgungsnetze von Städten und Gemeinden. Die betreffenden Arbeiten werden überwiegend unterhalb der Erdoberfläche durchgeführt und nehmen direkten Einfluss auf den Baugrund. Die folgenden Beiträge geben unter anderem einen aktuellen Überblick über nachhaltige Maßnahmen zum Schutz der Ressource Boden, innovative Lösungen zur Ressourcenschonung bei Infrastrukturprojekten und neue Ideen für den verbesserten Schutz von bestehenden technischen Infrastrukturen.

6.1.1 Prognose und Bewertung von durch Tiefbauarbeiten verursachten Bauwerkserschütterungen

Prof. Dr. Martin Achmus

Paul Hönnecke

Bautätigkeiten gehen grundsätzlich mit Erschütterungen und Lärmentwicklung einher, die das Umfeld einer Baumaßnahme unterschiedlich stark beeinträchtigen können. Besonders im Tiefbau wird häufig gezielt dynamisch auf den Baugrund eingewirkt, um beispielsweise Bodenwiderstände beim Einbringen von Pfählen oder Spundbohlen zu überwinden (Pfahl- oder Spundwandrammung) oder nichtbindige Böden effizient zu verdichten (Vibrationsverdichtung). Bei diesen Verfahren übertragen sich Erschütterungen über den Baugrund auf nahegelegene Bauwerke, was potenziell Schäden verursachen kann. Die möglichen Schäden reichen von oberflächlichen, nur die Ästhetik beeinträchtigenden Rissen bis hin zu ernsthaften strukturellen Schäden, welche die Stabilität eines Bauwerks gefährden können.

Im 20. Bericht des Instituts für Bauforschung (IFB)[1] wurden bereits die Grundlagen der Beschreibung und Übertragung von Erschütterungen im Baugrund behandelt. Dabei wurden bodendynamische Grundlagen und die Grundlagen der Erschütterungsausbreitung im Baugrund und der Übertragung auf und in Gebäuden behandelt. Anhand der Auswertung von Erschütterungsmessungen bei Vibrations- und Schlagrammarbeiten und bei Vibrationsverdichtungsarbeiten wurden einfache Prognosegleichungen für die Schwinggeschwindigkeit von Bauwerksfundamenten abgeleitet. Darauf aufbauend wurden Empfehlungen zur Prognose und zur Bewertung von Bauwerkserschütterungen gegeben.

In einem voraussichtlich im Herbst 2025 erscheinenden IFB-Bericht soll der 20. Bericht fortgeschrieben werden. Prognosegleichungen für Boden- und Fundamenterschütterungen werden neu zusammengestellt und insofern diskutiert, als sie mit anderen Prognosegleichungen aus der Literatur verglichen werden. Zusätzlich werden auch Prognosegleichungen für Tiefenrüttelarbeiten sowie für fallende Massen mitgeteilt. Ansätze zur Abschätzung der Erschütterungsübertragung in Gebäuden, das heißt vom Fundament auf Stockwerksdecken oder auf Bauteile im Obergeschoss, werden ebenfalls angege-

1 Achmus, M.; Kaiser, J.; tom Wörden, F.: Bauwerkserschütterungen durch Tiefbauarbeiten. Grundlagen – Messergebnisse – Prognosen. Hannover: Institut für Bauforschung, 2005 (Informationsreihe des Instituts für Bauforschung e.V.; 20)

ben. Abschließend soll die Anwendung des Prognose- und Bewertungskonzepts an Beispielen erläutert werden.

Im Vorgriff auf den kommenden IFB-Bericht sollen hier Prognosegleichungen für Fundamenterschütterungen infolge Vibrationsverdichtung angegeben und deren Anwendung an einem Beispiel erläutert werden.

Beispiel

In direkter Nähe zu einem in Massivbauweise errichteten Einfamilienhaus wurde ein Supermarkt mit angrenzenden Parkplatzflächen errichtet. Die Parkplatzflächen wurden mit einer Vibrationswalze BOMAG BW 213 D4 verdichtet, wobei der minimale Abstand der Verdichtungsarbeiten zum Einfamilienhaus etwa 10 Meter betrug (Abb. 01). Das Gewicht der Vibrationswalze beträgt 15,75 Tonnen und die Arbeitsfrequenz 30 Hertz. Im Zuge dieser Arbeiten kam es nach Angaben der Bewohner zu heftigen Schwingungen in ihrem Gebäude und zur Entstehung diverser Risse. Es soll überprüft werden, ob der Walzeneinsatz als Ursache für die Rissbildungen infrage kommt.

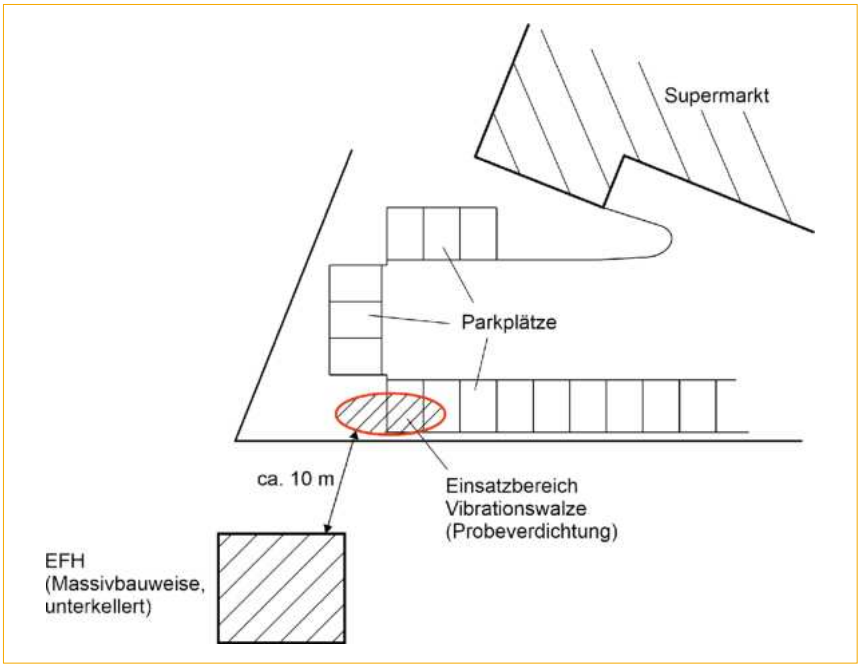


Abb. 01: Beispielskizze der Situation mit dem Abstand zwischen dem Einfamilienhaus und den Parkplätzen [Quelle: Prof. M. Achmus]

Prognosegleichungen für Fundamentschwinggeschwindigkeiten

Als Bezugswert für die Beurteilung der möglichen Schädigung eines Gebäudes oder Bauteils infolge Erschütterung hat sich aufgrund von Erfahrungen die maximale Amplitude der Schwinggeschwindigkeit v_{max} bewährt. In der einschlägigen Norm DIN 4150-3 »Erschütterungen im Bauwesen – Teil 3: Einwirkungen auf bauliche Anlagen« werden Anhaltswerte für maximale Schwinggeschwindigkeitsamplituden am Fundament, im Obergeschoss eines Gebäudes und von Stockwerksdecken angegeben, bei deren Unterschreitung nicht mit Bauwerksschäden zu rechnen ist (unter Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Unterhaltungszustands des Bauwerks).

Prognosegleichungen für v_{max} stammen aus der Auswertung von Schwingungsmessungen. Im 20. Bericht des IFB wurden insgesamt 86 Datensätze von Fundamentschwinggeschwindigkeiten für Vibrationswalzen ausgewertet. Die damit kalibrierten Prognoseformeln wurden unmittelbar als Funktion des Betriebsgewichts G der Walzen und des Abstands des Einsatzorts vom Gebäude r formuliert. Die erhaltenen Prognosegleichungen sind in Gleichung (1) und (2) dargestellt und geben die maximale Komponente der Fundamentschwinggeschwindigkeit $v^F_{i,max}$ an.

$$v^F_{i,max,P=50\%}\,[mm/s] = 4{,}31 \cdot \frac{\sqrt{G[t]}}{r\,[m]} \quad (1)$$

$$v^F_{i,max,P=2{,}25\%}\,[mm/s] = 10{,}87 \cdot \frac{\sqrt{G[t]}}{r\,[m]} \quad (2)$$

Es werden Prognosewerte für 50-prozentige und für 2,25-prozentige Überschreitungswahrscheinlichkeiten angegeben. Dies ist erforderlich, um die starke Streuung der Messwerte in der Prognose abzubilden. Die Streuung wird ganz wesentlich durch die Nichtberücksichtigung des Baugrundaufbaus in den einfachen Prognoseansätzen verursacht. Der zu einer 2,25-prozentigen Überschreitungswahrscheinlichkeit gehörige Worst-Case-Wert ist rund 2,5-mal größer als der mittlere Erwartungswert, was die relativ starke Streuung verdeutlicht.

Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) hat Erschütterungsmessungen infolge Verdichtung mit Vibrationswalzen mit einem Gewicht von bis zu 13 Tonnen ausgewertet.[2] Die von der BAW ermittelten Prognosegleichungen für die maximale Komponente der Fundamentschwinggeschwindigkeit sind in den Gleichungen (3) und (4) jeweils für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von P = 50 Prozent bzw. P = 5 Prozent dargestellt.

$$v^F_{i,max,P=50\%}\,[mm/s] = 5{,}06 \cdot \frac{1}{\sqrt{r[m]}} \cdot e^{[-0{,}0305(r[m]-10)]} \quad (3)$$

$$v^F_{i,max,P=5\%}\,[mm/s] = 50{,}6 \cdot \frac{1}{\sqrt{r[m]}} \cdot e^{[-0{,}0305(r[m]-10)]} \quad (4)$$

2 Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): Statistische Auswertung von Erschütterungsemissionen. FUE-Abschlussbericht A395 205 70002 (Korrigierte Fassung 2020), Karlsruhe, 2020. https://hdl.handle.net/20.500.11970/105093

In diesem Ansatz wird der Worst-Case-Wert (P = 5 Prozent) sogar 10-mal höher angesetzt als der mittlere Erwartungswert.

Abb. 02 zeigt einen Vergleich der Prognosegleichungen für die Fundamentschwinggeschwindigkeit. Gewählt wurde für die Prognosegleichungen des 20. IFB-Berichts (Gl. 1und 2) ein Gerätegewicht von 13 Tonnen. Es ist zu erkennen, dass die Prognosegleichungen im meist relevanten Abstandbereich zwischen rund 5 Metern und 30 Metern in etwa die gleichen mittleren Erwartungswerte (P = 50 Prozent) prognostizieren. Aus der Gleichung der BAW ergeben sich jedoch deutlich größere Extremwerte (P = 5 Prozent bzw. 2,25 Prozent) als aus der entsprechenden Gleichung des 20. IFB-Berichts. Es ist nicht ganz klar, auf welcher Datenbasis der sehr ungünstige BAW-Ansatz beruht. Eine gewisse Unschärfe weist der Ansatz auch auf, weil er generell für alle Vibrationswalzen mit Gewichten bis 13 Tonnen gilt. Es ist aber festzuhalten, dass offenbar zumindest in Sonderfällen auch noch größere Schwinggeschwindigkeiten auftreten können als nach Gleichung (2) ermittelt.

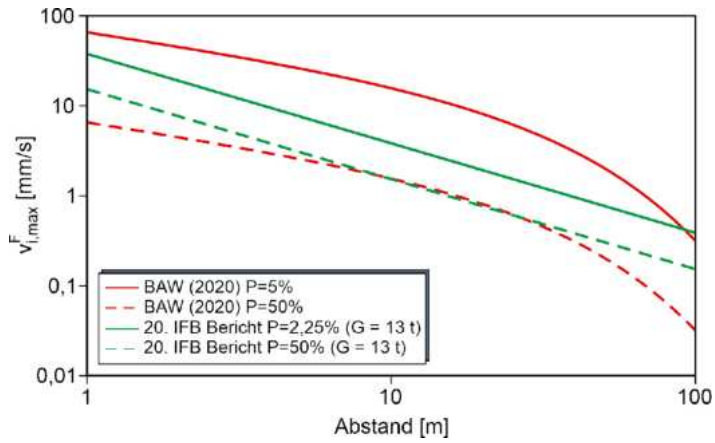


Abb. 02: Prognosegleichungen des 20. IFB-Berichts und der BAW für die maximale Komponente der Fundamentschwinggeschwindigkeit infolge Verdichtung mit Vibrationswalzen [Quelle: Prof. Dr.-Ing. M. Achmus]

Für das hier betrachtete Beispiel (G = 15,75 t, r = 10 m) ergibt sich aus Gleichung (1) ein mittlerer Erwartungswert der Fundamentschwinggeschwindigkeit von 1,71 mm/s und ein Worst-Case-Wert aus Gleichung (2) von 4,31 mm/s. Aus den BAW-Gleichungen (3) und (4) erhält man einen mittleren Erwartungswert von 1,60 mm/s und einen Worst-Case-Wert von 16,0 mm/s.

Übertragung im Gebäude und Bewertung

Bei Erschütterungen infolge Vibrationsverdichtung handelt es sich im Sinne der DIN 4150-3 um Dauererschütterungen. Für solche Dauererschütterungen werden in der DIN 4150-3 Anhaltswerte für die horizontale Schwinggeschwindigkeit von Bauteilen im Obergeschoss (v_h^{OG}) und für die vertikale Schwinggeschwindigkeit von Decken (v_z^D) angegeben. Für Wohngebäude gelten folgende Werte:

- Bauteile im Obergeschoss: $v_h^{OG} < 5$ mm/s,
- Stockwerksdecken: $v_z^D < 10$ mm/s.

Die Veränderung der Erschütterungsintensität bei der Übertragung der Schwingungen im Gebäude, das heißt vom Fundament auf Bauteile bzw. Stockwerksdecken, ist durch Übertragungsfaktoren zu berücksichtigen, die von den Eigenschaften des Gebäudes – konkret den Eigenfrequenzen der Bauteile – abhängen.

Eigenfrequenzen für horizontale Schwingungen von Wohngebäuden sind üblicherweise klein (< 10 Hertz). Resonanz kann deshalb vorliegend ausgeschlossen werden, weil die Betriebsfrequenz der Vibrationswalze 30 Hertz beträgt und damit deutlich höher liegt. Der Übertragungsfaktor vom Fundament auf die oberste Deckenebene kann dann zu $k_h^{F-OG} = 1$ abgeschätzt werden. Setzt man den Worst-Case-Wert der Fundamentschwinggeschwindigkeit nach Gleichung (2) an, so ergibt sich damit ein Prognosewert für v_h^{OG} von 4,31 mm/s, der unterhalb des Anhaltswerts der DIN 4150-3 liegt. Legt man allerdings den BAW-Ansatz nach Gleichung (4) zugrunde, so ergibt sich ein Prognosewert von $v_h^{OG} = 16{,}0$ mm/s, der deutlich über dem Anhaltswert liegt. Die mittleren Erwartungswerte (1,71 mm/s bzw. 1,60 mm/s) liegen allerdings in beiden Fällen unter dem Anhaltswert der DIN 4150-3.

Stahlbetondecken im Wohnungsbau weisen normalerweise Eigenfrequenzen zwischen 15 und 35 Hertz auf. Da die Betriebsfrequenz der Vibrationswalze innerhalb dieses Bereichs liegt, ist vorliegend mit Resonanzerregung zumindest von Stockwerksdecken mit kleineren Stützweiten zu rechnen. Im Resonanzfall kann der Übertragungsfaktor vom Fundament auf die Deckenmitte von Stahlbetondecken zu $k_z^{F-D} = 10$ abgeschätzt werden. Die Schwinggeschwindigkeit in Deckenmitte ergibt sich somit zu maximal $v_z^D = 17{,}1$ bis 40,31 mm/s (mittlerer Erwartungswert – Worst-Case-Wert) bzw. bei Berücksichtigung der BAW-Gleichungen sogar zu $v_z^D = 16{,}0$ bis 160,0 mm/s. Selbst die mittleren Erwartungswerte überschreiten somit den Anhaltswert der DIN 4150-3 erheblich.

Für das Beispiel kann somit festgestellt werden, dass der Betrieb der Vibrationswalze mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Erschütterungen geführt hat, die potenziell Bauwerksschäden verursachen können. Die Entstehung von Rissen kann somit als plausibel bewertet werden.

Abschließend ist festzuhalten, dass die Ergebnisse von Prognoseberechnungen nicht immer so eindeutig sind wie im vorgestellten Beispiel. In manchen Fällen kann eine Schadenursächlichkeit mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden, wenn nämlich auch obere Erwartungswerte von Schwinggeschwindigkeiten deutlich unterhalb der Anhaltswerte der DIN 4150-3 liegen. Selbst wenn Bauwerksrisse nachweislich entstanden wären, wäre dann davon auszugehen, dass deren Hauptursache Bauwerks- bzw. Bauteilmängel waren. In anderen Fällen kann – wie im dargestellten Beispiel – eine Schadenursächlichkeit als wahrscheinlich beurteilt werden, wenn bereits mittlere Erwartungswerte oberhalb der DIN-Anhaltswerte liegen. Zwischen diesen beiden Fällen liegt allerdings eine »Grauzone«, in der keine zuverlässige Aussage zu einer Schadenursächlichkeit möglich ist, weil zum Beispiel einzelne obere Erwartungswerte oberhalb der DIN-Anhaltswerte liegen, mittlere Erwartungswerte aber unterhalb.

Entsprechend können die vorgestellten Prognosegleichungen sehr hilfreich sein, um die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Schäden zu beurteilen oder um Mindestabstände für bestimmte Baugeräte von vorhandenen Gebäuden abzuschätzen. Wenn allerdings eine hohe Genauigkeit der Prognose gefordert ist, sind bauvorbereitende oder baubegleitende Schwingungsmessungen unverzichtbar.

Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus ist Professor für Geotechnik an der Leibniz Universität Hannover. Er ist außerdem Gesellschafter eines Ingenieurbüros für Grundbauplanung und öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Baugrunduntersuchungen, Erd- und Grundbau. Als solcher ist er als von Gerichten beauftragter Gutachter häufig mit Schadenfällen infolge von durch Baugeräte verursachten Bauwerkserschütterungen befasst.

M.Sc. Paul Ole Hönnecke ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geotechnik der Leibniz Universität Hannover. Im Zuge seiner Forschungstätigkeit hat er sich intensiv mit der Prognose von Schäden an Gebäuden durch Erschütterungseinwirkungen befasst.

6.1.2 Ressourcenschutz und Nachhaltigkeit durch Bodenmanagement und Flüssigbodeneinsatz

Christian Staub

Nicht erst seit dem ausgerufenen Green Deal der europäischen Kommission stehen die Bauschaffenden in der Verantwortung für Boden- und Gewässerschutz, Ressourcenschutz, CO_2-Einsparungsverantwortung, Nachhaltigkeit und Deponieverantwortung. Die ordnungsgemäße und oder schadlose Verwertung von Bodenabfällen wird seit Jahrzenten im Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG), im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) geregelt. Neu hinzugekommen ist die sogenannte Mantelschutzverordnung/Ersatzbaustoffverordnung (EBV), die seit dem 1. August 2023 die in Teilen noch heute angewendete LaGa 20 ablöst. Die Verantwortung gegenüber der Umwelt und die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften erfordern Ideen und Lösungen in der Bauwirtschaft.

Diese Aufgabenstellungen mit größtem Stellenwert für Umwelt und Bauwesen waren Anlass, ein Bodenmanagement zu entwickeln, das es ermöglicht, Erdaushub jeglicher Baumaßnahmen aufzubereiten und wiederzuverwerten anstatt diesen zu entsorgen bzw. zu deponieren.

Der Umweltschutz fordert über seine bestehenden Gesetze – zu Recht – den kontrollierten Umgang mit sogenanntem Bodenabfall. Die Annahme, Analyse und Sortierung/Siebung von Bodenmengen ist in urbanen Gebieten, das heißt insbesondere auf innerstädtischen Baustellen, nicht umzusetzen, weshalb eine stadtnahe »Verwertungsstelle« entwickelt wurde. Die Vorteile:

- Boden, der in entfernte Deponien gebracht werden musste, wird in kurzer Entfernung verwertet (CO_2-Einsparung),
- Boden ohne Analytik wird auf Schadstoffgehalt geprüft, eine mögliche Zwischenlagerung erfolgt nach niedersächsischem Erlass (Kleinmengen),
- Kleinmengen aus Hausanschlüssen, Kabelverlegungen, kleinen Baumaßnahmen etc. können so überwacht und wirtschaftlich wiederverwertet werden,
- Aussiebung/Wiederverwertung bis Materialklasse BM-F1, eingeschränkt BM-F2 sowie Sonderlösungen sind in Absprache mit der Umweltbehörde möglich,

- Ressourcenschutz, da »Frischboden« aus Sandgruben nicht mehr abgebaut werden muss,
- Deponien werden geringfügiger belastet,
- die Herstellung von Flüssigboden aus Aushubböden wird als zusätzliche Möglichkeit und Innovation im Kabel- und Rohrleitungsbau eingesetzt.

Die Firma Clausing hat in Zusammenarbeit mit dem Versorgungsunternehmen Stadtwerke Osnabrück ein entsprechendes Konzept zur vertraglichen Abwicklung des vorgenannten Bodenmanagements entwickelt. Die Anlage wird seit 2021 entsprechend der erhaltenen BImSchG-Genehmigung betrieben. Beispielhaft könnte sie anderen Kommunen oder Unternehmen zum Aufbau eines Bodenmanagements dienen.

In Abstimmung mit der regionalen Aufsichtsbehörde, dem Auftraggeber und dem Betreiber des Bodenmanagements kann ein größerer Bereich einer Kommune als Strecke definiert werden, der den Transport von der Baustelle ohne Analyse und Begleitscheinverfahren zulässt, die Forderung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes und das Verbot des Abfalltransports also begrenzt bzw. einschränkt. Im beschriebenen Fall wird nach Sammlung und Bodenanalyse der Haufwerke gemäß niedersächsischem Erlass der Boden – sofern geeignet – in unterschiedliche Korngruppen gesiebt und in entsprechenden Baustellen des Auftraggebers wieder eingebaut. Im Mittel konnte durch das Bodenmanagement in den vergangenen Jahren eine Wiederverwertung von ca. 80 Prozent der angelieferten Aushubböden erreicht werden. Neben der Deponieverantwortung und der Ressourcenschonung wurde zudem die CO_2-Belastung aufgrund kürzerer Transportwege verringert.

Die Hochschule Osnabrück hat insbesondere zum Thema CO_2-Einsparung im Forschungsprojekt ReBoK (Ressourcenschutz durch intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen)[1] bemerkenswerte Ergebnisse ermittelt.

Aufgrund der großen Nachfrage an Boden- und Recyclingmaterialien wurde die BImSchG-Genehmigung der Aufbereitungsanlage auf eine Durchsatzleistung von 1.500 Tonnen/Tag erweitert, die Gesamtlagerkapazitäten auf 6.750 Tonnen. Die gefährlichen Abfälle, für die eine Wiederverwertung ausgeschlossen ist, werden in einer gesonderten Halle gesammelt und kurzfristig einer Deponie zugeführt, laut Gewerbeaufsicht ist diese Zwischenlagerung auf maximal 200 Tonnen begrenzt.

Für den urbanen Bereich empfiehlt es sich für den Einbau wiedereinbaufähiger Bodenmaterialien ein Flächenkataster über die entsprechenden Gebiete zu legen, um Parameter über Grundwasserstände und sonstige Anforderungen an den Wiedereinbau gemäß Ersatzbaustoffverordnung übersichtlich darzulegen.

1 Hochschule Osnabrück: Ressourcenschutz durch intelligentes Bodenmanagement urbaner Kleinbaustellen. Vgl. www.hs-osnabrueck.de/rebok [abgerufen am: 17.04.2025]

Anders als die hier aufgezeigte Lösung für den urbanen Bereich sind Abläufe des Bodenmanagements unter Einhaltung der Vorgaben der Mantelschutzverordnung für zusammenhängende große Baustellen individuell zu planen und zu genehmigen. Eine für 2025 vorgesehene Evaluierung der Mantelverordnung muss aber für Vereinfachungen und eine praktikablere Anwendung sorgen. Die aktuelle Preisentwicklung von Natursanden und sonstigen mineralischen Schuttgütern sowie Deponie-/Einlagerungskosten sind neben der Verantwortung für die Umwelt auch wirtschaftlich das eindeutige Argument für den Einsatz von Recyclingbaustoffen und Bodenmanagement.

Abb. 01: Aufbereitungsplatz für Bodenmanagement, Mischanlage für Compound, Zement und Steuerungstechnik [Foto: Clausing GmbH Tiefbauunternehmen]

Flüssigboden

Neben der wirtschaftlichen Anwendung des Bodenmanagements in Baumaßnahmen des Straßen- und Leitungsbaus ist der Einsatz von Flüssigboden eine weitere Entwicklung zur Optimierung von Bauabläufen. Flüssigboden ist ein weiteres Multitalent für die Bauwirtschaft. Er findet Einsatz in schwer zugänglichen oder schwer verdichtbaren Gräben, bei Leitungskreuzungen und für die Verfüllung von Baugruben und Arbeitsräumen, insbesondere im Kanal- und Rohrleitungsbau. Aufgrund der Erfüllung der Anforderungen an die thermische Leitfähigkeit des Bettungsmaterials ist er auch zur Ummantelung von Strom-/Transportleitungen geeignet. Eine weitere Einsatzmöglichkeit ist die Herstellung

von Schlitzwänden. Diese Vielseitigkeit macht Flüssigboden zur idealen Wahl für verschiedenste Herausforderungen im Tiefbau. Durch den Einsatz von Flüssigboden werden Bauarbeiten verkürzt, während Lärm, Erschütterungen und Staubbelastung auf ein Minimum reduziert werden – ein klarer Vorteil für Umwelt, Beschäftigte und Anwohner.

Durch die engmaschige Überwachung des gesiebten Bodenaushubmaterials werden die Böden aus dem Bodenmanagement auch für die Flüssigbodenproduktion eingesetzt. Das überwachte Verfahren entspricht den Richtlinien des Kreislaufwirtschaftsgesetzes und fördert so eine zusätzliche nachhaltige Bauweise. Die Produktion des Flüssigbodens wird durch die Bundesqualitätsgemeinschaft Flüssigboden e. V. zertifiziert und in der Verbindung fremdüberwacht. Der fließfähige und selbstverdichtende Einbau von Flüssigboden gewährleistet einen erschütterungsfreien Einbau, da mechanische Verdichtungen nicht erforderlich sind; dabei ist eine hohlraumfreie Verfüllung garantiert und das Ergebnis bereits nach wenigen Stunden belastbar bzw. überbaubar. Die sogenannte Spatenlösbarkeit ist dauerhaft gewährleistet.

Die für den Gasversorgungsleitungsbau erforderliche Detektierbarkeit zur Feststellung von Leckgas wurde durch einen Feldversuch nachgewiesen, sodass von einer uneingeschränkten Einsatzmöglichkeit gesprochen werden kann. Gleiches gilt für die Porosität zur Wasserdurchlässigkeit.

Neben der Fähigkeit des Abbindens des Flüssigbodens unter Grundwasser wird für die Arbeitsvorbereitungen auch die Möglichkeit einer geringeren Grabenbreite untersucht. Betretbare Arbeitsräume im Rohrleitungsbau und Kanalbau können weitgehend reduziert werden, Aushub und Abtransporte, Bodendeponierung – sofern nicht wieder einbaufähig – optimieren die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme.

Die entwickelte und überwachte »Rezeptentwicklung« berücksichtigt alle entsprechenden Regelwerke und DIN-Vorgaben wie:

- Abwasser – DIN EN 1610 Arbeitsblatt DWA – A 139,
- Trinkwasser – DVGW Arbeitsblatt W 400-2,
- Erdgas – DVGW Arbeitsblatt G 459, G 462, G 463 bezgl. Bettungsbedingung DVGW GW 310,
- Elektrizität – DIN VDE 0276 – 603,
- Telekommunikationskabel – ZDV-TK Netz 10,
- Fernwärme Regelwerk – AGFW Arbeitsblätter FW 401, FW 410 und FW 420.

Darüber hinaus wird der Verfestigungsverlauf über Rückstellprobekörper ständig überwacht.

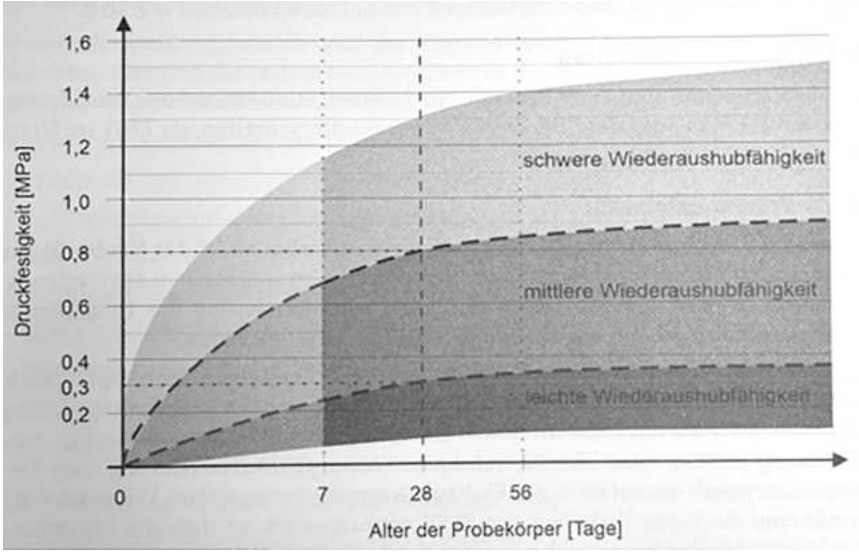


Abb. 02: Schematische Darstellung des Verfestigungsverlaufs[2] [ZFSV]

Im Merkblatt der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) für die Herstellung und Verwendung von zeitweise fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen (ZFSV) im Erdbau werden sämtliche Aussagen über Anforderungen Eigen- und Fremdüberwachungsintervalle geregelt, was einen optimalen Einsatz von Flüssigboden gewährleistet. Die Kombination des Bodenmanagements und die mögliche Anwendung von Flüssigboden erfüllen berechtigte Anforderungen aus Nachhaltigkeit, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit.

Dipl.-Ing. (SFI) Christian Staub ist Präsidiumsmitglied im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes. Seit 1986 führt er als geschäftsführender Gesellschafter das Tiefbauunternehmen Clausing GmbH und das Hochbauunternehmen Chr. Staub Baugesellschaft mbH in Osnabrück. Im Jahr 2021 gründete er die Firma BMFO Bodenmanagement Flüssigboden GmbH.

Nach seinem Engagement als Obermeister der Bau-Innung Osnabrück, Vorstandsmitglied und Präsident des Baugewerbeverbandes Niedersachsen setzt er sich darüber hinaus in verschiedenen Gremien für innovative Entwicklungen im Bauhauptgewerbe beratend ein.

2 M ZFSV Merkblatt für die Herstellung und Verwendung von zeitweise fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen (ZFSV) im Erdbau, Ausgabe 2025 (FGSV-Nr.: 563)

6.1.3 Nachhaltig, widerstandsfähig, ressourcenschonend: So wird Infrastruktur zukunftsfähig

Infrastrukturbau im Wandel: Herausforderungen und Chancen

Brücken, Straßen, Schienenwege – sie sind das Rückgrat unserer modernen Gesellschaft. Doch viele dieser Bauwerke haben ihre besten Jahre hinter sich. Sanierungsstau, steigende Anforderungen an Klimaschutz und Ressourcenschonung sowie wachsende Verkehrsbelastung fordern eine Bauwirtschaft, die nicht nur eine leistungsfähige, sondern auch eine nachhaltige und widerstandsfähige Infrastruktur schafft.

Katrin Mees

Dabei ist klar: Ohne eine echte Kreislaufwirtschaft bleibt die Bauwirtschaft in den alten Mustern – die auf endlichem Rohstoffabbau basieren – gefangen. Eine zukunftsfähige Infrastruktur muss ressourceneffizient sein. Das bedeutet, hochwertige Recyclingbaustoffe gezielt zu nutzen, anstatt sie zu deponieren. Technisch ist das längst machbar – doch in der Praxis gibt es Hürden, die eine nachhaltige Infrastruktur unnötig ausbremsen.

Recyclingbaustoffe: Die Lösung liegt bereit – wir müssen sie nur nutzen

Die Idee ist simpel: Was beim Rückbau von Bauwerken im Hoch-, Tief- und Straßenbau anfällt, sollte sinnvoll wiederverwendet werden, anstatt als Abfall entsorgt zu werden. Ein Material, das gestern noch eine Straße war, kann morgen wieder eine Straße sein. Oder ein Bahntrassenbett. Oder ein Fundament.

Mit der Ersatzbaustoffverordnung (EBV) wollte der Gesetzgeber genau diese Kreisläufe fördern. Doch in der Praxis sehen wir oft das Gegenteil: Bürokratie, Unsicherheit und ein hoher Dokumentationsaufwand schrecken ab. Besonders hinderlich ist der rechtliche Status vieler Recyclingbaustoffe – denn solange sie formal als Abfall gelten, sind sie mit strengen Auflagen und komplizierten Ausschreibungsbedingungen belastet.

Ergebnis? Die Infrastrukturprojekte von heute werden noch immer mit Primärbaustoffen realisiert, während hochwertige Recyclingmaterialien auf Halde liegen oder deponiert werden. Dabei wäre der Nutzen enorm: Weniger Rohstoffverbrauch, weniger CO_2-Emissionen und eine stabilere Versorgung mit Baustoffen für die dringend benötigte Modernisierung unserer Infrastruktur.

Abfall oder Produkt?

Der wichtigste Hebel für eine zukunftsfähige Infrastruktur ist also nicht technischer, sondern rechtlicher Natur: Recyclingbaustoffe müssen als gleichwertige Bauprodukte anerkannt werden. Die Bauwirtschaft fordert daher eine klare Regelung für das Abfallende, die sicherstellt, dass güteüberwachte Ersatzbaustoffe nicht als Abfall, sondern als vollwertige Baustoffe gelten. Das würde nicht nur den Einsatz von Recyclingmaterial erleichtern, sondern auch die Akzeptanz in öffentlichen Ausschreibungen erhöhen. Denn bisher greifen viele Auftraggeber lieber auf klassische Primärbaustoffe zurück – nicht, weil sie besser wären, sondern weil sie einfacher zu beschaffen sind. Und das ist genau das Problem: Wir haben die Baustoffe für eine ressourcenschonende Infrastruktur – wir dürfen sie nur nicht effizient nutzen.

Politische Widersprüche: Erst fordern, dann verhindern?

Während die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) eine stärkere Nutzung von Recyclingmaterial fordert, setzt die Politik gleichzeitig auf Bestandserhalt statt Neubau, um Ressourcen zu sparen. Das klingt gut, ist aber ein klassisches Dilemma: Ohne Abriss gibt es kein Material für Recycling. Ohne Recyclingmaterial kann es aber keine echte Kreislaufwirtschaft geben. Eine Strategie, die beides will – weniger Neubau und mehr Sekundärbaustoffe – läuft Gefahr, sich selbst auszubremsen.

Hier braucht es mehr Realismus: Nachhaltige Infrastruktur erfordert nicht weniger Bauen, sondern intelligenteres Bauen. Dazu gehört ein konsequenter Einsatz von Recyclingbaustoffen und eine Regulierung, die sie nicht als Ausnahme, sondern als Normalfall betrachtet.

Klare Weichenstellungen für eine zukunftsfähige Infrastruktur

Damit der Infrastrukturbau wirklich nachhaltig, widerstandsfähig und ressourcenschonend wird, braucht es keine komplizierten Theorien, sondern pragmatische Entscheidungen. Die Bauwirtschaft weiß, wie Kreislaufwirtschaft funktionieren kann – sie braucht nur endlich die richtigen Rahmenbedingungen. An erster Stelle steht die rechtliche Anerkennung von güteüberwachten Ersatzbaustoffen als reguläre Bauprodukte. Wenn ein Material alle technischen und umweltrelevanten Prüfungen besteht, gibt es keinen sachlichen Grund, es weiterhin als Abfall einzustufen. Erst wenn dieser unnötige Makel verschwindet, kann Recyclingmaterial seine volle Marktfähigkeit entfalten.

Mindestens genauso wichtig ist der Abbau bürokratischer Hürden. Der derzeitige Dokumentationsaufwand schreckt viele Bauherren und Auftraggeber ab – nicht, weil sie Recyclingbaustoffen misstrauen, sondern weil der Nachweis ihres Einsatzes oft unverhältnismäßig kompliziert ist. Eine bundesweit einheitliche digitale Lösung könnte hier Abhilfe schaffen, den Materialeinsatz vereinfachen und die Marktakzeptanz nachhaltig erhöhen. Zudem braucht es endlich eine konsequente Berücksichtigung von Recyclingbaustoffen in öffentlichen Ausschreibungen. Wo immer es technisch möglich und wirtschaftlich sinn-

voll ist, sollten sie gegenüber Primärmaterialien bevorzugt werden. Das wäre nicht nur ein wichtiger Schritt für die Kreislaufwirtschaft, sondern würde auch den Markt für Ersatzbaustoffe langfristig stabilisieren. Nicht zuletzt ist es entscheidend, Behörden, Auftraggeber und Planer besser zu schulen und zu sensibilisieren. Oft sind es Unsicherheiten oder Unkenntnis der geltenden Regelungen, die den Einsatz von Recyclingmaterialien ausbremsen. Je klarer die Vorgaben, desto größer die Bereitschaft, sie umzusetzen.

Die Bauwirtschaft kann Kreislaufwirtschaft – wenn sie nicht durch überflüssige Hürden ausgebremst wird.

Jetzt ist die Politik gefragt, die richtigen Weichen für eine zukunftsfähige Infrastruktur zu stellen. Denn die Bauwirtschaft ist bereit, diesen Wandel aktiv mitzugestalten. Recyclingbaustoffe sind nicht das Problem – sie sind die Lösung. Sie stehen in hoher Qualität zur Verfügung, können Primärbaustoffe in vielen Bereichen problemlos ersetzen und sind ein entscheidender Hebel, um den Ressourcenschutz im Bauwesen voranzutreiben. Doch solange rechtliche Unsicherheiten, überzogene Nachweispflichten und unklare Ausschreibungsbedingungen ihren Einsatz erschweren, bleibt ihr Potenzial ungenutzt.

Dabei sind die Vorteile offensichtlich: Mehr Ressourcenschonung, weniger CO_2-Emissionen und eine Bauweise, die auch in Zukunft tragfähig ist. Wer ernsthaft eine nachhaltige Infrastruktur vorantreiben will, darf Recyclingmaterialien nicht nur in politischen Strategiepapieren fordern – ihre Nutzung muss in der Praxis endlich zur Selbstverständlichkeit werden.

Die Bauwirtschaft hat das Know-how, die Technik und die Bereitschaft, die Kreislaufwirtschaft konsequent voranzutreiben. Wir können das – wenn die Rahmenbedingungen stimmen. Jetzt braucht es klare Signale, mutige Entscheidungen und eine Regulierung, die nicht bremst, sondern ermöglicht. Denn nur so wird aus nachhaltigen Absichten eine wirklich zukunftsfähige Infrastruktur.

Dipl.-Ing. (FH) Katrin Mees ist Abteilungsleiterin für Nachhaltiges Bauen und Umwelt im Zentralverband des Deutschen Baugewerbes (ZDB). Nach dem Architekturstudium in Bochum begann sie ihre berufliche Laufbahn mit der Rückbauplanung, der Renaturierung und Folgenutzungsplanung ehemaliger Zechenstandorte im Ruhrgebiet. Später führte sie ein Unternehmen zur Innenraumgestaltung mit Fokus auf wohngesunde Materialien. Seit 2008 in Berlin tätig, sammelte sie umfassende Erfahrung in Planung, Ausschreibung und Projektmanagement mit Schwerpunkt auf nachhaltigem Bauen und dem gesamten Lebenszyklus von Gebäuden. Seit 2020 bringt sie ihre Expertise in die Verbandsarbeit ein, setzt sich für praxisgerechte Nachhaltigkeitsstrategien im Bauwesen ein und vertritt die Interessen der Branche in politischen und fachlichen Gremien.

6.1.4 Unerlaubte Trasseneingriffe im Gasnetz: Herausforderungen und Lösungen aus der Praxis

Henning Stegemerten

Infrastruktur- bzw. Bauprojekte sind generell mit einer Vielzahl von Aufgaben und Herausforderungen verbunden. Eine sehr wichtige Pflicht für Vorhabenträger, Planer und Bauausführende ist die Gewährleistung der Sicherheit der im Baufeld bereits bestehenden Leitungen und Kabel in allen Phasen des Projekts. Ziel ist es, sogenannte unerlaubte Trasseneingriffe (UT) zu verhindern. Diese Vorfälle, bei denen unangemeldete Bauarbeiten die Sicherheit von unterirdischen Leitungen und Kabeln gefährden könnten, stellen nicht nur für Betreiber, Bauausführende oder das nachbarschaftliche Umfeld der Baustelle ein hohes Risiko dar, sondern können auch Versorgungsengpässe auslösen sowie teure und langwierige Folgen für den Verursacher nach sich ziehen. Um das Risiko solcher Eingriffe zu minimieren, setzt Gasunie Deutschland (GUD) in ihrem Netz auf eine Vielzahl präventiver Maßnahmen sowie eine systematische Aufarbeitung identifizierter unerlaubter Trasseneingriffe. Die bisher erzielten Ergebnisse sind Beleg für die richtige Strategie und Motivation für eine Fortführung des bisherigen Ansatzes.

Die Herausforderung: unerlaubte Trasseneingriffe verhindern

Jeder Vorhabenträger, Planer und Bauausführende hat die Verantwortung und Verpflichtung, mögliche Konflikte mit bestehenden Infrastrukturen im Rahmen seiner Aktivitäten zu verhindern. Diese ergibt sich aus verschiedenen gesetzlichen Regelungen, wie dem Bürgerlichen Gesetzbuch (§ 823 Abs. 1 BGB), der Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) sowie dem DVGW-Regelwerk (GW 315). Im Wesentlichen bedeutet dies, dass vor Beginn von Bauarbeiten eine gründliche Erkundung bestehender unterirdischer Infrastrukturen notwendig ist und eine Abstimmung über zu berücksichtigende Schutz- und Sicherungsmaßnahmen mit dem jeweiligen Betreiber zu erfolgen hat.

Doch trotz dieser Verpflichtung bleibt die Situation für viele Planende und Bauausführende durchaus herausfordernd. Bund und Länder betreiben bislang keine zentrale und umfassende Informationsquelle, die alle relevanten Infrastrukturbetreiber und deren Leitungslagen zuverlässig aufzeigt. Informationen müssen aus verschiedenen Quellen mit unterschiedlichen Qualitäten zusammengetragen werden – mit teils unvollständigen oder unsicheren Ergebnissen. Für die Bauwirtschaft ergibt sich das grundsätzliche Risiko, nicht alle relevanten Betreiber im Baufeld zu identifizieren, was im schlimmsten Fall zu unerlaubten Trasseneingriffen mit schwerwiegenden Folgen führen kann. Zur

vollständigen Wahrheit gehört jedoch auch, dass Vorhabenträger, Planer und insbesondere Bauausführende eine gewissenhafte Fremdleitungserkundung in ihrem Baufeld mit sehr unterschiedlichem Engagement durchführen.

Prävention im Fokus: Maßnahmen der GUD

Die GUD hat den Schutz ihrer Leitungen bzw. Kabel und die Sicherheit im Bauprozess zu einer zentralen Aufgabe gemacht. Um unbefugte Eingriffe und Schäden zu verhindern, nutzt der Betreiber eine Reihe gezielter Maßnahmen. Neben regelmäßigen Informationsschreiben an Kreise, Städte und Gemeinden, um auf das Vorhandensein der GUD-Infrastrukturen in den verschiedenen Regionen des Netzes hinzuweisen, werden zwischenzeitlich im Fünf-Jahres-Rhythmus auch sämtliche Grundeigentümer zur Sensibilisierung für das Thema Sicherheit im Leitungsbereich mit entsprechenden Anschreiben und Flyern einbezogen. Dabei setzt GUD auch digitale Lösungen wie das BIL-Auskunftsportal ein, um die Erreichbarkeit und Transparenz sowie die Schnelligkeit in der Beantwortung von Anfragen Dritter zu erhöhen. Etwa 70 Prozent der über das BIL-Portal eingehenden Plananfragen werden nach einer sofortigen Kurzmitteilung der Betroffenheit innerhalb von 48 Stunden durch GUD detailliert beantwortet, der weit überwiegende Teil davon sogar innerhalb von 24 Stunden.

Das Portal bietet eine digitale Lösung, die es Vorhabenträgern, Planern und Bauausführenden ermöglicht, schnell, gezielt und unkompliziert mit Betreibern bestehender Leitungs- und Kabelnetze in Kontakt zu treten. Für GUD fungiert das System als wertvolles Überwachungs- und Kontrollsystem, um eingehende Plananfragen Dritter mit Zuständigkeitsflächen des eigenen Netzes zu verschneiden und nur die Anfragen für eine eigene, weitergehende Prüfung herauszufiltern, die eine tatsächliche Betroffenheit auslösen. In einem seit Jahren steigenden Plananfragengeschäft trägt das BIL-Portal in erheblichem Maße dazu bei, mit einem moderaten Personaleinsatz Überblick und Kontrolle über das Plananfragengeschäft Dritter zu behalten (Abb. 01). Aktivitäten Dritter werden im Netz identifiziert und registriert und sind somit die Grundlage für einen geordneten Beteiligungsprozess zur Gewährleistung der Sicherheit bestehender Anlagen.

Mit diesem strukturierten und effizienten Bearbeitungsprozess zu ordnungsgemäß angemeldeten und damit bekannten Planungs- und Bauvorhaben wird die Gefahr unerlaubter Trasseneingriffe bereits minimiert. Zudem bietet die Datengrundlage zu bekannten Vorhaben die Basis, unerlaubte Trasseneingriffe (UT) zu identifizieren und im Nachgang konsequent zu verfolgen.

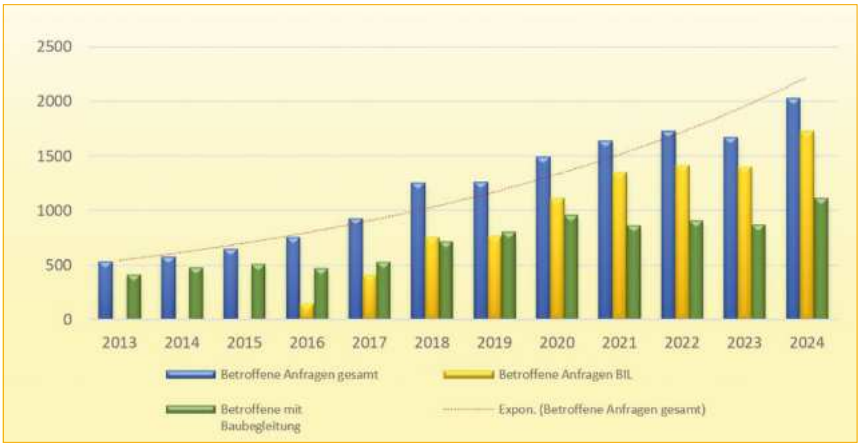


Abb. 01: Entwicklung von Plananfragen Dritter (PAD) bei GUD seit 2013 [Quelle: Gasunie Deutschland Transport Services GmbH]

Die Registrierung von zumeist im Rahmen der Leitungsbefliegung oder von Befahrungen bzw. Begehungen ermittelten Auffälligkeiten erfolgt bei GUD an zentraler Stelle unter Benennung verschiedener Kriterien, die im Anschluss eine Kategorisierung der Vorfälle ermöglichen. Unterschieden und statistisch erfasst werden dabei Eingriffe in den Schutzstreifen der Leitung mit geringem (Kategorie 2) und hohem (Kategorie 3) Risikopotenzial sowie mit Beschädigungen an den Infrastrukturen (Kategorie 4). Die Schwere der Beschädigung hat dabei keinen Einfluss auf die Kategorisierung. Bereits ein beschädigtes Kabelschutzrohr wird als Fall der Kategorie 4 gewertet. GUD geht konsequent allen registrierten unerlaubten Trasseneingriffen nach.

Den verschiedenen Kategorien sind in der Folge unterschiedliche standardisierte Reaktionsmaßnahmen zugeordnet, die bei einfachen Anschreiben mit Hinweisen für Vorhabenträger, Planer und Bauausführende über das jeweilige Fehlverhalten beginnen. In Abhängigkeit der Schwere des Eingriffs werden umfangreiche Untersuchungen unter Beteiligung des Verursachers und Auftraggebers/Vorhabenträgers, gegebenenfalls mit Weiterbelastung der auf Betreiberseite entstandenen Kosten, eingeleitet. Die enge Kommunikation mit den Verursachern und deren Einsicht in Bezug auf ein Fehlverhalten spielen zudem eine wichtige Rolle, welche weiteren nachgelagerten Schritte noch eingeleitet werden. Eine Option wäre bei wiederholten unsicheren Handlungen und wenig Einsicht die Einschaltung von Behörden oder Organen, die für die öffentliche Sicherheit insgesamt oder die grundsätzliche Sicherheit auf der Baustelle zuständig sind. Erfahrungen mit derartigen Schritten wurden bei GUD bereits gemacht. Diese Vorgehensweise hat sich in der Entwicklung von unerlaubten Trasseneingriffen bei GUD als wirksam erwiesen, um wiederkehrende Vorfälle zu minimieren und das Bewusstsein für die Problematik weiter zu schärfen.

Abb. 02: Entwicklung unerlaubter Trasseneingriffe (UT) von 2017 bis 2024 [Quelle: Gasunie Deutschland Transport Services GmbH]

Statistisch zeigt sich bei GUD trotz eines weiterhin signifikant steigenden Plananfragengeschäfts ein klares Bild: Im Jahr 2024 wurden insgesamt 18 unerlaubte Trasseneingriffe (UT) nach GUD-eigener Definition registriert (Abb. 02). Dies entspricht einem Verhältnis zwischen unerlaubten Trasseneingriffen (UT) und regulären Plananfragen Dritter (PAD) von 1:113. Im Vorjahr lag das Verhältnis noch bei 1:88, was einer Verbesserung von 28 Prozent entspricht. Der positive Trend der Vorjahre (1:113, 1:88, 1:40, 1:42, 1:27, 1:21, 1:22, 1:15) setzt sich fort. Diese Entwicklung wird im Wesentlichen auf die konsequente Verfolgung von UT im aufkommenden Einzelfall sowie verschiedene präventive Informationskampagnen (Kreise, Städte, Gemeinden, Privatpersonen) im GUD-Netz, wie bereits zuvor im Beitrag erwähnt, zurückgeführt.

Ausblick: ein pragmatischer Ansatz statt bürokratischer Hürden

Das BIL-Portal ist eine wichtige Innovation im Bereich der Fremdleitungserkundung, die die GUD seit der Gründung des Portals 2015 aktiv unterstützt. Mit dem Ziel, die Kommunikation zwischen Infrastrukturbetreibern und der Bauwirtschaft zu verbessern, ermöglicht das Portal, Plananfragen zu zentralisieren und zu standardisieren. Etwa 85 Prozent der betroffenen Plananfragen Dritter gehen bei GUD bereits über das Online-Portal für eine technische Beurteilung in der eigenen Plananfragenabteilung ein, was die Effektivität des Systems unterstreicht. Die verbleibenden 15 Prozent entfallen im Wesentlichen auf behördliche Anfragen im Rahmen von Bauleitverfahren. Hier werden noch weitere Entwicklungsmöglichkeiten im Hinblick auf eine Digitalisierung und damit Beschleunigung der Prozesse gesehen.

Die Lösung von Problemen, wie unerlaubten Trasseneingriffen mit den einhergehenden Risiken, erfordert eine langfristige und gemeinsame Anstrengung. Hier wäre eine noch

engere Zusammenarbeit zwischen der Bauwirtschaft, den Planern und den Infrastrukturbetreibern erstrebenswert, um die Sicherheit und Integrität der Infrastrukturen zu gewährleisten. Ein wichtiger Schritt in diese Richtung ist die fortgesetzte Weiterentwicklung digitaler Lösungen.

Langfristig gesehen könnte unter Umständen ein nationales Leitungskataster, wie es die Bauwirtschaft fordert, eine Lösung darstellen, die umfassend alle relevanten Informationen zu Leitungsnetzen enthält und kontinuierlich aktualisiert wird. Diese Diskussion wird bereits seit Jahren auf politischer und fachlicher Ebene geführt. Die Umsetzung solcher gesetzlichen Initiativen gestaltet sich jedoch langwierig und bürokratisch, da die Interessenslagen aus gutem Grund sehr unterschiedlich sind. Gesetzesvorhaben dieser Art erfordern nicht nur umfangreiche Abstimmungen und langwierige Entscheidungsprozesse, sondern stoßen häufig auch auf praktische Schwierigkeiten, die den gewünschten Effekt verzögern können.

Hier könnte ein pragmatischer Ansatz, der bereits das aktuelle Recht und das Regelwerk erfüllt, von großer Bedeutung sein: Die Branche der Netzbetreiber für Gas, Öl und Chemie hat aus eigener Kraft mit dem BIL-Portal bereits den bundesweiten Nachweis erbracht, dass eine nicht kommerziell ausgerichtete, für alle anderen Leitungs- und Kabelbetreiber offene, diskriminierungsfreie Portallösung den Zugang auf Leitungs- und Kabelinformationen für die Baubranche in erheblichem Maße verbessert. Leitungsauskünfte über das BIL-Portal sind für alle Anfragenden grundsätzlich kostenlos. Diese bestehende Branchenlösung mit hoher Akzeptanz in der Betreiber- und Baulandschaft könnte weiterentwickelt und als flächendeckendes Vorbild für eine bisher fehlende zentrale und umfassende landes-, besser noch bundesweite Informationsquelle herangezogen werden, ohne dass es zu einem Kontrollverlust für die Betreiber von Infrastrukturen im Rahmen ihrer Betreiberpflichten kommt. Die Betreibergemeinschaft zeigt sich in jedem Fall offen und sehr interessiert, entsprechende Initiativen mit dem bisher Erreichten zu unterstützen.

Henning Stegemerten ist als Abteilungsleiter der Gasunie Deutschland Transport Services GmbH verantwortlich für Liegenschaften und Leitungsrechte sowie Planauskünfte Dritter und Geographische Informationssysteme (GIS). Gasunie ist ein Energieinfrastruktur-Unternehmen aus den Niederlanden mit über 17.000 Kilometern Pipelines, davon 4.600 Kilometer in Deutschland, und betreibt Leitungen zwischen DN 100 und 1.400 im Drucksystem bis 100 bar. Gasunie verbindet Deutschland, den wichtigsten Erdgasmarkt Europas, mit allen großen internationalen (NL, NO, DK, UK, LNG) und nationalen Aufkommensquellen. Gasunie leistet mit ihrem Projekt Hyperlink einen wichtigen Beitrag für den Wasserstoffhochlauf und damit für die Energiewende.

6.1.5 Energieversorgung im Visier: Wie integrierte Sicherheitslösungen den Schutz verbessern

Tim Kosok

Anfang 2025 kam es in Schönecken, Rheinland-Pfalz, zu einem Brand in einer Biogasanlage. Der Schaden vor Ort war das eine, die Auswirkungen für die Bevölkerung aber das andere – der Energieversorger musste die Anlage wegen eines brennenden Transformators abschalten und die Einwohner der Umgebung waren damit längere Zeit ohne Strom. Dass die Energieversorgung einer der sensibelsten Bereiche der Infrastruktur ist, wird in solchen Momenten bewusst. Hier können schnell wirtschaftliche Schäden entstehen, aber auch die öffentliche Ordnung kann gefährdet werden. Weniger gegenwärtig dagegen ist, wie komplex Gebäudesicherheit heute gedacht werden muss und welche innovativen Lösungen Energieversorgern dabei helfen, mögliche Risiken deutlich zu minimieren.

Dezentrale Anlagen erfordern neue Sicherheitslösungen

Die Energiewende und der verstärkte Ausbau erneuerbarer Energien haben den Markt speziell auf Erzeugerseite verändert. Neben den traditionellen Energieversorgern, die große Kraftwerke und Anlagen betreiben, gibt es heute vermehrt weitere spezialisierte Unternehmen, die vor allem im Bereich nachhaltiger Strom- und Wärmeerzeugung tätig sind. Mit der wachsenden Anzahl an Betreibern von Wind- und Solarparks, Biogas- oder Geothermieanlagen geht einher, dass die Anlagen der Erzeuger heute deutlich dezentraler angelegt sind, als man es bei der zentralen Energieversorgung gewohnt war. Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) in einem Wohnquartier für kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung oder eine Biogasanlage für die Energieversorgung im ländlichen Raum sind nur zwei Beispiele solch lokaler Anlagen. Der Ausbau der dezentralen Energieerzeugung rückt auch das Thema Sicherheit immer stärker in den Fokus. Hierbei müssen verschiedene Aspekte für einen reibungslosen Betrieb berücksichtigt werden.

Brandschutz als oberste Prämisse

Wie im erwähnten Fall spielt Brandschutz eine große Rolle. Zuverlässige Detektion und schnelle Reaktion sind zwei bedeutende Schlüssel zum Vermeiden von Bränden und den daraus resultierenden Schäden. Vorbeugende Maßnahmen rund um den anlagentechnischen Brandschutz dienen der präzisen Identifikation von Bränden, der schnellen Informationsverarbeitung und der Weiterleitung an die Sicherheitsleitstellen. Besonders interessant für die Branche sind dabei Lösungen mit videobasierter Brandfrüherkennung

– einer Kombination aus Videoüberwachung und Künstlicher Intelligenz (KI), die sich besonders gut für den Einsatz in Energieerzeugungsanlagen und auch in gebäudenahen Außenbereichen eignet. Hierbei werden Flammen und Rauch bereits erkannt, bevor sie zur Gefahr werden. Wo herkömmliche Brandmeldetechnik an ihre Grenzen stößt, bringt der Einsatz videobasierter Brandfrüherkennung zahlreiche Vorteile und hebt den Brandschutz auf ein neues Niveau. Gängige Brandmeldetechnologie ist darauf angewiesen, dass Rauch in ausreichender Konzentration zu ihr migriert. Dabei kann es sein, dass der Rauch stark verdünnt oder von einem Luftstrom erfasst wird, bis er von einem installierten Melder detektiert wird. Bis dahin schreitet der Brand unbemerkt voran und aus einem kleinen Funken kann schnell eine große Gefahr entstehen. Die visuelle Branderkennung durch IP-Kameras mit intelligenter Videoanalyse direkt an der Entstehungsquelle verkürzt diese Detektionszeit deutlich und ermöglicht eine schnelle Reaktion. Eingebunden in eine definierte Alarmierungskette wird der Sicherheitsgrad signifikant erhöht, da im Alarmfall sofort eine situationsgerechte Einsatzplanung ermöglicht wird und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können. Bewährt hat sich hierbei die Alarmierung über einen Alarmserver, der Pushnachrichten und Livestreams auf mobile Endgeräte an einen vorab definierten Personenkreis sendet. Eine solche Lösung zur Brandfrüherkennung und automatisierten Alarmierung kann eng mit anderen Gebäudesicherheitslösungen vernetzt werden, um eine ganzheitliche Sicherheitsstrategie zu realisieren.

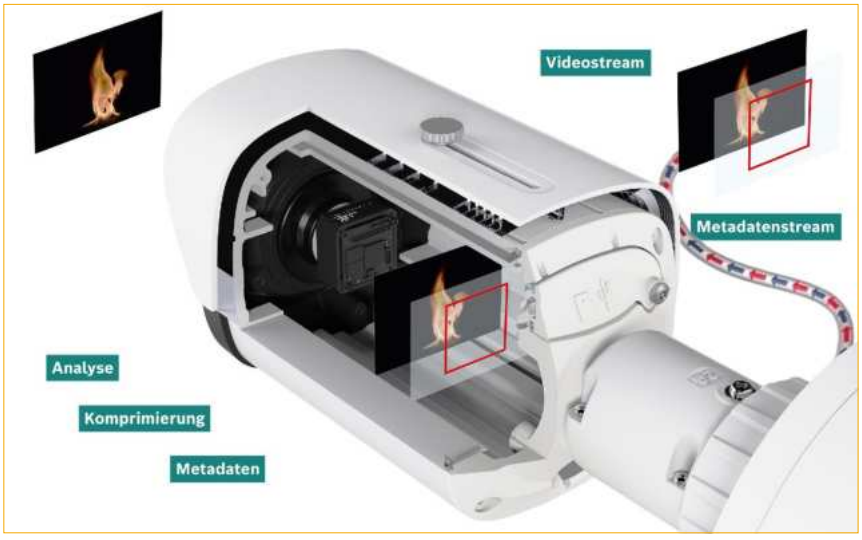


Abb. 01: Videobasierte Branderkennung stützt sich auf die Fähigkeit verschiedener Analysetechniken, die Livebilder auf Brände untersuchen. [Quelle: Bosch Building Technologies]

Integrierte Sicherheitslösungen für Perimeterschutz und Zutrittskontrolle

Dezentrale Energieerzeugungsanlagen befinden sich häufig auch in abgelegenen oder schlecht einsehbaren Gebieten und sind meist weniger gesichert als große Kraftwerke. Einbrüche oder Vandalismus können dort nicht nur Sachschäden verursachen, sondern auch die Energieerzeugung destabilisieren. Integrierte Sicherheitslösungen, die sich smarter Technologien bedienen, ermöglichen hier umfassenden Schutz. Ein wichtiger Bereich ist hierbei die Zutrittskontrolle: Berechtigungen für den Zugang zur Anlage durch Mitarbeiter und Fremdfirmen können über smarte Zutrittskontrollsysteme zentral verwaltet und Zuwiderhandlungen an eine zentrale Gefahrenmeldezentrale gemeldet werden. Der Betrieb solcher Systeme ist heutzutage mit einem reduzierten administrativen Aufwand verbunden und erhöht gleichzeitig den Sicherheitsstandard.

Abb. 02: Gesicherten Zugang ohne personellen Aufwand erhalten auch Techniker von Fremdfirmen durch moderne Zutrittskontrolllösungen. [Foto: Bosch Building Technologies]

Besonderes Augenmerk sollte außerdem auf dem Perimeterschutz liegen: Durch den Einsatz von Videotechnologie mit intelligenter Analysesoftware wird das Eindringen unbefugter Personen und Objekte auch bei extremen Witterungs- und Wetterbedingungen sowie über große Reichweiten automatisiert erkannt. Dabei können auch Eindringlinge identifiziert werden, die rollen, kriechen oder sich tarnen, um Zäune, Eingänge oder Zufahrten zu durchdringen. Um Falschalarme beispielsweise durch Insekten, Tiere oder Fahrzeuge auf ein Minimum zu reduzieren, hilft Künstliche Intelligenz dabei, zu verifizieren, ob ein Alarm von einer Person oder durch einen anderen Auslöser verursacht wurde. Bewegungsanalyse ermöglicht außerdem die automatische Verfolgung von Personen, die keine Zugangsberechtigung haben.

Abb. 03: Sicherheitslösungen mit Videotechnologie, die intelligente Analysefunktionen enthält, erhöhen den Perimeterschutz. [Quelle: Bosch Building Technologies]

Der Perimeterschutz dezentraler Energieerzeugungsanlagen kann dabei nicht nur den Schutz des Geländes im bodennahen Bereich beinhalten, sondern auch den Luftraum über dem Gelände durch potenzielle Bedrohungen von Drohnen umfassen. Hierbei kommen integrierte Drohnendetektionssysteme zum Einsatz, die den Luftraum zuverlässig rund um die Uhr überwachen. Drohnen sollten aber in diesem Kontext nicht nur als mögliche Gefahrenquellen, sondern auch als äußerst wertvolle Schutzmaßnahme eingestuft werden: Drohnen, die BVLOS *(Beyond Visual Line of Sight)* geflogen werden, also über den Computer durch ausgebildete Piloten in zentralen Leitstellen ohne Sichtkontakt, liefern datenschutzkonform Videoaufnahmen in Echtzeit und bieten so neue Möglichkeiten, große Gelände mit Wächterflügen zu überwachen. Auch wird die Prüfung von Stromtrassen, Pipelines oder beispielsweise Windparks auf mögliche Schäden oder Störungen möglich, ohne dass Personen vor Ort sein müssen oder auf kostenintensive Maßnahmen zurückgegriffen werden muss.

Abb. 04: Drohnenflüge BVLOS bieten vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Energieversorger, beispielsweise Wächterflüge über weitläufiges Gelände. [Foto: Bosch Building Technologies]

Gefahrenmanagementsysteme sorgen für Transparenz und Kontrolle in sicherheitskritischen Situationen

Um schnell und zielgerichtet auf Gefahrensituationen wie Brände, Einbruchsversuche oder Systemstörungen zu reagieren, eignet sich der Einsatz eines Gefahrenmanagementsystems, das die Handhabung sicherheitskritischer Situationen für den Energieversorger erleichtert. Vorrausetzung hierfür ist die Integration aller sicherheitsrelevanten Systeme in einer Softwarelösung. Basierend auf den spezifischen Anforderungen und den jeweiligen Umgebungsbedingungen werden nun Szenarien entwickelt, die ein optimales Zusammenwirken der Sicherheitssysteme bei einer Gefahrensituation ermöglichen. Dynamische Verfahrensanweisungen versetzen Verantwortliche und Mitarbeiter zudem in die Lage, situationsgerechte Entscheidungen zu treffen und adäquat zu handeln. Durch eine dezentrale Datenverwaltung mit sicherer und verschlüsselter Netzwerkkommunikation wird auch der Einsatz an Standorten mit limitierter Bandbreite ermöglicht.

IT-Sicherheit benötigt erhöhte Aufmerksamkeit

Der Einsatz moderner IoT-Technologien und Software in einem vernetzten Sicherheitssystem kann den Schutz dezentraler Energieerzeugungsanlagen essenziell erhöhen, stellt aber die Verantwortlichen vor die Herausforderung der IT-Sicherheit. Technologien und Systeme sollten nicht nur die einschlägigen Normen und Standards erfüllen, sondern es gilt, bereits bei der Planung ein mehrstufiges Sicherheitskonzept zu berücksichtigen, das gegen unbefugte Zugriffe schützt. Gleichzeitig ist über die gesamte Betriebs-

dauer darauf zu achten, dass die IT-Sicherheit sichergestellt wird. Eine wesentliche Komponente ist daher der Einsatz einer Gefahrenmeldezentrale. Als zentrale Plattform verarbeitet diese die Daten der einzelnen Systeme, beispielsweise aus Brand-, Einbruch- und Perimeterschutz, über verschiedene Standorte hinweg und ist, wenn sie mit einer weiteren Komponente ergänzt wird, gleichzeitig dazu in der Lage, das gesamte IT-Netzwerk in Echtzeit zu überwachen.

Fazit

Moderne Sicherheitslösungen bieten heute eine Vielzahl von Möglichkeiten, mit denen unter anderem dezentrale Energieerzeugungsanlagen noch besser geschützt werden können. Für Energieversorger lohnt es sich daher, die aktuellen Konzepte auf den Prüfstand zu stellen und bedarfsgerecht zu optimieren. Neben dem Plus an Sicherheit ergeben sich hierdurch auch neue Möglichkeiten, um personellen Aufwand, der sich beispielsweise durch manuelle Kontrollen ergibt, deutlich zu verringern. Investitionen in smarte Sicherheitslösungen werden sich für Energieversorger lohnen, die proaktiv statt reaktiv handeln möchten.

»Für uns als spartenneutraler Interessenverband von Transport- und Verteilnetzbetreibern aus den Bereichen Strom, Gas, Wasser, Abwasser, Fernwärme und Telekommunikation ist es unerlässlich, dass die Sicherheitslösungen für dezentrale Anlagen nicht nur technologisch auf dem neuesten Stand sind, sondern auch die lokale Versorgungssicherheit und die öffentlichen Interessen schützen. Nur so können wir durch smarte Sicherheitslösungen sowohl physische als auch digitale Bedrohungen abwehren und das Vertrauen der Bevölkerung langfristig bewahren.«
Jan Syré, VST – Verband Sichere Transport- und Verteilnetze/KRITIS e.V.

Tim Kosok ist seit 2006 bei Bosch Building Technologies tätig. Als Systemberater im Büro Nürnberg betreute er in den letzten Jahren Projekte und Bauvorhaben aller Art – von Hotels über Bürogebäude bis hin zu Museen. Seit 2020 liegt sein Fokus als Teamleiter auf der Betreuung von Energiekunden. In seiner Arbeit mit Energieversorgern, Übertragungs-, Verteil- und Stromnetzbetreibern überzeugt er durch die Entwicklung von Sicherheitslösungen, die auf die individuellen Bedürfnisse der Kunden zugeschnitten sind.

6.2 Verkehrsbauwerke

Verkehrswege und -bauwerke zählen zu den besonders relevanten technischen Infrastrukturen, doch durch verschiedene Faktoren wie Alterung, steigende Verkehrsbelastung und begrenzte finanzielle Mittel für die Instandhaltung ist der Sanierungsbedarf in den vergangenen Jahren erheblich gestiegen. Die Sanierung von Verkehrswegen und -bauwerken im laufenden Betrieb, aber auch der Neubau stellen eine komplexe Herausforderung dar. Die folgenden Beiträge geben einen aktuellen Überblick über zukunftsweisende Instandhaltungsstrategien für Verkehrsinfrastrukturen durch digitale Anwendungen zur Bestandserfassung, innovative Monitoringkonzepte und nachhaltige Nutzung stillgelegter Verkehrswege sowie innovative Planungs- und Bauverfahren für Bauzeitverkürzungen beim Neubau von Brückenbauwerken.

6.2.1 Schadendetektion an Brückenbauwerken durch FE-Modelladaption mittels Evolutionärer Algorithmen

Lukas Guntermann

Bjarne Sprenger

Aufgrund der sanierungsbedürftigen Brückenstrukturen gewinnt das *Structural Health Monitoring* zunehmend an Bedeutung. Dieser Beitrag stellt eine Möglichkeit der Dauerüberwachung und Schadendetektion von vorgespannten Brückenbauwerken im Rahmen eines Live-Monitorings aus aktueller Forschung[1] vor. Das Verfahren bedient sich der *Finite-Elemente-Methode* und Evolutionärer Algorithmen, wodurch mithilfe einfacher Sensordaten zuverlässig Schäden des Betons, der Bewehrung und am Vorspannkraftsystem erfasst werden können.

1 Einleitung und Motivation

Infolge der alternden Infrastruktur findet seit Jahren ein Wandel von reaktiven Maßnahmen im Schadenfall zu einer vorausschauenden prädiktiven Instandhaltung statt, die durch *Structural Health Monitoring (SHM)* ermöglicht wird. Durch eine frühzeitige Schadendetektion können marode Brücken zielgerichtet saniert werden, wodurch ein frühzeitiger Abriss des Bauwerks verhindert werden kann und eine Lebensdauerverlängerung ganz im Sinne der Nachhaltigkeit realisiert wird.

Um den Zustand der Brücken zu erfassen, stellt dieser Beitrag ein innovatives Monitoringkonzept mittels Evolutionärer Algorithmen für eine Dauerüberwachung vor. Durch die Applikation einfacher und etablierter Sensoren (Verschiebungs- und Dehnungsmessungen durch Wegaufnehmer und Dehnungsmessstreifen), die vergleichsweise kostengünstig sind und sich auch nachträglich am Bestand oder direkt im Neubau installieren lassen, können digitale Überwachungssysteme die innere Tragwerksstruktur von Brückenbauwerken identifizieren.

1 Guntermann, L.; Sprenger, B.: Entwicklung eines Optimierungsverfahrens zur Strukturidentifikation von Brückenbauwerken. In: 35. Forum Bauinformatik (Tagungsband). Hamburg: Technische Universität Hamburg, Institut für Digitales und Autonomes Bauen, 2024, S. 497 – 504, DOI: 10.15480/882.13510

Das vorgestellte Monitoringsystem kann Schäden des Betons, der Bewehrung und am Vorspannkraftsystem zuverlässig detektieren und ihre Intensität bestimmen, wodurch Instandhaltungskonzepte verbessert und automatisiert werden können.

2 Entwicklung des Monitoringkonzepts

Konzept zur Schadendetektion

Zur Strukturidentifikation von Tragwerken kommen *Finite-Elemente-Modelle* (FE-Modelle) im Rahmen einer FE-Modelladaption (FE-Model-Updating) zum Einsatz, die iterativ durch einen Genetischen Algorithmus (GA) angepasst werden, bis die gemessenen Tragwerksreaktionen des realen Bauwerks und die numerische Antwort des FE-Modells möglichst genau übereinstimmen[2], sodass von den simulierten Eingabewerten auf die realen Schäden geschlossen werden kann (Abb. 01).

Darüber hinaus ist das System so konzipiert, dass Belastungen in Form von Gleichstreckenlasten und Einzellasten ebenfalls identifiziert werden, sodass die entsprechenden Messungen im Rahmen eines Live-Monitorings vorgenommen werden können und unabhängig von veränderlichen Einzellasten (wie Fahrzeugen) oder Gleichstreckenlasten (zum Beispiel Schnee) sind.

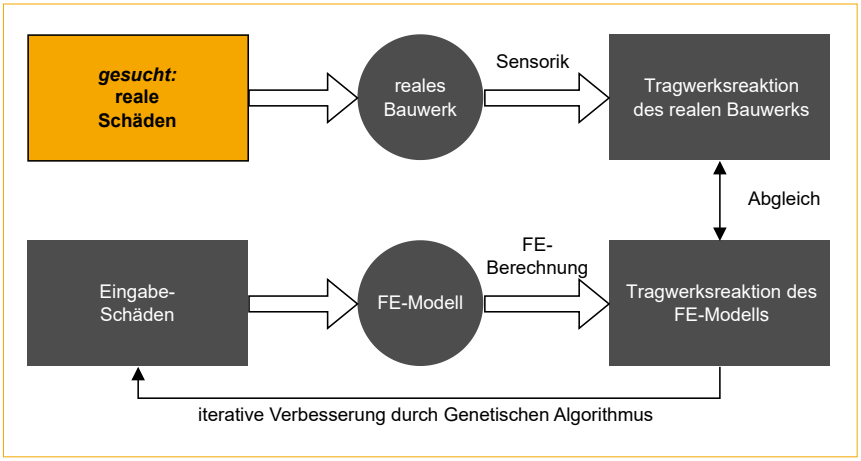


Abb. 01: Schematische Darstellung der Strukturidentifikation durch *FE-Model-Updating* [Quelle: Lukas Guntermann]

2 Friswell, M.I; Mottershead, J.E.: Finite element model updating in structural dynamics. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995 (Solid mechanics and its applications; 38)

Parameteridentifikation mittels Evolutionärer Algorithmen

Evolutionäre Algorithmen, zu denen auch Genetische Algorithmen (GA) zählen, umfassen eine Reihe an Optimierungsverfahren, die auf der Evolutionstheorie nach Charles Darwin basieren.

GA bieten den Vorteil einer vergleichsweise schnellen Konvergenz bei einer vergleichsweise geringen Anzahl an Iterationen und eignen sich somit für den Ansatz einer FE-Modelladaption besonders gut, da die einzelnen rechenintensiven FE-Berechnungen der Individuen zu einer Erhöhung der Rechenzeit im Rahmen der Zustandsidentifikation führen. Im Gegensatz zu Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) ist eine umfassende Datenbasis für die Implementierung eines GA in eine Strukturidentifikation nicht notwendig. GA machen sich stattdessen die typischen Evolutionsmechanismen, wie Selektion, Rekombination und Mutation, zunutze, die in Abb. 02 dargestellt sind. Analog zur Biologie stellen verschiedene Schaden- und Belastungsparameter im GA die Gene dar. Eine spezifische Kombination von Brückenschäden und Belastungen bildet somit das Genset (Genotyp) eines Individuums, das einen spezifischen möglichen Schadenfall (Phänotyp) repräsentiert (Abb. 02).

Aus technischer Sicht ist die Rekombination hierbei eine Kombination der einzelnen Parameter (Gene) und die Mutation die zufällige Veränderung eines einzelnen Parameters (Gens). Die Rekombination ermöglicht die Bildung optimaler Gensets, während die Mutation verhindert, dass der Algorithmus in ein lokales Maximum der Fitnessfunktion konvergiert, da durch Mutation auch stark abweichende Gensets geprüft werden.

Die vom GA erzeugten Individuen werden auf ihre Angepasstheit (Fitness) an die äußeren Bedingungen (also auf Übereinstimmung mit der realen Tragwerksreaktion) untersucht. Besonders fitte Individuen, die diesem realen Zustand besonders nahekommen, vererben ihre Eigenschaften anschließend an die nächste Generation, wodurch sich langfristig die am besten adaptierten Individuen durchsetzen (*survival of the fittest*).

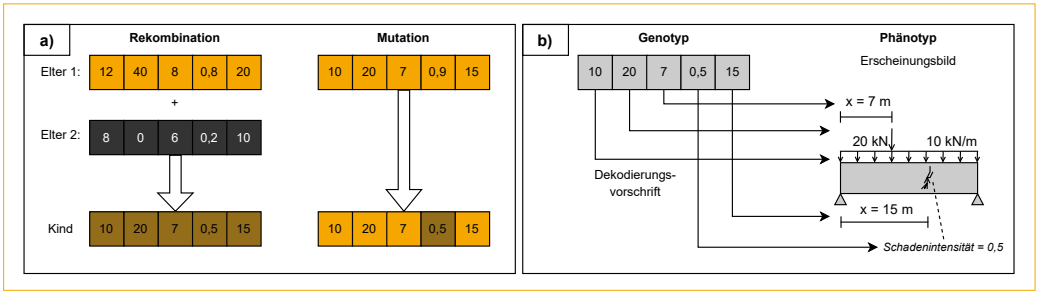


Abb. 02: Überblick über die Funktionsprinzipien Evolutionärer Algorithmen [Quelle: Lukas Guntermann]

Die iterative Adaption der Modellparameter stellt bei einer FE-Modelladaption einer vorgespannten Massivbrücke das Optimierungsproblem dar. In der Literatur[3] beeinflussen insbesondere die folgenden Modellparameter die Tragwerksreaktion: der E-Modul, die äußere Belastung, die Vorspannkraft und die Bewehrungsfläche. Sie werden mit sieben zu identifizierenden Modellparametern beschrieben (Abb. 03).

Parameter	Beispiel Schadenfall bzw. Lastfall	Dimensionen	
		Ort	Intensität
E-Modul	Abplatzungen und Risse im Beton	e_E	a_E
Bewehrungsgrad (Querschnitt)	Korrosion des Bewehrungsstahls	e_R	a_R
Vorspannkraft	geschädigte Spannglieder	–	m_P
Einzellast (Wanderlast)	Verkehrslasten (Fahrzeuge)	e_Q	–
Streckenlast	Schneelast	–	m_S

Abb. 03: Untersuchte Optimierungsparameter mit Beispielen [Quelle: Lukas Guntermann]

Als Belastungs- und Schadenfunktionen werden die Parameter auf das FE-Modell angesetzt und mit konkreten Zahlenwerten (als »Gene«) gefüllt. Eine solche Schadenfunktion, bei der der E-Modul an einer Stelle zum Beispiel durch Betonabplatzungen oder Risse reduziert wird, ist in Abb. 04 dargestellt und wird durch eine Gaußsche Glockenkurve[4] beschrieben. In dem abgebildeten Beispiel tritt ein Schaden im Beton an der Stelle $x = 17$ m am Bauwerk auf, der zu einem abgeminderten E-Modul führt.

3 Sprenger, B.; Schnellenbach-Held, M.: Sensitivity Analysis of Model Parameters in a Nonlinear Model-Updating Approach for Prestressed Concrete Bridges. Proceedings of the 11th European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM 2024), 10.–13. Juni 2024 in Potsdam (EWSHM 2024), DOI: 10.58286/29584

4 Sprenger, B.; Schnellenbach-Held, M.: Schadensmodellierung mittels nichtlinearer FE-Simulationen zur Bauwerksüberwachung im Rahmen eines Digitalen Zwillings. Vortrag auf 15. Fachtagung Baustatik – Baupraxis. 4.–5. März 2024 in Hamburg/Technische Universität Hamburg

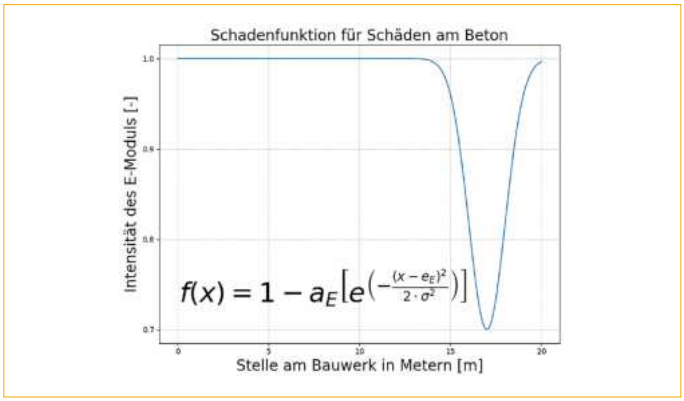


Abb. 04: Beispielhafte Schadenfunktion [Quelle: Lukas Guntermann]

Der verwendete GA startet mit einer zufälligen Initialpopulation (Abb. 05), die zunächst ausgewertet wird. Anschließend findet die Selektion der besten Individuen statt und die Variationsoperatoren werden angewendet. Dies führt auf lange Sicht zu stetig verbesserten Generationen, die schließlich ein am besten angepasstes Individuum beinhalten, welches das Abbruchkriterium erfüllt – also zu einer festgelegten Genauigkeit die Anforderungen erfüllt. Dies ist nach Abb. 01 der Fall, wenn das Parameterset, bestehend aus Belastungen und Schäden, bei der FE-Berechnung die gleichen Tragwerksreaktionen hervorruft, die am realen Bauwerk gemessen wurden. Aus diesem Ergebnis lassen sich anschließend mögliche Schadenszenarien ablesen, wodurch entsprechende Instandsetzungsmaßnahmen eingeleitet werden können.

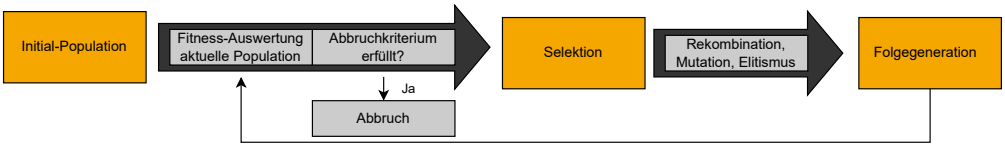


Abb.05: Gesamtablauf des Genetischen Algorithmus [Quelle: Lukas Guntermann]

Implementierung

Um das FE-Modell an das reale Tragwerk zu adaptieren, muss der GA eine Vielzahl an Parametersets mit dem FE-Programm DIANA FEA[5] berechnen, um anschließend die Fitness der Tragwerksreaktion des FE-Modells durch einen Abgleich mit der realen Trag-

5 DIANA Finite Element Analysis (Release 10.7) (2023) / DIANA FEA BV

werksreaktion festzustellen. Als Programmierumgebung wird dazu MATLAB[6] und insbesondere die enthaltene *Optimization Toolbox* genutzt, die über vielfältige Funktionen für die Implementierung von GA verfügt. Die Optimierung läuft dabei in MATLAB ab, während die einzelnen Individuen in DIANA FEA berechnet werden. Beide Softwarelösungen sind im Kontext der Forschung etabliert.

Das entwickelte Konzept ist in Abb. 06 dargestellt: Der Zielzustand resultiert aus den Messdaten, die zur Validierung numerisch in DIANA FEA generiert werden konnten. Die Individuen, die mögliche Schäden enthalten, werden in MATLAB initialisiert, anschließend ihre hervorgerufenen Tragwerksreaktionen in DIANA FEA berechnet und die Tragwerksreaktionen in der Fitnessfunktion mittels einer modifizierten Hyperbelfunktion in Hinblick auf die Fitness der einzelnen Parametersets ausgewertet. Der GA übernimmt anschließend die Optimierung, sodass ein Parameterset gefunden wird, das in seinen Tragwerksreaktionen dem Zielzustand entspricht. Details zur Implementierung können Guntermann/Sprenger(2024)[7] entnommen werden.

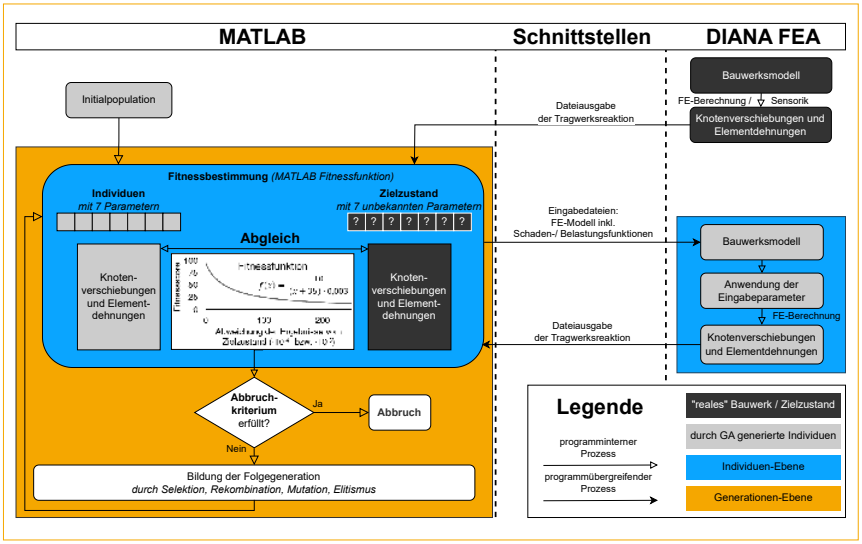


Abb. 06: Konzept der Programmierung des Genetischen Algorithmus [Quelle: Lukas Guntermann, angelehnt an Guntermann/Sprenger(2024)[8]]

6 MATLAB (R2024a) (2024) / The MathWorks Inc.

7 Guntermann, L.; Sprenger, B.: Entwicklung eines Optimierungsverfahrens zur Strukturidentifikation von Brückenbauwerken. In: 35. Forum Bauinformatik (Tagungsband). Technische Universität Hamburg, Institut für Digitales und Autonomes Bauen, 2024, S. 497 – 504, DOI: 10.15480/882.13510

8 ebd.

Parameterstudie

Um die Rechenzeit des Algorithmus zu reduzieren, wurde eine Parameterstudie durchgeführt, die systematisch untersucht hat, unter welchen Einstellungen (Strategieparametern) am schnellsten eine Konvergenz erreicht und somit die Lösung gefunden wird. Zusätzlich wurden die am besten geeigneten Sub-Algorithmen des GA bestimmt (Abb. 07). Auf diese Weise kann eine Konvergenz innerhalb möglichst weniger Generationen und somit in minimaler Rechenzeit erreicht werden.

Populationsgröße	N = 50	**Erstellung Initialpopulation:**	Uniforme Verteilung
Rekombinationsrate	p(C) = 0,80	**Selektionsalgorithmus:**	Turnierselektion
Elitismusrate	p(R) = 0,05	**Rekombinationsalgorithmus:**	Laplace-Crossover
Mutationsrate	p(M) = 0,15	**Mutationsalgorithmus:**	Power-Mutation

Abb. 07: Identifizierte Strategieparameter und Sub-Algorithmen, die die schnellste Konvergenz (gemessen an der Generationenanzahl bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums) unter den verwendeten Parameterkonditionen aufweisen [Quelle: Lukas Guntermann]

3 Validierung

Die erfolgreiche Validierung am Beispiel eines vorgespannten Fertigteildachbinders (Abb. 08) belegt die Umsetzbarkeit des Systems. Die Implementierung für Brückenbauwerke verläuft analog dazu und erfordert lediglich eine Erhöhung der Optimierungsparameter. Es wurden zudem mehrere Verbesserungspotenziale und Anpassungsmöglichkeiten identifiziert, sodass das Verfahren für diverse vorgespannte Brückenbauwerke adaptiert werden kann. Zur Reduzierung der Berechnungsdauer in der Validierung wurde zunächst ein linear-elastisches Materialverhalten des Betons angenommen. Die Antwort der Modelle infolge der Belastungs- und Materialparameter wird durch 28 virtuelle Sensoren gemessen, die die Verschiebungen und Dehnungen erfassen (Abb. 08).

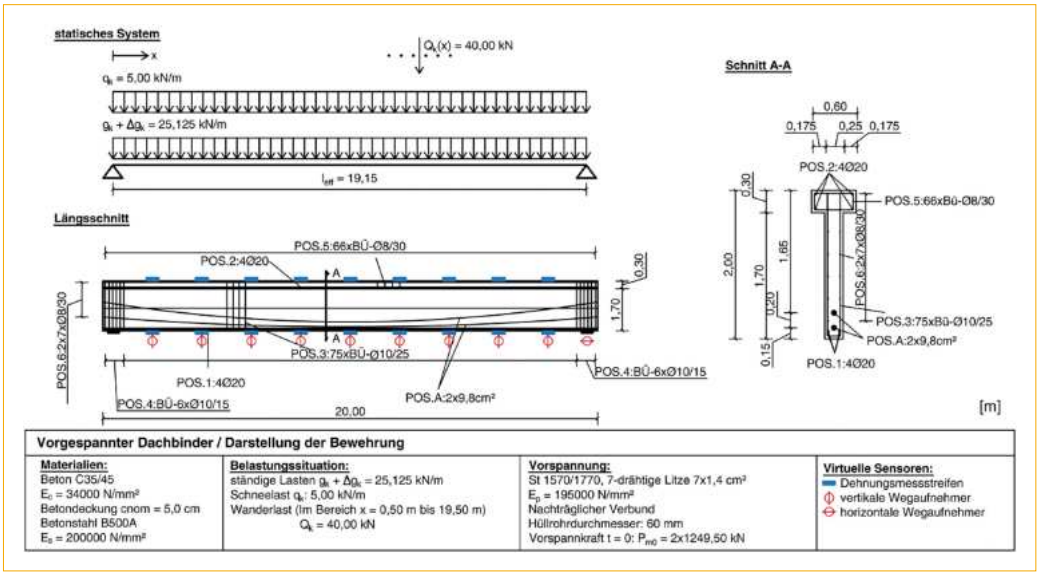


Abb. 08: Validierungsbauwerk – vorgespannter Fertigteildachbinder [Quelle: Lukas Guntermann/ Bjarne Sprenger[9]]

Die Konvergenz des GA wurde in zehn unabhängigen Versuchen mit N = 50, N = 75 und N = 200 Individuen geprüft, in denen eine Konvergenz oberhalb eines festgelegten minimalen Fitnessscores innerhalb von durchschnittlich 85 Generationen (bei N = 50) erreicht wurde. Dargestellt ist die prozentuale Abweichung der approximierten Schadenparameter in Abb. 09.

Die Ergebnisse für N = 75 und N = 200 ähneln diesen stark, weshalb an dieser Stelle nur die Ergebnisse für N = 50 diskutiert werden: Schädigungen approximiert durch eine Reduzierung des E-Moduls lassen sich mit durchschnittlich 0,15 Prozent Abweichung lokalisieren und in ihrer Intensität mit durchschnittlich 3,84 Prozent Abweichung detektieren. Dabei kann der Ort (durchschnittliche Abweichung von 4 Zentimetern im Validierungsbeispiel) genauer detektiert werden als die Intensität des Schadens. Eine Simulation eines Schadens des Vorspannsystems durch Reduzierung der Vorspannkraft kann durch den GA präzise detektiert werden (Abweichung von 1,66 Prozent). Die vergleichsweise höheren Fehler der Adaption der Parameter zur Identifikation der Bewehrungskorrosionsschäden (bis zu 33,91 Prozent) resultieren aus der linear-elastischen Berechnungsanalyse, da infolge des linear-elastischen Verhaltens des Betons der Einfluss der

9 Guntermann, L.; Sprenger, B.: Entwicklung eines Optimierungsverfahrens zur Strukturidentifikation von Brückenbauwerken. In: 35. Forum Bauinformatik (Tagungsband). Technische Universität Hamburg, Institut für Digitales und Autonomes Bauen, 2024, S. 497 – 504, DOI: 10.15480/882.13510

Bewehrung auf die Biegesteifigkeit des Tragwerks gering ist. Durch die Implementierung eines nichtlinearen Materialverhaltens des Betons wird der Einfluss der Steifigkeit der Bewehrungselemente ab der Erstrissbildung des Betons auf die Biegesteifigkeit des Tragwerks erhöht.[10] Weitere Details der Auswertung können Guntermann/Sprenger (2024)[11] entnommen werden.

Im Folgenden sind die Konvergenzergebnisse aus MATLAB dargestellt (Abb. 10). Der stetig gesteigerte Fitnessscore der Individuen und die Konvergenz wird deutlich. Gleichzeitig ist rechts zu sehen, dass über alle Generationen hinweg eine hohe Diversität innerhalb der Individuen gehalten werden kann.

Parameter	Dimensionen	
	Ort	Intensität
E-Modul	0,15 %	3,84 %
Bewehrungsgrad (Querschnitt)	9,49 %	33,91 %
Vorspannkraft	-	1,66 %

Abb. 09: Ausschnitt der Ergebnisse am Validierungsbauwerk für N = 50, gemessen in 6 Versuchen: durchschnittliche prozentuale Abweichungen von den Zielwerten [Quelle: Lukas Guntermann/Bjarne Sprenger]

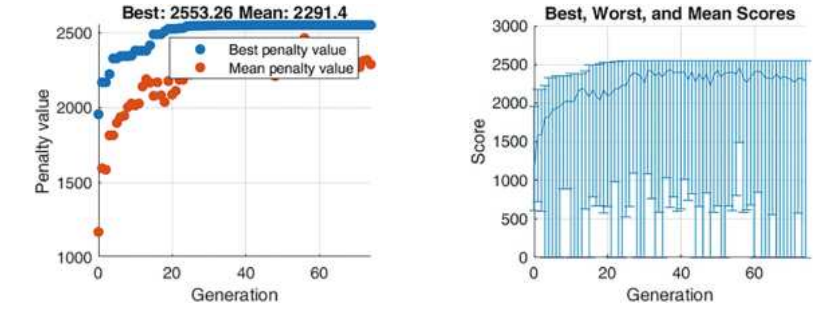


Abb. 10: Beispielhafter MATLAB-Output der Konvergenzergebnisse (Versuch 08 mit N = 75) [Quelle: Lukas Guntermann in MATLAB[12]]

10 Sprenger, B.; Schnellenbach-Held, M.: Sensitivity Analysis of Model Parameters in a Nonlinear Model-Updating Approach for Prestressed Concrete Bridges. Proceedings of the 11th European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM 2024), 10.–13. Juni 2024 in Potsdam (EWSHM 2024), DOI: 10.58286/29584

11 Guntermann, L.; Sprenger, B.: Entwicklung eines Optimierungsverfahrens zur Strukturidentifikation von Brückenbauwerken. In: 35. Forum Bauinformatik, 2024 in Hamburg (Tagungsband), S. 497–504. Technische Universität Hamburg, Institut für Digitales und Autonomes Bauen, DOI: 10.15480/882.13510

12 MATLAB (R2024a) (2024) / The MathWorks Inc.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Auswertung verschiedener Schadenfälle im FE-Programm DIANA FEA und der Automatisierung und iterativen Optimierung durch MATLAB können Parameter eines FE-Modells an numerisch generierten Messdaten adaptiert und somit in erster Validierung des Verfahrens Schädigungen des Betons sowie des Vorspannsystems präzise identifiziert werden. Für eine realitätsnahe Modellierung von Schädigungen des Bewehrungsquerschnitts ist der Einbezug des nichtlinearen Materialverhaltens von Beton notwendig, der auch bereits implementiert wurde. Die daraus resultierende Erhöhung der Berechnungsdauer pro Individuum kann durch die Verteilung der ressourcenintensiven FE-Berechnungen auf ein Rechencluster mittels der MATLAB *Parallel Computing Toolbox* kompensiert werden. Eingebettet in einen Digitalen Zwilling unter Einbezug weiterer Datenerfassungsstrategien zeigt eine mit GA implementierte Strukturidentifikation ihr größtes Potenzial, da das Verfahren durch nichtnumerische Ermittlung einzelner Parameter (beispielsweise Verkehrsbeanspruchung durch KI-Kameraauswertung) beschleunigt werden kann.

Das Monitoringsystem kann mithilfe etablierter und günstiger Sensoren gleichzeitig Schädigungen und Einzel- sowie Streckenlasten (zum Beispiel Verkehrslasten oder Schneelasten) identifizieren, wodurch das System im Rahmen einer Dauerüberwachung während des Betriebs eingesetzt werden kann und keine Brückensperrung für Routineüberprüfungen notwendig sind.

Schlussbemerkung

Die vorgestellte Anbindung des GA an den vorgespannten Fertigteildachbinder ist im Rahmen einer Masterarbeit am Institut für Massivbau[13] an der Universität Duisburg-Essen entstanden. Die Erkenntnisse fließen auch in das aktuelle Projekt (Projektnummer: 501496870) als Teil des Schwerpunktprogramms 2388 »Hundert Plus – Verlängerung der Lebensdauer komplexer Baustrukturen durch intelligente Digitalisierung«[14] ein, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziert wird. Die Arbeit wurde beim Wettbewerb »Auf IT gebaut« 2025 mit dem ersten Preis im Bereich Bauingenieurwesen ausgezeichnet.

13 Vgl. Auszeichnung für Lukas Guntermann im Bereich Bauingenieurwesen. Erster Platz bei »Auf IT gebaut« 2025. https://www.uni-due.de/massivbau [abgerufen am: 04.03.2025]

14 Vgl. https://www.spp100plus.de [abgerufen am: 31.03.2025]

Lukas Guntermann ist seit September 2024 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen an der Ruhr-Universität Bochum und forscht aktuell in den Bereichen Building Information Modeling (BIM), Datenmanagement und Nachhaltigkeit im Bauwesen. Sein Fokus liegt dabei auf einem zirkulären Ansatz, bei dem Bauteile wiederverwendet werden können (Re-Use). Seinen Masterabschluss im Bauingenieurwesen mit der Vertiefung im konstruktiven Ingenieurbau absolvierte er im Sommer 2024 an der Universität Duisburg-Essen. Seine Masterarbeit verfasste er am Institut für Massivbau über das vorstehende Thema.

Bjarne Sprenger ist seit April 2021 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Massivbau der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universität Duisburg-Essen tätig. Seit Oktober 2022 forscht er im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierten Schwerpunktprogramms 2388 »Hundert Plus – Verlängerung der Lebensdauer komplexer Baustrukturen durch intelligente Digitalisierung« an Methoden zur Dauerüberwachung von Bauwerken mit modellbasierter Schadendetektion unter Einsatz nichtlinearer Modellanpassungen und Methoden der Künstlichen Intelligenz.

6.2.2 Präzision trifft Effizienz: Wie 3D-Vermessung die Instandhaltung revolutioniert

Philipp Matschoss

Die Grenzen der Physik sprengen? Nicht ganz – doch digitale Technologien eröffnen längst Möglichkeiten, die einst undenkbar schienen.
In Computerspielen erscheinen Freiheiten grenzenlos: Hindernisse existieren nur, wenn sie gewünscht sind, und verschwinden per Mausklick. In der realen Welt hingegen bleiben physikalische Gesetzmäßigkeiten unverrückbar – Bauwerke altern, Korrosion schreitet fort. Die Überwachung dieses Prozesses und das rechtzeitige Eingreifen, bevor sichtbare Schäden entstehen, sind eine Mammutaufgabe. Wie vorteilhaft wäre es also, wenn zumindest einige Barrieren – wie Höhendistanzen, Schwerkraft oder Größenverhältnisse – technisch außer Kraft gesetzt werden könnten, um ein vollständiges Bild komplexer Bauwerke zu erhalten? Was wäre, wenn wesentliche Bestandteile der physischen Realität hochauflösend und kompromisslos digital erfasst und in eine interaktive Umgebung überführt werden könnten?

Genau hier setzt die 3D-Vermessung mittels Drohnen, Laserscanning und Tachymetrie an. Durch die präzise Digitalisierung von Bauwerken entstehen detailgetreue, georeferenzierte Modelle, die ortsunabhängige Zustandsanalysen ermöglichen. Schäden lassen sich frühzeitig erkennen, Sanierungsmaßnahmen gezielt planen. Ein praktisches Beispiel: Die Autobahn GmbH, verantwortlich für die Instandhaltung deutscher Autobahnen, setzt in Spezialprojekten bereits auf virtuelle Schadenkartierungen. Durch hochpräzise 3D-Bestandsdaten der F7 DIGITAL GmbH können Fahrbahn- und Bauwerkszustände in einem browserbasierten Analysetool zuverlässig bewertet werden – ganz ohne aufwendige Sperrungen, Hubsteiger oder Gerüste.

Doch wie sieht die technische Vorbereitung und Erfassung dieser Daten im Detail aus? Welche behördlichen Freigaben sind gegebenenfalls erforderlich und mit welchen Tools zur digitalen Auswertung lässt sich der Erkenntnisgewinn nicht nur beschleunigen, sondern auch qualitativ steigern?

Abb. 01: Der 3D-Laserscanner und die Vermessungsdrohne als Werkzeuge vor Ort im Einsatz [Foto: F7 DIGITAL GmbH]

Die F7 DIGITAL GmbH widmet sich anspruchsvollen Projekten im Bereich der technischen Bestandsaufnahme und prüft jede Aufgabenstellung auf ihre innovative Machbarkeit. Das deutschlandweit tätige Unternehmen mit Hauptsitz in Rietberg in Nordrhein-Westfalen verfolgt das Ziel, den Stand der Technik nicht nur anzuwenden, sondern ihn bei Bedarf für spezifische Aufgaben individuell anzupassen oder neu zu gestalten. Somit kann eine Detailtiefe gewährleistet werden, die für präzise Schadenanalysen unerlässlich ist. Dabei spielt auch die Überwindung von physischen Schranken wie Höhen und andere Barrieren für bestimmte Aufnahmebereiche eine entscheidende Rolle.

Die Autobahn GmbH beauftragte die Softwarefirma Twinsity GmbH aus Kassel mit der digitalen Bereitstellung eines Infrastrukturprojekts, um die technischen Möglichkeiten der virtuellen Schadeninspektion mit modernen KI-Analysetools zu untersuchen. Die Twinsity GmbH und die F7 DIGITAL GmbH haben bereits zahlreiche Projekte zusammen abgeschlossen. In der Regel handelt es sich dabei um Gebäude aus den Bereichen Industrie und Denkmal, teils mit sehr hohen Anforderungen an den Detaillierungsgrad. F7 DIGITAL ist dabei für das 3D-Scanning der Daten verantwortlich und Twinsity stellt die eigens entwickelte Weboberfläche zur Analyse der berechneten Daten zur Verfügung.

Abb. 02: Schäden lassen sich in TWINSPECT frühzeitig erkennen und analysieren.
[Quelle: F7 DIGITAL GmbH]

Beispielprojekt Autobahnbrücke

Bei dem folgenden Beispielprojekt handelt es sich um eine vierspurige Autobahnbrücke durch deren Unterführung ein Bach fließt. Die Höhe der Unterführung beträgt im Schnitt 8 Meter, die Breite der beiden Fahrbahnen und damit die Länge der Unterführung rund 27,40 Meter, die Breite der Brücke liegt bei 50 Metern. Die Brücke ist recht abschüssig in der Nähe eines Waldgebiets gelegen und die zu erfassende Unterführung nicht direkt mit dem Pkw zugänglich. Aufgrund eines durchfließenden Bachs ist der Zugang auf beiden Seiten etwas erschwert und das Gelände bietet in der kaltfeuchten Jahreszeit ebenfalls keine idealen Standortbedingungen für Gerätschaften, die einen festen und ebenen Untergrund benötigen. Es handelt sich also zugleich auch um den idealen Einsatzort für einen Praxistest zum Nachweis der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Systeme und Workflows.

Abb. 03: Das fliegende Vermessungssystem erstellt 3D-Messpunktwolken aus 2D-Fotodaten.
[Foto: F7 DIGITAL GmbH]

Die Aufgabenstellung

Die Aufgabe besteht in der detaillierten und fotorealistischen Erfassung der Geometrien der Brücke mit dem Schwerpunkt gleichbleibender Modellauflösungen – also möglichst niedrigen Standardabweichungen von 2 Sigma. Die 3D-Erfassung umfasst die Unterseite der Autobahnbrücke einschließlich der Widerlager, der Auflagerbereiche, der seitlichen Wände sowie aller konstruktiven und baulichen Details im Bereich der Unterführung. Der Fokus liegt hierbei auch auf der fotografischen Dokumentation von Schäden wie Rissen, Abplatzungen und Korrosion. Diese Fotos dienen später unter anderem zur Auswertung für technische 2D-Orthofotos als perspektivisch verzerrungsfreie Messbilder. Spannend hierbei ist, dass F7 DIGITAL insbesondere diese Einzelfotos mit sogenannten terrestrischen Laserscans (TLS) in der anschließenden Datenprozessierung zu einer gesamteinheitlichen 3D-Messpunktwolke und einem fotorealistischen 3D-Netz (Texturiertes Mesh) kombiniert. Die dreiecksvermaschte Punktwolke besteht aus Polygonen bzw. Millionen von Dreiecken und enthält Fotografie-Fragmente als Texturen. Was in der Beschreibung der Datenstruktur kompliziert klingt, bedeutet in der anschließend technischen Analyse und Schadendokumentation innerhalb der Software jedoch ein barrierefreies und ortsunabhängiges Arbeiten an diesen Daten. Hierbei handelt es sich um ein Programm zur benutzerintuitiven und hoch performanten Bedienung komplexer Daten in Echtzeit. Das Ziel ist eine interdisziplinäre, fachübergreifende und virtuelle Schadenanalyse. Hierfür werden die Daten fotorealistisch und mit geschlossenen Modelloberflächen dargestellt. Also ganz so, als sei man beinahe tatsächlich vor Ort anwesend. Es handelt sich also nicht um Punktwolken, weshalb sich Details wie feinste Risse auch in einer Höhe von 7 Metern im Nahbereich betrachten und ausmessen lassen.

Für die Erhebung der 3D-Daten innerhalb einer Bestandserfassung nutzt F7 DIGITAL die bereits erwähnten Technologien aus Drohnenvermessung, terrestrischem Laserscanning und Tachymetrie als übliche Messwerkzeuge. Die Drohne dient hierbei hauptsächlich als Trägersystem für eine hochauflösende und mechanisch stabilisierte Fotokamera. Daher werden auch Fotos bis ca. 2 Meter Höhe mitunter nicht unbedingt mit der Drohne, sondern ergänzend mit der Handkamera aufgenommen. Die Drohne wird meist manuell ferngesteuert und liefert Aufnahmen von Gebäudebereichen, zu denen ein Zugang sonst nur noch mithilfe von Hubsteigern, Hebebühnen, Baugerüsten oder Fassadenkletterern möglich wäre. Ein großer Vorteil der Drohne gegenüber diesen klassischen Systemen ist die meist sofortige Einsatzbereitschaft und die Möglichkeit, die fliegende Kamera nahezu beliebig frei im Raum zu platzieren. Das Bauwerk wird in einem fotogrammetrischen Scanverfahren abgeflogen. Hierbei werden Einzelfotos mit einer hohen Überlappung in alle Richtungen sowie aus unterschiedlichen Perspektiven und Distanzen möglichst flächendeckend aufgenommen und anschließend zu einer 3D-Messpunktwolke ausgerechnet.

Der terrestrische Laserscanner liefert eine hochauflösende 3D-Messpunktwolke in einem sphärischen Erfassungsradius innerhalb eines Standorts und misst dabei bis zu 2 Millionen Messpunkte pro Sekunde. Er erzeugt dabei zusätzlich ein 360-Grad-Standortpano-

rama. Die einzeln verteilten Scan-Standorte werden flächendeckend rundherum und unter dem Brückenbauwerk positioniert – überall dort, wo der Laserscanner standfest platziert werden kann.

Abb. 04: Der terrestrische Laserscanner erfasst präzise 3D-Messpunktwolken und 360-Grad-Panoramen. Für den Laserscanner nicht zu erfassen sind höhere Ebenen, Hinterschneidungen und Winkelverschattungen, da er je nach verwendetem Stativ auf ca. 3 Meter Positionshöhe des Stativkopfs begrenzt ist. [Foto: F7 DIGITAL GmbH]

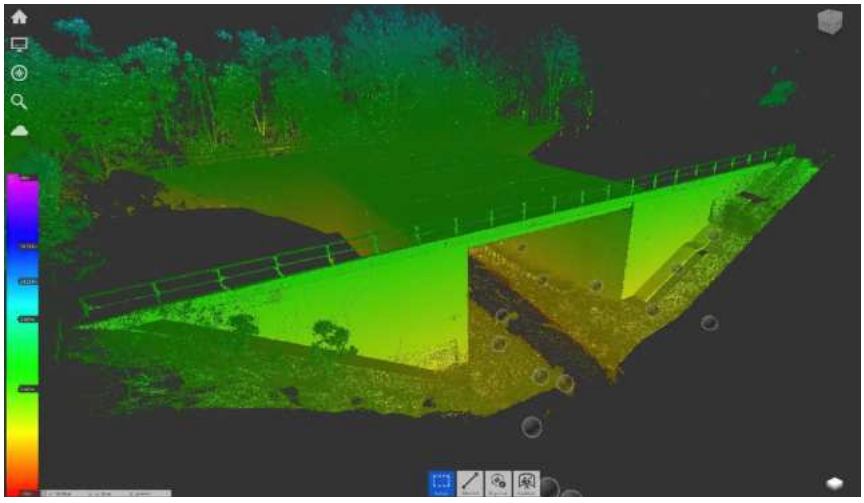


Abb. 05: Darstellung der 3D-Messpunktwolke ausschließlich aus den terrestrischen Laserscans [Quelle: F7 DIGITAL GmbH]

Die Tachymetrie als geodätisches Messverfahren betrifft die Bestimmung präziser Einzelpunkte in Lage und Höhe und dient meist in Kombination mit einem Differential-GPS (RTK-GNSS) der genauen Geolokalisation und Stabilisierung sowie Kontrolle der gesamten Messpunktwolke und hilft bei der Transformation in ein bestimmtes Zielkoordinatensystem zur räumlichen Verortung der Daten. Alle drei Verfahren haben individuelle Stärken, die in Kombination ein hochauflösendes Abbild eines Objekts, eines Gebäudes oder einer Landschaft erlauben. Oft wird hierbei auch der Begriff Digitaler Zwilling verwendet. Dieser Begriff steht jedoch in der Kritik, da er oft pauschal und vage eingesetzt wird. Es ist daher wichtig, die Erwartungen über den Informationsgehalt und die benötigten Genauigkeiten vorab möglichst klar, zusammen mit den Zielen des Projekts, zu definieren.

Bevor für F7 DIGITAL der Einsatz vor Ort im Außendienst beginnt, wird ein projektspezifischer Einsatzplan erstellt. Obwohl meist sinnvoll, ist eine Ortsbegehung nicht immer kurzfristig möglich. Daher werden alle Informationen, die über die Infrastruktur vorliegen, angefragt, recherchiert und gebündelt. Aus den Erkenntnissen beantworten sich im Wesentlichen die Fragestellungen über den Einsatz der zu verwendenden Messtechnologien. Für die Vermessung der Autobahnbrücke stand schnell fest, dass nur das kombinierte Messverfahren aus UAV-Fotogrammetrie mit der Drohne, terrestrischem Laserscanning und geodätischer Einzelpunktbestimmung optimale Resultate liefern und auf komplexe Situationen vor Ort vorbereiten wird.

Abb. 06: Das unbemannte Luftfahrtsystem (UAS) kennt dank RTK-Modul seine exakte Position zentimetergenau. [Foto: F7 DIGITAL GmbH]

Rechtliche Aspekte beim Einsatz von Drohnen

Sobald bei einem Projekt die Vermessungsdrohne eingesetzt werden soll, gilt es, rechtliche Fragen zu klären, zum Beispiel, ob der Aufstieg mit dem unbemannten Flugsystem (UAS) am geplanten Einsatzort gestattet ist oder ob im Einzelfall ein erlaubnisfähiger Antrag bei einer zuständigen Stelle rechtzeitig gestellt werden kann. Durch die Reform der EU-weiten Drohnengesetze im Jahr 2021 hat der Gesetzgeber hier weitestgehend klare Regeln geschaffen, wenn es um den Einsatz von unbemannten Luftfahrtsystemen in bestimmten Geozonen und Lufträumen geht. So ist insbesondere der Einsatz an sensibler Infrastruktur genauestens zu prüfen und generell erlaubnispflichtig. Auch die eingesetzten Drohnen sowie das Personal, das die Drohnen steuert, müssen je nach Szenario bestimmte Vorgaben und Auflagen einhalten, um den Flug rechtlich abgesichert durchzuführen.

Die Drohnen werden in bestimmte Klassifizierungen eingeteilt. Copterpiloten müssen zudem einen sogenannten Drohnenführerschein ablegen. Auch hier gibt es verschiedene Subkategorien, die auf den Anwendungsfall zugeschnitten sein müssen. Insgesamt verfolgt die Regelung einen risikobasierten Ansatz und reduziert dadurch eventuelle Risiken, die durch den Einsatz unbemannter Luftfahrtsysteme ohne ausreichende Kenntnisse über Technik und Handhabung entstehen könnten.

So regelt unter anderem der Paragraf 21h der Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO) den Betrieb von Drohnen in geografischen Gebieten nach der EU-Durchführungsverordnung. Weiterhin existieren länderspezifische Nebenbestimmungen, die je nach Bundesland unterschiedliche Auflagen für den Betrieb von Multikoptern verlangen. Neben der Vermeidung von Risiken spielt auch der Datenschutz eine entscheidende Rolle für den sicheren und anerkannten Umgang der unbemannten Luftfahrtsysteme und achtet das Recht auf informelle Selbstbestimmung. In der Praxis bedeutet dies, dass das Erfassen personenbezogener Daten (hierzu zählen identifizierbare Personen oder auch KFZ-Kennzeichen) vermieden werden muss. Dies gilt neben der Luftbildfotografie ebenso für das Laserscanning.

Im Fall der einsam gelegenen Autobahnbrücke sollte nicht die Fahrbahn, sondern die komplette Oberflächenabwicklung der Flügelwände sowie die Unterführung samt Brückenuntersicht und Tragwerk digital erfasst werden. Die Fahrbahn wurde daher nicht überflogen und die Drohne war für vorbeifahrende Fahrzeuge unsichtbar im Sichtschatten unterwegs. Da die Flexibilität zur Erfassung von Fotodaten aus unterschiedlichen Perspektiven und Distanzen von enormer Wichtigkeit ist, können die Arbeiten am besten mit einer eher kleineren, aber leistungsfähigen Vermessungsdrohne ausgeführt werden. Denn für die Brücke gibt es für eine Inspektion mit mobilen Hebebühnen kaum geeignetes Terrain zur Befahrung. Zudem ist der Bereich stark mit Bäumen, hohen Sträuchern und Gräsern bewachsen. Insbesondere die Vegetation ist immer eine Herausforderung,

da die Kamerapositionen der Drohne möglichst gleichmäßig und unterbrechungsfrei rund um die Infrastruktur platziert werden müssen. Hier gilt es auch insbesondere darauf zu achten, Parallaxenverschiebungen zu vermeiden. Dieser ungewollte Effekt in der Fotografie tritt besonders häufig auf, wenn eine Verschiebung zwischen Sucherbild und Aufnahmebild etwa durch störende Äste zustande kommt. Neben der bereits erwähnten Überlappung in der Bildfolge werden die Bilder zudem »roh« – also in einem digitalen Negativformat aufgenommen. Dies ermöglicht es, die späteren Belichtungskorrekturen optimal durchzuführen, und bewirkt einen sehr entscheidenden qualitativen Vorteil im Gesamtergebnis. So können überbelichtete und unterbelichtete Bereiche, wie sie insbesondere gern bei Schlagschattenbildungen auftreten, nachträglich ausgeglichen werden. Auch HDR-Fotos sind aufgrund ihres hohen Dynamikumfangs ein bewährtes Mittel, um maximale Bildinformationen zu erhalten. Diese spezielle Form der Fotografie setzt also gewisse Erfahrungen auch im Umgang mit der Kameratechnik voraus.

In Bereichen, in denen selbst die Drohne nicht mehr risikofrei fliegen kann, wird zusätzlich ein Hochstativ mit einer ferngesteuerten und Gimbal-stabilisierten Kamera eingesetzt. Diese Kamera lässt sich sogar noch innerhalb von Baumkronen dicht positionieren. Dies ist deutlich aufwendiger als die Bereiche einfach mit der Drohne abzufliegen, kommt aber der Vollständigkeit der Ergebnisse zugute und sorgt für eine gleichbleibend hohe Abbildung von Details.

Die Drohne ist ein sehr flexibles Allround-Werkzeug in der berührungslosen Vermessung und wirtschaftlich im Verhältnis zu klassischen Methoden oft klar im Vorteil. Lediglich die Klopfprobe kann eine Drohne noch nicht ganz ersetzen. Es gibt aber bereits Systeme, die beispielsweise mit Ultraschall oder Thermografie in der Lage sind, auch Schäden unterhalb sichtbarer Oberflächen zu detektieren. Auch diese können im Bedarfsfall zum Einsatz kommen.

Kooperative und unkooperative Oberflächen

Bei sogenannten kooperativen Oberflächen können bereits mit der reinen Fotogrammetrie beeindruckende Detailtiefen erreicht werden. Kooperative Oberflächen sind strukturstarke Oberflächen wie Beton, Stein und Holz; diese sind ideal für die fotobasierte 3D-Vermessung geeignet. Komplizierter wird es hingegen, sobald stark reflektierende Oberflächen mit wenigen Strukturen erfasst werden müssen. Hierzu zählen einfarbig und großflächig lackierte Wände oder insbesondere polierte Oberflächen und Fensterglas. Gerade Infrastrukturen weisen fast schon namensgebend sichtbare »Strukturen« auf, bei denen diese Technik besonders gut funktioniert. Letztlich werden aus zweidimensionalen Fotos im Anschluss mit speziellen Programmen durch Algorithmen Raumkoordinaten für Einzelpunkte errechnet – streng genommen, präzise geschätzt. Damit bei dieser verblüffenden Technik keine Abweichungen entstehen, besitzt die Drohne ein Echtzeitpositionierungs-

system (RTK-Modul). Dadurch kennt sie ihre exakte Lage und Höhe zentimetergenau. Jedes Foto ist also bereits via präzisem Geotag mit einem exakten Standort versehen. Das verhilft der Software in der späteren Auswertung, die Abmessungen und Raumpositionen der aus den Fotos errechneten Punktwolke genauestens zu ermitteln.

Zur weiteren Stabilisierung des fotobasierten Hauptteils der Daten und insbesondere dann, wenn die erwähnten unkooperativen Oberflächen innerhalb des Bauwerks miterfasst werden müssen, kommt der terrestrische Laserscanner zum Einsatz. Der Laserscanner beruht ebenfalls auf einem berührungslosen Messverfahren, rastert jedoch die Oberfläche innerhalb weniger Minuten ab und erstellt dabei eine eingefärbte Messpunktwolke, bei der ebenfalls jeder Einzelpunkt eine eigene X-, Y- und Z-Raumkoordinate erhält. Hierbei kommen schnell einige Hunderte Millionen Messpunkte in kürzester Zeit zusammen. Zusätzlich werden zuvor markiert Bodenpasspunkte, sogenannte GCPs (engl. *Ground Control Points*), mittels Differential-GPS sowie Zielmarken (Targets) an Wandflächen platziert und separat punktgenau tachymetrisch bestimmt. Diese Einzelpunkte erhalten in ihrem Koordinatensystem ebenfalls einen präzisen Lage- und Höhenwert. Somit werden innerhalb kürzester Zeit aus drei Quellen eine Vielzahl vorstationierter Daten vor Ort erfasst.

Abb. 07: Darstellung der räumlichen Anordnung der einzelnen rund 5400 Auslösemomente der Kamerapositionen [Quelle: F7 DIGITAL GmbH]

Auswertung der Daten

Ist der Außendiensteinsatz abgeschlossen, folgt die Berechnung der Daten. Das Ziel ist nun, die Fotos der Drohne zusammen mit den Laserscandaten sowie den Einzelpunkten in einer Einheit zu bündeln. Dies geschieht teils vorbereitend manuell und zum überwiegenden Teil automatisch, sofern die Daten lückenlos erfasst wurden. Da sich sowohl die Punktwolke der Fotodrohne als auch die Laserscans und die Einzelmesspunkte bestimmte Strukturen und Positionen teilen, diese sich also überlagern, ist es softwareseitig möglich, diese Informationen zu verschmelzen. Das Ergebnis ist eine georeferenzierte und hochauflösende, dreidimensionale Wiedergabe der Realität. Diese kann sowohl als eingefärbte Punktwolke als auch als vernetzte Punktwolke (texturiertes Mesh) erstellt und an den Kunden ausgegeben werden. Bereits jetzt können beliebige Maße entnommen und Bauteilansichten, Grundrisse und Schnitte an beliebigen Stellen erzeugt werden. Die Fesseln der Physik sind also ein Stück weit ausgehebelt.

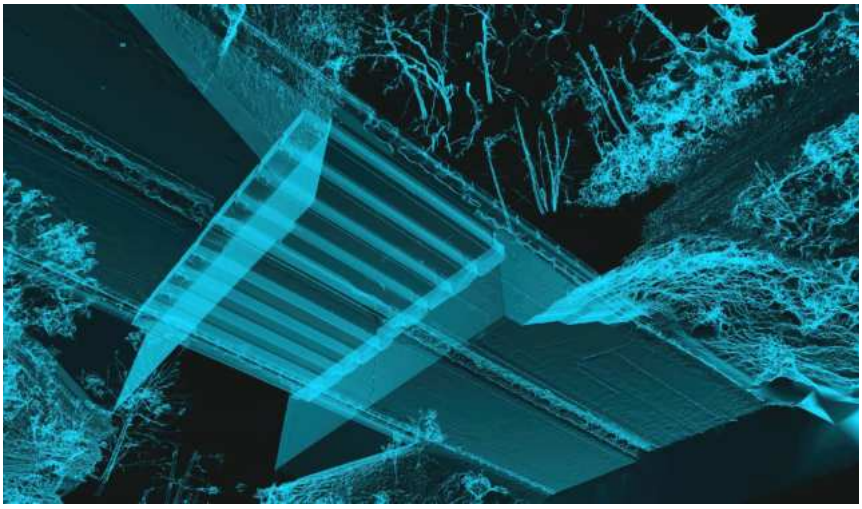


Abb. 08: Geometrische Darstellung mit Röntgen-Effekt der vernetzten Messpunktwolke in der Druntersicht [Quelle: F7 DIGITAL GmbH]

Allein diese Möglichkeiten liefern schnell erste Erkenntnisse über den Zustand des Bauwerks, da sich die virtuelle Kamera beliebig frei an bisher unerreichten Stellen platzieren lässt. Nunmehr können kritische Schäden wie Risse, Feuchtigkeit oder Korrosionsschäden frühzeitig identifiziert werden.

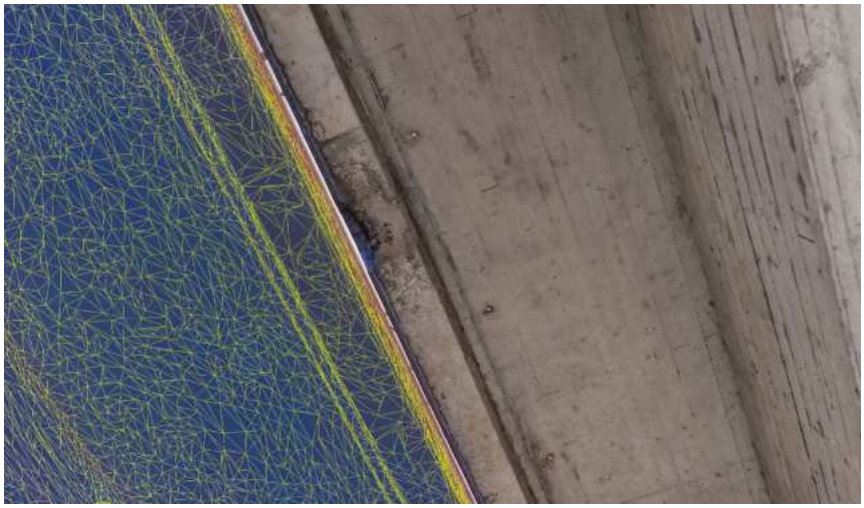


Abb. 09: Visualisierung aus dem vernetzten 3D-Ergebnis mit Fototexturen und einer detektierten Schadstelle [Quelle: F7 DIGITAL GmbH]

Die erzeugten 3D-Daten lassen sich in schnittstellenoffene Standardformate exportieren und in das webbasierte Analysetool einlesen. Spezielle Hochleistungsrechner oder Software-Installationen werden hierfür nicht benötigt. Die Anwendung läuft eigenständig in einem frei wählbaren Webbrowser.

Nach dem erfolgreichen Datenupload erhält der Kunde eine Freigabe auf sein Projekt und ist nach geprüfter Authentifizierung zugriffsberechtigt und kann bei Bedarf auch weitere Lese- oder Mitarbeiterrechte an andere projektbeteiligte Firmen und Institutionen zuweisen. Die Daten sind hierbei stets auf sicheren AWS-Servern in Frankfurt am Main gehostet und der auftraggebende Kunde besitzt als Rechteinhaber jederzeit die volle Kontrolle über sein Projekt.

Tiefenanalyse und Schadenprüfung

Das TWINSPECT-System nutzt unter anderem auch Künstliche Intelligenz (KI), zum Beispiel zur automatischen Detektion von Rissen oder Korrosion. Daraus folgt eine immense Zeitersparnis, da ein solches Bauwerk sehr viele unterschiedlich ausgeprägte Informationen über Schäden liefert. Schadentypen lassen sich daher manuell oder automatisch bestimmten Kategorien zuweisen. Anhand von visuellen Markierungen haften die vorgeschlagenen Rissdetektionen in der 3D-Ansicht und werden zeitgleich protokollarisch hinterlegt. Alle automatisch und manuell erstellten Markierungen in Form sogenannter Annotationen können anschließend übersichtlich in einem Gesamt-Schadenbericht als PDF exportiert werden. Ein besonderes Feature ist zudem, dass die Nutzer

jederzeit Zugriff auf die originalen Drohnenfotos erhalten. Denn in vielen Fällen ist es von Vorteil, neben der fotorealistischen 3D-Darstellung auch jenes Originalfoto zu finden, das eine schadhafte Stelle am besten darstellt. In der Regel gibt es zwischen 10 und 30 Fotos, die einen kleinen Schadenbereich detailliert aus verschiedenen Winkeln darstellen.

Mit der Drohne erfasste F7 DIGITAL von der Autobahnbrücke knapp 5400 Fotos. Eine mühevolle Aufgabe, nun die entsprechenden Einzelansichten wie »die Nadel im Heuhaufen« aus dieser Vielzahl von Fotos herauszusuchen. Auch dies übernimmt die Software vollautomatisch innerhalb von 1 bis 2 Sekunden.

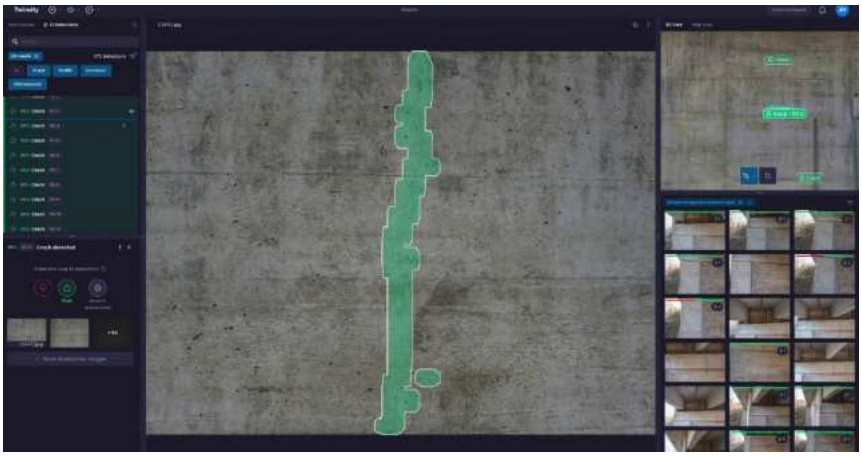


Abb. 10: Die automatische KI-basierte Schadenerkennung liefert präzise Ergebnisse. [Quelle: F7 DIGITAL GmbH]

Hierzu genügt im 3D-Bereich ein einfacher Doppelklick auf eine Stelle im Modell, die von Interesse ist. Die Anwendung lädt in einer zweiten Ansicht eigenständig die 30 besten Nahbereichfotos.

Diese können sogar heruntergeladen werden. Da die Fotopositionen im Raum im Verhältnis zum erfassten Objekt durch die Berechnung der Daten ohnehin bekannt sind, nutzt die Software diese Informationen und kann so bei der Suche nach Details viel Zeit und Kosten einsparen. Der Erkenntnisgewinn liefert umfangreiche und spannende Möglichkeiten – auch in Zukunft. Die fortschreitende Entwicklung Künstlicher Intelligenz versteht die F7 DIGITAL GmbH als ein hilfreiches und ergänzendes Werkzeug, das Prozesse verschlanken und den Informationsgehalt erhöhen kann.

F7 DIGITAL erstellt außerdem auf Basis der 3D-Messdaten verformungsgerechte CAD-Pläne in 3D und/oder 2D – individuell angepasst an den gewünschten Detail- und Informationsgrad (LOD/LOI). Diese BIM(Building Information Modeling)-konformen Pläne enthalten spezifische Bauteilzuordnungen mit »intelligenten« Klassifizierungen für die einzelnen Bauteilsegmente. Die Ausgabe erfolgt nativ in Autodesk-Revit, ArchiCAD- oder AutoCAD-Projektdateien sowie über die IFC-Schnittstelle oder als DWG/DXF-Dateien und PDF-Pläne.

Mit Projekten wie diesem zeigt sich, wie digitale Bestandsaufnahmen nicht nur effizienter, sondern auch präziser und nachhaltiger gestaltet werden können – und wie der intelligente Einsatz von Technologie dazu beiträgt, kritische Infrastrukturen langfristig zu erhalten und zu optimieren.

Philipp Matschoss ist seit 2022 UAV-Operator bei der F7 DIGITAL GmbH und spezialisiert auf drohnengestützte 3D-Vermessung. In einem fünfköpfigen Team entwickelt er leistungsfähige, nachhaltige Lösungen zur digitalen Erfassung komplexer Infrastrukturen. Durch die Kombination von Photogrammetrie und Laserscanning entstehen hochpräzise digitale Abbilder der Realität. Dabei setzt er auf starke Partner, die seine Begeisterung für technische Innovationen teilen.

6.2.3 Schnellbauweise für Brücken mit weitgespannten Fertigteilträgern aus C80/95

Schnelles Bauen mit möglichst geringen Verkehrsbehinderungen in Verbindung mit einer Minimierung staubedingter CO_2-Emissionen stellt heute im Zeichen des nachhaltigen Bauens und Klimaschutzes ein neues Entwurfsziel für Betonbrücken dar. Im nachfolgenden Beitrag wird über das Potenzial des vorgespannten hochfesten Betons C80/95 für Fertigteilträger bei einem Überführungsbauwerk über eine sechsspurige Autobahn ohne die Notwendigkeit einer Zwischenstütze in Kombination mit dem Einsatz von Fertigteilen auch bei den Widerlagern als Pilotprojekt berichtet. Der Beitrag schließt mit dem bemerkenswerten Ergebnis einer Studie, wie viel CO_2-Emissionen durch die Verkürzung der Bauzeit bei derartigen Bauwerken potenziell vermieden werden können.

1 Einleitung

Durch den Einsatz von hochfestem Beton in Verbindung mit einer Vorspannung werden die Möglichkeiten des Bauens mit Beton auch im Brückenbau erheblich erweitert, wie die beiden in diesem Beitrag vorgestellten Pilotprojekte in Fertigteilbauweise mit Ortbetonergänzung zeigen. Zur Minimierung der Verkehrsbehinderungen sowie der staubedingten CO_2-Emissionen wurde die Bauweise mit den Fertigteilträgern aus C80/95 bei den beiden Pilotprojekten mit der Echterhoff Expressbauweise kombiniert. Dadurch entstand eine wegweisende und innovative neue Bauweise für Fertigteilbrücken. Grundsätzlich resultieren aus den hohen Festigkeiten des C80/95 die folgenden Vorteile:

- Erhöhung des Tragwiderstands,
- in Kombination mit einer Vorspannung deutlich größere Spannweiten bzw. Schlankheiten,
- Reduktion der Eigenlasten und geringere Betonmengen durch kleinere Querschnittsabmessungen,
- Einsparungen im Gründungsbereich durch geringere Eigenlasten.

Dieses Potenzial ermöglicht beispielsweise Überführungsbauwerke über sechsspurige Autobahnen ohne Zwischenstütze als Einfeldträger mit ca. 45 Metern Spannweite.

Anwendungen von hochfestem Beton bei Brücken erfolgten im Ausland zunächst vor allem in Nordamerika, Frankreich und Norwegen. Motivation waren dabei keineswegs nur Festigkeitsaspekte, sondern die immensen Möglichkeiten zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit. Beispielhaft für das Potenzial des hochfesten Betons sei an dieser Stelle nur die 1998 in Norwegen hergestellte Raftsundbrücke, ein gevouteter Bal-

ken mit einer Hauptspannweite von ca. 300 Metern, genannt.[1] In Deutschland wurden zunächst einige kleinere Bauwerke als Pilotprojekte in Hochleistungsbeton ausgeführt.[2] 2002 wurde die Brücke über die Zwickauer Mulde bei Glauchau als erstes Pilotprojekt zur Anwendung von Hochleistungsbeton im Großbrückenbau in Ortbetonbauweise realisiert.[3] Das Bauwerk weist bei einer maximalen Spannweite von 39 Metern eine Konstruktionshöhe des Querschnitts von nur 1,05 Metern auf, entsprechend einer maximalen Biegeschlankheit von $\lambda = 39{,}00 : 1{,}05 = 37$.

An diesem Bauwerk erfolgte nach Fertigstellung ein umfangreiches Monitoring unter statischen und dynamischen Probebelastungen sowie zur Untersuchung des Langzeitverformungsverhaltens des hochfesten Betons C70/85.[4] Das Monitoring ergab ein einwandfreies Bauwerksverhalten unter den Probebelastungen sowie im Wesentlichen eine Bestätigung der normgemäßen Bemessungsansätze für das Kriechen und Schwinden. Von entscheidender Bedeutung für die zielsichere Herstellung des C70/85 als Ortbeton waren die begleitenden Maßnahmen zur Qualitätssicherung.

Prinzipiell sind bei der Überführung über eine sechsspurige Autobahn ohne Zwischenstütze sowohl ein integraler Rahmen als auch ein Einfeldträger machbar. Die integrale Bauweise ermöglicht größere Schlankheiten, bringt jedoch zusätzliche Zwangsschnittgrößen mit sich, die in ihrer Größe entscheidend auch von den Baugrundsteifigkeiten beeinflusst werden. Der Baugrund ist Bestandteil des integralen Bauwerks. Bezüglich der anzusetzenden Steifigkeiten beinhaltet er die größten Unschärfen im Gesamtsystem, was bei der Schnittgrößenermittlung in geeigneter Form zu berücksichtigen ist, beispielsweise durch den Ansatz oberer und unterer Grenzwerte.

Da im Ruhrgebiet in weiten Bereichen potenziell mit Bergsenkungen zu rechnen ist, werden statisch bestimmte Tragsysteme bevorzugt. Daher wurde als Tragwerk für die beiden Pilotprojekte jeweils ein statisch bestimmtes Einfeldträgersystem gewählt.

1 Ewert, S.: Brücken – Die Entwicklung der Spannweiten und System. Berlin: Ernst & Sohn, 2003

2 Bernhardt, K.; Brameshuber, W.; König, G.; Krill, A.; Zink, M.: Vorgespannter Hochleistungsbeton: Erstanwendung in Deutschland beim Pilotprojekt Sasbach. Beton- und Stahlbetonbau 94 (1998), Nr. 5, S. 216–223, DOI: https://doi.org/10.1002/best.199900690

3 König, G.; Weigel, F.; Zink, M.; Arnold, A.; Maurer, R.: Erste deutsche Großbrücke aus Hochleistungsbeton – Brücke über die Zwickauer Mulde bei Glauchau. Beton- und Stahlbetonbau 97 (2002), Nr. 6, S. 303–307, DOI: https://doi.org/10.1002/best.200201400

4 Maurer, R.; Weigel, F.; Arnold, A.: Bauwerksmonitoring an einer Brücke aus Hochleistungsbeton. Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005), Nr. 3, S. 195–206, DOI: https://doi.org/10.1002/best.200590050

2 Pilotprojekt Münsterstraße

2.1 Bauwerksbeschreibung

Das Alter des Bestandsbauwerks sowie die im Zuge einer statischen Nachrechnung festgestellten Defizite machten in Verbindung mit der Lage in einem stark frequentierten Teilabschnitt der BAB A2 einen Ersatzneubau der vorhandenen Brücke erforderlich. Die BAB A2 stellt eine sehr wichtige Verkehrsverbindung mit überregionalem Verbindungscharakter dar, sodass der Ersatzneubau unter laufendem Verkehr erfolgen musste.

Der Neubau weist zwei durch eine Längsfuge getrennte Überbauten mit einer Spannweite von ca. 16,26 Metern auf. Beide Überbauten bestehen aus jeweils neun Fertigteillängsträgern, die durch eine nachträglich aufgebrachte Ortbetonschicht monolithisch verbunden wurden. Für die Herstellung der Fertigteile kam hochfester Beton C80/95 zum Einsatz, der außerhalb des Anwendungsbereichs gemäß DIN EN 1992-2/NA[5] liegt. Die Verwendung des hochfesten Betons wurde im Rahmen des Bauvorhabens jedoch nicht aufgrund des Erfordernisses der großen Betondruckfestigkeit, sondern zur Erprobung und Bewertung einer zielsicheren Verarbeitung im Fertigteilwerk eingesetzt. In statischer Hinsicht wäre bereits ein Beton der Druckfestigkeitsklasse C50/60 ausreichend gewesen. An den Brückenenden bilden kastenförmige Widerlager den Übergang zwischen der Brücke und den anschließenden Straßendämmen. Sie wurden direkt am Rand des unterführten Straßenquerschnitts angeordnet und erhalten dadurch im Erscheinungsbild relativ dominante Ansichtsflächen. Die Widerlager sind flach gegründet.

2.2 Planung und Ausführung

2.2.1 Unterbauten

Ein wesentlicher Planungsgrundsatz für diese Baumaßnahme war die Bauzeitenminimierung. Diese lässt sich insbesondere durch Verlagerung von Arbeitsschritten von der Baustelle in die Vorfertigung erzielen. Daher wurde nach Möglichkeiten gesucht, wie ein großer Anteil an Fertigteilen verwendet werden kann, ohne jedoch durch zu viele Fugen das monolithische Tragverhalten zu stark zu beeinflussen.

Bei den Unterbauten der Expressbrücke Echterhoff wurden grundsätzlich zwei unterschiedliche Ausführungsvarianten entwickelt, die in diesem Beitrag kurz beschrieben werden (Abb. 01). Variante 1 kam bei dem Ersatzneubau der Münsterstraße zur Anwendung. Hierbei bestehen die Flügelwände aus Vollfertigteilen mit einer einseitigen Anschlussbewehrung im unteren Bereich zur kraftschlüssigen Verbindung mit der Ortbetonplatte. Die Gründungsplatte wird in Ortbeton hergestellt. Die Flügelelemente dienen

5 DIN EN 1992-2/NA: 2013-04 Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton und Spannbetontragwerken – Teil 2: Betonbrücken Bemessungs- und Konstruktionsregeln.

dabei als seitliche Schalung. Diese sind somit untereinander über die Gründungsplatte verbunden. Damit die relativen Verformungen im Kopfbereich der Flügelwandelemente unter Nutzung klein bleiben, sind zwischen den einzelnen Elementen in profilierten Fugen bewehrte Betonplomben zur Querkraftübertragung angeordnet (Abb. 02). Für die Herstellung der Widerlager- und Kammerwände werden Halbfertigteile verwendet, die als verlorene Schalung dienen und lediglich zur Aufnahme der Betonierlasten statisch angesetzt werden. Der aus Ortbeton hergestellte Wandkern übernimmt den gesamten Traganteil. Die Halbfertigteile werden schubfest an den monolithischen Wandquerschnitt angebunden.

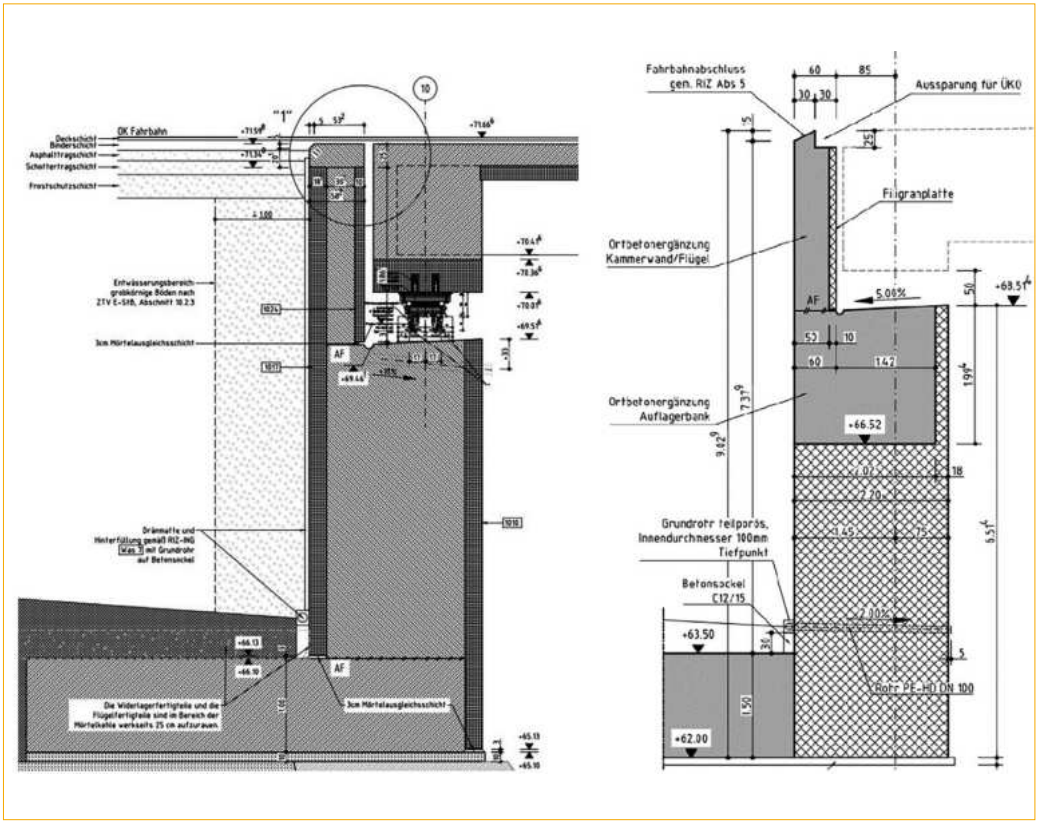


Abb. 01: Ausführungsvarianten der Widerlager in modularer Expressbauweise (Systeme der Unternehmensgruppe Echterhoff), links: Münsterstraße, rechts: Amelsbürener Straße [Quelle: KHP Dortmund/Echterhoff]

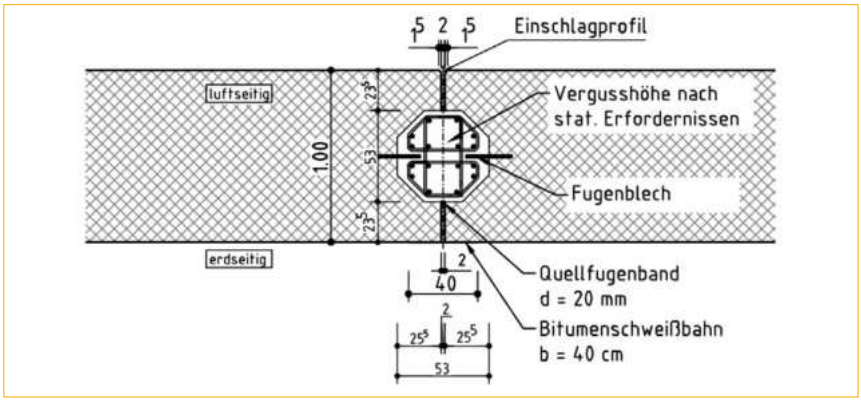


Abb. 02: Planauszug zur wasserdichten Betonplombe zwischen den Flügelwandelementen (System der Unternehmensgruppe Echterhoff), hier: Ausführung Amelsbürener Straße [Quelle: KHP Dortmund/Echterhoff]

Die zweite Variante kam bei dem Pilotprojekt Amelsbürener Straße zur Anwendung und wird in Abschnitt 3.2.1 genauer beschrieben.

2.2.2 Überbau

Die Verwendung von Fertigteilen für die Herstellung von Brückenüberbauten ist eine Bauweise, die bereits seit Langem bewährt ist. Allerdings war die Anwendung bisher an bestimmte Randbedingungen geknüpft. Diese sind in der RE-ING[6] angegeben und in Tabelle 01 aufgelistet. Durch die Begrenzung der Stützweiten soll beispielsweise das Gewicht der Fertigteillängsträger begrenzt werden. Auch der Transport der Fertigteile aus dem Werk auf die Baustelle wird dadurch vereinfacht.

	Nach RE-ING	Münster Straße	Amelsbürener Straße
Einzelstützweiten	≤ 35 m	16,26 m	44,78 m
Schiefwinkligkeit	≥ 60 gon	94,96 gon	76,62 gon
Krümmungsradius	≥ 500 m	2000 m	∞
Querschnittsform	keine Fußaufweitung	keine Fußaufweitung	mit Fußaufweitung, $b = 85$ cm
Stegbreite	≥ 55 cm	40–45 cm	35–85 cm

Tab. 01 Gegenüberstellung der Entwurfsrandbedingungen nach RE-ING und Bauausführung

6 Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.): Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten – Teil 2: Brücken. RE-ING (2023). Stand März 2023.

Bei dem Pilotprojekt Münsterstraße ist ein Großteil der Randbedingungen eingehalten. Der Pilotcharakter des Projekts ergibt sich aus der gewählten Betondruckfestigkeit eines C80/95 (vgl. Abschnitt 2.1) sowie der reduzierten Stegbreite. Voraussetzung zum Einsatz des Hochleistungsbetons war eine durch das Bundesministerium für Verkehr (BMDV) erteilte Zustimmung im Einzelfall (ZiE). Aufgrund der statischen Verhältnisse konnte die Vorspannung der Fertigteillängsträger als reine Spannbettvorspannung gewählt werden, sodass keine nachträglichen Spann- und Verpressvorgänge auf der Baustelle erforderlich waren. Die Fertigteile wurden auf den Widerlagern auf Fertigteilquerträgern abgelegt. Mit der Betonage der Ortbetonergänzung wurden auch die Endquerträger zwischen den Fertigteilen ausbetoniert, sodass letztlich ein monolithischer Überbau entstand.

Für den ersten Bauabschnitt wurde der komplette Überbau, einschließlich Abdichtung, Ausbildung der Kappen sowie der Übergangskonstruktionen, auf einer Baustelleneinrichtungsfläche in Seitenlage gefertigt. Bereits 15 Arbeitstage nach Fertigstellung der Widerlager wurde der gesamte Brückenüberbau aus der Seitenlage mittels SPMT-Fahrzeugen über die Widerlager in Endlage eingefahren (Abb. 03). Die Bauzeit vom Beginn der Abbrucharbeiten bis zum Ablegen des Überbaus betrug 17 Arbeitstage. Mangels fehlender Montagefläche konnte der Überbau im zweiten Bauabschnitt nicht in Nebenlage gefertigt und eingefahren werden, sondern wurde komplett in Endlage montiert (Abb. 04). Die Brücke nach Fertigstellung ist in Abb. 05 dargestellt. Die Spannbetonbinder mit einer Länge von 16,75 Metern in C80/95 zeigten eine einwandfreie Qualität und bilden bezüglich der Betonrezeptur die Vorlage für das Pilotprojekt Amelsbürener Straße mit insgesamt 45 Meter langen Spannbetonbindern (vgl. Abschnitt 3.1).

Abb. 03: Verschub eines halbseitigen Überbaus (1. Bauabschnitt) mittels SPMT-Fahrzeugen, Münsterstraße [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]

Abb. 04: Montage des Randträgers mit Hybridkappe in Endlage (2. Bauabschnitt), Bauwerk Münsterstraße [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]

Abb. 05: Bauwerk Münsterstraße nach Fertigstellung [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]

2.2.3 Hybride Kappe

Der Ursprung der Hybridkappen kommt aus der Forderung bzw. den Überlegungen, die Eingriffe in den laufenden Verkehr durch die Bauarbeiten so gering wie möglich zu halten. Bei Ausführung konventioneller Bauweisen werden die Kappen über dem fließenden Verkehr mittels Schalungsgerüsten hergestellt. Die hierzu notwendigen Arbeitsprozesse, zumindest für die Ausschalarbeiten und teilweisen Brückenausstattungen, erfordern während der Bauzeit Verkehrssperrungen der darunterliegenden Fahrwege. Bei der Herstellung einer Straßenüberführung über eine Bahnstrecke wird allein für die Ausschalarbeiten der Kappenschalungen eine Sperrung der darunterliegenden Bahnstrecke erforderlich. Gleiches gilt beim Bau einer Straßenüberführung über eine Autobahn bzw. Straße. Um diesen Verkehrsbeschränkungen entgegenzuwirken, wurde die Hybridkappe konzipiert, die einerseits als formgebende Schalung für den Betoneinbau und andererseits gleichzeitig auch als Trägerelement für Geländer, Berührschutz oder Lärmschutzwände dient. Mit dem Anbau der Hybridkappenkonstruktion und zum Beispiel aufgesetztem Geländer, das bereits während der Bauphase als Absturzsicherung dient, können alle weiteren Brückenbauarbeiten aus einem geschützten Raum von der Brückenplatte ohne weitere Verkehrssperrungen der darunterliegenden Fahrwege ausgeführt werden.

Die hybriden Kappen wurden beim Bauwerk Münsterstraße als reine Stahlkonstruktion nach den Regeln des Stahlbaus bemessen, konstruiert und ausgeführt. Das Schalungselement der Hybridkappe bildet die äußere Begrenzung der Kappenkonstruktion als verlorene Schalung. Die stählerne Konstruktion aus Schalungselement und Schwertern zur Befestigung am Überbau dient zugleich als Trägerelement von Geländer-, Berührungsschutz oder Lärmschutzwandkonstruktionen im Montagezustand. Da die Kappen weiter-

hin gemäß RIZ-ING bewehrt werden und mittels Kappenanschlussbewehrung mit dem Überbau verbunden sind, entspricht der Lastabtrag der ausbetonierten Kappen dem allgemeinen Stand der Technik. Die von außen sichtbaren Schalungselemente aus Stahl weisen eine Korrosionsschutzbeschichtung gemäß ZTV-ING auf. Bei der patentgeschützten Konstruktion »hybride Kappe« handelt es sich um eine Entwicklung des Bauunternehmens Echterhoff.

3 Pilotprojekt Amelsbürener Straße

3.1 Bauwerksbeschreibung

Im Zuge des geplanten sechsstreifigen Ausbaus der BAB A1 wurden im Autobahnabschnitt zwischen den Auffahrten Ascheberg und Münster-Hiltrup insgesamt 15 Ersatzneubauten von Überführungsbauwerken erforderlich. Bei dem Überführungsbauwerk der Amelsbürener Straße wurde dabei ein weiteres Pilotprojekt realisiert, bei dem die Fertigteilbauweise außerhalb des bisherigen Erfahrungsbereichs erprobt werden sollte. Hierbei wurde die bestehende Zweifeldbrücke mit Spannweiten von 2×20,65 Metern durch eine Einfeldbrücke mit Fertigteilen mit einer Gesamtlänge von 45 Metern ersetzt. Die Amelsbürener Straße stellt damit in Deutschland das erste Überführungsbauwerk als statisch bestimmter Einfeldträger über eine Autobahn ohne Mittelstütze in Betonbauweise mit Fertigteilen von 45 Metern Länge dar (Abb. 06). Wie bei der Münsterstraße so wurden auch bei der Amelsbürener Straße die Unterbauten als kastenförmige Widerlager ausgeführt. Die Mittelstütze des Bestandsbauwerks entfiel vollständig für den Ersatzneubau. Die Widerlager wurden flach gegründet.

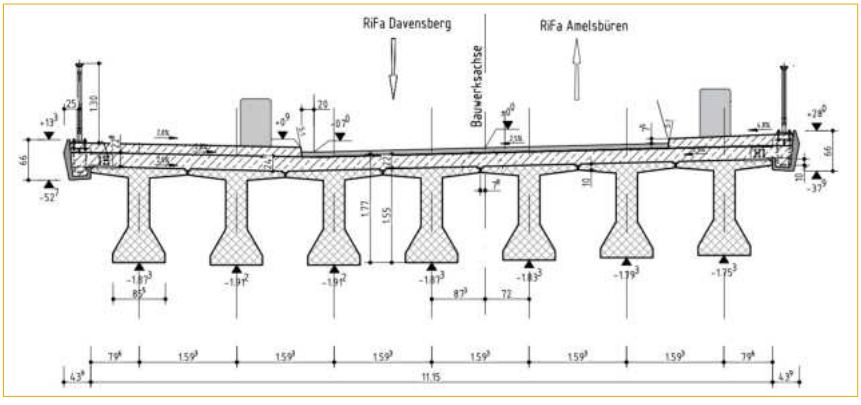


Abb. 06: Regelquerschnitt des Ersatzneubaus Amelsbürener Straße [Quelle: KHP Dortmund]

3.2 Planung und Ausführung

3.2.1 Unterbauten

Wie schon in Abschnitt 2.2.1 beschrieben, wurden die Unterbauten der Amelsbürener Straße nach der Variante 2 der Modulbauweise der Expressbrückensystematik erstellt. Während die Widerlagerflügelwände wie bei Variante 1 mittels Vollfertigteilen mit Ortbetonplomben errichtet wurden, erfolgte die Herstellung der Widerlager nach einer modifizierten Ausführung. Dabei werden die Widerlagerwände nun im Werk zu einem größeren Teil vorgefertigt. Der untere Bereich der Wandelemente wurde dabei bereits im Werk vorbetoniert, sodass deutlich massivere Wandelemente entstehen. Der Anschluss in die Bodenplatte erfolgt wie bei den Flügelelementen über eine entsprechende Anschlussbewehrung. Im oberen Bereich der Widerlager wird nur noch ein ca. 1,50 Meter hoher Auflagerbalken in Ortbetonbauweise realisiert, der die Widerlagerwände untereinander schubfest verbindet und die Lasteinleitung aus den Lagern sicherstellen kann (Abb. 01). Die luftseitigen Vorsatzschalen, die als Schalung des Auflagerbalkens dienen, sind in den Fertigteilen bereits angeordnet, wodurch eine hohe Sichtbetonqualität gewährleistet wird.

Die Montage der Stahlbetonfertigteile dieser Widerlagerkonstruktion, einschließlich der Flügelwände, konnte bei dieser Baumaßnahme je Widerlagerseite innerhalb von 20 Arbeitsstunden realisiert werden. Die anschließenden Ergänzungsarbeiten im Bereich der Stahlbetonsohle sowie des Ortbetonergänzungsbalkens konnten in einem sehr kurzen Zeitfenster von ca. sechs Arbeitstagen ausgeführt werden. Während der Ausführungszeiten zum Bau der Brückenwiderlager entstanden keine Verkehrsbeeinträchtigungen auf der BAB A1 (Abb. 07).

Abb. 07: Aufstellen der modularen Widerlagerelemente, Amelsbürener Straße
[Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]

3.2.2 Überbau

Um das Eigengewicht der Fertigteilträger zu begrenzen, wurde ein hochfester Beton der Güte C80/95 verwendet, wie er bereits bei dem Bauvorhaben Münsterstraße erfolgreich zum Einsatz kam. Zusätzlich war es erforderlich, die Querschnittsform der Fertigteile zu optimieren, damit ein zulässiges Gesamtgewicht für die Herstellung im Fertigteilwerk von ca. 110 Tonnen nicht überschritten wird. Dazu wurde der Stegquerschnitt im Feldbereich auf 35 Zentimeter reduziert und im Bereich der Auflager auf die Gesamtquerschnittsbreite von 85 Zentimeter aufgeweitet. Um schädliche Ablagerungen auf den Fußaufweitungen der Untergurte zu vermeiden, wurde der Übergang von den hammerkopfförmigen Fußaufweitungen der Untergurte zum Stegbereich unter 60 ° angevoutet (Abb. 06).

Die Vorspannung der Fertigteile bestand aus einer Spannbettvorspannung sowie zwei parabelförmig angeordneten Spanngliedern in Stahlhüllrohren (nachträglicher Verbund). Die Spannbettvorspannung konnte in der Fußaufweitung angeordnet werden. Das Eigengewicht der Fertigteile war jedoch so groß, dass die Spannbettvorspannung gerade ausreichend dimensioniert werden konnte, um die Dekompression beim Ausheben aus der Schalung sicherzustellen (Abb. 08). Um eine zu große Durchbiegung der Fertigteile während der Lagerung zu verhindern, wurde bereits kurz nach Herstellung aller Träger eine Teilvorspannung der nachträglichen Vorspannung aufgebracht. Das Aufbringen der verbleibenden Vorspannkraft und das Verpressen dieser Spannglieder erfolgten erst auf der Baustelle nach dem Aushärten der Ortbetonergänzung. Mit einem Achsabstand der Fertigteile untereinander von 1,60 Metern waren für den ca. 12 Meter breiten Überbau insgesamt sieben Längsträger erforderlich. Auch hier war eine ZiE erforderlich.

Abb. 08: Ausbau der Fertigteilträger nach Herstellung im Fertigteilwerk [Quelle: KHP Dortmund]

3.2.3 Hybride Kappe

Einen weiteren Pilotaspekt in diesem Brückenbauprojekt stellt die Ausbildung der Hybridkappenkonstruktion aus Carbonbeton dar. Da bei Anfahrschäden die Beschichtungen der Stahlhybrid-Kappenkonstruktionen in Mitleidenschaft gezogen werden können und somit zu Korrosionsschäden führen können, wurde auf Wunsch der Auftraggeberseite eine Kappenkonstruktion aus Carbonbeton entwickelt, die korrosionsunanfällig ist (Abb. 09).

Abb. 09: Hybride Kappe mit Schalungselement aus Carbonbeton (System der Unternehmensgruppe Echterhoff), Bauwerk Amelsbürener Straße [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]

Die Entwicklung der Schalungselemente aus Carbonbeton für die hybride Kappe erfolgte im Rahmen einer Kooperation zwischen der TU Dortmund und dem Bauunternehmen Gebr. Echterhoff GmbH & Co. KG. Da derzeit keine Norm für die Bemessung von Carbonbeton existiert, wurde die ausreichende Tragsicherheit durch Probebelastungen an Pilotelementen im Maßstab 1:1 im Versuchsstand nachgewiesen. Das Verhalten des Elements auf Gebrauchslastniveau war einwandfrei. Zusätzlich wurden Tragverhalten und Tragfähigkeit mit numerischen Simulationsberechnungen, basierend auf der nichtlinearen FEM, untersucht bzw. bestätigt.

Die Bewehrung der Kappe mittels Carbon (Kohlefasern) wurde bewusst aus Korrosionsschutzgründen gewählt, da Carbonfasern nicht korrodieren können. Ein weiterer Vorteil liegt in der Mindestbetondeckung, die bei der Verwendung von Carbon aus vorgenanntem Grund wesentlich geringer ausfallen kann und somit deutlich zur Gewichts- und Querschnittsreduzierung der Wandstärken der Hybridkappe beiträgt bzw. diese zulässt.

Da eine Vormontage der Carbonbetonkappe im Fertigteilwerk zu einer deutlichen Vergrößerung der Transportgewichte für die Brückenträger geführt hätte, wurden die Brückenrandträger zwei Tage vor dem Montagetermin auf einem der Baustelle nahe gelegenen Autobahnplatz mit den Carbonbetonkappen einschließlich der Geländerkonstruktionen ausgestattet und anschließend in Endlage montiert (Abb. 10). Durch diese Vorgehensweise, Montage der Brückenträger einschließlich der Geländer als Absturzsicherung, konnten alle weiteren Arbeiten, wie die Ergänzung der Bewehrung der Endquerträger sowie der Fahrbahntafel und auch des Ergänzungsbetons für die Brückenplatte, von oben aus dem geschützten Raum erfolgen (Abb. 11). Weitere Autobahnsperrungen wurden aus diesem Grund nicht mehr erforderlich.

Abb. 10: Einheben eines Randträgers mit bereits vormontierter Carbonkappe und Geländer, Bauwerk Amelsbürener Straße [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]

Abb. 11: Betonage der Ortbetonschicht unter laufendem Verkehr, Bauwerk Amelsbürener Straße [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]

4 Beitrag zu Nachhaltigkeit und Klimaschutz

Bei der Zementherstellung entstehen 8 bis 9 Prozent der weltweiten CO_2-Emissionen. Zu Recht müssen wir uns aus diesem Grund mit neuen, CO_2-reduzierten Zementherstellungsmethoden beschäftigen. Doch welchen Einfluss haben Brückenbauarbeiten im Zuge der Autobahn auf Verkehrsbehinderungen und somit auf die Entstehung von CO_2-Emissionen durch Verkehrsstaus? Wie sieht hierzu der Vergleich von Ersatzbrückenbauarbeiten in Modulbauweise mit 6 bis 8 Monaten Gesamtbauzeit im Vergleich zu konventionellen Bauweisen mit 24 Monaten Bauzeit aus? Die voneinander unabhängigen Studien der Ruhr-Universität Bochum[7] sowie der RWTH Aachen[8] in Zusammenarbeit mit der Bauunternehmung Gebr. Echterhoff kommen hierbei zu einem gemeinsamen, sehr erstaunlichen (prägnanten) Ergebnis. Die Studie[7], eine Lebenszyklusbetrachtung über 100 Jahre vom Baubeginn bis zum Rückbau einer Brücke im Zuge einer Autobahn, kommt zu dem Ergebnis, dass mit der Zunahme der Bauzeit auch die CO_2-Emissionen als Folge der mit der Bauzeit einhergehenden Verkehrsstaus drastisch ansteigen. Grundlage für diese Erkenntnis sind die über einen Zeitraum von 24 Monaten erfolgten Aufzeichnungen von Verkehrsstaus beim Bau eines 200 Meter langen Ersatzbrückenbauwerks. Bei einer täglichen Verkehrsbelastung von 45.000 Fahrzeugen entfallen in den ersten zwei Jahren der Bauzeit durch Verkehrsstaus 83 Prozent der gesamten CO_2-Emissionen, die über einen Zeitraum von 100 Jahren entstehen.

Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt eine weitere Studie[8] über den Einfluss von kurzen Bauzeiten auf die entstehenden CO_2-Emissionen. Bei der Betrachtung der Baumaßnahme »Afferder Weg«, BAB A1 zwischen den Autobahnkreuzen Dortmund/Unna und Kamen wurden zwei Brückenteilbauwerke als Ersatzbauwerke im Zuge der BAB A1 in nur acht Monaten Gesamtbauzeit hergestellt. Die für solche Bauwerke sonst übliche Bauzeit in konventioneller Bauweise beträgt normalerweise 24 Monate. Die Autobahn wird in diesem Streckenabschnitt täglich von 120.000 Kraftfahrzeugen frequentiert. Anhand der Studie sollte ermittelt werden, wie viel CO_2-Emissionen durch die Zementherstellung der für beide Teilbauwerke benötigten Betonmenge von 2070 Kubikmetern entstanden sind und welche Menge CO_2 durch die Bauzeitverkürzung von 16 Monaten vermieden wurde. Das Ergebnis war sehr eindeutig! Während die CO_2-Emissionen durch die Zementherstellung für 2070 Kubikmeter Beton mit 595 Kilogramm CO_2 pro Tonne Zement und 395 Kilogramm Zement je Kubikmeter Beton zu einer Gesamtmenge von 476 Tonnen CO_2-Emissionen führte, ergab sich die Vermeidung von CO_2-Emissionen durch die 16-monatige Bauzeitverkürzung zu 52.400 Tonnen. Der Berechnung lag die Annahme von 120.000 Kraftfahrzeugen, davon 20 Prozent Lkw und 80 Prozent Pkw, sowie einem täglichen Verkehrsstau je Kraftfahrzeug von 30 Minuten durch die

7 Hoppe, J.; Forman, P.; Mark, P.: CO_2-Bilanzierung über den Bauwerkslebenszyklus. Studie am Lehrstuhl für Massivbau, Ruhr-Universität Bochum, 2022

8 Richter, C.; Reddemann, T.: Einsparung CO_2-Emissonen durch Bauzeitverkürzung am Beispiel Baumaßnahme Afferder Weg/BAB A1. Studie am Center Building and Infrastructure Engineering des RWTH Aachen Campus, 2022

Fahrbahnverengung der 6 + 0-Verkehrsführung zugrunde. Bei genauerer Betrachtung beträgt die CO_2-Emission in diesem Fall also weniger als 1 Prozent der CO_2-Emission aus der Zementherstellung. Auch wenn diese Berechnungen gewisse Unschärfen beinhalten mögen, so ist die Tendenz doch eindeutig.

5 Zusammenfassung

Mit der Planung und Ausführung der beiden Ersatzneubauwerke Münsterstraße und Amelsbürener Straße wurde eine modulare Expressbauweise sowohl für die Überbauten als auch für die Unterbauten erfolgreich umgesetzt. Für die Herstellung der Unterbauten wurden zwei verschiedene Ausführungsvarianten vorgestellt, die durch eine große werkseitige Vorfertigung die Bauzeiten deutlich verkürzen können. Mit beiden Pilotprojekten wurden jeweils immense Bauzeitenverkürzungen erzielt. Die Überbauten beider Bauwerke wurden mit vorgespannten Fertigteilen aus hochfestem Beton (C80/95) ausgeführt. Der Überbau der Münsterstraße diente hierbei mit moderaten Spannweiten von ca. 16,26 Metern der Erfahrungssammlung und als Test bei der Planung und Ausführung. Mit dem Ersatzneubau Amelsbürener Straße wurde anschließend das gesamte Potenzial dieser hochfesten vorgespannten Fertigteilträger ausgeschöpft, als eine Überführung einer sechsspurigen Autobahn ohne Zwischenunterstützung realisiert wurde. Das Gesamtgewicht dieser Fertigteil-Längsträger betrug dabei bis zu 110 Tonnen.

Durch den Einsatz von speziellen Hybridkappen aus Stahl oder Carbonbeton kann die Bauzeit nochmals reduziert werden. Die Hybridkappen können bereits vor dem Einhub der Randträger auf diesen montiert werden, wodurch zusätzliche Schalarbeiten entfallen. Auch Geländer und Lärmschutzwände können bereits vormontiert sein.

Welch großen Einfluss die Bauzeit auf die CO_2-Emission hat, konnte in verschiedenen Studien aufgezeigt werden. Hieraus geht eindeutig hervor: Je kürzer die Bauzeit von Ersatzbrückenbauwerken unter laufendem Verkehr, umso geringer die enormen CO_2-Belastungen aus Verkehrsstaus.

Der Originaltext wurde erstmals veröffentlicht in: Heinrich, J.; Maurer, R.; Reddemann, T.; Schnetgöke, T.; Yavuz, T.: Schnellbauweise für Brücken mit weitgespannten Fertigteilträgern aus C80/95. Beton- und Stahlbetonbau 118 (2023), Heft 11, S. 779 – 787, DOI: https://doi.org/10.1002/best.202300063

Autoren

Dipl.-Ing. Theo Reddemann
Geschäftsführer
Bauunternehm. Gebr. Echterhoff GmbH & CO. KG

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Till Schnetgöke
Prokurist
Bauunternehm. Gebr. Echterhoff GmbH & CO.

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Maurer
Geschäftsführender Gesellschafter
KHP Dortmund
König und Heunisch Planungsgesellschaft mbH

Dr.-Ing. Jens Heinrich (Korrespondenzautor)
Prokurist und Gesellschafter
KHP Dortmund
König und Heunisch Planungsgesellschaft mbH

Tamer Yavuz, M.Sc.
Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen (vormals KHP Dortmund)
Betriebssitz Gelsenkirchen

6.2.4 Zukunftsfähige Infrastruktur: Nutzen, was schon vorhanden ist

Dieser Aufsatz behandelt die Grundidee der Weiterverwendung vorhandener Gleisinfrastruktur für zukunftsfähige Mobilitätslösungen. Es ist wichtig zu beachten, dass die rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen für eine derartige neue Nutzung hier nicht erörtert werden können. Was technisch möglich ist, kann noch an der Zulassung scheitern, und das ist das Hauptproblem für die Etablierung eines individuellen Personennahverkehrs (IPNV) auf vorhandener Gleisinfrastruktur.

FOTO: PETER WEHOWSKY

Thorsten Försterling

Wiederbelebung stillgelegter oder mindergenutzter Bahnstrecken mit kleinen, leichten Schienenfahrzeugen

Die nachhaltige Nutzung bestehender Infrastrukturen ist ein entscheidender Faktor für eine zukunftsfähige Mobilität. Der Bau neuer Verkehrssysteme ist kostspielig, langwierig und stößt oft auf Widerstand in der Bevölkerung. Die Reaktivierung stillgelegter oder mindergenutzter Bahnstrecken bietet eine effiziente Möglichkeit, Mobilität im ländlichen Raum zu sichern, ohne zusätzliche Flächen zu versiegeln oder hohe Investitionen in neue Streckenführungen tätigen zu müssen. Kleine, leichte Schienenfahrzeuge wie zum Beispiel das MONOCAB können hier einen wichtigen Beitrag leisten, indem sie bestehende Infrastruktur ressourcenschonend und flexibel nutzen.

Abb. 01: Begatalbahn bei Dörentrup [Foto: Thorsten Försterling]

IPNV – Individueller Personennahverkehr als Zubringer zum ÖPNV

Ein wesentlicher Aspekt für eine erfolgreiche Reaktivierung von Bahnstrecken ist die Integration in bestehende Verkehrssysteme. Hier setzt der individuelle Personennahverkehr (IPNV) an: Ein bedarfsgerechter, digital gesteuerter Betrieb kleiner, autonom fahrender Einheiten ermöglicht flexible Lösungen. Der IPNV fungiert als Zubringer zu bestehenden ÖPNV-Angeboten. Dies führt zu einer neuen Nutzung vorhandener, vormals nicht mehr genutzter Infrastruktur und erhöht die Attraktivität des Gesamtsystems.

Das MONOCAB-System – Evolution statt Revolution

Das MONOCAB-System ist keine Entwicklung eines gänzlich neuen Verkehrsmittels, sondern eine gezielte Weiterentwicklung bestehender Lösungen im Eisenbahnsektor. Es besetzt eine Nische im bestehenden »Ökosystem Bahn«, indem es neue Anforderungen an Flexibilität, Digitalisierung und Individualität integriert. Die Grundidee entstand aus einem Ehrenamt[1] und dem damaligen Bestreben, eine bestehende Bahnstrecke zu erhalten. Die zentrale Frage für den Erhalt lautete: Wie kann eine Wiederbelebung so attraktiv gestaltet werden, dass sie langfristig genutzt wird und so eine Akzeptanz für die Finanzierung der Reaktivierung erreicht werden kann? Mit dem Ergebnis: Ein Angebot muss »so gut wie das eigene Auto« sein.

Das MONOCAB ist ein kleines, autonom fahrendes Fahrzeug, das sich auf bestehenden Schienen bewegt und dabei dank Kreiselstabilisierung andere Fahrzeuge auf demselben Gleis passieren kann. Diese Technologie könnte zusätzlich einen zeitlich getrennten Mischbetrieb mit anderen Bahnangeboten ermöglichen und eine hochflexible Nutzung von Strecken bieten, die für herkömmliche Bahnkonzepte unrentabel wären.

Technische Aspekte der Reaktivierung

Die mögliche Reaktivierung mit kleinen, leichten Schienenfahrzeugen führt zu anderen Betrachtungen der vorhandenen Gleisanlagen. Das geringere Gewicht der Fahrzeuge ermöglicht eine andere Bewertung von beispielsweise Brückenbauwerken. Für eine Inbetriebnahme mit dem MONOCAB-System müssen aufgrund des doppelten Spurkranzes der Räder Anpassungen an der Gleisanlage bei Weichen und Bahnübergängen vorgenommen werden, jedoch immer mit der Maßgabe, dass es weiterhin möglich ist, dass auch eine »Vollbahn« hier wieder fahren kann. Die technischen Lösungen hierzu werden aktuell im Forschungsvorhaben »MONOCAB Schlüsseltechnologien«[2] entwickelt.

1 Land der Ideen Management GmbH: Deutscher Mobilitätspreis. https://land-der-ideen.de/wettbewerbe/deutscher-mobilitaetspreis/preistraeger/open-innovation-2018/countrycab [abgerufen am: 23.04.2025]

2 Vgl. Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Institut für Energieforschung: MONOCAB-ST. https://www.ife-owl.de/forschung/projekte/monocab-st [abgerufen am: 22.04.2025]

Es zeigt sich bei der Bemühung für die Widerbelebung von Eisenbahnstrecken, dass es eine falsche Entscheidung war, Bahnhöfe und die dazugehörigen Flächen zu veräußern. Hier wieder die Gleise zu erreichen und Einstiegspunkte zu organisieren, ist aufwendig und verursacht Kosten. Zudem wird die Möglichkeit für den Transport von Kleingütern und Stückgut wegen der fehlenden Lagermöglichkeiten eingeschränkt bis unmöglich.

Bestehende Infrastruktur als Grundlage für Mobilität

Eine Bahnstrecke ist nie isoliert zu betrachten – sie ist stets in das räumliche Umfeld eingebunden, durch das sie führt. Die Menschen entlang der Strecke sind der eigentliche Nutzungsgrund für die Infrastruktur. Eine wertschätzende Betrachtung des ländlichen Raums und der dortigen Mobilitätsbedürfnisse ist essenziell für die Akzeptanz und den Erfolg einer Reaktivierung. Die bestehende Infrastruktur dient als »Haustechnik der Landschaft«, als Versorgungsnetz für Mobilität. Sie weiterzuentwickeln, anstatt sie aufzugeben oder durch völlig neue Systeme zu ersetzen, ist ökologisch und ökonomisch sinnvoll.

Schneller und effizienter als Neubauten

Der Neubau von Bahnstrecken ist aufgrund regulatorischer Hürden, Umweltauflagen und gesellschaftlicher Widerstände ein langwieriger Prozess. Die Reaktivierung vorhandener Infrastruktur hingegen kann deutlich schneller und kosteneffizienter erfolgen. Die vergangenen 189 Jahre Eisenbahngeschichte haben gezeigt, dass Neuentwicklungen von Verkehrssystemen, neben der Eisenbahn, in den meisten Fällen scheiterten. Erfolgreich war stets die Anpassung an die technischen Voraussetzungen für die Nutzung des Schienennetzes der Bahn.

Innovative Beispiele für die Nutzung bestehender Infrastruktur

Das MONOCAB zeigt, wie eine Erweiterung einer zukunftsfähigen Infrastruktur durch die Nutzung vorhandener Bahnstrecken gestaltet werden kann. Es eröffnet neue Perspektiven für den ländlichen Raum, fördert Mobilitätsgerechtigkeit und bietet eine kosteneffiziente Alternative zur klassischen Bahnreaktivierung. So wird eine Evolution des bestehenden Systems ermöglicht, ohne dass eine revolutionäre Neuerfindung notwendig ist.

Ein weiteres Beispiel für die innovative Nutzung bestehender Infrastrukturen ist das Projekt »RegioTram«[3] in Kassel. Hier wurden Straßenbahnen und Züge kombiniert, um eine durchgehende Verbindung zwischen Stadt und Umland zu schaffen. Dieses Konzept zeigt, dass durch die intelligente Integration vorhandener Infrastrukturen effiziente und attraktive Mobilitätslösungen entstehen können.

3 Wikipedia Die freie Enzyklopädie: RegioTram Kassel. https://de.wikipedia.org/wiki/RegioTram_Kassel [abgerufen am: 22.04.2025]

Soziale Akzeptanz als Schlüssel für nachhaltige Infrastruktur

Die nachhaltige Nutzung bestehender Infrastrukturen erfordert nicht nur ökonomische und ökologische Überlegungen, sondern vor allem die soziale Akzeptanz. Eine zukunftsfähige Infrastruktur muss sozial erwünscht und akzeptiert sein. Die Menschen entlang der Bahnstrecken müssen die Vorteile und den Nutzen der Reaktivierung erkennen und unterstützen. Soziale Akzeptanz kann durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit, Bürgerbeteiligung, transparente Informationspolitik und ein Angebot, das den Bedürfnissen der Anwohner entspricht, erreicht werden. Die Weiterentwicklung der Infrastruktur muss die sozialen Belange der Bevölkerung berücksichtigen, um langfristig erfolgreich zu sein.

Eisenbahninfrastruktur als soziale Intervention

Eisenbahninfrastruktur ist mehr als nur ein technisches Bauwerk – sie ist Teil des sozialen Raums und kann als soziale Intervention verstanden werden. Infrastrukturprojekte wecken oft starke Emotionen und haben tiefgreifende Auswirkungen auf die Gemeinschaften, durch die sie verlaufen. Die Weiterentwicklung bestehender Infrastruktur bedeutet auch, auf die Bedürfnisse und Anliegen der Menschen einzugehen und die Lebensqualität in den betroffenen Regionen zu verbessern. Die Wiederbelebung stillgelegter Bahnstrecken hat positive Effekte auf die Entwicklung ländlicher Räume, wie eine Studie des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)[4] zeigt. Die Reaktivierung von Strecken trägt dazu bei, Mobilität zu verbessern, Regionen aufzuwerten und sie als Wohnort, Unternehmensstandort und touristisches Ziel attraktiver zu machen. Reaktivierungsprojekte wirken sich positiv auf die Bevölkerungsentwicklung aus und entlasten die Wohnungsmärkte in Großstädten.

Mobilitätsinfrastruktur als Pfeiler der Demokratie

Eine funktionierende Mobilitätsinfrastruktur ist ein wesentlicher Pfeiler für die Demokratie. Sie ermöglicht es den Menschen, am gesellschaftlichen Leben teilzuhaben, ihre sozialen und wirtschaftlichen Chancen wahrzunehmen und politische Prozesse aktiv mitzugestalten. Durch die Reaktivierung stillgelegter Bahnstrecken und die Nutzung vorhandener Infrastruktur können ländliche Gebiete besser angebunden und die soziale Gerechtigkeit gefördert werden. Mobilität ist ein Schlüssel zur Teilhabe und ermöglicht den Zugang zu Bildung, Arbeit, Kultur und Gesundheit.

4 Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg.): Räumliche Effekte reaktivierter Schienenstrecken im ländlichen Raum. Vgl. https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2022/bbsr-online-27-2022.html [abgerufen am: 22.04.2025]

Zukunftsfähige Infrastruktur als Weiterentwicklung

Zukunftsfähige Infrastruktur bedeutet, das Vorhandene weiterzuentwickeln, angepasst an die heutigen Bedürfnisse und die betrieblichen Möglichkeiten der modernen Technologien. Der Schienenverkehr kann flexibel auf die wachsende Nachfrage reagieren und sich an veränderte Mobilitätsmuster anpassen. Wenn die Nachfrage so stark steigt, dass sie mit einem IPNV-Angebot nicht mehr bedient werden kann, kommt die Vollbahn wieder zum Einsatz. Eine zukunftsfähige Infrastruktur bleibt offen für Entwicklungen und passt sich dynamisch an.

IPNV und Akzeptanz für autonome Verkehre

IPNV-Angebote wie das MONOCAB-System tragen zur Akzeptanz für autonome Verkehre bei. Noch fehlen in der Gesellschaft die Erfahrungswerte für die Nutzung, und es zeigt sich, dass im Gegensatz zu früher die Menschen der Technik vertrauen. Allerdings ist das Unbehagen, wenn ein unbekannter Fahrgast zusteigt und die Kabine mit einem teilt, heute noch der Hauptgrund für die Ablehnung autonomer Angebote in einem Raum ohne soziale Kontrolle, anders als beispielsweise bei Angeboten in stark frequentierten Standquartieren. Im Reallabor ländlicher Raum kann gezeigt werden, dass gerade zu Beginn die Möglichkeit, autonome Angebote auch allein zu nutzen, zur Etablierung dieser neuen Mobilitätsform beitragen kann. Autonome Angebote im ländlichen Raum sind eine soziale Intervention zur Förderung der sozialen Interaktion entlang von Wegen im ländlichen Raum. Sie haben das Ziel, dass Menschen in Zukunft gemeinsam IPNV-Angebote nutzen, statt allein im Auto zu sitzen.

Die Integration neuer Verkehrskonzepte wie das MONOCAB-System unterstützt nicht nur den ökologischen und ökonomischen Wandel, sondern trägt auch zur Stärkung der sozialen Kohäsion und der regionalen Identität bei. Indem die Mobilität verbessert wird, können Menschen einfacher an gesellschaftlichen Aktivitäten teilnehmen und ihre Lebensqualität erhöhen. Dies fördert nicht nur die individuelle Freiheit, sondern stärkt auch das Gemeinschaftsgefühl und die demokratischen Strukturen in den ländlichen Räumen.

Neue Mobilität auf alten Gleisen

Die Nutzung bestehender Infrastrukturen bietet zahlreiche Vorteile für eine nachhaltige und zukunftsfähige Mobilität. Durch die Reaktivierung stillgelegter oder mindergenutzter Bahnstrecken können ländliche Gebiete besser an das Verkehrssystem angebunden werden, ohne dass hohe Kosten für den Bau neuer Strecken entstehen. Konzepte wie das MONOCAB und das RegioTram-Projekt zeigen, wie innovative Ansätze zur Nutzung vorhandener Infrastrukturen beitragen können, den Verkehr ökologisch und ökonomisch sinnvoll zu gestalten und gleichzeitig die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs zu erhöhen. Dabei ist die soziale Akzeptanz der Schlüssel zum Erfolg – nur wenn die Menschen

die neuen Mobilitätsangebote annehmen und unterstützen, kann eine nachhaltige und zukunftsfähige Infrastruktur entstehen. Es ist essenziell, dass das Bahnsystem offen für neue Ideen bleibt und die vorhandene Gleisinfrastruktur optimal genutzt wird, um flexibel auf wachsende Nachfrage reagieren zu können. Eine gute Mobilitätsinfrastruktur ist daher nicht nur eine technische Notwendigkeit, sondern auch eine soziale und demokratische Errungenschaft.

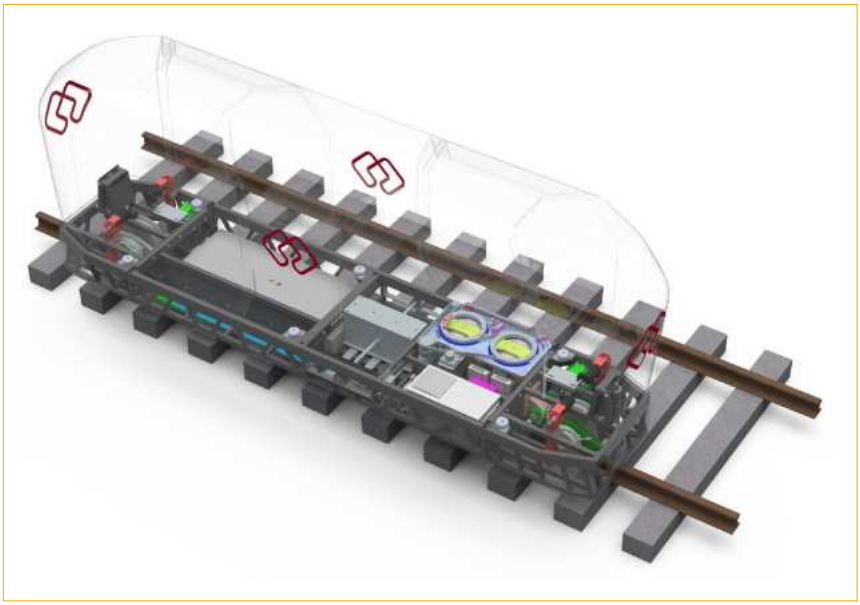


Abb. 02: Das MONOCAB ist eine kreiselstabilisierte Einschienenbahn: Selbstfahrende Kabinen für vier bis sechs Passagiere fahren in beiden Richtungen auf einem Gleis. [Quelle: MONOCAB – TH OWL, M.Sc. Moritz Knitter]

Thorsten Försterling ist Diplom-Ingenieur und studierte Innenarchitektur an der Fachhochschule Lippe (heute TH OWL) sowie Baudenkmalpflege an der Villa Salzburg, einem An-Institut der TU Dresden. Er arbeitet für das Büro für Soziale Architektur – alberts.architekten BDA und ist im Projekt MONOCAB für Marketing und Öffentlichkeitsarbeit zuständig. Das Konzept MONOCAB wurde 2018 mit dem Deutschen Mobilitätspreis in der Kategorie Open Innovation ausgezeichnet. Försterling ist Ansprechpartner für das Forschungsvorhaben MONOCAB OWL.

6.3 Quartiere und Städte

Der (Struktur-)Wandel von Städten und Quartieren wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Dazu zählen unter anderem technologische Innovationen sowie die Entwicklung der kommunalen Infrastrukturen und räumlichen Qualitäten. Die folgenden Beiträge zeigen aktuelle Beispiele für städtische Transformationen durch Revitalisierung bestehender Flächen, nachhaltigen Umbau durch Nachverdichtung und innovative Maßnahmen in der Stadtplanung, beispielsweise für die Anpassung an den Klimawandel.

6.3.1 Von der Kaserne zum Baugebiet – ein Situationsbericht

Romina Gutzmer

Geschichte des Geländes

Das Gebiet um die Freiherr-von-Fritsch-Kaserne (FFK) in Hannover Bothfeld wurde mehr als 100 Jahre militärisch genutzt. Auf der Vahrenwalder Heide wurde bereits um 1850 ein Truppenübungsplatz errichtet, ab 1909 wurde ein Teil des Platzes als Militärflugplatz genutzt. Nach 1933 entstanden um den Flugplatz herum eine Reihe von Militäranlagen. Das Gelände der FFK war Teil dieses großen ehemaligen militärischen Übungs- und Kasernengeländes im Norden von Hannover. In den Jahren 1936 bis 1938 wurde auf dem Gelände eine Artilleriekaserne erbaut und während der Kriegsjahre weiter ausgebaut. Das umgebende Übungsgelände wurde zu Ausbildungszwecken genutzt. Beginnend mit den ersten Luftangriffen auf Hannover 1940 wurden das Übungsgelände und die Kaserne mehrfach bombardiert und viele Gebäude infolge der Luftangriffe zerstört. Im Jahr 1958 übernahm die Bundeswehr die mittlerweile nach dem General Freiherr von Fritsch benannte Kaserne und restrukturierte insbesondere im Osten der Liegenschaft einige Gebäude. In den Folgejahren wurden auf dem Standort sukzessive zahlreiche Gebäude und andere Bauwerke (zum Beispiel Sportanlagen, Schießstand, Werk- und Wartungshallen) sowie die zugehörige Verkehrsinfrastruktur und das Ver- und Entsorgungsnetz errichtet. In diesem Zusammenhang erfolgte auch eine Nivellierung des westlichen Liegenschaftsbereichs durch Auffüllungen. Der Kasernenbetrieb wurde im Jahr 2000 eingestellt. Die Fläche wurde bis 2020 für Übungen von Sondereinsatzkommandos der Polizei sowie von Feuerwehr und THW genutzt. Aufgrund der langjährigen militärischen Nutzung des gesamten Umfelds war neben den Kriegseinwirkungen (Bombenabwürfe, Beschuss, Vernichtung, Vergrabung von Kampfmitteln etc.) auch mit Kampfmittelbelastungen aus dem Übungsbetrieb (Verlust etc.) und auch aus der Demilitarisierung (Bergung, Sprengung etc.) zu rechnen. Die

Gebäude wurden 2020 im Auftrag der Niedersächsischen Landgesellschaft mbH (NLG) bis zur Geländeoberkante abgerissen, um das Gelände für die Baufeldfreimachung vorzubereiten. Der Rückbau war auch deswegen erforderlich, weil durch Vandalismus und Feuchteschäden die Bausubstanz nicht mehr erhalten werden konnte.

Abb. 01: Luftbild, April 2017 [Foto: NLG]

Planung und zukünftige Nutzung des Geländes

Die Niedersächsische Landgesellschaft mbH (NLG) hat 2016 das Areal erworben. Dort soll das moderne, nachhaltige und lebenswerte Quartier Kastanienpark entstehen. Die Fläche ist fast 270.000 Quadratmeter groß und es sollen ca. 750 Wohneinheiten geschaffen werden. In dem neuen Stadtquartier können bis zu 2.000 Menschen in den unterschiedlichsten Gebäudeformen, vom Einfamilien-, Doppel- und Reihenhaus bis hin zu Stadtvillen und Mehrfamilienhäusern, wohnen, leben und arbeiten. Zudem werden sowohl Miet- als auch Eigentumswohnungen entstehen.

Die Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) hat der Niedersächsischen Landgesellschaft mbH (NLG) im Mai 2022 im Rahmen der Immobilienmesse Real Estate Arena in Hannover das DGNB-Vorzertifikat in Gold für das »Baugebiet Wohnen am Kastanienpark« verliehen. NLG-Geschäftsführer Christopher Toben: »Im Kastanienpark sollen die Menschen nicht nur wohnen, sondern leben. Unsere Vision ist es, dass die

zukünftigen Bewohner in einem nachhaltig gestalteten Wohnumfeld Raum für soziale Begegnungen und vielfältige kulturelle und sportliche Angebote vorfinden.«

Die Revitalisierung einer über Jahrzehnte genutzten militärischen Liegenschaft hin zu einem attraktiven neuen Stadtquartier ist eine gewaltige Aufgabe. Themen wie Natur- und Artenschutz, Gebäudeabbruch, Kampfmittelräumung, Bodenreinigung und Altlastensanierung neben den üblichen Prozessen der Bauleit- und Erschließungsplanung müssen sorgfältig berücksichtigt werden. Der Kastanienpark vereint verschiedene Nachhaltigkeitsaspekte wie die Minimierung des CO_2-Fußabdrucks, die Förderung der Biodiversität, ein effektives Regenwassermanagement und geringe Versiegelungsgrade in den Freiflächen.

Das auf dem Gelände entstehende Wohngebiet wird vielfältig, modern und zukunftsorientiert gestaltet. Bei der Planung und Gestaltung gelten vier Qualitätsziele:

1. Architektur: ruhige, homogene Bebauungsstruktur,
2. Nachbarschaft: Vernetzung nach außen und innen,
3. Freiraum: lebendige Außenräume mit hoher Aufenthaltsqualität,
4. Nachhaltigkeit: geringer CO_2-Fußabdruck, hohe Biodiversität, geringer Versiegelungsgrad.

Das Gebiet wird in vier nahezu gleich große Viertel unterteilt, die durch großzügige Grün- und Freiräume verbunden sind. Die bauliche Gestaltung des Kastanienparks erfolgt in diesen vier Quartieren, die durch Diversität in ihrer Gestaltung unterschieden werden können. Ein großzügiger zentraler Park mit einer Fläche von ca. 3 Hektar schafft lebendige Außenräume, bringt Generationen zusammen und sorgt für eine hohe Aufenthaltsqualität.

Diese Freiräume entlang einer zentralen Hauptachse und des Parks schaffen ein »grünes Kreuz«, das dem Gebiet seine Identität verleiht. Ein integriertes Entwässerungssystem mit überwiegender Versickerung des anfallenden Oberflächenwassers ist Teil der Freiraumgestaltung.

An der östlichen Grenze des Baufelds entstehen gewerbliche Flächen und ein Nahversorger, während das restliche Gelände für Wohnen vorgesehen ist. Die Bebauung besteht aus zwei- bis viergeschossigen Baukörpern, die sich zu den Grenzen des Gebiets hin an die Umgebung anpassen. An der östlichen Grenze, der Ada-Lessing-Straße, sollen gewerblich genutzte Gebäude entstehen, während Einfamilienhäuser an der westlichen Grenze einen Übergang zur bestehenden Bebauung bilden.

Die Niedersächsische Landgesellschaft mbH (NLG) hat sich in Abstimmung mit der Landeshauptstadt Hannover verpflichtet, zwei neue Kindertagesstätten auf den vorgesehenen Bauflächen zu errichten. Diese Einrichtungen werden sukzessive mit Fertigstellung der Wohneinheiten bereitgestellt. Für das Quartier sind die beiden Kindertagesstätten-Standorte an der nordöstlichen und südöstlichen Grenze eingeplant. Um den Bedarf für die 750 Wohneinheiten im Kastanienpark zu decken, sind zudem 99 Kindergartenplätze für Kinder über 3 Jahren und 38 Krippenplätze für Kinder unter 3 Jahren erforderlich.

Neben den mittlerweile üblichen Maßnahmen zur Nachhaltigkeit, wie etwa die Verwendung von Recyclingmaterialien, Regenwasserversickerung, Nutzung regenerativer Energien und Elektromobilität, soll auch der CO_2-Fußabdruck der geplanten Gebäude eine wichtige Rolle spielen. Bei der Vergabe der Baugrundstücke werden Interessenten, die etwa ein Gebäude überwiegend aus Holz bauen möchten, entsprechend einer Bewertungsmatrix bevorzugt.

Abb. 02: Planungsgrundlage – Masterplan [Quelle: NLG]

Vorbereitende Baumaßnahmen – Baufeldfreimachung
Damit die Bauarbeiten beginnen können, muss zunächst eine sogenannte Baufeldfreimachung erfolgen. Die erforderlichen Arbeiten zu Bodensanierung und Kampfmittelräumung wurden europaweit ausgeschrieben.

Im Rahmen der Baufeldfreimachung erfolgt ein gut durchdachtes Bodenmanagement verbunden mit der Kampfmittelfreigabe der Teilflächen. Ein nachhaltiges Bodenmanagement berücksichtigt sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte. Mittels einer Volumenräumung wurde zu Beginn der Maßnahme der Boden im Bereich der Ada-Lessing-Straße abgetragen. Das abgetragene Material wird dann zu einer Brech-/Sieban-lage gefahren.

Sämtliche Abbrucharbeiten müssen aufgrund des bestehenden Kampfmittelverdachts mittels erschütterungsarmer Verfahren durchgeführt werden. Stemmarbeiten an erdberührten Bauteilen sind grundsätzlich nicht zugelassen, an aufgehenden Bauteilen nur nach vorheriger Freigabe durch den Kampfmittelräumer.

Insgesamt müssen gemäß Gutachten der Ingenieurgesellschaft Mull & Partner auf dem Gelände rund 360.000 Kubikmeter Boden mithilfe von bis zu drei Siebanlagen zerkleinert, durchgesiebt und zur Beprobung aufgehaldet werden. Im Anschluss wird das gesiebte und deklarierte Material je nach Untersuchungsergebnis auf dem Gelände wieder eingebaut. Die Bauzeit für die Baufeldfreimachung beträgt ca. 60 Wochen und soll Ende 2025 abgeschlossen werden.

Der Baustellenbereich gliedert sich insgesamt in sieben Abschnitte, in denen die verschiedenen Maßnahmen der Abbruch- und Rückbauarbeiten durchgeführt werden.
Im Einzelnen sind dies der Rückbau von Bausubstanz und Anlagen unter der aktuellen Geländeoberkante (zum Beispiel Bunker, Keller, Leitungen, Abscheider, Tanks) sowie der Rückbau vorhandener Oberflächenbefestigungen (Straßen, Wege, Plätze).
Das aufbereitete Bodenmaterial wird im Bereich der Bauabschnitte wieder eingebaut.
Aus den Rückbauarbeiten wird Recyclingbeton hergestellt, der im Bereich der geplanten Erschließungsstraßen wieder eingebaut wird. Derzeit können so ca. 90 Prozent der Bodenmassen wieder eingebaut werden. Nicht wiederverwendbare belastete Abfälle werden entsorgt.

Vor Beginn der Baufeldfreimachung wurde nach erneuter Luftbildauswertung ein Blindgängerverdachtspunkt lokalisiert und anschließend geöffnet. Am 28. September 2024 wurden rund 8.700 Personen im Umkreis von 1.000 Metern um das Kasernengelände evakuiert. Die 250 Kilogramm schwere Fliegerbombe wurde anschließend durch den Kampfmittelbeseitigungsdienst erfolgreich entschärft.

Abb. 03: Entschärfte Fliegerbombe [Quelle: Feuerwehr Hannover]

Baubeginn und Zeitplanung

Der gesamte Projektverlauf lässt sich für eine bessere Übersicht in Teilprojekte unterteilen. Zunächst erfolgt die Baufeldfreimachung, die die Bodensanierung und Kampfmittelräumung beinhaltet, darauf folgt die Erschließung und schließlich die Erstellung der Freianlagen. Während der Baufeldfreimachung findet parallel die Vermarktung der Baufelder an Investoren statt. Die Erschließung erfolgt von Osten nach Westen. Sobald die Erschließung östlich des geplanten Grünzugs abgeschlossen ist, kann dort seitens der Investoren mit den Hochbauarbeiten begonnen werden.

Die Erschließungsmaßnahmen umfassen den Kanalbau, die Baustraßenerstellung und die Verlegung der Versorgungleitungen. Die Erschließung soll voraussichtlich im zweiten Quartal 2026 beginnen und endet voraussichtlich Ende 2027. Die Herstellung des Grünzugs ist für Mitte 2029 bis Ende 2030 geplant. Anschließend beginnt der Endausbau der öffentlichen Flächen Mitte 2030 und erstreckt sich über ca. zwei Jahre, sodass er voraussichtlich Mitte 2032 abgeschlossen werden kann.

Romina Gutzmer, B.Eng., ist technische Projektmitarbeiterin bei der Niedersächsischen Landgesellschaft mbH (NLG). Sie absolvierte bis März 2025 ein Duales Studium an der Internationalen Hochschule Hannover mit dem Praxispartner NLG. Aktuell arbeitet sie gemeinsam mit Projektleiter Matthias Mueller am Kastanienpark in Hannover, einem nachhaltigen Stadtquartier.

6.3.2 Leitfaden für die Entwicklung nachhaltiger Gewerbegebiete

FOTO: MARCEL DOMEIER

Laura Kettler

FOTO: MARCEL DOMEIER

Robert Marlow

Gewerbe- und Industriegebiete nehmen in Deutschland fast 20 Prozent der bebauten Fläche ein.[1] 2019 zählte die Bundesregierung 62.074 Gewerbegebiete in Deutschland. An diesen Standorten werden große Mengen an Energie und Ressourcen verbraucht, um Produkte und Dienstleistungen herzustellen. Gleichzeitig entstehen – neben den gewünschten Produkten und Dienstleistungen – Abgase, Abfälle, Abwasser, Verkehr und damit hohe CO_2-Emissionen, die die Umwelt belasten und Auswirkungen auf die Klimaveränderungen haben. Als Folge entstehen vermehrt Hitze, Sturm, Starkregen und Überschwemmungen, die auch in Gewerbegebieten große Schäden anrichten können.

Bei der Planung von Gewerbegebieten gibt es seit Jahrzehnten eine Tendenz zu Neuentwicklungen am Rande der Ballungsräume. Diese sind günstig zu erschließen und lassen sich durch eine flexible Gestaltung der Grundstücksgrößen schnell und attraktiv vermarkten – mit der Folge, dass immer mehr Flächen beansprucht werden. Bei diesen Gewerbegebieten werden die Flächenpotenziale oft nur unzureichend ausgenutzt. Sie sind teilweise sogar geprägt von Gebäudeleerstand, Brachflächen, Minder- oder Fehlnutzungen, Modernisierungsrückständen sowie Mängeln in der Freiraumgestaltung und Verkehrserschließung. Durch ihre isolierte Lage am Stadtrand lassen sie sich zudem funktional nur schlecht einbinden. Auch bestehende Gewerbegebiete in Städten stoßen an ihre Grenzen – Emissionen, Platzmangel und gesteigerte Sensibilität für den Klimawandel rufen Konfliktpotenzial hervor, der hohe Versiegelungsgrad fördert die Entstehung von Hitzeinseln und Überschwemmungen.

1 Statistisches Bundesamt: Fläche für Siedlung nach Nutzungsarten in Deutschland. Vgl. www.deystatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/siedlungsflaeche.html [abgerufen am: 15.04.2025]

Insgesamt müssen die Entwicklungspotenziale von bestehenden Gewerbegebieten mehr in den Fokus der Steuerung gerückt werden. Vielfach fehlen hier jedoch die notwendigen finanziellen und personellen Ressourcen für den Zugriff auf Flächen und die Umsetzung von nachhaltigen und klimaresilienten Maßnahmen. Der im Auftrag der Niedersächsischen Landgesellschaft (NLG) entwickelte Leitfaden dient als Orientierungshilfe und Checkliste, um die Planung und Entwicklung von Gewerbegebieten in Niedersachsen nachhaltig und zukunftsorientiert zu gestalten. Ziel ist es, einen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele zu leisten und Gewerbegebiete so zu planen, dass ökologische, wirtschaftliche und soziale Anforderungen in Einklang gebracht werden.

1 Maßnahmen für zukunftsfähige Gewerbegebiete

Nachhaltige Gewerbegebiete können durch eine Vielzahl von Maßnahmen umgesetzt werden. Eine zentrale Rolle spielt die Förderung der Bestandsentwicklung, um bestehende Flächen zu revitalisieren und sinnvoll zu nutzen. Eine effizientere Flächennutzung, etwa durch Verdichtung und Multifunktionalität, trägt dazu bei, den Flächenverbrauch zu reduzieren. Die Verbesserung des Arbeitsplatzumfelds durch Grünflächen, soziale Infrastruktur und moderne Arbeitsbedingungen steigert einerseits die Attraktivität und fördert andererseits das Mikroklima im Gewerbegebiet. Klimaverträgliche Mobilitätskonzepte, wie der Ausbau von ÖPNV und Fahrradwegen, verringern Verkehrsbelastungen und tragen zur Reduzierung der Emissionen bei. Die Umsetzung nachhaltiger Gebäude wird durch die effiziente Nutzung von Fläche, Materialien und Energie erzielt – durch kompakte Bauformen, umweltfreundliche Baustoffe und den gezielten Einsatz natürlicher Ressourcen. Um eine höchstmögliche Qualität von Gewerbegebieten zu erreichen, sollte deren Entwicklung als interdisziplinärer und partizipativer Prozess gestaltet werden, bei dem alle relevanten Akteure frühzeitig eingebunden sind. Durch die gemeinsame Planung mit Unternehmen, Eigentümern, Verwaltung und Öffentlichkeit entstehen nachhaltige, passgenaue Lösungen – oft mit positiven Effekten auf Kosten und Betrieb.

1.1 Effiziente Flächenentwicklung

Ziel ist es, die »Fläche« als Ressource zu begreifen, eine geringe Flächeninanspruchnahme mit effizienter Nutzung zu erzielen, Gewerbegebiete in bestehende Landschaftsstrukturen einzubinden und so die kleinstmögliche Versiegelung der Flächen zu erreichen. Hierbei sollen auch die Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Erzeugung von Nahrungsmitteln und naturschutzrechtliche Fragen berücksichtigt werden.

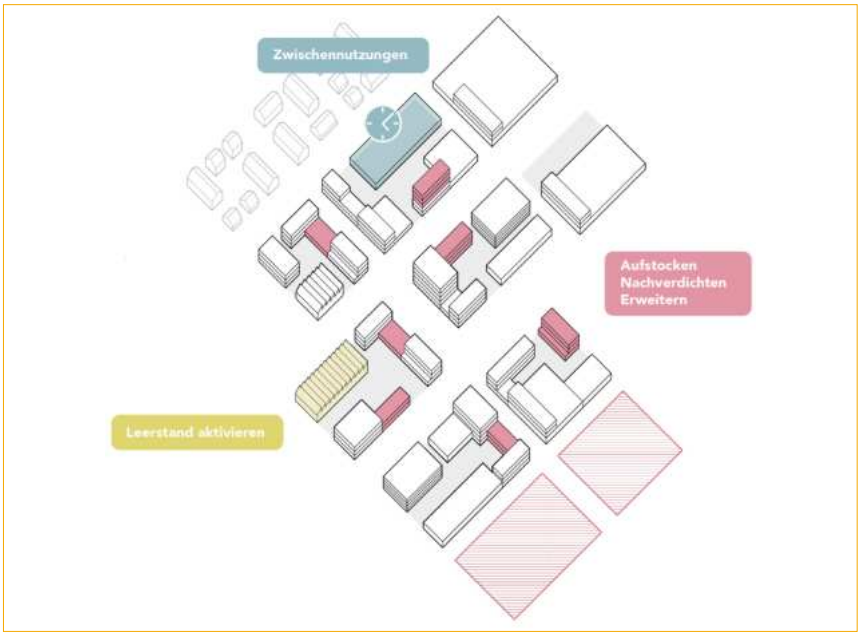


Abb. 01: Maßnahmen zur effizienten Flächenentwicklung [Quelle: MOSAIK/studiomauer]

- **Flächen aktivieren:** Brachflächen und leer stehende Immobilien sollen durch gezielte Ansprache der Eigentümer wieder nutzbar gemacht werden. Zwischennutzungen können kreative Impulse setzen und neue Potenziale aufzeigen.
- **Gebäudebestand sanieren:** Bestehende Gebäude sollen modernisiert oder an aktuelle Anforderungen angepasst werden. Dabei helfen zum Beispiel 3D-Visualisierungen und neue Vermarktungsstrategien.
- **Nachverdichten/Erweitern/Aufstocken:** Durch Nachverdichtung, Aufstockung und Erweiterung bestehender Gebäude kann zusätzlicher Raum geschaffen werden – das ist ressourcenschonender als Neubau.
- **Neuplanungen flächensparend gestalten:** Kompakte Bauweise, Flächen-Sharing und gemischte Nutzungen reduzieren den Flächenverbrauch. Agrarstruktur und Naturschutz müssen bei Ausgleichsmaßnahmen mitgedacht werden.
- **Landwirtschaftliche Flächen schützen:** Besonders fruchtbare oder gut erschlossene Agrarflächen sollen nicht für neue Gewerbegebiete genutzt werden. Eingriffe sind durch Ersatzflächen oder agrarökologische Maßnahmen auszugleichen.

1.2 Freiräume und Biodiversität

Die Freiräume in Gewerbegebieten erfüllen vielfältige Funktionen. Sie stabilisieren den Wasserhaushalt, fördern die Biodiversität, verbessern das lokale Mikroklima und schaffen Aufenthaltsqualitäten für Arbeitnehmer, Anwohner sowie Besucher.

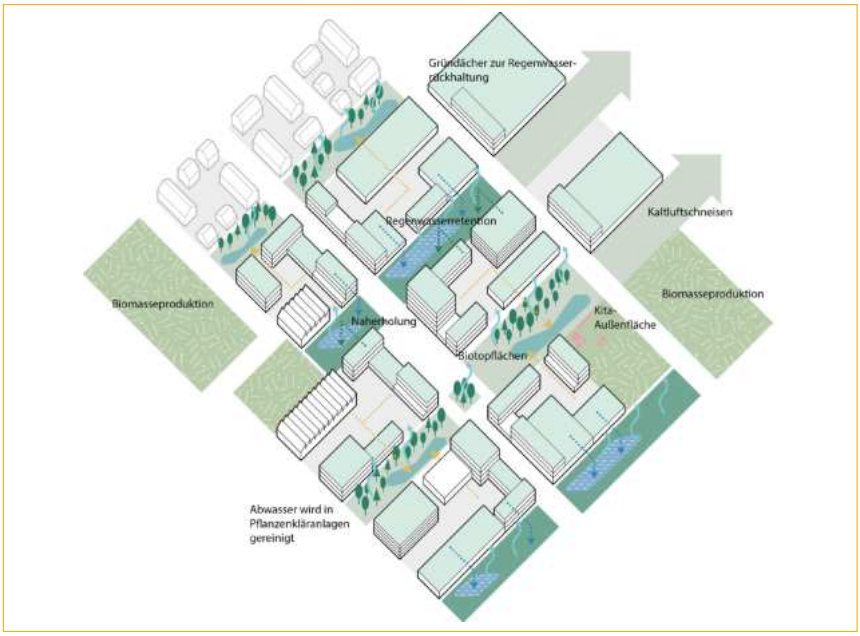


Abb. 02: Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität und Freiraumqualität [Quelle: MOSAIK/ studiomauer]

- **Wasserkreisläufe etablieren:** Regenwasser sollte lokal über Gründächer, Rückhaltebecken und Retentionsmulden versickert werden, um Überflutungen vorzubeugen. Grauwasser kann in Pflanzenkläranlagen gereinigt und wiederverwendet werden. Gemeinsame Löschwasserbevorratung spart Ressourcen und erhöht die Versorgungssicherheit.
- **Biodiversität fördern:** Durch naturnahe Gestaltung (zum Beispiel Blühflächen, Feuchtbiotope, Trockenmauern, Nisthilfen) entstehen Lebensräume für Tiere und Pflanzen. Auch wenig genutzte Flächen wie Verkehrsinseln oder Parkplätze können ökologisch aufgewertet werden.
- **Mikroklima verbessern:** Grünflächen und Wasserflächen kühlen durch Verschattung und Verdunstung, mindern den Hitzeeffekt und verbessern die Luftqualität durch CO_2-Bindung und Schadstofffilterung. Kaltluftschneisen sorgen für bessere Durchlüftung.
- **Aufenthaltsqualität steigern:** Attraktive, begrünte Aufenthaltsbereiche fördern die Erholung und Begegnung. Sie stärken das soziale Miteinander und steigern die Standortattraktivität. Fachliche Orientierung bietet der Freiflächengestaltungsplan des BDLA.[2]

2 Bund deutscher Landschaftsarchitekt:innen (BDLA): Der qualifizierte Freiflächengestaltungsplan. Vgl. http://www.bdla.de/de/dokumente/bundesverband/freiraumplanung-und-staedtebau/1407-bdla-flyer-qualifizierter-freiflaechengestaltungsplan-2022/file [abgerufen am: 15.04.2025]

1.3 Umweltfreundliche Mobilität

Eine umweltfreundliche Mobilität ist ein entscheidender Faktor für die nachhaltige Entwicklung von Gewerbegebieten. Eine bessere Anbindung an den öffentlichen Nahverkehr sowie finanzielle Anreize fördern den Umstieg auf nachhaltige Verkehrsmittel. Ergänzend dazu sorgen Fahrrad- und E-Bike-Verleihsysteme, sichere Fuß- und Radwege sowie Carsharing-Angebote für attraktive Alternativen zum motorisierten Individualverkehr. Die Reduzierung von Verkehrsflächen durch Quartiersgaragen und entsiegelte Stellplätze steigern die Aufenthaltsqualität und schützen gleichzeitig das Klima. Weiterhin tragen effiziente Logistikkonzepte, die Vermeidung von Leerfahrten sowie Pendlerbörsen zur Reduzierung von Verkehr und Emissionen bei.

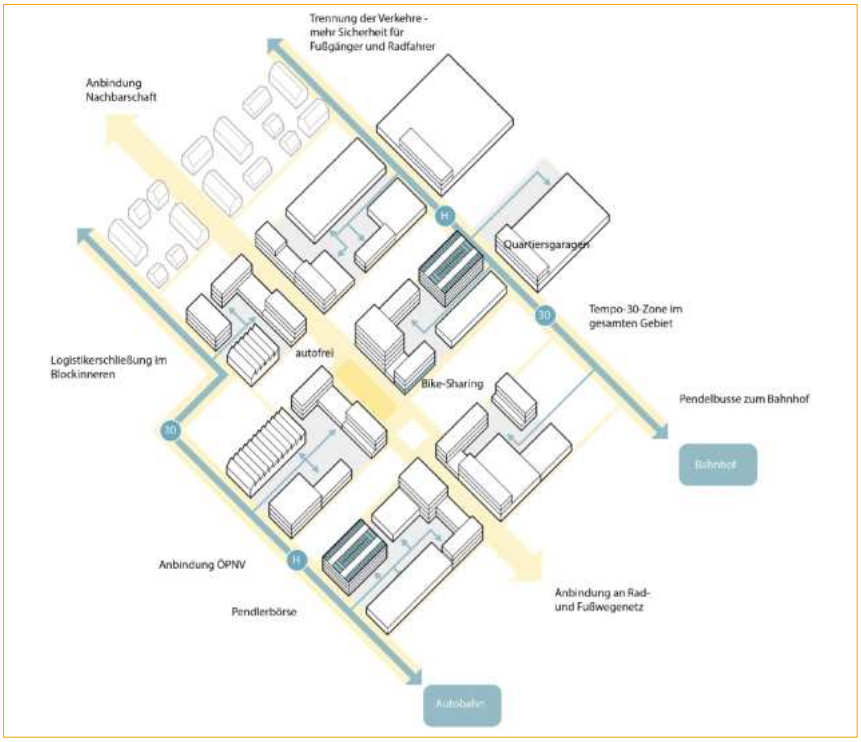


Abb. 03: Maßnahmen für nachhaltiges Mobilitätsverhalten [Quelle: MOSAIK/studiomauer]

- **Bessere Anbindung an den ÖPNV:** Taktverbesserungen, Pendelbusse und Anreize wie Job-Cards fördern die Nutzung des öffentlichen Nahverkehrs und verringern den Individualverkehr.
- **Nachhaltige Mobilitätsangebote ausbauen:** Bike- und Carsharing, E-Ladestationen sowie sichere Fuß- und Radwege stärken eine umweltfreundliche Mobilität. Angebote wie Jobräder und E-Bike-Verleih erhöhen die Attraktivität klimafreundlicher Fortbewegung.
- **Verkehrsflächen reduzieren und entsiegeln:** Quartiersgaragen und gemeinsame Anlieferzonen verringern den Stellplatzbedarf. Entsiegelte Flächen mit versickerungsfähigem Belag sowie begrünte Gebäude tragen zur ökologischen Aufwertung bei.
- **Verkehr und Emissionen senken:** Fahrgemeinschaften, emissionsarme Lieferlogistik und Tempo-Reduzierungen senken den CO_2-Ausstoß, verringern Lärm und Feinstaub. Eine Pendlerbörse fördert gemeinschaftlich organisierte Fahrten und spart Wege.

1.4 Ressourceneffizientes Bauen

Bauen verbraucht vielfältige Ressourcen wie Fläche, Energie und Materialien. Die effiziente Nutzung der endlichen Ressourcen und diese in Kreisläufen zu denken und zu konzipieren, stellt einen wichtigen Baustein für die Entwicklung von nachhaltigen Gewerbegebieten dar. Bei der Planung und beim Bau von Gebäuden sollte daher grundsätzlich eine Nachhaltigkeitszertifizierung angestrebt werden.

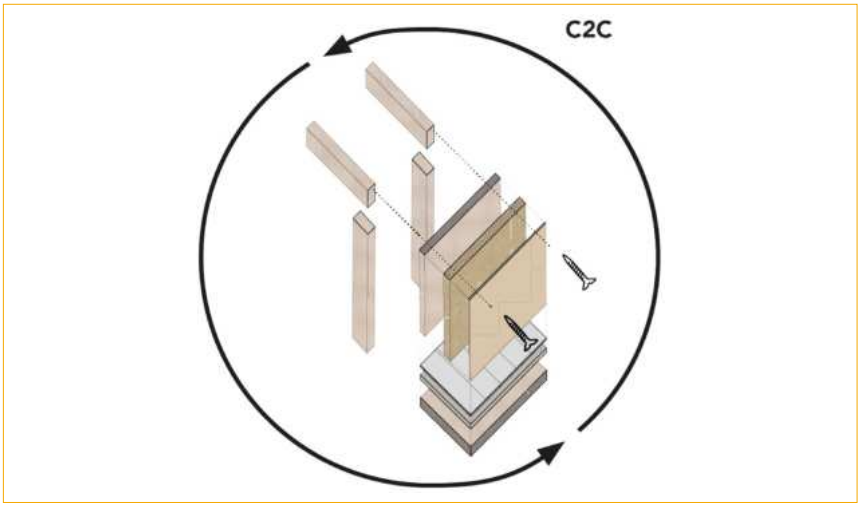


Abb. 04: Rückbaubare Konstruktionen und Bauweisen nach dem Cradle-to-Cradle-Prinzip [Quelle: MOSAIK/studiomauer]

- **Flächeneffizient bauen:** Kompakte, mehrgeschossige Gebäude reduzieren den Flächenverbrauch. Durch gemeinschaftlich genutzte Räume wie Co-Working-Spaces, Lager oder Kantinen lässt sich der Bedarf weiter senken. Dachflächen sollten vielseitig genutzt werden – etwa für Photovoltaik, Begrünung oder zusätzliche Nutzungen wie zum Beispiel als Sport- oder Parkflächen.
- **Materialeffizient bauen:** Der Einsatz ökologischer, rückbaubarer Materialien mit kurzen Transportwegen senkt CO_2-Emissionen und Abfallmengen. Wiederverwendbare Bauteile, Holzmodulbau und der Verzicht auf Verbundstoffe fördern Kreislauffähigkeit und Ressourcenschonung.
- **Energieeffizient bauen:** Eine gut gedämmte, kompakte Gebäudehülle, Tageslichtnutzung sowie passive Kühlmaßnahmen wie Nachtauskühlung, Verschattung oder begrünte Fassaden reduzieren den Energieverbrauch deutlich – sowohl für Heizung als auch Kühlung.

2 Fazit

Schlussendlich hat jedes Gewerbegebiet spezifische Anforderungen und Rahmenbedingungen. Nicht alle Maßnahmen sind an jedem Standort sinnvoll. Daher erfordert eine nachhaltige Planung eine differenzierte Betrachtung, die sowohl ökologische, soziale als auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt. Nur so lassen sich tragfähige und langfristige Lösungen für Gewerbegebiete entwickeln.

Anmerkung: Beispielhaft wurden in diesem Beitrag Maßnahmen der vier Kernthemen »Effiziente Flächenentwicklung«, »Freiräume und Biodiversität«, »Umweltfreundliche Mobilität« und »Ressourceneffizientes Bauen« vorgestellt. Der gesamte Leitfaden[3] ist auf der Homepage der Niedersächsischen Landgesellschaft unter www.nlg.de zu finden.

3 Vgl. Niedersächsische Landgesellschaft mbH: Leitfaden für die Entwicklung nachhaltiger Gewerbegebiete. www.nlg.de/fileadmin/Redakteur/Sonstiges/NLG_Leitfaden_Nachhaltige_Gewerbegebiete_WEB.pdf [abgerufen am: 09.07.2025]

Laura Kettler studierte Architektur und Städtebau an der Leibniz Universität Hannover. Seit 2021 ist sie Mitarbeiterin bei MOSAIK architekt:innen bda. Das Architekturbüro mit etwa 35 Mitarbeitenden aus Hannover plant und realisiert seit über 30 Jahren komplexe und vielfältige Bauprojekte in Niedersachsen – von Schulbauten, Sporthallen und Kitas bis hin zu Wohnungs- und Verwaltungsgebäuden. Dabei setzt das Büro seit vielen Jahren auf die Potenziale des Holzbaus. Derzeit realisiert das Büro eine Mensa nach dem Cradle-to-Cradle-Prinzip und setzt damit neue Maßstäbe für das zirkuläre Bauen in Niedersachsen.

Robert Marlow ist einer der fünf Partner bei MOSAIK architekt:innen bda. Neben seiner freischaffenden Arbeit als Architekt ist er Präsident in zweiter Amtszeit der Architektenkammer Niedersachsen und vertritt damit den Berufsstand der Architektinnen und Architekten aller Fachrichtungen in Niedersachsen. Sein Hauptaugenmerk liegt auf dem Nachhaltigen Bauen in Zeiten der Klimakrise: Robert Marlow setzt sich verstärkt für die Bauwende ein – Umnutzung, Sanierung und Erweiterung statt Abriss und Neubau

6.3.3 Struktur in der Überflutungsvorsorge

1 Einleitung

Überflutungen sind längst kein seltenes Phänomen mehr – sie treten immer häufiger auf und gefährden nicht nur oberirdische Strukturen wie Gebäude und Straßen, sondern auch die unterirdische Infrastruktur. Deshalb ist Hochwasservorsorge mehr als nur der Schutz einzelner Bauwerke – sie ist ein integraler Bestandteil nachhaltiger Stadtentwicklung und resilienter Infrastrukturplanung. Eine strukturierte Überflutungsvorsorge hilft dabei, Risiken zu minimieren und kritische Systeme langfristig funktionsfähig zu halten.

Markus Becker

Doch wie entstehen solche Ereignisse eigentlich? Und wie sieht effektiver Schutz aus – sei es im privaten Bereich, auf kommunaler Ebene oder durch überregionale Maßnahmen? Die Beantwortung dieser Fragen waren Bestandteil der Starkregenwerkstatt, die im September 2024 von der Infrastruktur-Akademie organisiert wurde. Dort wurde gezeigt, wie die Überflutungsvorsorge klar strukturiert werden kann. Der folgende Beitrag bündelt dieses wertvolle Wissen.

Maike Zimmermann

1.1 Woher kommt das Wasser?

Es gibt drei Hauptgefahrenquellen von Überflutungen: Gewässer, die Außengebiete und das Kanalnetz. Dabei sind nicht allein gewässernahe Bereiche gefährdet. Insbesondere durch Außengebiete und das Kanalnetz sind auch Bereiche, die weniger gewässernah liegen bei Starkregen gleichermaßen gefährdet. Gewässer können infolge langanhaltenden Regens oder kurzer Starkregenereignisse über die Ufer treten und dabei gewässernahe Bereiche überschwemmen. Dabei gilt meist: Je größer das Gewässer, desto länger ist die mögliche Vorwarnzeit. Bei kleinen Gewässern können Pegel oft rasant steigen, so wie an der Ahr im Sommer 2021 (Abb. 01).

Abb. 01: Bad Neuenahr-Ahrweiler im Juli 2021 [Foto: Dominik Ketz]

Zuflüsse aus Außengebieten sorgen nicht nur für Überflutungen von gewässernahen Bereichen. Niederschläge fließen über die Geländeoberfläche ab und werden abhängig von der Topografie durch und in natürliche oder durch Menschen gemachte Senken geleitet und gesammelt. Diese sich bildenden Fließwege zeigt Abb. 02, ein Bild, das nach einem Starkregenereignis entstanden ist. Dadurch sind auch nicht gewässernahe Standorte gefährdet.

Abb. 02: Außengebiet Heimersheim nach Starkregenereignis im Juni 2021 [Foto: Marcus Werner/Dominik Ketz]

Gleiches gilt für Überflutungen aus dem Kanalnetz. Das Netz hat eine durch die Dimensionierung begrenzte Aufnahmefähigkeit. Bei Starkregen kann es zur Überlastung des Systems kommen, was Rückstau, Überstau und Überflutungen zur Folge haben kann. Auch hier sind sowohl gewässernahe als auch gewässerferne Gebiete gefährdet.

1.2 Die drei Stränge der Vorsorge

Die Vorsorge vor Überflutungen strukturiert sich in drei Stränge: die Eigenvorsorge am Eigenheim, die örtlichen Hochwasser- und Starkregenvorsorgekonzepte und Planungen auf Ebene der Kommunen sowie überregionale technische Maßnahmen.

1. Baustein: Eigenvorsorge

Bei der Eigenvorsorge ist jeder Einzelne gefordert. Gerade das eigene Zuhause birgt oft potenzielle Gefahrenstellen, die durch gezielte Maßnahmen entschärft werden können. Dies betrifft nicht nur oberirdische Schutzmaßnahmen, sondern auch den Umgang mit unterirdischer Infrastruktur. Ein fundiertes Verständnis der Gegebenheiten im direkten Umfeld des eigenen Grundstücks kann helfen, Risiken frühzeitig zu erkennen und angemessen darauf zu reagieren.

Besonders wichtig ist dabei die richtige Ausstattung und Planung: Rückstausicherungen verhindern, dass Abwasser aus überlasteten Kanalsystemen in Kellerräume dringt, während eine durchdachte Platzierung von Lichtschächten – idealerweise nicht in der Nähe potenziell überstauender Regenwasserkanäle – zusätzlichen Schutz bietet. Wer sich umfassend informiert, Beratungsangebote nutzt und sein Wissen mit Nachbarn und der Gemeinschaft teilt, trägt aktiv zu einem widerstandsfähigen Umfeld bei.

Ein prägnanter Merksatz von Prof. Andreas Schlenkhoff bringt das Prinzip der Eigenvorsorge treffend auf den Punkt: »Gegen zehn Zentimeter kann sich jeder verteidigen.« Diese zehn Zentimeter können im Ernstfall über erhebliche Schäden oder einen glimpflichen Ausgang entscheiden – und mit der richtigen Vorbereitung lässt sich der eigene Schutz erheblich verbessern.

2. Baustein: Örtliche Konzepte und Planungen auf Ebene der Kommunen

Auf kommunaler Ebene kann die Überflutungsvorsorge durch örtliche Hochwasser- und Starkregenvorsorgekonzepte und Planungen gezielt verbessert werden. Zu diesem Zweck beauftragen Kommunen spezialisierte Ingenieurbüros, die Gefahrenpunkte systematisch analysieren und erste Lösungsansätze entwickeln. Dabei werden auch ortskundige Bürger aktiv einbezogen, um wertvolle lokale Kenntnisse zu nutzen und erste Vorschläge für mögliche Schutzmaßnahmen zu erarbeiten. Die anschließende Umsetzung erfolgt unter kommunaler Leitung und umfasst unter anderem die Beseitigung von Abflusshindernissen, kleinere Rückhaltemaßnahmen an Gewässern und in der Fläche, Anpassungen in der (unterirdischen) Infrastruktur sowie Initiativen zur Information und Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung.

Ein wesentlicher Bestandteil kommunaler Überflutungsvorsorge ist die Sicherstellung der Starkregensicherheit von Kanalnetzen. Eine leistungsfähige und vorausschauend geplante Entwässerungsinfrastruktur ist entscheidend, um Überflutungen zu verhindern, Schäden an kritischer Infrastruktur zu minimieren und Umweltbelastungen durch überlaufende Abwassersysteme zu reduzieren.

Moderne Konzepte setzen hier auf eine Kombination aus verschiedenen technischen und naturnahen Maßnahmen. Neben einer hydraulisch leistungsfähigen Kanalisation spielen Regenrückhaltebecken und Entlastungsbauwerke eine zentrale Rolle, um Spitzenabflüsse gezielt zu regulieren. Im Tagesgeschäft fällt auf, dass zum Beispiel bei Leitungsauskünften insbesondere Überläufe häufig übersehen werden, obwohl sie für die Ableitung von Wassermengen bei Starkregen eine entscheidende Rolle spielen. Eine regelmäßige Wartung und Pflege der Bauwerke ist essenziell, um Funktionsausfälle zu vermeiden und die Betriebssicherheit langfristig zu gewährleisten. Die Zuständigkeiten liegen in diesem Bereich in der Regel bei den Gemeinden.

Bei Planungen sollte stets auch ein besonderes Augenmerk auf dem starkregen- und hochwassersicheren Einbau von Leitungen, insbesondere bei der Querung von Gewässern, liegen. Hier sind spezielle Sicherungsmaßnahmen erforderlich, um die Widerstandsfähigkeit der Infrastruktur gegenüber extremen Wetterereignissen zu gewährleisten und ein unkontrolliertes Eindringen oder Austreten von Wasser zu verhindern. Wie die unterirdische Infrastruktur ansonsten nach einem Hochwasserereignis aussehen kann, wird in Abb. 03 deutlich.

Abb. 03: Ausgespülte und beschädigte Infrastruktur nach dem Hochwasser 2021 [Foto: Dominik Ketz]

Durch diese ganzheitliche Herangehensweise kann die Überflutungsvorsorge auf kommunaler Ebene deutlich verbessert und die Widerstandsfähigkeit gegenüber Starkregenereignissen nachhaltig gestärkt werden.

3. Baustein: Überregionaler technischer Hochwasserschutz
Geht es um groß angelegte technische Lösungen, die nicht nur einzelne Ortschaften, sondern ganze Regionen schützen sollen, sind überregionale Strategien unerlässlich. Solche Maßnahmen erfordern eine enge Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Verwaltungseinheiten sowie eine sorgfältige technische und hydrologische Planung.

Ein gutes Beispiel für ein derartiges Projekt ist der »Überörtliche Maßnahmenplan«. Dieses Vorhaben wurde von einer interkommunalen Kooperationsgemeinschaft, bestehend aus den Kreisen Ahrweiler, Euskirchen und Vulkaneifel, beauftragt. Ziel ist es, einen wirkungsvollen Hochwasserschutz für das Ahrtal zu schaffen – ein ambitioniertes Vorhaben, das länderübergreifendes Denken und koordinierte Maßnahmen erfordert.

Eine zentrale Rolle spielen dabei, neben den unterstützenden Maßnahmen und Maßnahmen in der Fläche, großräumig wirkende Hochwasserrückhaltebecken mit einem Einstauvolumen von mehreren Millionen Kubikmetern. Diese Anlagen sollen bei extremen Niederschlagsereignissen erhebliche Wassermengen aufnehmen und damit die Hochwasserwellen deutlich abschwächen. Durch diese übergreifende Herangehensweise kann der Schutz ganzer Flussabschnitte verbessert und das Risiko für zukünftige Überflutungen erheblich reduziert werden.

1.3 Tipps, um den Überblick zu behalten

Eine hundertprozentige Absicherung gegen die Folgen von Starkregen und Überflutungen kann jedoch niemals gegeben sein. Auch nicht durch große technische Bauwerke. Daher ist es umso wichtiger, dass alle drei Stränge aktiviert werden: die Eigenvorsorge, kommunale Planungen und überregionale Projekte. Um potenzielle Schäden soweit wie möglich zu verringern, bedarf es interdisziplinärer Zusammenarbeit.

Tipps, um den Überblick zu behalten:

- Eigenverantwortung ist wichtig, wenn es um die Hochwasservorsorge geht.
- Informationen über aktuelle Planungen und bestehende Bausteine in der Region sowie der Austausch und die Kommunikation von Zusammenhängen sind essenziell.

- Die Nutzung von Plattformen wie zum Beispiel infraShare[1], die regionale Infrastrukturplanungen, abgeschlossene Projekte und Projektideen sichtbar machen, ist hilfreich (Abb. 04).
- Sorge für die Gemeinschaft: Wissen sollte immer weitergegeben werden.

Abb. 04: Auszug aus infraShare mit eingetragenen Projektideen für Hochwasserrückhaltebecken [Quelle: infraShare]

Dipl.-Ing. Markus Becker sorgt mit seiner Infrastrukturmannschaft für zukunftsfähige Infrastruktur – insbesondere in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen und führt das nachhaltig wachsende Familienunternehmen in zweiter Generation. In über 3.000 kommunalen und industriellen Infrastrukturprojekten mit einem jährlichen Bauvolumen von rund 30 Millionen Euro sind er und sein Team direkt im täglichen Planen und Bauen verwurzelt. Als strategischer Berater für Entscheider im kommunalen Umfeld gestaltet er aktiv das Bild einer zukunftsfähigen Infrastruktur in seiner Heimatregion und überregional.

Maike Zimmermann studierte an der RWTH Aachen konstruktiven Wasserbau und bearbeitet im Team der Berthold Becker GmbH Projekte im Kompetenzfeld der Siedlungswasserwirtschaft sowie der Starkregen- und Hochwasservorsorge.

1 Vgl. inframeta eG: infraShare. Das digitale Infrastruktur-Gedächtnis. https://www.inframeta.de/infrashare [abgerufen am: 24.03.2025]

6.3.4 Schwammstadt – Wurzelraum für die Stadtbäume der Zukunft

Mark Füger

Melissa Mang

Aktueller Stand und Handlungsbedarf

Der Klimawandel ist eine der größten Herausforderungen unserer Zeit. Insbesondere in den Städten nimmt die Belastungssituation durch hochsommerliche Extremtemperaturen, Starkniederschläge, Stürme sowie Dürreperioden zu und fordert Anpassungen in der Städteplanung.[1] Unter den Auswirkungen der Klimaerwärmung leiden aber nicht nur die Menschen. Bäume, die von Trockenheit betroffen sind, sind anfälliger für Krankheiten, die unter anderem durch den Temperaturanstieg begünstigt werden. So sind in Karlsruhe 30 Prozent der zwischen 2014 und 2017 gepflanzten Jungbäume aufgrund von Trockenheit und Hitze im Jahr 2018 eingegangen.[2]

Die Entsiegelung von Flächen und die Erhöhung des Grünflächenanteils zählen zu den vielversprechendsten innerstädtischen Maßnahmen, um den Folgen des Klimawandels entgegenzuwirken. Dabei gewinnen Pflege und Ausbau von Grünflächen als Retentionsflächen zunehmend an Bedeutung. Das Anlegen von Pflanzbeeten als Retentionsflächen reduziert die durch Starkregen hervorgerufenen Überschwemmungen und entlastet somit die Kanalisation. Hinzu kommt der Beitrag der Beschattung sowie der Verdunstungskühlung, die durch die Vegetation in der Stadt hervorgerufen wird. So wurden zum Beispiel Temperaturunterschiede von bis zu 40 °C zwischen den beschatteten Flächen unter den dichten Baumkronen und dem von der Sonne aufgeheizten Asphalt festgestellt.[3]

Der durch die Stadtbäume hervorgerufene Kühlungseffekt wird von vielen Faktoren wie Art, Größe, Blatt- und Kronenform beeinflusst.[4] Viele dieser vegetativen Eigenschaf-

1 Kahlenborn, W.; Porst, L.; Voß, M. et al.: Klimawirkungs-und Risikoanalyse 2021 für Deutschland. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2021

2 Saha, S.: Stadtbäume im Stress. 2019 https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/faces/ViewItemOverviewPage.jsp?itemId=item_5001782_7 [abgerufen am: 16.01.2025]

3 Rahman, M.A.; Moser, A.; Rötzer, T. et al.: Comparing the transpirational and shading effects of two contrasting urban tree species. Urban Ecosystems (2019), Nr. 22, S. 683-697

4 Rahman, M.A.; Stratopoulos, L. M. F.; Moser-Reischl, A. et al.: Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. Building and Environment 170 (2020), 106606

ten stehen in direktem Zusammenhang mit der unterirdischen Wurzelmasse, die unter anderem für den Wasser- und Nährstofftransport verantwortlich ist.[5] Um die Kühlleistung auch in Zukunft zu gewährleisten, ist daher die Bereitstellung von ausreichendem Wurzelraum von entscheidender Bedeutung. Die ober- und unterirdischen Flächen in Städten sind jedoch begrenzt. Häufig kommt es zu Nutzungskonflikten zwischen ausreichendem Wurzelraum und den Anforderungen der Straßenraumgestaltung wie beispielsweise durch Parkplätze, Gebäudebestand, Leitungen oder Stadtbild. Ein ausreichender Luft- und Wasserhaushalt für die Wurzeln muss gewährleistet werden. Gleichzeitig müssen die zu bebauenden Flächen verdichtbar und druckstabil sein. Ein mögliches Konzept zur Bewältigung der Herausforderungen des Klimawandels, das die Potenziale der Stadtbäume berücksichtigt, ist das Konzept der Schwammstadt.

Schwammstadt – die Idee dahinter

Das Konzept stammt ursprünglich aus China. Dort wurde es Anfang 2000 von Forschern unter dem Namen Sponge City bekannt gemacht. Das Prinzip der Schwammstadt besteht darin, das Niederschlagswasser wie in einem Schwamm zu speichern und je nach Bedarf zeitverzögert durch Versickerung, Verdunstung oder Wiederverwendung über Bewässerungssysteme in den Kreislauf zurückzuführen. Darüber hinaus ist das Konzept Teil möglicher Klimaanpassungsmaßnahmen, die auf der Grundlage des 2024 in Kraft getretenen Klimaanpassungsgesetzes den Ländern und Kommunen helfen sollen, auf der Basis von Risikoanalysen Vorsorge gegen die Folgen des Klimawandels zu treffen.[6] So hat die Stadt Lübeck bereits 2019 das Prinzip der Schwammstadt als eine von vielen Maßnahmen in ihrem Klimaanpassungskonzept vorgestellt.[7] Im Gegensatz zur konventionellen Entwässerung, bei der versiegelte Flächen über die Kanalisation abgeleitet werden, ermöglicht das Konzept der Schwammstadt die Ableitung des Regenwassers in offene Pflanzgruben.

Das Anlegen von Speicherräumen, sogenannten Retentionsflächen, kann oberirdisch durch Flächenentsiegelung, aber auch unterirdisch, zum Beispiel durch Baumrigolen, erfolgen. Bei geeigneten Untergrundverhältnissen kann so die Kanalisation direkt dort entlastet werden, wo das Niederschlagswasser anfällt. Darüber hinaus sind vernetzte Systeme möglich. So kann Stadtbäumen auch unter befestigten Flächen mehr Wurzelraum zur Verfügung gestellt werden. Das eingebaute Substrat ist dabei namensgebend für das Prinzip der Schwammstadt, da es das eingeleitete Wasser wie ein Schwamm speichert und bedarfsgerecht an die Vegetation abgibt.

5 Wang, C.; Ren, Z.; Chang, X. et al.: Understanding the cooling capacity and its potential drivers in urban forests at the single tree and cluster scales. Sustainable Cities and Society 93 (2023), 104531

6 Vgl. Regiowasser e.V./Schwammstadt Freiburg: Das Klimaanpassungsgesetz und messbare Schritte hin zur Schwammstadt. https://schwammstadt-freiburg.de/2024/02/17/das-klimaanpassungsgesetz-und-messbare-schritte-hin-zur-schwammstadt/ [abgerufen am: 15.01.2025]

7 Vgl. Hansestadt Lübeck (Hrsg.): Lübeck sorgt vor: Klimaanpassungskonzept für die Hansestadt Lübeck. Grundlage zur Aktualisierung und Erweiterung des Thematischen Landschaftsplans Klimawandel. https://bekanntmachungen.luebeck.de/dokumente/d/1149/inlinegl [abgerufen am: 15.01.2025]

Ein herkömmlicher Stadtbaum ist einer Vielzahl von Stressfaktoren ausgesetzt. Beengte Baumgruben beschränken das Wurzelwachstum. Bodenverdichtungen und Versiegelungen verursachen Wasser- und Sauerstoffmangel. Hinzu kommen Schadstoffimmissionen und Salzbelastungen. Dies hat zur Folge, dass immer weniger Stadtbäume ihr klimatisches Pufferpotenzial voll ausschöpfen können. Der notwendige Wurzelraum wird bei der Planung von Baumstandorten nicht selten unterschätzt. Vor diesem Hintergrund wurde das Stockholmer Modell entwickelt, das unter anderem auf die Optimierung der innerstädtischen Wachstumsbedingungen für Bäume abzielt. Im Gegensatz zu herkömmlichen Baumsubstraten, bei denen ein Substratgemisch sowohl die Anforderungen des Straßenbaus als auch die des Baumes erfüllen muss, dient die Unterteilung in Skelettstruktur und Feinboden, wie im Stockholmer Modell, der Aufteilung der Anforderungen. Diese Aufteilung birgt große Vorteile. Die Grobsteine, auch Schroppen genannt, übernehmen die Tragfähigkeit und lassen gleichzeitig genügend Porenraum für die Wurzeln der Bäume. Sie bilden somit das Grundgerüst, das die Verkehrslast aufnimmt, während der Feinboden die Wurzeln mit Nährstoffen versorgt. Bei Substraten, die den Anforderungen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL)[8] entsprechen, muss das Substrat als Ganzes strukturstabil sein. Damit soll sichergestellt werden, dass bei Erschütterungen keine Setzungen auftreten. Der Gehalt an organischen Zuschlagstoffen, die eine solche Sackung verursachen würden, muss daher auf ein Minimum reduziert werden. Organische Zuschlagstoffe wie Kompost dienen jedoch den Pflanzen als Nährstofflieferant und beherbergen Mikroorganismen, die das Pflanzenwachstum positiv beeinflussen können. Da beim Stockholmer Modell die Tragfähigkeit durch den Einbau von Schroppen gewährleistet wird, kann der Gehalt an organischer Substanz in der Feinerde höher dosiert werden als bei FLL-geprüften Baumsubstraten.

Der Einbau des Skelettbodens erfolgt in Schichten. Hierbei werden die Schroppen lagenweise eingebaut und verdichtet. Anschließend wird die Feinerde mit wenig Wasser und viel Druck in die Hohlräume der Schroppen eingeschlämmt. Die strukturgebenden Schroppen und die Feinerde sind hierbei so zu kombinieren, dass nur ca. 80 Prozent des Hohlraumanteils verfüllt werden. Dadurch soll ein ausreichender Lufthaushalt gewährleistet werden. Der Baum selbst wird in eine Pflanzgrube oberhalb des Bodenskeletts gepflanzt, die mit FLL-geprüftem Baumsubstrat gefüllt wird. Dadurch können Baumgruben unterirdisch miteinander verbunden werden und den Stadtbäumen steht ein größerer Wurzelraum zur Verfügung, der unter anderem für den Austausch von Nährstoffen und Mikroorganismen genutzt werden kann. Zusätzlich kann über spezielle Straßenentwässerungssysteme Oberflächenwasser gezielt in das Substrat eingeleitet werden.

8 FLL e.V. (Hrsg.): Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 2, Technische Regelwerke, FGSV-Nr.: 20023, Bonn:s 2012

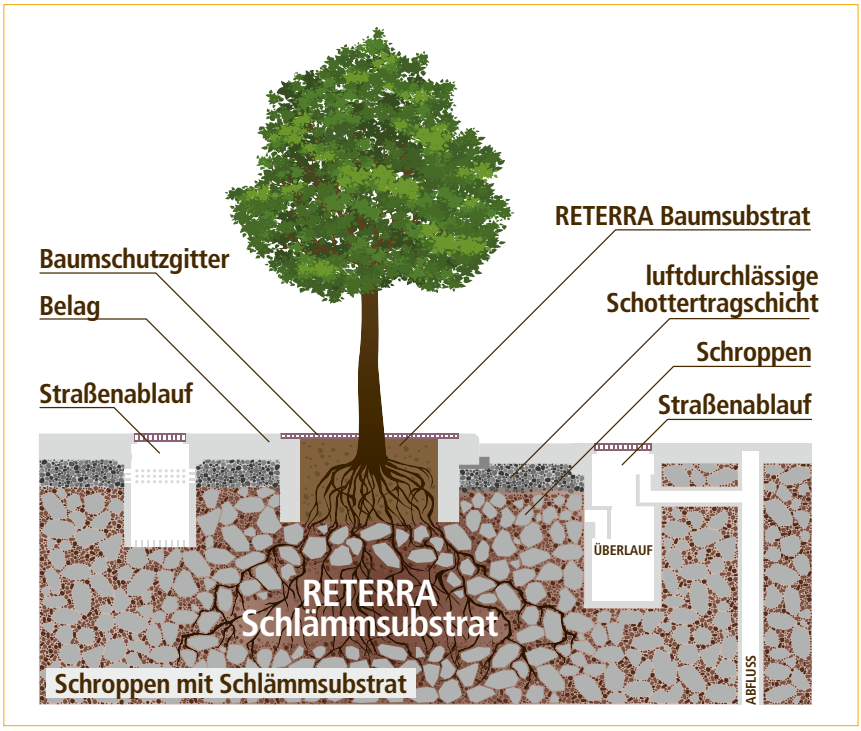


Abb. 01: Schematischer Aufbau einer Baumpflanzgrube mit RETERRA-Schlämmsubstrat [Grafik: RETERRA]

Der Beitrag der Pflanzenkohle im Stockholmer Modell

Pflanzenkohle zeichnet sich unter anderem durch eine sehr poröse Struktur und eine große Oberfläche aus. Diese Oberfläche kann zum Beispiel zusammen mit dem Kompost für das Pflanzsubstrat mitkompostiert und so mit Nährstoffen angereichert bzw. aktiviert werden, um die Versorgung und Vitalität der Stadtbäume über einen langen Zeitraum zu gewährleisten.

Darüber hinaus kann Pflanzenkohle aufgrund ihrer großen inneren Oberfläche bis zum Fünffachen ihres Eigengewichts an Wasser aufnehmen, was die Nährstoffspeicherung und die Wasserhaltekapazität (FK) verbessert.[9] In Substraten mit Pflanzenkohle nehmen die Mittelporen (nFK) zu.[10] Als Mittelporen werden Poren mit einer Größe von 0,2 bis

9 Ruysschaert, G.; Nelissen, V.; Postma, R; et al.: Field applications of pure biochar in the North Sea region and across Europe. In: Shackley, S.; Ruysschaert, G.; Zwart, K. et al. (Hrsg.): Biochar in European Soils and Agriculture. Science and Practice. Abingdon: Routledge, 2016 , S. 99 – 135

10 Murtaza, G.; Ahmed, Z.; Usman, M. et al.: Biochar induced modifications in soil properties and its impacts on crop growth and production. Journal of plant nutrition 44 (2021), Nr. 11, S. 1677 – 1691

50 µm definiert. Sie sind in der Lage, Wasser entgegen der Schwerkraft zu halten und an die Pflanzen abzugeben. Eine Erhöhung des Mittelporengehalts kann daher die nutzbare Feldkapazität in Substraten erhöhen. Außerdem wird die Aggregatbildung gefördert und die Bildung grober wasser- und luftführender Sekundärporen begünstigt.[11] Studien zu mit Pflanzenkohle angereicherten Baumgruben zeigen einen 5-mal größeren Zuwachs als vergleichbare Bäume in konventionellen Substrate.[12,13] Zudem filtert Pflanzenkohle Schadstoffe, erhöht die Wasserspeicherkapazität und speichert CO_2 in Form von Kohlenstoff dauerhaft im Boden und entzieht es damit dem Kohlenstoffkreislauf. Allerdings ist nicht jede Pflanzenkohle für Substratherstellung geeignet. Um die Anforderungen an Nachhaltigkeit und Qualität zu erfüllen, muss Pflanzenkohle für städtische Baumpflanzungen nach EBC-Urban des European Biochar Certificate (EBC)[14] zertifiziert sein.

Die Produktion von Pflanzenkohle

Der einstige Meiler der Köhler zur Kohleherstellung wurde in moderne Reaktoren im industriellen Maßstab überführt. Die Karbonisierung oder Pyrolyse kennt heute die verschiedensten Verfahrenstechniken. Die Reaktoren, in denen der Pyrolyseprozess abläuft, weisen unterschiedliche Bauformen auf. So gibt es zum Beispiel stehende Behälter, in denen die Biomasse von oben aufgegeben wird und so den Pyrolyseprozess durchläuft. Andere Verfahren arbeiten mit Drehrohrtechnik oder auch, und das ist wohl das häufigste Verfahren, mit Reaktoren, durch deren Innenraum die Biomasse mittels einer Schnecke hindurchtransportiert wird. Im Rahmen dieses allothermen Verfahrens wird das zu verarbeitende Gut nicht direkt erhitzt, sondern die Temperatur wirkt durch den Kontakt zur Reaktorwand lediglich indirekt auf diese Stoffe. Im Gegensatz dazu wird mittels des autothermen Verfahrens der zu karbonisierende Rohstoff direkt mit dem heißen Medium beaufschlagt.[15]

11 Blanco-Canqui, H.: Biochar and soil physical properties. Soil Science Society of America Journal 81 (2017), Nr. 4, S. 687 – 711

12 Embrén, B.: Planting Urban Trees with Biochar. The Stockholm Project. https://www.biochar-journal.org/en/ct/77 [abgerufen am: 12.03.2025]

13 Piccolo, E. L.; Begacgli, M.; Lauria, G. et al.: Biochar as a soil amendment in the tree establishment phase: What are the consequences for tree physiology, soil quality and carbon sequestration? Science of The Total Environment 844 (2022), 15175

14 Vgl. Carbon Standards International AG: Das Europäische Pflanzenkohle Zertifikat. https://www.european-biochar.org/de [abgerufen am: 16.01.2025]

15 Vgl. BIOMACON GmbH: https://www.biomacon.com/technologie [abgerufen am: 16.01.2025]

Abb. 02: Pyrolyseanlage Firma BIOMACON [Foto: Biomacon]

Abb. 03: Pyrolyseanlage Firma BIOMACON [Foto: Biomacon]

In allen Fällen wird der Reaktor derart verschlossen, dass keine Luft und somit kein Sauerstoff in den Prozess gelangen kann. Sowohl der Temperaturverlauf als auch die Verweildauer des Pyrolyseguts im Prozess bestimmen die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Karbonisate, was sowohl Pflanzenkohlen als auch Kohlen aus anderem Inputmaterial beschreibt.[16]

16 Vgl. https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d90942/*/*/Pyrolyse.html?op=Wiki.getwiki [abgerufen am: 13.02.2024]

Zukünftige Herausforderungen

Das Schwammstadt-Konzept in Kombination mit dem Stockholmer Modell hat viel Potenzial. Dennoch ist es in Deutschland noch relativ unbekannt und es gibt erst wenige Praxisbeispiele. Insbesondere Langzeitstudien sind rar. Viele Kommunen sind unsicher und nur schwer für neue Konzepte zu begeistern. Hinzu kommt, dass bei der Städteplanung oft verschiedene Interessengruppen an einen Tisch kommen. Stadtplanung, Wasserwirtschaft, Hoch- und Tiefbau sowie Landschaftsplaner und Pflanzenexperten müssen hierbei eng zusammenarbeiten. Eine weitere Herausforderung wird sein, Lösungsansätze für den Bestand zu entwickeln. Doch besonders hier sind Flora und Fauna oft am stärksten von Starkregen, Trockenheit und Hitze betroffen.

Melissa Mang arbeitet seit mehreren Jahren im Bereich Produktentwicklung und Qualitätsmanagement für Erden und Substrate bei der RETERRA Erden Süd GmbH in Remseck. Ihre berufliche Laufbahn begann sie nach dem Abschluss ihres Bachelor- und Masterstudiums im Bereich Pflanzenbau, das sie mit einem besonderen Fokus auf Bodenkunde und Substratmanagement erfolgreich absolvierte. In ihrer aktuellen Position bei RETERRA Erden Süd trägt sie maßgeblich zur Entwicklung hochwertiger Erden und Substrate bei und sorgt dafür, dass alle Produkte den höchsten Qualitätsstandards entsprechen. Das RETERRA Schlämmsubstrat für die Schwammstadt wurde 2024 bei den renommierten TASPO Awards in Berlin mit dem Preis für die beste Produktidee ausgezeichnet.

Mark Füger, Gründer und Geschäftsführer der Team Nachhaltigkeit Consulting GmbH, widmet sich seit Jahren den Themen Umwelt und Nachhaltigkeit. Im Rahmen seines Studiums als Agraringenieur (M. Sc.) spezialisierte er sich auf Pflanzenkohle und ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten. In seiner beruflichen Laufbahn erwarb er umfassende Expertise im Einsatz und der Bewertung moderner Pyrolysetechniken sowie deren Anwendung in Landwirtschaft und Industrie. Dabei knüpfte er ein europaweites Netzwerk und engagierte sich als 2. Vorsitzender des German Biochar e.V., um den nachhaltigen Einsatz der Pflanzenkohle aktiv voranzutreiben.

6.3.5 Umbau überall – notwendige Maßnahmen gut gestalten

FOTO: TINA UNRUH

Tina Unruh

In der Fachwelt ist allen Beteiligten bewusst, dass die energetische Ertüchtigung des Bestands, die Erweiterung der Infrastruktur, Klimaanpassungen, Innenentwicklung, die Sanierung von Brücken und Straßen sowie der Ausbau der U-Bahnen dringend notwendig sind, um Städte zukunftssicher zu machen. Tiefgreifende Baumaßnahmen im städtischen Raum werden daher zunehmen. In der Stadtgesellschaft gibt es jedoch neben einem wachsenden Unbehagen über Veränderungen immer weniger Bereitschaft, Einschränkungen hinzunehmen.

Von Baustellen lernen

Sie sind ein Versprechen für Verbesserungen, doch im Alltag stellen Baumaßnahmen für viele Menschen eher eine Belastung dar. Die Transformation der Räume wird nur selten als Chance erkannt, oft sogar als Bedrohung des Gewohnten verstanden. Die Hamburger Stiftung Baukultur (HSBK) initiiert einen konstruktiven Diskurs und gibt dem hochaktuellen Thema Baustelle ein offenes Forum. Zusammen mit Beteiligten und Betroffenen wird überlegt, wie Gestaltung helfen kann, das Unvermeidbare angenehmer zu machen. Es konnten bereits zahlreiche Stakeholder angesprochen und gemeinsam Ideen entwickelt werden, wie Baustellen – positiv kommuniziert – auch Teil der Baukultur werden könnten.

Abb. 01: Die Stiftung lädt mit offenen Veranstaltungen zur Beteiligung ein. HSBK Baukultur Forum 24 #Baustelle [Foto: Michelle Jekel]

Diejenigen, die Baumaßnahmen beauftragen, planen und umsetzen, sind eingeladen, Erfahrungen und Vorhaben, kluge Ideen, Anregungen und Projekte, aber auch eine finanzielle Unterstützung für einen gelingenden Austausch einzubringen. Dafür können sie sich als innovative »Anstifter der Baukultur« präsentieren. Das Interesse an dem Thema ist groß, neben städtischen Unternehmen, Kammern und Verbänden, sind auch die beteiligten Behörden und Unternehmen sowie die Planungsbüros bereits auf dieses Thema aufmerksam geworden und tragen zu den Anlässen der Stiftung bei. Die Kommunikation läuft über den Newsletter und Instagram-Account der HSBK sowie über das Deutsche Architektenblatt und die Kammer-News der Stifterin, der Hamburgischen Architektenkammer. Damit erreicht die HSBK mehr als 10.000 Planende in der Metropolregion Hamburg und kann eine Vielzahl an Perspektiven auf das Thema bündeln.

Als Stiftung hat die HSBK – anders als Auftraggeber oder Betroffene selbst – keine Eigeninteressen jenseits des Dialogs und Informationsflusses hinsichtlich der Umsetzung von Baumaßnahmen. Diese »Neutralität in der Sache« wird als großer Vorteil gesehen und erleichtert den Abbau gegenseitiger Erwartungen und unterstützt den offenen Diskurs. In verschiedenen Formaten mit und für die Fachöffentlichkeit, Politik, Verwaltung und die Stadtgesellschaft verfolgt sie das Ziel eines konstruktiven Umgangs mit Baustellen, damit diese sowohl in der Gesellschaft als auch in den beteiligten Unternehmen und Verwaltungen als Teil der dringend notwendigen, nachhaltigen (Um-)Baukultur verstanden werden.

Abb. 02: Unternehmen können die Plattform nutzen und mit der HSBK kooperieren. HSBK Baukultur Forum 24 #Baustelle [Foto: Michelle Jekel]

Mit verschiedenen Anlässen lenkt die HSBK die Aufmerksamkeit auf das wichtige Thema und trägt den Diskurs in die Stadtgesellschaft. Neben den festlichen Baukultur-Foren mit Politik, Unternehmen und innovativen kurzen Inputs werden auch Baustellen-Touren und Veranstaltungen rund um Baustellen durchgeführt.

(Nicht) Meine Baustelle?!

Der Verzicht auf Fläche und bisher gewohnte Zugänglichkeit ist leichter zu ertragen, wenn persönliche Bezüge zu Baumaßnahmen hergestellt werden können. Daher schlägt die HSBK auch die Brücke in die Quartiere und plant in diesem Jahr Kooperationen mit Quartiersvereinen, Kultur- oder Bildungseinrichtungen. Manch Schulweg dürfte jahrelang von Großbaustellen geprägt werden und Patenschaften können helfen, das Geschehen verständlicher zu machen und persönliche Bezüge zu der »eigenen Baustelle« aufzubauen. Die HSBK hat mit dem Stiftungsthema »#urbane Nachbarschaften« bereits Erfahrungen auf der Quartiersebene vor Ort gesammelt und bietet Formate, bei denen Verbindungen und Bezüge erstellt und gelebt werden. Dafür werden Akteure und Institutionen verknüpft und Räume für den Austausch geöffnet, sodass Umbau auch als Chance vermittelt werden kann.

Kinder und Jugendliche, die meist großes Interesse an Baustellen mitbringen, erhalten Zugang und passend aufbereitete Informationen. Im Idealfall interessieren sich junge Menschen so auch für Berufe, die sie durch den Austausch besser kennenlernen. Die Baubranche kann die Chance nutzen, sich in der Gesellschaft positiv darzustellen und spätere Nachwuchskräfte anwerben.

Grundsätzlich dienen die Formate der Stiftung auch dem Austausch und dem »Voneinander Lernen«, sodass an Baustellen auch auf die besonderen Bedürfnisse der temporär eingeschränkten Personenkreise besser eingegangen werden könnte: Wo einfache Fahrradstellplätze vorübergehend weichen müssen, könnten in der nahen Umgebung vielleicht überdachte Stellplätze als Ausgleich aufgestellt werden. Am Rand besonders raumgreifender Baumaßnahmen könnten mobile Stadtmöbel wie Parkbänke angeboten werden und regelmäßige Sprechzeiten helfen, den Informationsfluss auch bei Veränderungen aufrecht zu erhalten. Umgekehrt könnte auch Baufirmen und ihren Mitarbeitern mehr Wertschätzung entgegengebracht werden.

Abb. 03: In unterschiedlichen Formaten, hier bei der HSBK-Tour bei der Hamburger Hochbahn, werden Informationen weitergegeben und Exkursionen zu Baustellen angeboten. [Foto: Tina Unruh]

Tina Unruh ist Architektin und Geschäftsführerin der Hamburger Stiftung Baukultur (HSBK) sowie stellvertretende Geschäftsführerin der Hamburgischen Architektenkammer. Sie setzt sich für die Entwicklung von städtischen Räumen gemeinsam mit den Menschen vor Ort ein und bringt dafür Erfahrungen aus der architektonischen Praxis, der Forschung und Lehre sowie gemeinwohlorientierter Immobilienentwicklung aus Hamburg, New York und Zürich mit. Sie ist Gründungsmitglied der Genossenschaft Gröninger Hof eG sowie Mitglied im Aufsichtsrat.

Bei der Hamburger Stiftung Baukultur (HSBK) formen Architekten aller Fachrichtungen und Stadtplaner in einer sich wandelnden Gesellschaft maßgeblich die städtische Umgebung und schaffen damit den Raum für Möglichkeiten des Zusammenlebens in all seinen Facetten. Herausforderungen wie Klimakrise, Digitalisierung oder der demografische Wandel verändern diesen Lebensraum spürbar. Baukultur trägt konstruktiv dazu bei, Lösungen für alle zu finden, unter technischen, wirtschaftlichen und immer auch gestalterischen Aspekten.
Die Mitglieder der Hamburgischen Architektenkammer haben 2022 die HSBK gestiftet, da sie sich für die Zukunftsfähigkeit ihrer Stadt verantwortlich fühlen. Die Hamburger Stiftung Baukultur bietet nun die Plattform für einen lebendigen Austausch. Mehr unter www.hsbk.city.

6.3.6 Mittendrin im Geschehen: die Sicht der Wohnungswirtschaft

INTERVIEW – TINA UNRUH, PETRA MEMMLER

Petra Memmler ist Architektin und Dipl. Sachverständige (DIA) für die Bewertung von Grundstücken. Nach verschiedenen Stationen im Kontext der Hamburger Wohnungswirtschaft ist sie seit 10 Jahren für den Verband norddeutscher Wohnungsunternehmen (VNW) e. V. als Referentin für Technik und Energie sowie als Geschäftsführerin des Landesverbands Hamburg tätig. Im Rahmen dieses Aufgabenfelds berät sie die Mitglieder des VNW, ist als Referentin aktiv und setzt sich im Hamburger »Bündnis für das Wohnen« und zahlreichen anderen Gremien für die Belange der bestandshaltenden Wohnungsunternehmen und deren Mieter ein. Mit Tina Unruh, Geschäftsführerin der Hamburger Stiftung Baukultur (HSBK) thematisiert sie den Blickwinkel der Wohnungswirtschaft.

Der Verband norddeutscher Wohnungsunternehmen e. V., kurz VNW, vertritt die Interessen von mehr als 380 Wohnungsgenossenschaften, kommunalen und sozial orientierten privaten Wohnungsgesellschaften aus Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein. Die VNW-Mitgliedsunternehmen stehen als Bestandshalter für das bezahlbare Wohnen im Norden Deutschlands, setzen sich für ein Miteinander in den Nachbarschaften ein und sorgen für den sozialen Frieden in ihren Quartieren.

Tina Unruh: Frau Memmler, wie reagieren die Mitglieder des VNW und besonders deren Mieter auf das allgegenwärtige Thema Baustelle?

Petra Memmler: Ob Neubau, Nachverdichtung, Sanierung oder Modernisierung – Baumaßnahmen werden zunächst durch die Anwohner als eine Belastung angesehen. Lärm, Umzüge, Veränderungen in der Nachbarschaft, Einschränkungen bei den Zugänglichkeiten der bestehenden Angebote, Unsicherheiten in Hinblick auf die Mietenentwicklung. Wenn es dann geschafft und durchgestanden ist, sind alle froh. Denn auch wenn die Baumaßnahmen befürwortet werden, bedeutet das doch immer irgendwie Stress. Zum Glück ist dieser jedoch zeitlich begrenzt und absehbar. Unsere Mitgliedsunternehmen bereiten die Bauphasen durch rechtzeitige und detaillierte Informationen an die betroffenen Mieter vor und stehen ihnen während dieser Zeit mit Rat und Tat zur Seite. Um Akzeptanz für die belastenden Aspekte einer Baustelle zu schaffen ist es sehr wichtig, dass die Menschen vor Ort den Nutzen erkennen, der mit der Baumaßnahme verbunden ist.

Unruh: Auch die Unternehmen im VNW müssen ihre Bestände instand halten, energetisch ertüchtigen und weiterentwickeln. In den Ballungsräumen bedeutet das häufig eine Nachverdichtung. All dies löst Baumaßnahmen aus. Gibt es hier ein Bewusstsein bei Vermietern, möglichst sensibel in das Wohnumfeld der Menschen einzugreifen?

Memmler: Bei der Umsetzung von baulichen Maßnahmen haben unsere Mitgliedsunternehmen einen klaren Vorteil, denn die meisten unserer Wohnungsunternehmen haben große Bestände und können Ausgleichswohnungen anbieten. Das ist natürlich mit einem großen Aufwand verbunden, aber eine gute Voraussetzung, wenn größere Maßnahmen im Bestand anstehen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die bereits genannte frühzeitige und offene Kommunikation. Und auch ein Hinhören, welche Bedürfnisse die Bewohner genau haben. Vielleicht – das ist sogar sehr wahrscheinlich – geht mit den aktuellen Baumaßnahmen eine Verbesserung der persönlichen Wohnverhältnisse einher. Während unsere Wohnungsunternehmen genau hingucken, welche Maßnahmen erforderlich sind, der

Bausubstanz geschuldet oder in Hinblick auf die Erreichung der CO_2-Klimaneutralität des Gebäudebestands bis 2045 notwendig sind, spielt auch immer die soziale und wirtschaftliche Verträglichkeit eine große Rolle. Nachverdichtung ist hier auch ein Thema und wird von den Bewohnern bei allen hier genannten Maßnahmen am kritischsten gesehen. Dafür sind unsere Unternehmen sensibilisiert und berücksichtigen das entsprechend in ihrer Planung. Wie rücksichtsvoll die Gewerke dann vor Ort ihre Arbeiten ausführen, unterliegt nicht der unmittelbaren Steuerung des Wohnungsunternehmens. Wenn hier Konflikte entstehen, kann der Vermieter aber vermittelnd eingreifen.

Unruh: Nicht die Erwirtschaftung einer Maximalrendite, sondern das Angebot an bezahlbaren Wohnungen steht im Mittelpunkt Ihrer Arbeit. Die Mitgliedsunternehmen des VNW nennen sich selbst »die Vermieter mit Werten«. Gehört zu diesen Werten auch die Baukultur und sehen Sie Chancen, auch die laufend notwendigen Umbaumaßnahmen in baukulturelle Vermittlung einzubeziehen?

Memmler: Unsere Mitgliedsunternehmen müssen wirtschaftlich vernünftig handeln. Die Reinvestition der Mieteinnahmen in Bestand und Neubau gehört zur DNA ihres Geschäftsmodells als Bestandshalter. Auch wenn die Investitionen unserer Unternehmen (2,1 Milliarden Euro für Neubau, Sanierung und Modernisierung im Jahr 2023) erheblich sind, ist der Bestand mit mehr als 700.000 Wohnungen so groß, dass diese Mittel gezielt und wirkungsvoll eingesetzt werden müssen. Im Ergebnis werden überwiegend Maßnahmen gewählt, die die Baukultur wahren. Statt »efficiency first« durch das »Einpacken« der Fassaden von Einzelgebäuden mit großen Dämmpaketen werden in der Regel vielfältige Maßnahmen gewählt, die zur CO_2-Einsparung führen. Durch die Würdigung der gestalterischen Eigenschaften des Gebäudes und seiner Bedeutung im Quartierszusammenhang führen die Baumaßnahmen im Bestand meist zu einer Erhaltung oder sogar einer Verbesserung des Stadtbildes. Beim Neubau wird ebenfalls auf qualitätsvolle Architektur geachtet, denn die Langlebigkeit und Attraktivität der Wohnungen ist essenziell für das Geschäftsmodell von Bestandshaltern, die ihre Immobilien häufig über viele Jahrzehnte bewirtschaften. Die faktische Budgetgrenze einer Maßnahme stellt jedoch ehrlicherweise die für die betroffenen Haushalte zumutbare und leistbare Miete dar. Denn wenn die Bewohner die »Baustelle mitmachen« und am Ende feststellen müssen, dass sie sich den umgebauten oder neu ergänzten Wohnraum nicht leisten können, sorgt das in den Nachbarschaften für verständlichen Unmut und mindert die Akzeptanz künftiger Maßnahmen.

Unruh: Ich fasse einmal zusammen: Letztlich geht es um Lebensraum für Menschen – auch während der dringend notwendigen Baumaßnahmen. Vielen Dank für dieses interessante Interview!

7 ZUKUNFT DER INFRA-STRUKTUR

Die Zukunft der Infrastruktur ist von zentraler Bedeutung, nicht nur für die wirtschaftliche Entwicklung, sondern ebenso für das tägliche Leben unserer Gesellschaft. Stichworte wie Digitalisierung, Nachhaltigkeit sowie die Anpassung an den Klimawandel stehen hier besonders im Fokus. Die Instandhaltung der vorhandenen Strukturen und der weitere Ausbau von Verkehrswegen (auf der Straße, Schiene und auf dem Wasser), von Strom- und anderen Versorgungsnetzen (Wasser, Abwasser) sowie der digitalen Netze sind Mammutaufgaben, vor denen Länder, Kommunen sowie die gesamte Baubranche stehen. Notwendige Eckpfeiler für die Zukunft der Infrastruktur sind die intelligente Verknüpfung von Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Anpassungsfähigkeit. Unabdingbar ist zudem die Notwendigkeit der Zusammenarbeit – sowohl staatliche als auch private Akteure müssen in diesen Bereichen massiv investieren und gemeinsam an der Gestaltung von zukunftsfähigen Infrastrukturen arbeiten.

7.1 Digitale Zukunft

Die Digitalisierung bildet einen der Schwerpunkte von zukünftiger Infrastruktur: Technologien wie 5G, Glasfaser und andere sind essenziell für zukunftsfähige Infrastruktur(en). Durch sie werden zum Beispiel vernetzte Smart Cities, autonomes Fahren und neue Formen von Zusammenarbeit erst möglich. Die verschiedenen Infrastruktursektoren wie Verkehr, Energie und Kommunikation, müssen besser vernetzt werden, um Effizienz, Flexibilität und Nachhaltigkeit zu steigern. Im folgenden Kapitel stellen Unternehmen, Experten und weitere (Bau-)Beteiligte Lösungsmöglichkeiten vor, die zeigen, dass die digitale Zukunft bereits begonnen hat.

7.1.1 Digitalisierung und KI – Treiber der Bauwirtschaft von morgen

Die Bauwirtschaft steht an einem Wendepunkt. Komplexität, steigende Kosten und der allgegenwärtige Fachkräftemangel fordern Unternehmen heraus, ihre Arbeitsweise zu überdenken. Digitalisierung wird dabei zur entscheidenden Antwort: Mit zentralisierten Plattformen, standardisierten Prozessen und Künstlicher Intelligenz (KI) entstehen neue Möglichkeiten, Effizienz und Qualität zu steigern. Aber wie gelingt die erfolgreiche Einführung neuer Technologien?

In diesem Artikel kommen zwei erfahrene Experten zu Wort, die tiefgreifende Einblicke in die Praxis der Digitalisierung geben. Florian Biller, Geschäftsführer der Capmo GmbH, erklärt, wie zentrale Plattformen und digitale Tools nicht nur den Hochbau revolutioniert haben, sondern auch für den Tiefbau unverzichtbar sind. Er zeigt auf, warum Digitalisierung Chefsache ist und wie sie die Zusammenarbeit zwischen Stakeholdern verbessert.

Dass digitale Transformation ein entscheidender Erfolgsfaktor für die Bauwirtschaft ist, bestätigt auch Arnulf Christa, ehemaliger CEO der BAUER Spezialtiefbau GmbH und Mitglied des Industriegremiums von Capmo. Im zweiten Teil teilt er seine Erfahrungen aus der Implementierung neuer Technologien, gibt praxisnahe Tipps, von der Prozessanalyse bis zur Softwareauswahl, und zeigt, wie Digitalisierung erfolgreich in bestehende Strukturen integriert werden kann. Seine Botschaft ist klar: Ohne einen mutigen Schritt in die digitale Zukunft bleibt das Potenzial der Bauwirtschaft unausgeschöpft.

7.1.1.1 Digitalisierung als Schlüssel für weniger Mängel: Herausforderungen und Lösungen im Bauprojektmanagement

INTERVIEW – FLORIAN BILLER

Florian Biller ist CEO und Mitgründer von Capmo, einem führenden Technologieunternehmen mit gleichnamiger Software, das die Bauindustrie mit innovativen digitalen Lösungen revolutioniert. Die intuitive, cloudbasierte Plattform ermöglicht es, Prozesse über alle Bauphasen hinweg ganzheitlich zu digitalisieren, zentral zu steuern und alle Beteiligten zu koordinieren. Unter Florian Billers Leitung hat Capmo bereits Fachkräfte in über 10.000 Bauprojekten dabei unterstützt, die digitale Transformation in der Bauwirtschaft voranzutreiben. Mit einem Hintergrund in Wirtschaft und einer Leidenschaft für Technologie verbindet er strategische Vision mit einem praxisnahen Ansatz, um nachhaltige Veränderungen in der Branche zu bewirken.

Heike Böhmer, Geschäftsführende Direktorin des IFB: Herr Biller, die Bauwirtschaft steht vor erheblichen Herausforderungen – von Fachkräftemangel über steigende Kosten bis hin zu ineffizienten Prozessen, die oft zu Mängeln führen. Wie sehen Sie die Rolle der Digitalisierung in diesem Kontext?

Florian Biller: Die Digitalisierung bietet enormes Potenzial, um genau diese Herausforderungen zu adressieren. Unsere jüngste Effizienzstudie[1] zeigt, dass Unternehmen, die ihre Prozesse digitalisieren, beeindruckende Fortschritte erzielen: So werden 31 Prozent mehr Aufgaben effizient abgewickelt, und die durchschnittliche Bearbeitungszeit von Aufgaben konnte um 17,9 Prozent reduziert werden.

Diese Zahlen sind mehr als nur Statistiken – sie zeigen, wie digitale Tools dazu beitragen können, Projektverzögerungen und Kostenüberschreitungen zu minimieren. Der Fachkräftemangel ist eine der größten Herausforderungen. Digitalisierung bietet hier zwei wesentliche Vorteile: Erstens entlasten automatisierte Workflows das Personal von Routineaufgaben, sodass mehr Kapazitäten für komplexere Tätigkeiten entstehen. Zweitens ermöglichen digitale Plattformen den unternehmensweiten Wissenstransfer – ein entscheidender Vorteil in Zeiten hoher Mitarbeiterfluktuation.

Auf einer makroökonomischen Ebene sehen wir, dass die Bauwirtschaft bei der Produktivitätssteigerung im Vergleich zu anderen Industrien zurückliegt. In den letzten zwei Jahrzehnten hat sich die Produktivität in der Fertigungsindustrie um etwa 30 Prozent erhöht, während die Bauwirtschaft nahezu stagniert. Das ist ein klarer Weckruf: Wir müssen jetzt in Technologien investieren, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Böhmer: Welche Best Practices aus dem Hochbau lassen sich Ihrer Meinung nach erfolgreich auf den Tiefbau übertragen?

Biller: Eine zentrale Erkenntnis aus dem Hochbau ist die Einführung einer Plattform, die alle Projektbeteiligten vernetzt. Eine solche Plattform bringt Transparenz in die Aufgabenverteilung und die Verantwortlichkeiten im Projekt. Sie ermöglicht es, den Soll-Ist-Zustand des Projekts jederzeit nachvollziehbar darzustellen.

Dadurch reduzieren sich Kommunikationsschleifen und Missverständnisse zwischen den Stakeholdern erheblich – weniger, aber qualitativ bessere Abstimmungen führen zu effizienteren Prozessen und weniger Fehlern.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Digitalisierung von Prozessen, die automatisch mit der Sammlung von Daten einhergeht. Es gilt: Man kann nur verbessern, was man messen kann. Gerade im Hochbau, wo Prozesse oft stark verflochten sind und die Anzahl an Nachunternehmern hoch ist, ist es entscheidend, alles nachzuverfolgen. Unsere Studie zeigt, dass Projekte, die digitale Aufgabenmanagement-Tools nutzen, 20 Prozent weniger Fehler aufweisen. Diese Erkenntnisse lassen sich auf den Tiefbau übertragen – insbesondere auf größere Infrastrukturprojekte, bei denen ebenfalls viele Beteiligte und komplexe Abläufe ineinandergreifen.

Schließlich spielt die Standardisierung von Prozessen eine zentrale Rolle. Im Hochbau hat sich gezeigt, dass standardisierte Workflows, etwa durch Checklisten oder strukturierte Prüfprozesse, die Fehlerquote bei Abnahmen um bis zu 25 Prozent reduzieren können. Solche Standards sollten auch im Tiefbau eingeführt werden, insbesondere im Nachtragsmanagement oder bei der Qualitätskontrolle. Sie schaffen Verlässlichkeit und reduzieren die Abhängigkeit von individuellen Entscheidungen einzelner Beteiligter. Zusammenfassend können wir sagen: Mit einer zentralen Plattform, einer konsequenten Datenerhebung und standardisierten Prozessen lassen sich sowohl im Hochbau als auch im Tiefbau enorme Fortschritte erzielen – für effizientere Projekte und eine bessere Zusammenarbeit.

1 Capmo GmbH (Hrsg.): Bau-Effizienz-Studie 2024: Wie effizient baut Deutschland? Vgl. https://www.capmo.com/ebook/bau-effizienz-studie-2024 [abgerufen am: 21.02.2025]

Böhmer: Wer sollte Ihrer Meinung nach den Digitalisierungsprozess in einer Organisation steuern? Wer ist verantwortlich dafür, die richtigen Impulse und Vorgaben zu setzen?

Biller: Digitalisierung ist Chefsache. Die Verantwortung für den Digitalisierungsprozess kann und sollte nicht allein bei der IT-Abteilung oder den operativen Teams liegen. Es braucht die klare Unterstützung und Steuerung durch die Unternehmensführung. Warum? Weil die Digitalisierung nicht nur technologische Veränderung bedeutet, sondern auch strategische Entscheidungen erfordert, die alle Bereiche einer Organisation betreffen – von den Arbeitsprozessen bis hin zur Unternehmenskultur.

Der Input sollte natürlich aus den Fachabteilungen kommen, denn sie kennen die spezifischen Anforderungen und Herausforderungen ihrer Arbeit am besten. Aber die Leitung des Prozesses muss zentral erfolgen, idealerweise durch die Geschäftsführung oder eine explizit dafür benannte Rolle wie einen Chief Digital Officer (CDO). Nur so lassen sich alle Beteiligten ins Boot holen, Prioritäten setzen und die notwendige Investitionsbereitschaft sicherstellen. Digitalisierung funktioniert nicht von unten nach oben, sondern nur mit klarer Führung von oben.

Böhmer: Welche Schritte empfehlen Sie Unternehmen, die mit der Digitalisierung beginnen möchten?

Biller: Der erste Schritt ist immer eine umfassende Analyse der bestehenden Prozesse. Unternehmen sollten sich fragen: Wo treten die meisten Fehler auf? Welche Schritte sind besonders zeitintensiv? Und wo gehen wichtige Informationen verloren? Diese Fragen helfen, die Bereiche zu identifizieren, die von einer Digitalisierung am meisten profitieren.

Ein bewährtes Vorgehen ist, mit einem Pilotprojekt zu starten. Zum Beispiel könnte ein Unternehmen zunächst nur das Mängelmanagement digitalisieren, um die Auswirkungen zu testen. Der Vorteil: Der Umfang ist überschaubar, und die Ergebnisse sind schnell sichtbar. Unsere Erfahrung zeigt, dass solche Pilotprojekte oft den internen Widerstand gegen Digitalisierung abbauen, weil die Vorteile für alle Beteiligten greifbar werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist das Change-Management. Digitalisierung bedeutet nicht nur, neue Tools einzuführen, sondern auch die Arbeitsweise und Denkweise eines gesamten Teams zu verändern. Hier ist es entscheidend, die Mitarbeiter von Anfang an einzubinden und sie durch Schulungen zu unterstützen. Schließlich sind es die Menschen, die den Erfolg der Digitalisierung bestimmen, nicht die Technologie.

Böhmer: Ein Thema, das immer wieder angesprochen wird, ist die Zusammenarbeit zwischen den Stakeholdern. Wie kann Digitalisierung hier helfen?

Biller: Zusammenarbeit ist ein Schlüsselfaktor, gerade im Tiefbau, wo häufig mehrere Unternehmen, Behörden und Planer an einem Projekt beteiligt sind. Die Herausforderung liegt darin, alle Beteiligten auf denselben Informationsstand zu bringen. Ohne eine zentrale Plattform, auf der alle relevanten Daten, Pläne und Aufgaben verfügbar sind, kommt es zwangsläufig zu Missverständnissen und Verzögerungen. Digitale Plattformen schaffen hier Abhilfe. Sie ermöglichen es, dass alle Projektbeteiligten – unabhängig davon, ob sie auf der Baustelle oder im Büro sind – auf Echtzeitdaten zugreifen können.

Ein Beispiel aus unserer Effizienzstudie: Projekte, die eine zentrale digitale Plattform nutzten, konnten die Abstimmungszeit bei Planänderungen um 40 Prozent reduzieren. Das spart nicht nur Zeit, sondern verhindert auch Fehler, die durch mangelnde Kommunikation entstehen.

Böhmer: Vielen Dank für das aufschlussreiche Interview!

7.1.1.2 Digitalisierung erfolgreich umsetzen: In fünf Schritten zur digitalen Transformation von Bauunternehmen

Arnulf Christa

Wie im ersten Teil dieses Beitrags dargelegt, tragen digitale Technologien dazu bei, Prozesse zu optimieren, Fehlerquoten zu senken und die Zusammenarbeit zwischen Projektbeteiligten zu verbessern. Standardisierte Workflows und zentrale Plattformen bieten dabei entscheidende Vorteile für eine effizientere Projektabwicklung. Die erfolgreiche Implementierung digitaler Lösungen erfordert jedoch eine strategische Herangehensweise. Der folgende Beitrag widmet sich daher der praktischen Umsetzung der digitalen Transformation in Bauunternehmen. Arnulf Christa, selbstständiger Interim-Manager, ehemaliger CEO der BAUER Spezialtiefbau GmbH und Mitglied des Industriegremiums der Capmo GmbH erläutert in fünf Schritten, welche Faktoren für erfolgreiche Digitalisierungsprojekte entscheidend sind und gibt konkrete Handlungsempfehlungen aus über 20 Jahren Erfahrung.

1 Konzeption und Team

Oft wird davon ausgegangen, dass sich der IT-Verantwortliche um die Digitalisierung kümmern wird. Doch diese Annahme greift zu kurz. Zwar ist IT-Kompetenz essenziell, aber der Fokus liegt auf der Optimierung der Geschäftsprozesse. Ein Lean-Management-Beauftragter kann hier eine geeignete Ansprechperson sein. In jedem Fall sollte der Digitalisierungsbeauftragte direkt an die Geschäftsführung berichten, da ein so weitreichender Veränderungsprozess sonst zum Scheitern verurteilt ist. Idealerweise verfügt diese Person über Kenntnisse in den Bereichen Prozessmanagement, Digitalisierung, IT und Change-Management.

Falls innerhalb des Unternehmens bereits eine Person mit relevanten, aber nicht vollständigen Qualifikationen vorhanden ist, sollte Zeit für Weiterbildung eingeplant werden. Die Rekrutierung eines externen Experten auf dem Arbeitsmarkt ist nicht zwangsläufig schneller. Der Digitalisierungsbeauftragte benötigt ein Team mit Vertretern aus allen Abteilungen, die je nach Unternehmensgröße unterschiedlich intensiv eingebunden sind. Investitionen in externe Schulungen sind sinnvoll, da bewährte Konzepte für die Digitalisierung existieren. Der Austausch mit befreundeten Unternehmen kann ebenfalls wertvolle Erkenntnisse liefern.

Für die Digitalisierungskonzeption ist eine detaillierte Analyse der IT-Landschaft und Datenbankstrukturen erforderlich. Zudem müssen sämtliche Unternehmensprozesse, insbesondere Baustellenprozesse, dokumentiert werden. Ein Beispiel ist der Urlaubsantrag: In vielen Unternehmen erfolgt dieser immer noch papierbasiert. Die genaue

Abfolge der Bearbeitungsschritte ist oft nicht dokumentiert. Fehlen solche detaillierten Prozessbeschreibungen, müssen sie erstellt werden – dies gilt für alle relevanten Unternehmensprozesse, von der Angebotserstellung bis zur Freigabe. Zu jedem Prozess sollten Verbesserungsvorschläge notiert werden. Dabei ist eine pragmatische Herangehensweise ratsam, um nicht in endlosen Dokumentationen zu verharren. Zudem sollte frühzeitig über externe Unterstützung nachgedacht werden, um Fehlversuche und Frustrationen zu vermeiden.

Abb. 01: Unternehmen, die ihre Prozesse digitalisieren, wickeln mehr Aufgaben effizient ab und reduzieren die durchschnittliche Bearbeitungszeit von Aufgaben. [Foto: Capmo GmbH]

2 Auswahl der Werkzeuge

Laut einer Fraunhofer-Studie[2] entfaltet die Digitalisierung ihr volles Potenzial vor allem durch eine umfassende Vernetzung der Systeme – von der Planungssoftware bis zu den Maschinen. Dies sollte bei der Konzeption berücksichtigt werden. Dabei kann es notwendig sein, sich von gewohnten, aber ineffizienten Tools zu verabschieden. Eine einheitliche Softwarelösung für gleichartige Aufgaben im Unternehmen erhöht die Effizienz. So sollten beispielsweise alle mit demselben Kalkulations- und Terminplanungssystem arbeiten.

Ein umfassender Marktüberblick sowie eine Evaluation der verfügbaren Software sind essenziell. Dabei sollten nicht nur Funktionen, sondern auch die Benutzerfreundlichkeit berücksichtigt werden. Die IT-Abteilung sollte spätestens in der Testphase einbezogen werden. Ein reduzierter Softwareeinsatz kann vorteilhaft sein, sodass jeder Arbeitsplatz

2 Vgl.: Fraunhofer IESE; Feth, D.; Jeswein, T.; Ludborzs, S.: Stand der Digitalisierung in der Baubranche (12.05.2023). https://www.iese.fraunhofer.de/blog/digitalisierung-baubranche-studie/ [abgerufen am: 13.12.2024]

nur ein zentrales Softwarepaket für die tägliche Arbeit nutzt. Beispielsweise sollte ein Projekt- oder Bauleiter mit einem Projektmanagementsystem arbeiten, das Kommunikation, Dokumentation sowie Plan- und Terminverwaltung integriert. Moderne, intuitive Benutzeroberflächen sowie der geräteunabhängige Zugriff auf die gleichen Daten durch alle Projektbeteiligten sind entscheidend – sei es mit dem Mobiltelefon direkt von der Baustelle oder vom Laptop am Büroarbeitsplatz.

Abb. 02: Digitale Plattformen ermöglichen, dass alle Projektbeteiligten – unabhängig davon, ob sie auf der Baustelle oder im Büro sind – auf Echtzeitdaten zugreifen können. [Foto: Capmo GmbH]

Offene und gut dokumentierte Schnittstellen, auch für ältere Datenaustauschformate wie GAEB, müssen vorhanden sein. Internationale Softwarelösungen weisen oft Schwierigkeiten bei der Abbildung spezifischer deutscher Anforderungen auf, etwa im Angebotswesen mit »Urkalkulation« oder »EFB-Blättern«. Zudem muss die Software den deutschen Datenschutzbestimmungen entsprechen. Der Trend geht dahin, Daten in der Cloud zu speichern, wodurch ein eigener Server im Unternehmen oft nicht mehr erforderlich ist. Diese Veränderung sollte frühzeitig mit der IT-Abteilung besprochen werden. Der Administrationsaufwand ist dabei sorgfältig zu prüfen. Ein sicherer, aber einfacher Zugang zu den Softwarelösungen – idealerweise über Single-Sign-On – ist ebenso zu gewährleisten. Auch die Kosten sowie die Reputation der Softwareanbieter sollten in die Entscheidung einfließen.

3 Kommunikation

Kommunikation ist ein zentraler Erfolgsfaktor in jedem Veränderungsprozess. Digitalisierung darf nicht als Geheimsache betrachtet werden. Fachabteilungen sollten in die Auswahl der Software einbezogen und der Digitalisierungsprozess frühzeitig mit realistischem Zeit- und Kostenrahmen kommuniziert werden. Der Digitalisierungsbeauftragte sollte als Teil der obersten Führungsebene vorgestellt werden. Regelmäßige Informationen zu den nächsten Zielen, Schritten sowie Erfolgen und Herausforderungen sind unerlässlich. Gleichzeitig sollte verdeutlicht werden, dass konstruktive Kritik erwünscht ist, während die Beteiligung am Prozess keine Option, sondern eine Notwendigkeit darstellt. Nach erfolgreicher Einführung sollte die Digitalisierung auch mit den wichtigsten Stakeholdern aktiv kommuniziert werden.

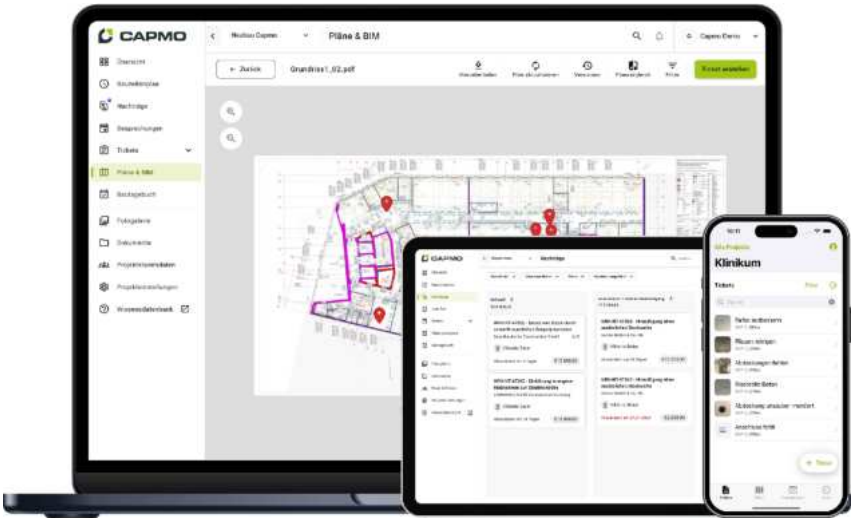


Abb. 03: Egal ob vom Büroarbeitsplatz, Tablet oder Mobiltelefon: Alle wichtigen Aufgaben im Projektmanagement und auf der Baustelle sind auf einer integrierten KI-gestützten Plattform vereint. [Foto: Capmo GmbH]

4 Terminplan und Einführung

Ein allgemeiner Zeitrahmen für die Digitalisierung lässt sich nur schwer pauschalisieren, da dieser stark von den individuellen Prozessen, dem aktuellen Digitalisierungsgrad und den Unternehmenszielen abhängt. Eine realistische Planung ist jedoch essenziell. Jede Software sollte vor dem Roll-out intensiv getestet werden, auch im Zusammenspiel mit bereits bestehenden Systemen. Diese Pilotprojekte liefern wichtige Erkenntnisse für den späteren Implementierungsprozess und den Schulungsbedarf.

Während einfache Workflows, wie Krankmeldungen, möglicherweise nur eine kurze Information per E-Mail erfordern, sind für komplexe Softwarelösungen umfassende Schulungen notwendig. Key-User können direkt beim Softwareanbieter geschult werden, während weitere Schulungen idealerweise am Arbeitsplatz oder online stattfinden. Ein entscheidender Punkt ist das konsequente Abschalten alter Prozesse. Anderenfalls besteht die Gefahr, dass Mitarbeitende an alten Arbeitsweisen festhalten.

5 »Status« und weitere Schritte

Es kann passieren, dass der ursprüngliche Zeitplan angepasst werden muss – sei es durch unerwartete Softwareprobleme oder mangelnde Ressourcen für Schulungen. Eine gewisse Flexibilität ist daher notwendig. Ein digitalisiertes Unternehmen wird im Verlauf des Prozesses neue Möglichkeiten entdecken, die zuvor nicht absehbar waren. Sobald alle relevanten Unternehmensinformationen strukturiert online verfügbar sind, kann beispielsweise eine KI genutzt werden, um benötigte Dokumente für Nachtragsangebote in Sekundenschnelle zu finden. Datenanalysen ermöglichen fundierte Entscheidungen und verbessern die Kalkulation zukünftiger Projekte. Langfristig sollten digitale Prozesse die Effizienz so steigern, dass Führungskräfte und Mitarbeitende weniger Verwaltungsaufwand haben und sich stärker auf ihre Kernaufgaben konzentrieren können. Zukunftsplanungen sollten daher erst nach der erfolgreichen Digitalisierung erfolgen, um das Potenzial neuer Geschäftsmodelle voll auszuschöpfen.

Arnulf Christa (Dipl.-Ing. univ.) war langjähriger Vorsitzender der Geschäftsführung/CEO der BAUER Spezialtiefbau GmbH. Mit weltweit rund 6.500 Mitarbeitern konzentriert sich das Stammunternehmen der BAUER Gruppe vor allem auf die Ausführung komplexer Spezialtiefbauarbeiten. Arnulf Christa verfügt über eine breite Branchenerfahrung und war weltweit erfolgreich im Aufbau neuer Märkte und der Restrukturierung von Bauunternehmen tätig. Er leitete erfolgreich Change-Management- und Digitalisierungsprojekte. Er verfügt nicht nur über fundiertes technisches und operatives Wissen, sondern auch über Erfahrung in der strategischen Neuausrichtung und operativen Führung von Unternehmen unterschiedlichster Größe.

7.1.2 Mehr lernen aus wenig Daten: Digitalisierung von Bauwerksplänen mit Few-Shot-Detection

Lisa von Rössing

Hintergrund

Über zwei Drittel der Wohngebäude in Deutschland wurden vor 1977 gebaut und sind größtenteils entweder gar nicht oder teilweise energetisch saniert.[1] Dadurch verbrauchen sie fast doppelt so viel Heizenergie wie neuere Gebäude.[2] Das zeigt einen großen Bedarf an Modernisierungen. Davon profitieren nicht nur die Hausbewohner, sondern diese leisten auch einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele. Ein ähnlicher Instandsetzungsbedarf besteht im Bereich der Infrastruktur, insbesondere bei Brücken, deren schlechter Zustand regelmäßig in den Medien diskutiert wird.[3] Diese Vielzahl notwendiger Sanierungsmaßnahmen führt zu einem erheblichen Planungsaufwand, der durch den bestehenden Fachkräftemangel in westlichen Nationen[4] noch weiter verschärft wird. Umso wichtiger ist es, dass die Planungsprozesse effizient sind, um Ressourcen optimal einzusetzen und eine zügige Umsetzung der Projekte zu gewährleisten.

Eine Möglichkeit zur Unterstützung der Planungsprozesse ist die zentrale Verwaltung und der strukturierte Austausch von Informationen mittels Building Information Modeling (BIM). Im Mittelpunkt steht ein digitales Modell des Bauwerks, das alle relevanten Daten integriert und allen Beteiligten zugänglich macht. Beispielsweise kann anhand eines Grundrisses und der Informationen zur Dämmung schnell das Energiesparpotenzial eines Gebäudes berechnet und darauf basierend eine Modernisierung geplant werden.

Für viele Bestandsbauwerke existieren diese digitalen Modelle noch nicht und müssen nachträglich erstellt werden. Dazu werden häufig analoge Dokumente wie Grundrisse und Baupläne herangezogen, um das digitale Bauwerksmodell zu rekonstruieren. Dieser Prozess erfolgt bislang größtenteils manuell, was mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Künstliche Intelligenz (KI) kann jedoch bereits heute dazu beitragen, diese Rekonstruktion zu automatisieren und effizienter zu gestalten.

1 Vgl. co2online gemeinnützige Beratungsgesellschaft mbH: Energiedaten von Wohngebäuden in Deutschland. https://www.wohngebaeude.info/ [abgerufen am: 18.02.2025]

2 Umweltbundesamt Dessau-Roßlau (Hrsg.): Metzger, S.; Jahnke, K.; Walikewitz, N.; Otto, M.; Grondey, A.; Fritz, S.: Wohnen und Sanieren: Empirische Wohngebäudedaten seit 2002. Dessau-Roßlau: Selbstverlag, 2019

3 Vgl. Landmesser, D.: Brückensanierung wird teurer als gedacht. https://www.tagesschau.de/wirtschaft/bruecken-modernisierung-kosten-100.html [abgerufen am: 18.02.2025]

4 Vgl. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.: Fachkräftesituation im Bauhauptgewerbe. https://www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/publikationen/brancheninfo-bau/fachkraeftesituation-im-bauhauptgewerbe [abgerufen am: 18.02.2025]

Dazu werden Methoden der *Computer Vision* eingesetzt. Die Digitalisierung von Bauwerksplänen ist sehr repetitiv und zeitaufwendig, da Tausende von Dokumenten gesichtet und verarbeitet werden müssen. Dies prädestiniert den Prozess für eine Automatisierung. Beispielsweise müssen Symbole wie Türen und Fenster auf Grundrissen erkannt werden, um Wände richtig zu rekonstruieren. Auf Bauplänen werden Symbole wie Maßlinienbegrenzungen und Schnittsymbole erkannt, um Bauwerke richtig zu dimensionieren und Schnittansichten korrekt zuzuordnen.

Für die Erkennung der verschiedenen Symbole werden daher künstliche neuronale Netze (KNNs), eine Unterform der KI in der *Computer Vision*, verwendet. Ein KNN-Modell ist in der Lage, alle Symbole auf einem Bild in Millisekunden zu finden und zu markieren, wodurch eine schnelle Verarbeitung einer großen Anzahl an Plänen möglich wird. Die identifizierten Symbole liefern Informationen, die für die Rekonstruktion des 3D-Modells genutzt werden können.

Damit ein KNN die Symbole gezielt identifizieren kann, muss es zunächst auf diese Aufgabe trainiert werden. Dafür sind jedoch große Datenmengen erforderlich. Bei Bauwerksplänen kommt erschwerend hinzu, dass der Zeichenstil je nach Dokument variieren kann, und nicht jede Tür oder Maßlinienbegrenzung gleich aussieht. Für jede Variation eines Symbols werden zusätzliche Daten benötigt, um das Modell zu trainieren. Dabei mangelt es grundlegend an Daten: Dokumente wie Grundrisse und Baupläne unterliegen oft dem Datenschutz oder werden aus Sicherheitsbedenken zurückgehalten. Selbst wenn solche Dokumente verfügbar sind, werden teure Experten benötigt, um die Symbole für das Training zu markieren[5] – natürlich für jeden einzelnen Zeichenstil. Durch diese Faktoren erhöhen sich die Trainingskosten für die Symboldetektion in Bauwerksplänen mit KNNs, was den Prozess weniger effizient und wirtschaftlich macht.

Diese Probleme könnten die Methoden der *Few-Shot-Detection* (FSD, etwa »Wenig-Beispiel-Detektion«) lösen, denn ein FSD-Modell lernt unbekannte Symbole anhand von nur wenigen Beispielen. Anstatt aus Tausenden von Symbolinstanzen zu lernen, werden nur 0 bis 30 benötigt. Dadurch werden die eben beschriebenen Herausforderungen des allgemeinen Datenmangels und der unterschiedlichen Zeichenstile effizient beseitigt. In Fließschemata, beispielsweise für Rohrleitungen, können FSD-Methoden erfolgreich angewandt werden, wie von Gupta et al. gezeigt.[6] Fließschemata sind aber visuell einfacher als beispielsweise Baupläne, weshalb zu erwarten ist, dass die Anwendung von FSD-Methoden bei Bauwerksplänen eine größere Herausforderung darstellt. Daher

5 Pizarro, P.N.; Hitschfeld, N.; Sipiran, I.; Saavedra, J.M.: Automatic floor plan analysis and recognition. Automation in Construction 140 (2022), August, Nr. 104348, DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104348

6 Gupta, M.; Wei, C.; Czerniawski, T.: Semi-supervised symbol detection for piping and instrumentation drawings. Automation in Construction 159 (2024), März, Nr. 105260, DOI: 10.1016/j.autcon.2023.105260

musste erst einmal grundlegend untersucht werden, wie umsetzbar die Anwendung von FSD-Methoden in Bauwerksplänen ist.

Ein kurzer Ausflug in die Theorie

Um die Untersuchung dieser Fragestellung besser nachzuvollziehen, bedarf es etwas Hintergrund. Ein KNN zur Objektdetektion – denn Symbole sind in diesem Kontext Objekte – besteht aus drei Hauptkomponenten: dem *Backbone*, dem *Neck* und einem oder mehreren *Heads*. Der Backbone extrahiert die Merkmale eines Bildbereiches, beispielsweise wo sich Kanten befinden, und übergibt diese an den Neck. Der Neck berechnet sogenannte *Regions of Interest* (RoI, »Regionen von Interesse«), in denen sich wahrscheinlich ein Objekt befindet und die im Folgenden genauer betrachtet werden sollen. Auf Basis dieser RoI und der Merkmale aus dem Backbone bestimmen die Heads, welches Objekt gefunden wurde. Dieser Schritt, in dem unterschieden wird, ob es sich bei einer Auswahl an Pixeln um eine Maßlinienbegrenzung, ein Schnittsymbol, oder doch Hintergrund handelt, nennt sich Klassifikation. Weiterhin wird bestimmt, wo genau sich das Objekt befindet, die sogenannte Lokalisation. Letzteres wird durch eine *Bounding Box* definiert, die kleinste rechteckige Box, die das Objekt vollständig umschließt (Abb. 01).

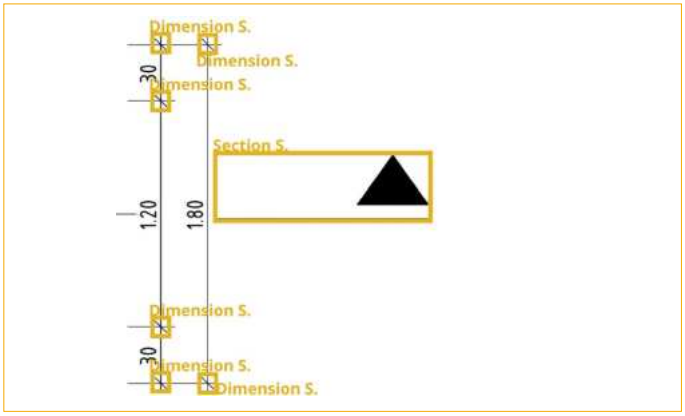


Abb. 01: Detektion von Maßlinienbegrenzungen (Dimension Symbol) und Schnittsymbolen (Section Symbol) in einem Brückenbauplan [Quelle: Ruhr-Universität Bochum]

Zur Einschätzung der Leistung der Detektionsmodelle wird vor allem die *mean average precision* (mAP, mittlere durchschnittliche Präzision) verwendet, die sich zwischen 0 und 100 Prozent bewegt. Die mAP-Berechnung berücksichtigt, wie oft die gesuchten Objekte gefunden wurden, wie oft Hintergrundpixel fälschlicherweise als Objekt identifiziert, und wie genau die Objekte lokalisiert wurden. Ein mAP-Wert von 100 Prozent würde bedeuten, dass alle Objekte perfekt lokalisiert und klassifiziert wurden – dieser Wert ist aber selbst für Menschen unerreichbar.

Die bisherige Forschung

Um die Studie einzuordnen, wurde zunächst die bestehende Forschung analysiert. Es gibt bereits viele Ansätze, die genau und schnell verschiedene Symbole erkennen können. Allerdings werden die dafür genutzten KNN-Modelle auf großen Datensätzen trainiert, was hier vermieden werden soll. Und seltene Symbole mit wenig Trainingsdaten werden ebenfalls kaum berücksichtigt. Auch war keine Studie auffindbar, in der FSD-Methoden auf Architekturzeichnungen angewandt werden. Bei anderen technischen Zeichnungen dagegen, wie den Fließschemata, werden diese Methoden erfolgreich eingesetzt, wie von Gupta et al. gezeigt. Auf Basis dieser Auswertung der vorhandenen Forschung wurde daher entschieden, mit der Studie fortzufahren, da ein unüberprüftes Potenzial der FSD-Methoden für die Symbolerkennung in Bauwerksplänen offensichtlich war.

Daten und Modelle

Es wurden zwei Datensätze für die Evaluierung von FSD-Methoden verwendet: »Bridge«, ein relativ kleiner Datensatz mit Brückenbauplänen, und »Cubicasa5k«[7], ein großer und vielfältiger Grundriss-Datensatz. Vor dem Training wurden die Symbole jedes Datensatzes in häufige und seltene Symbole unterteilt. Häufige Symbole werden als bekannt behandelt, was heißt, dass davon ausgegangen wird, dass diese Symbole in großer Zahl für das Training zur Verfügung stehen. Seltene Symbole werden als unbekannte, neue Symbole behandelt, von denen nur wenige Beispiele verfügbar sind. Die Modelle werden also intensiv mit den bekannten Symbolen trainiert, aber entweder gar nicht oder nur kurz mit den neuen Symbolen. Von Letzteren wurden maximal 30 Instanzen pro Symbol zum Training verwendet.

Außerdem wurden zwei FSD-Methoden ausgewählt, die in Abb. 02 schematisch dargestellt sind. Beide Methoden trainieren ein Modell zuerst auf einem größeren Datensatz. Dann folgt ein Feineinstellungs-Schritt, für den ein sehr kleiner Datensatz mit neuen Symbolen verwendet wird. Das so trainierte Modell kann dann für die Inferenz, also das Erkennen der bekannten und der neuen Symbole, verwendet werden.

7 Kalervo, A.; Ylioinas, J.; Häikiö, M.; Karhu, A.; Kannala, J.: CubiCasa5K: A Dataset and an Improved Multi-Task Model for Floorplan Image Analysis. In: Felsberg, M.; Forssén, P.; Sintorn, I.; Unger, J. (Hrsg.): Image Analysis. Cham: Springer, 2019, DOI: 10.1007/978-3-030-20205-7_3

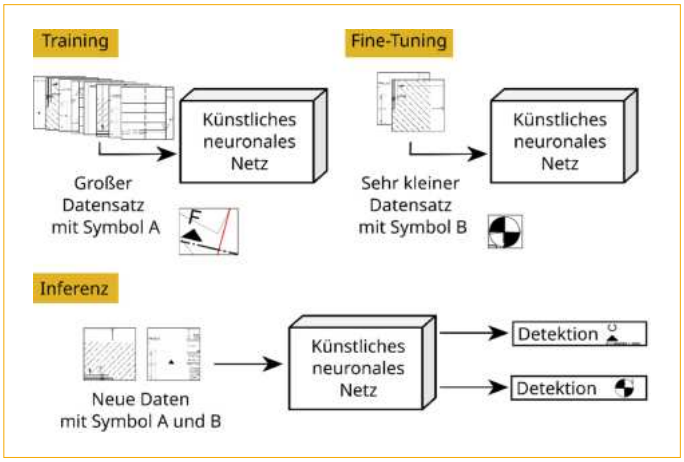


Abb. 02: Schema der beiden evaluierten FSD-Methoden Brute-Force-Baseline (BFB) und Two-Step-Fine-Tuning-Approach (TFA) [Quelle: Ruhr-Universität Bochum]

Die erste betrachtete Methode heißt **Brute-Force-Baseline (BFB)**. Hierbei wird das populäre Detektionsmodell YOLOv8 verwendet, um Regionen von Interesse, die RoI, auf einem Bauwerksplan zu identifizieren. Ein siamesisches Netz, eine spezielle Art von KNN, das auf das Erkennen von Ähnlichkeiten trainiert ist, vergleicht dann die vorgeschlagenen Regionen mit den neuen (und bekannten) Beispielen und klassifiziert gegebenenfalls das gefundene Symbol. Die Lokalisierung erfolgt zeitgleich per Brute-Force. Für jedes Symbol werden drei statistisch wahrscheinliche Begrenzungs-Rechtecke, die Bounding Boxes, berechnet und zugeschnitten. Diese Zuschnitte werden mit dem siamesischen Netz ausgewertet, und mit dem Zuschnitt mit dem höchsten Konfidenz-Wert, bei dem sich das Netz am sichersten ist, dass ein Symbol gefunden wurde, wird das Symbol lokalisiert. Die Kombination von YOLOv8 und einem siamesischen Netz wurde erfolgreich von Gupta et al. für Fließschemata eingesetzt.

Die zweite Methode basiert auf dem **Two-Step-Fine-Tuning-Approach (TFA)**, der von Wang, Huang, Darell et al.[8] entwickelt wurde. Im ersten Schritt wird das KNN Faster-R-CNN, ein weiteres populäres Detektionsmodell, auf den bekannten Symbolen trainiert. Im zweiten Schritt werden nur die Heads des Modells mit den neuen Beispielen trainiert. Dies reduziert die Anzahl der zu trainierenden Parameter und verringert die Wahrscheinlichkeit, dass das Modell etwas Falsches aus den vorhandenen Daten lernt. Anders als bei der BFB wird die Inferenz ohne die neuen Beispiele durchgeführt, da diese bereits im zweiten Trainingsschritt verwendet wurden.

8 Wang, X.; Huang, T.E.; Darrell, T.; Gonzalez, J.E.: Yu, F.: Frustratingly Simple Few-Shot Object Detection. In: Daumé III, H.; Singh, A. (Hrsg.): Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning. JMLR.org, 2020, DOI: 10.5555/3524938.3525858

Auswertung

Bei der Detektion von RoI mit Symbolen erreicht das YOLOv8-Modell der BFB einen mAP von 67,0 Prozent für den Bridge-Datensatz und 87,6 Prozent für den Cubicasa5k-Datensatz. Das Modell, das ausschließlich auf den bekannten Symbolen trainiert wurde, ist sehr gut in der Erkennung dieser, hat jedoch Schwierigkeiten mit neuen Symbolen und findet diese kaum. Das spricht dafür, dass das Modell nicht gelernt hat, alle Symbole als RoI zu identifizieren, sondern nur die einzelnen Symbole, die in den Trainingsdaten enthalten waren.

Im Gegensatz dazu erreicht das siamesische Netz mit 30 Beispielen bekannter und neuer Symbole eine Genauigkeit von 95,6 Prozent (bekannte Symbole) und 98,2 Prozent (neue Symbole) für den Bridge-Datensatz. Für den deutlich komplexeren Cubicasa5k-Datensatz werden mAPs von 69,0 Prozent (bekannte Symbole) und 42,0 Prozent (neue Symbole) erzielt. Die Ergebnisse auf dem Bridge-Datensatz zeigen, dass das siamesische Netz sehr gut für die Klassifizierung von neuen Symbolen geeignet ist. Für den komplexeren Cubicasa5k-Datensatz kann ein größeres siamesisches Netz getestet werden, das die Vielfalt der Symbole besser verarbeiten kann.

Für die TFA-Methode kann die Leistung weniger differenziert ausgelesen werden, da nur ein Modell verwendet wird. Insgesamt ergeben sich für den Bridge-Datensatz mAPs von 76,6 Prozent (bekannte Symbole) und 12,9 Prozent (neue Symbole). Für den Cubicasa5k-Datensatz liegen die Werte bei 66,5 Prozent (bekannte Symbole) und 11,4 Prozent (neue Symbole). Zum Vergleich: Die Autoren der Methode, Wang, Huang, Darell et al., erreichen mit einem signifikant größeren Datensatz an bekannten Objekten einen mAP von 22,0 Prozent für neue Objekte. Es ist dennoch offensichtlich, dass auch hier neue Symbole unzureichend detektiert werden.

Im direkten Vergleich schneidet zwar die TFA-Methode besser ab, da das YOLOv8-Modell der BFB-Methode die neuen Symbole kaum erkennt, wodurch die hervorragende Leistung des siamesischen Netzes irrelevant wird. Dennoch ist keine der beiden Methoden ohne zusätzliches Training sofort anwendbar, was jedoch eher auf die Datensätze als auf die Methoden selbst zurückzuführen ist. Ein Beispiel des Bridge-Datensatzes inklusive der Detektionen ist in Abb. 03 dargestellt.

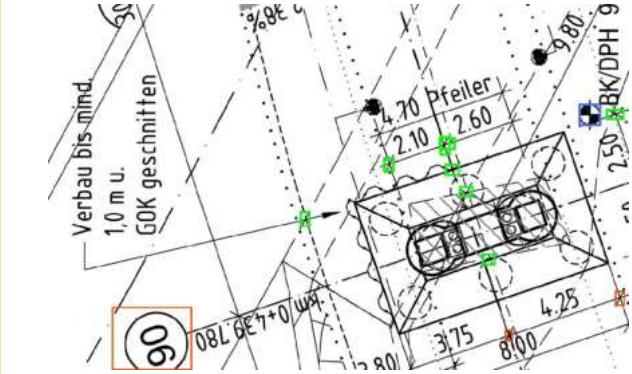


Abb. 03: Beispieldetektion mit der TFA-Methode im Bridge-Datensatz; korrekte Detektionen in Grün, nicht detektierte Symbole in Blau, falsche Detektionen in Orange [Quelle: Ruhr-Universität Bochum]

Viele Maßlinienbegrenzungen sind korrekt detektiert worden (sternförmig, grün). Allerdings wurden auch einige erkannt, die nicht in den Trainingsdaten markiert sind (orange, unten rechts). Weitere Maßlinienbegrenzungen wurden nicht erkannt und sind auch nicht markiert (Mitte oben). Ein Gradientensymbol wurde nicht erkannt, ist aber in den Trainingsdaten markiert (Kreis mit schwarz-weißen Vierteln, blau, rechts). Das Achsensymbol – kreisförmig mit einer 90 – unten links dagegen wurde erkannt, ist aber nicht in den Trainingsdaten markiert. Zusätzlich sind für einen Menschen viele weitere in den Trainingsdaten nicht markierte Symbole sichtbar.

Fehlende Markierungen von Symbolen führen dazu, dass das Modell im Training lernt manche – eigentlich richtige – Symbole nicht zu erkennen, da diese ja nicht markiert sind, was bei der Anzahl an Trainingsdaten schnell vorkommen kann.

Die Modelle lernen auch, andere Symbole wie Pfeile, die in dieser Studie nicht betrachtet und daher nie markiert wurden, zu ignorieren. Das führt dazu, dass die Identifizierung der RoI sehr spezifisch wird, und nur die Bereiche eines Bildes, die die bekannten Symbole enthalten, an die Heads weitergibt. Alle weiteren Bereiche des Bildes werden ignoriert, und eine sehr gute Leistung in der Klassifizierung – wie bei dem siamesischen Netz – wird irrelevant.

Dazu kommt, dass Bauwerkspläne visuell komplex sind. Die RoI nur auf bekannten Symbolen zu trainieren, funktioniert für Fließschemata sehr gut, da diese wenig visuelle Informationen enthalten, die keine Symbole sind. Bei Bauwerksplänen hingegen muss ein KNN-Modell die Symbole von einem deutlich komplexeren Hintergrund unterscheiden, was die Identifizierung der RoI noch herausfordernder macht.

Die Leistung des siamesischen Netzes zeigt jedoch, dass die Klassifikation neuer oder seltener Symbole mit geringem Aufwand sehr gut realisierbar ist. Auch die Generalisierung der vorgeschlagenen RoI ist möglich, wenn die Trainingsdaten stimmen, wie von Gupta et al. gezeigt. Daher ist anzunehmen, dass ein ähnlicher Erfolg auch für Bauwerkspläne möglich ist, wenn ein entsprechender Datensatz verwendet wird.

Fazit

FSD-Methoden sind darauf ausgelegt, auch bei einem Mangel an Daten leistungsfähige Modelle zu trainieren. In der Studie wurde gezeigt, dass hierfür vor allem gute Trainingsdaten notwendig sind. Auch wurde die Hypothese, dass Bauwerkspläne komplexer sind als Fließschemata, bestätigt. Diese Erkenntnisse sind entscheidend für die weitere Anwendung von FSD im Bereich der technischen Zeichnungen, und mit entsprechenden Daten können FSD-Modelle zukünftig lernen, Symbole von nicht relevanten Elementen zu unterscheiden. Auch wurden nur zwei FSD-Methoden angewandt. Es gibt weitere FSD-Methoden wie *Meta-Learning*, die die Leistung der Modelle über den aktuellen Stand hinaus verbessern können.

Trotz der erkannten Schwierigkeiten zeigen FSD-Methoden ein hohes Potenzial zur Minimierung der Trainingskosten, wie die sehr gute Leistung des siamesischen Netzes verdeutlicht. Die Markierung von 30 Beispielen ist deutlich schneller und kostengünstiger als die ansonsten notwendigen Hunderte bis Tausende Markierungen. Mit entsprechenden Modellen können zukünftig auch Unterlagen mit seltenen Zeichenstilen effizient und ohne großen Aufwand ausgewertet und die entsprechenden Gebäude als digitales Modell rekonstruiert werden.

Lisa von Rössing ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen an der Ruhr-Universität Bochum. In ihrer Forschung benutzt sie Computer Vision und Deep-Learning-Methoden wie künstliche neuronale Netze, um mehr über Schäden an Infrastrukturbauwerken zu lernen und Prüfprozesse, beispielsweise nach DIN 1076, zu erleichtern.

7.1.3 Oberflächenzerstörungsfreie Trassenerkundung, Leitungs- und Wurzeldetektion mittels Georadar

Michael Honds

Ein Blick in den Boden, ganz ohne Oberflächenbeschädigungen

Die oberflächenzerstörungsfreie Untergrunddetektion als nicht invasives Nachweisverfahren zur Trassenerkundung, Leitungs- und nicht zuletzt auch zur Wurzeldetektion hat in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen. Durch den immensen technischen Fortschritt innerhalb der Auswertungstechnologien, die sich mit der Weiterentwicklung des medizinischen Röntgenverfahrens hin zur CT- und MRT-Technik vergleichen lassen, sind die gewonnenen Eindrücke des gescannten Bodens deutlich transparenter und nachvollziehbarer geworden. Zeigten die Georadaraufnahmen eines untersuchten Leitungsabschnitts in der Vergangenheit eine erfolgreiche Leitungsortung mit einer Hyperbeldarstellung in einem wirren Umfeld, so sind die Ergebnisse heute als Bodenschicht-Ansichten und 3D-modularen Bodenschnitten inklusive einer Leitungsdarstellung als »Rohr« möglich.

Georadar, wie funktioniert das?

Die Georadartechnik blickt in Deutschland bereits auf 50 Jahre und weltweit auf einen circa 70 Jahre währenden Anwendungszeitraum zurück. Somit ist dies keine neue Technik oder gar eine technische Sensation, vielmehr sind es die neuen Auswertungstechniken, die dieses Verfahren – auch für die Versorgungstechnik – zu einem qualitativ hochwertigen und aussagekräftigen Leitungsinformationssystem qualifiziert.

Die Georadartechnik dient in ihrer Grundkonfiguration der Erkundung der oberen Erdoberfläche bei geotechnischen und geologischen Fragestellungen. Hierbei spielen die Fragestellungen nach Rohstoffvorkommen oder dem Ingenieurbau (Berg- und Tunnelbau) übergeordnete Rollen. Aber auch die Leitungsverlaufserkundung und Fragestellungen der Trassenfreiheit bei der Planung neuer Leitungstrassen sind aktuelle Projektfragestellungen, die mit dieser Technik bedient werden.

Die Georadar- oder Bodenradartechnik, kurz GPR *(Ground Penetration Radar),* basiert dabei auf der zerstörungsfreien Charakterisierung des Untergrundes mittels hochfrequenten elektromagnetischen Wellen (in unseren Beispielen zumeist eine 250MHz-Frequenz). Diese elektromagnetischen Wellen werden, vereinfacht dargestellt, über die Sendeeinheit des mobilen Georadarschlittens in den Untergrund gesendet und durchlau-

fen diesen bis sie an einem Körper reflektieren und in entgegengesetzter Richtung wieder an die ebenfalls im Schlitten verbaute Empfängereinheit zurückgesendet werden.

Diese Eindring- und Reflexionstechnik unterliegt einer Vielzahl physikalischer und geologischer Parameter. Das Ergebnis dieser Reflexionen ist letztlich die Grundlage für eine Ergebnisinterpretation. In dieser liegt dann auch das Potenzial der vielfältigen Aussagekraft eines Ergebnisses, wie etwa die Leitungsdarstellung als Körper im Boden.

Georadar zur Wurzeldetektion

Vor circa 18 Jahren wurde im Rahmen einer Forschungs- und Entwicklungsarbeit mit einer weiteren Herausforderung der Nachweismöglichkeiten begonnen, zum Thema »Wurzelnachweise in Leitungsumgebung« zu forschen. Basierend auf den Anforderungen und Vorgaben des DVGW Regelwerks GW 125-B1[1] wurde aus einem kleinen Forschungsauftrag ein rund 10-jähriges Untersuchungsprojekt, das letztlich weit über das gesteckte Ziel hinausgegangen ist.

Das Produkt dieses neuen und äußerst diffizilen Ansatzes führte unter anderem zu dem heutigen Ergebnis der Bodenschicht-Ansichten und der 3D-Ansicht erdverlegter Körper.

Messbeispiele aus Anwendersicht: Einfach mal in den Boden gucken

Mithilfe einiger Anwendungs- und Ergebnisdarstellungen werden im Folgenden die unterschiedlichen Verfahrensschritte erläutert und die Auswertungsmöglichkeiten aufgezeigt. Insbesondere bei den dargestellten Wurzelnachweisen muss jedoch bedacht werden, dass diese Auswertungen in keinem Computerprogramm hinterlegt sind, auch Künstliche Intelligenz (KI) stößt hier (noch) an Grenzen bzw. findet bisher keine Anwendungslogarithmen, die ein Ergebnis liefern können. Vielmehr ist diese Auswertung qualifizierte händische Facharbeit, die zu diesen interpretationsfähigen Aussagen führt.

Das erste Beispiel ist eine klassische Lagebestimmung eines Leitungskörpers auf einem Parkplatzgelände. Es handelt sich bei dieser Leitung um eine Anschlussleitung eines öffentlichen Gebäudes. Die Lage der aus dem Stationsgebäude entspringenden Gasleitung ist durch den Schieberdeckel auch oberflächlich bereits gut erkennbar (Abb. 01).

Die Bodenschicht-Ansichten zeigen den Leitungskörper in einer definierten Schichttiefe als hochreflektierenden, linearen Körper im Boden. Hierbei handelt es sich quasi um den Blick in den virtuell geöffneten Leitungsgraben bis zur Oberkante der Leitung. Mit diesen Angaben und den Messwerten dieses Flächenscans lässt sich nun eine 3D-Modulation des Leitungskörpers abbilden, die die genaue Lage der Leitung im Raum (X-Y-Z-Ausrichtung)

1 DVGW GW 125-B1:2016-03, 1. Beiblatt zu GW 125 Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle: Beurteilungskriterien für Baumwurzel-Gasrohrleitungs-Interaktionen

ermöglicht. Durch die Kombination dieses Georadars mit einer hochfrequenten GPS-Einheit lassen sich somit genaue, positionsgetreue Lageangaben des Leitungskörpers ausspielen, die im Nachgang in jedes GIS-System übertragen bzw. mit den vorhandenen Positionsangaben der Leitung aus dem Planwerk abgeglichen werden können.

Die Stärke der Leitungsreflektion erzeugt die Einfärbung des Körpers. So ist in der schwächer werdenden Einfärbung der Leitung auf dem linken Leitungsverlauf in Abb. 02 zu erkennen, dass hier die Signale schwächer wurden. Dieser Umstand ist in diesem Fall einer Busfahrspur geschuldet, die eine Senke der Oberfläche zur Folge hat. Hier verliert sich das Signal in diesem Tiefenschnitt, würde jedoch in einem 10 Zentimeter höheren Tiefenschnitt wiederauffindbar sein. Auch bei diesen Feinheiten ist letztlich ein geschulter und qualifizierter Auswerterblick gefragt, diese Umstände zu erkennen und richtig zu interpretieren.

Abb. 01: Leitungsverlauf mit Schieber (roter Kreis) [Foto: ArborPlan GmbH & Co. KG]

Abb. 02: Schichttiefen-Ansicht mit hochreflektierender Leitungsanlage [Foto: ArborPlan GmbH & Co. KG]

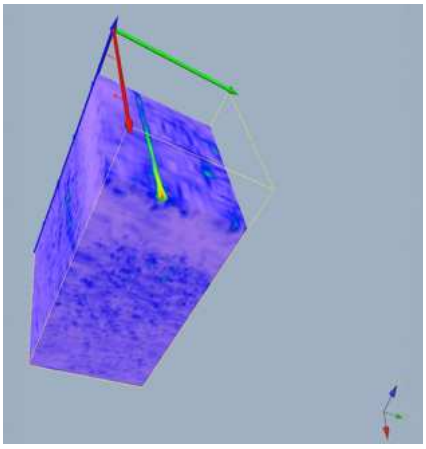


Abb. 03: 3D-Ansicht des Leitungskörpers im Boden [Quelle: ArborPlan GmbH & Co. KG]

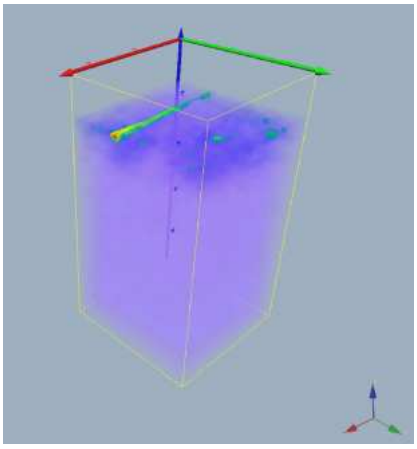


Abb. 04: 3D-Ansicht in seitlicher Ausrichtung [Quelle: ArborPlan GmbH & Co. KG]

In einem weiteren Anwendungsbeispiel wird die Bedeutung der Georadartechnik im Hinblick auf nicht dokumentierte Leitungsanlagen deutlich. Im Vorfeld einer Anlage eines Querschlags zur Erkundung der Leitungslage und -dichte in einem Straßenabschnitt wurde der Abschnitt mittels Georadar befahren und gescannt.

Das Ergebnis der Schachtung, wie in Abb. 05 dargestellt, zeigt fünf erdverlegte Leitungskörper unterschiedlicher Größe und unterschiedlichen Materials. Die virtuelle Draufsicht des Bodenscans verdeutlicht die Möglichkeit alle Leitungskörper gleichermaßen zu scannen und darzustellen. Lediglich die ganz linke Leitung (außerhalb des Verbaus) wird deutlich schwächer dargestellt. Dies liegt aber an der höheren Lage dieser Leitung bezogen auf die Lage der weiteren Leitungskörper. Diese Leitung ist in einem 10 Zentimeter höheren Schichtscan als durchgehender Körper erkennbar.

Abb. 05: Leitungskörper nach Anlage eines Querschlags [Foto: ArborPlan GmbH & Co. KG]

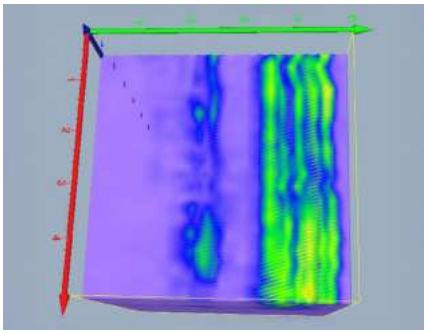


Abb. 06: Virtueller Vergleich des Querschlags [Foto: ArborPlan GmbH & Co. KG]

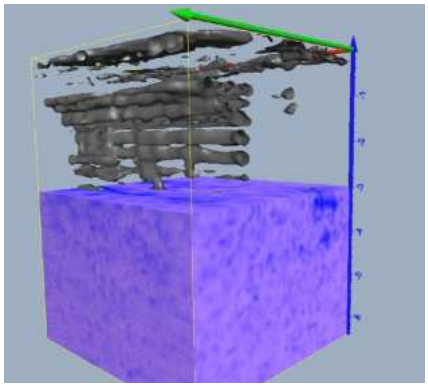


Abb. 07: 3D-Ansicht des gescannten Abschnitts mit »allen« Leitungen [Quelle: ArborPlan GmbH & Co. KG]

Das »wahre« Leitungsscanergebnis wird dann in der 3D-Ansicht deutlich. Nicht nur die Leitungen, die auch im tiefbaugebundenen Verfahren sichtbar waren, sind Bestandteil der Bodenzone. Bis in eine Tiefe von 2,40 Meter erstrecken sich mehrere Leitungskörper unterhalb der sichtbaren Leitungszone. Eine Entscheidung zu einer Neuverlegung einer Leitung im Vortriebsverfahren hätte, aufgrund der hohen Leitungsdichte, unter Umständen massive Schäden verursacht.

Das dritte Anwendungsbeispiel zeigt das Spezialgebiet der »Wurzelortung im Nahbereich von erdverlegten Versorgungsanlagen« auf. Im Nahbereich einer erdverlegten Versorgungsleitung steht eine ausgewachsene Platane stattlichen Umfangs. Diese Situation wird im Regelwerk GW 125-B1 des DVGW als kritische Situation bewertet und bedarf somit einer eingehenden Untersuchung. Diese nicht invasive Nachweistechnik »Wurzelscan« ermöglicht einen wirtschaftlich deutlich günstigeren Nachweis der Untergrundverhältnisse an ausgewählten Standorten.

Abb. 08: Messfeld eines Platanenstandorts im Nahbereich der erdverlegten Leitung [Foto: ArborPlan GmbH & Co. KG]

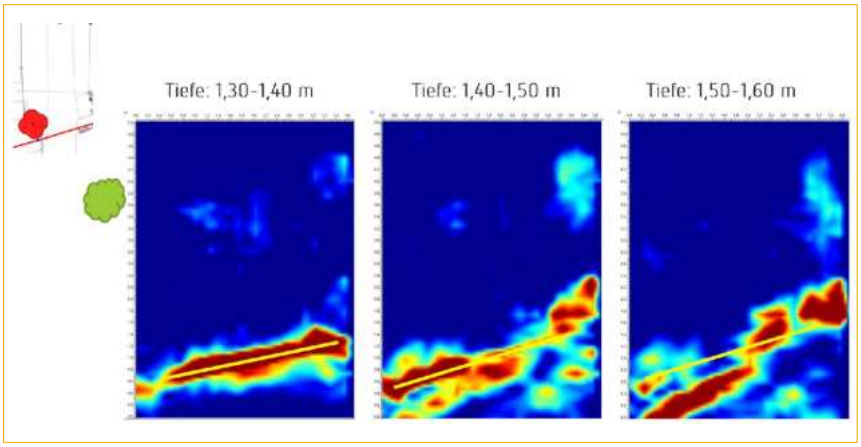


Abb. 09: Leitungsverlauf und Wurzel-Zugschlingen-Nachweis [Quelle: ArborPlan GmbH & Co. KG]

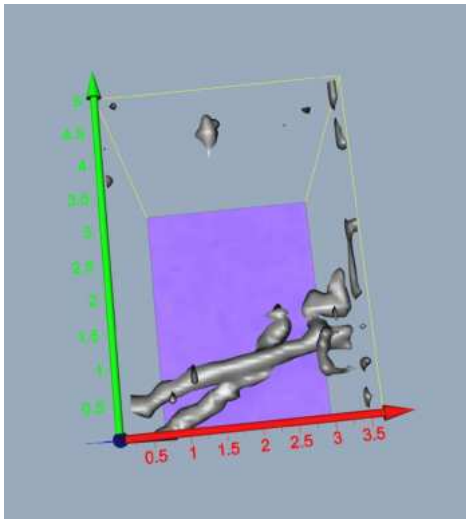


Abb. 10: 3D-Nachweis der Wurzel-Leitungs-Interaktion [Quelle: ArborPlan GmbH & Co. KG]

Abb. 11: Wurzel-Leitungs-Interaktion [Foto: ArborPlan GmbH & Co. KG]

Mithilfe der Georadartechnik konnte in diesem Fall eine deutliche und leitungsgefährdende Wurzel-Leitungs-Interaktion ohne tiefbautechnischen Eingriff nachgewiesen werden.

In der Abb. 09 lässt sich die Tiefenlage der Leitung mit schwächer werdender Reflexion einer genauen Position zuordnen. Im weiteren Tiefenverlauf wird ein zweiter linearer, leitungsbegleitender Körper sichtbar, der die Leitung im weiteren Verlauf kreuzt und sich

auf der abgewandten Seite wieder von der Leitung entfernt. Dieser Körper kann nachfolgend wie in der Abb 10 im 3D-Modell eindeutig einer Wurzel zugeordnet werden. Diese Wurzel ist als »typische« Platanenzugschlinge der Leitungsbettung folgend bis an die Leitung gewachsen, sie hat diese dann mit hohem Anpressdruck gekreuzt, um dann abgewandt der Leitung wieder in das Bettungsmaterial zu wurzeln. Diese Erscheinung kann als typisches Wurzelwuchsverhalten einer Platanenwurzel an sandverfüllten Leitungszonen angesehen werden. Eine »typische« Wurzel-Leitungs-Interaktion ist in Abb. 11 dargestellt.

Georadar für die Versorgungstechnik

Die Einsatzmöglichkeiten des Georadarverfahrens sind auch in der Versorgungstechnik vielfältig. Neben der klassischen Leitungsortung (material- und gewerkunabhängig) und der Trassenvoruntersuchung bei der Planung einer Leitungsneuverlegung bestehen auch in der kombinierten botanisch/technischen Anwendung große Vorteile bei dem Einsatz dieser Messtechnik. Tiefbauarbeiten, insbesondere im urbanen, dichtbesiedelten Bereich mit hoher Straßendichte und Leitungslage unterhalb versiegelter Flächen, führen zwangsläufig zu erheblichen Behinderungen des Verkehrs und zu hohen auflagenbedingten Anforderungen an eine Baustelle. Die Anlage eines Kopfloches im Straßenraum erfordert bereits enorme Vorarbeiten mitsamt der Einholung entsprechender Genehmigungen, Baustelleneinrichtungen und vielem mehr. Die Überprüfung dieser Fläche mittels Georadar hingegen schränkt den Verkehr lediglich temporär ein. Eine Scanfläche von 10,0 Meter × 5,0 Meter ist in circa 30 bis 45 Minuten gemessen. Alle weiteren Arbeiten wie die Auswertung und Interpretation nehmen zwar einen deutlich größeren Zeitraum in Anspruch, schränken aber vor Ort nicht weiter ein. Daraus ergibt sich ein klarer zeitlicher Vorteil. Die Kosten für einen Georadarnachweis liegen aufgrund der nicht invasiven Technik deutlich unterhalb der klassischen Nachweisverfahren.

Die Auswertungen der Messungen sind aufgrund der enormen Entwicklungen in der Darstellungsform (vom Boden-Röntgen zum Boden-CT/MRT) wesentlich verständlicher und nachvollziehbarer geworden. Ein klares Plus für das Georadarverfahren in der Versorgungstechnik.

Michael Honds ist gelernter Forstwirt sowie Bachelor Professional der Versorgungstechnik und seit 1995 Geschäftsführer der ArborPlan GmbH & Co. KG mit Sitz in Mönchengladbach. Er beschäftigt sich seit mehr als 30 Jahren mit dem Spannungsfeld der botanisch-versorgungstechnischen Einflüsse und deren Auswirkungen auf die unterirdische Leitungsinfrastruktur. Als Dienstleister für Versorgungsunternehmen, Großkonzerne der petrochemischen Industrie, Pipelinebetreibern und Kommunen erarbeitet er mit seinem Unternehmen Konzepte zur Sicherstellung der Betriebssicherheit erdverlegter Versorgungsanlagen im Nahbe-

reich von Baumstandorten, erstellt Gefahrenbaumkataster, begleitet Tiefbauarbeiten im Sinne des Baum- und Leitungsschutzes und führt oberflächenzerstörungsfreie Georadarmessungen zum Nachweis von botanisch-technischen Interaktionspotenzialen durch. Neben der Planung und Durchführung dieser Tätigkeiten ist er als Fachreferent beim Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), beim Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW), bei der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. (AGFW), beim Rohrleitungsbauverband e.V. (RBV) und bei der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) sowie als Gerichtsgutachter tätig.

Der Beitrag ist erstmals in der Fachzeitschrift 3R, Ausgabe 09/2024 im Vulkan-Verlag erschienen. Der Originaltext wurde für den vorliegenden Beitrag überarbeitet.

7.1.4 Herausforderung und Wunschbild Baustelle

INTERVIEW – LARISSA ZEICHHARDT

Elektroingenieurin Larissa Zeichhardt leitet gemeinsam mit ihrer Schwester das Familienunternehmen LAT in Berlin. Die Elektromontagefirma mit 130 Mitarbeitern sorgt für die analoge und digitale Infrastruktur. Für den Spagat zwischen Traditionsliebe und Fortschrittseuphorie ist Larissa Zeichhardt bekannt, deshalb ist ein Interview im Rahmen innovativer Ideen zur Mangel- und Schadenprävention im Bauschadenbericht sozusagen Pflicht.

Heike Böhmer, Geschäftsführende Direktorin des IFB: Liebe Frau Zeichhardt, wenn wir die Datenanalysen der Bauschadenberichte anschauen, fallen zwei wesentliche Aspekte auf, die sich mit den Stichworten »Rechtssichere Planauskunft« und »Schadenfälle durch Baumaschinen« umschreiben lassen. Beide spielen bei der Ursachenforschung ebenso eine Rolle wie bei zielführenden und gewünschten Präventionswegen. Wenn wir beim Thema Planauskunft beginnen: Können Sie uns Ihr Zukunftsbild von Planauskunft skizzieren?

Larissa Zeichhardt: Es ist 2025 und wir befinden uns irgendwo zwischen Theorie – Stichwort Digitaler Zwilling etc. – und Praxis einer analogen Baustellenwelt. In der Zukunft können Bauleiter, Elektromonteure und Baggerfahrer per Knopfdruck Pläne in Echtzeit auf dem mobilen Endgerät – ja, einem Handy – einsehen. Bis dahin müssen wir die Ruhe bewahren und pragmatisch in Lösungen denken. Das bedeutet: Daten offenlegen, Schnittstellen schaffen und für die Bundesregierung: endlich ein digitales Kabel-/Leitungskataster fördern und fordern. Diese Daten können dann in einer gut sortierten App via Smartphone für Fachpersonal zugänglich gemacht werden. Schließlich müssen alle Informationen auch lesbar bleiben. Also Tab auf, Tab zu: Ein bisschen wie bei GarageBand[1], der Anwendungssoftware von Apple zur Musikproduktion. Nur, dass wir Instrumente und Beats gegen Versorgungsmedien, Verkehrswege und Flurstücke tauschen.

Böhmer: Was sind denn die wichtigsten Aspekte dabei für Sie und Ihre Branche?

Zeichhardt: Planauskunft sollte digital, verfügbar und aktuell sein: einfach lesbar und funktional, wie eine gute App, zielgruppenkonform bzw. nach Bedarf verstellbar wie etwa GarageBand, aktuell wie eine Blitzer-App und mit entsprechenden Zugangsberechtigungen und Datenschutz. Schauen wir doch bei den besten Banking-Apps ab, statt aus Angst vor Missbrauch den Fortschritt zu verhindern und damit den Zusammenbruch der Infrastruktur zu riskieren. Kennen Sie die Blitzer-App? Dort kann jeder Fahrer melden, wo »Fotos« gemacht werden. Bei Google Maps[2] melden wir bereits, wo sich Baustellen und Unfälle befinden. Diese Schwarmintelligenz in der Fachwelt zu nutzen, damit Kabelverleger direkt melden, wo es Planungsabweichungen gibt, was gerade neu verlegt oder zurückgebaut wurde – technisch ist es machbar!

1 Vgl. Apple Inc.: GarageBand für iOS. www.apple.com/de/ios/garageband [abgerufen am: 23.04.2025]

2 Vgl. Google Maps: www.google.de/maps [abgerufen am: 23.04.2025]

Böhmer: Was sind aus Ihrer Sicht die größten Vorurteile oder Missverständnisse zwischen Ihrer Branche und den anderen Planungs- und Baubeteiligten, aber auch Betreibern?

Zeichhardt: Lieber würde ich über Lösungen sprechen: Es ist höchste Zeit für eine Doppelsieg-Mentalität – also »Win Win« – dann schaffen wir das schon. Wenn wir trotz aller Regeln dazu zurückfinden, für ein gemeinsames Ziel zu arbeiten, dann werden wir alle profitieren. Dafür brauchen wir natürlich Empathie und Verständnis, eine echte Kooperationsbereitschaft, kreative Lösungen, Fairness und Transparenz! Die Bauwirtschaft ist kurzfristig kostenorientiert. Das steht im starken Kontrast zu nachhaltigen Investitionen und verhindert die langfristige Perspektive. Dabei ist es gerade bei der Infrastruktur wichtig, nicht auf kurzfristige Gewinne, sondern auf den nachhaltigen Erfolg für alle Beteiligten zu setzen.

Eine langfristige Kostenbewertung ist komplex, aber (Neu-)Bau und Wartung dürfen nicht getrennt gerechnet werden. Solange bei Ausschreibungen nur der Preis zählt, holt uns die Realität immer in Form von Nachträgen, Reparaturkosten und Wartung ein. Die Suche nach Schuldigen und der Finanzierungsdruck tun ihr Übriges: Im Ergebnis herrscht viel Angst davor, Fehler zu machen. Das treibt die Nebenkosten gnadenlos nach oben und verhindert eine konstruktive Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten. Dabei haben wir doch alle das gleiche Ziel: etwas Großartiges zu schaffen, das bleibt und funktioniert. Drei Fragen sollten wir uns deshalb alle öfter stellen: Wie würde ich es bauen, wenn es meins wäre? Wann schlägt Qualität den Preis und warum? Was ist unser gemeinsames Ziel, und wie erreichen wir es?

Böhmer: Gute Information und Kommunikation wird in diesem Zusammenhang auch immer wieder als essenzielle Basis der Mangel- und Schadenprävention benannt. Wie sehen Sie das?

Zeichhardt: Wir müssen gemeinsam alles dafür geben, Kabelschäden zu vermeiden. LAT ist Mitglied in der Gütegemeinschaft Leitungstiefbau[3], dort suchen wir den Dialog mit den Betreibern. Wir sind uns einig, dass wir alle unsere Ressourcen brauchen, um Energiewende, Verkehrswende und Breitbandausbau voranzutreiben. Unsere Fachkräfte reichen einfach nicht, um ständig zu reparieren, was aus Versehen beschädigt wird. Außerdem könnten wir Steuergelder dann anders einsetzen. Gründe für fehlende oder unzugängliche Datenschätze gibt es viele, es lohnt sich, gemeinsam daran zu arbeiten, diese zusammenzuführen und den Zugang zu den Daten zu vereinfachen. Die Monteure, die auf den Baustellen arbeiten, sind keine Planer; sie sind auch nicht die Konkurrenz der Konzerne. Sie sind da, um Neues zu erschaffen. Eigentlich ist es verrückt, dass sie dafür nicht automatisch und ohne Aufwand die notwendigen Informationen bekommen.

Böhmer: Ich weiß von Ihrer Meinung, dass die Leitungen der Betreiber ein öffentliches Gut sein sollten. Das klingt sehr innovativ, insbesondere, wenn man an die Vielzahl der Baumaschinenschäden (»Baggerschäden«) denkt. Könnten Sie die Idee dahinter genauer erläutern?

Zeichhardt: Ich finde die Idee, dass es einen zentralen Betreiber für die Kabelinfrastruktur gibt, nur spannend, weil wir dann auch klare Verantwortlichkeiten hätten. Als Leitungstiefbauer ziehen wir eine Menge Kabel, teilweise für diverse Betreiber – und direkt nebeneinander. Natürlich machen wir das gern, aber es ergibt wenig Sinn. Es wäre besser, die Infrastruktur ordentlich auszubauen und dann unterzuvermieten. Außerdem sind wir sehr selten mit dem Rückbau beschäftigt. Ein Grund für

3 Vgl. Gütegemeinschaft Leitungstiefbau e.V. www.kabelleitungstiefbau.de [abgerufen am: 23.04.2025]

Kabelschäden dürfte auch der »Kabelsalat« sein, den wir zum Teil vorfinden. Altlasten sind schwer zu erkennen, Beschriftungen schon lange nicht mehr lesbar. Was nicht im Plan steht, wird dann aus Platznot auch mal gekappt und dann ist das Licht aus. Wir haben alle ein Recht auf Versorgungsleitungen. Daher ist der Gedanke, die Infrastruktur als öffentliches Gut zu deklarieren, charmant. Aber: Ich glaube an die private Wirtschaft! Sie ist meist effizienter, Entscheidungen werden schneller getroffen und Anlagevermögen wird anders gepflegt. Was ich bis heute nicht verstehe: Wird tatsächlich ein Großteil der Kabelschäden vom Steuerzahler getragen? Wenn ja – warum?

Böhmer: Wir sehen zumindest bei unseren Schadenanalysen und deren Hintergrundrecherchen, dass lediglich ein Bruchteil der Schadenkosten von Versicherungen reguliert wird. Sei es, weil die Versicherungsbedingungen dem regulierten Anteil entsprechen, aber auch, weil nur ein Teil der Schäden gemeldet wird oder weil die intern entstehenden Kosten (zum Beispiel bei Schäden an eigener Leistung) nicht versicherungsrelevant sind. Es verbleibt also ein großer Teil der Schadenkosten bei den Verursachern bzw. Verantwortlichen. Volkswirtschaftlich ist das nicht nachvollziehbar, das Geld könnte zweifelsfrei sinnvoller investiert werden.

Böhmer: Gibt es, insbesondere im Zusammenhang mit der Mangel- und Schadenvermeidung, also der Prävention, noch weitere Punkte, die Ihnen wichtig sind?

Zeichhardt: Ein wichtiger Punkt, der noch nicht zur Sprache gekommen ist, ist die notwendige Vereinfachung der Arbeit. Wir haben zu viele Vorschriften, einen hohen Dokumentationsaufwand (oft analog) und keine Datenschnittstellen. Familienbetrieben, wie LAT, macht das zu schaffen. Unsere Elektromonteure wollen schließlich mit beiden Händen arbeiten, sonst wären sie vielleicht Planer geworden. Um unser Team zu entlasten, nutzen wir also zunehmend und bereits erfolgreich innovative Methoden.

Böhmer: Können Sie uns ein Beispiel vorstellen; ich weiß von Ihren Projekten im Rahmen von Forschungsförderungen?

Zeichhardt: Zum Beispiel testen wir mit Fördermitteln des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV)[4] im mFUND Förderprojekt RoboTUNN[5] mit der RWTH Aachen[6], wie die Dokumentation von Verlegearbeiten automatisiert, per Roboter aufgenommen und in Echtzeit in einen Digitalen Zwilling eingespielt werden kann. Ursprünglich hatte LAT mit der Berliner Hochschule getestet, ob sich Roboter sicher im Gleisbett bewegen können. Ich habe mir danach immer mehr Fragen gestellt und gemeinsam mit meinem Team getestet, was möglich ist. Für die Arbeit wurde LAT mit dem Innovationspreis Berlin Brandenburg ausgezeichnet.[7] Daraus ist ein Forschungsprojekt entstanden, das von der RWTH Aachen University. Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen (ICoM)[8], Aachen geleitet wird.

Aufbauend auf einer Analyse des Status quo vorhandener Erhaltungsprozesse von U-Bahn-Anlagen – und der Analyse möglicher sowie relevanter Schadenarten – werden Anforderungen an das

4 Vgl. Bundesministerium für Digitales und Verkehr. https://www.bmdv.bund.de [abgerufen am: 23.04.2025]

5 Vgl. Bundesministerium für Digitales und Verkehr: Robotergestützte Bestandsaufnahme von U-Bahn-Tunneln zur Generierung digitaler Zwillinge und prädiktiver Instandhaltung – RoboTUNN. https://www.bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/robotunn.html [abgerufen am: 23.04.2025]

6 Vgl. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen. https://www.rwth-aachen.de [abgerufen am: 23.04.2025]

7 Vgl. Innovationspreis Berlin Brandenburg. www.innovationspreis.de/pn/preistraeger-2024/#pn-more [abgerufen am: 23.04.2025]

8 Vgl. RWTH Aachen University. https://www.icom.rwth-aachen.de [abgerufen am: 23.04.2025]

Gesamtsystem spezifiziert. Basierend auf der Analyse wird ein autonomes Robotersystem zur digitalen Bestandsaufnahme, zur Schadendetektion sowie zur DZ-Generierung entwickelt. Das Gesamtsystem wird anschließend im Rahmen von mehreren Projektdemonstratoren erprobt und in einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung bewertet. Einfach erklärt: Wenn wir fertig sind, übernimmt ein Roboter parallel zum Bauvorhaben einen Großteil der (unbezahlten) Dokumentationsarbeit für Kabelleitungsbauer. Alt- wie neuverlegte Kabel tauchen in Echtzeit und automatisch auf dem Handy des ausführenden Monteurs auf. Das Projekt läuft bis 2027, und wir sind sehr stolz darauf, dass wir den Prozess mit Praxiswissen begleiten können und unsere Baustellen dabei zum Reallabor werden. Als Projektpartner sind außerdem die Universität Freiburg (INATECH)[9], die albert.ing GmbH[10], die ISAC GmbH[11] und die StatSoft GmbH[12] dabei. Als Testanwender wirken die Berliner Verkehrsbetriebe[13], die Deutsche Bahn[14] und die Wiener Linien[15] mit.

Böhmer: Das spannende Projekt kann man auf der Projektseite[16] verfolgen, was ich sehr empfehlen kann. Ich darf Ihnen für das interessante Interview sehr danken und freue mich auf die weiteren Entwicklungen, zu denen wir ganz sicher in Kontakt bleiben werden.

9 Vgl. Institut für Nachhaltige Technische Systeme – INATECH/Universität Freiburg. https://www.inatech.uni-freiburg.de [abgerufen am: 23.04.2025]

10 Vgl. albert.ing GmbH. https://albert-ing.com [abgerufen am: 23.04.2025]

11 Vgl. ISAC GmbH. https://isac-gmbh.com [abgerufen am: 23.04.2025]

12 Vgl. StatSoft GmbH. https://www.statsoft.de [abgerufen: am: 23.04.2025]

13 Vgl. Berliner Verkehrsbetriebe (BVG). https://www.bvg.de/de [abgerufen am: 23.04.2025]

14 Vgl. DB Fernverkehr AG. https://www.bahn.de [abgerufen am: 23.04.2025]

15 Vgl. Wiener Linien. https://www.wienerlinien.at [abgerufen am: 23.04.2025]

16 Vgl. Lehrstuhl und Institut für Baumanagement, Digitales Bauen und Robotik im Bauwesen/RWTH Aachen: RoboTUNN. Robotergestützte Bestandsaufnahme von U-Bahn-Tunneln zur Generierung digitaler Zwillinge und prädiktiver Instandhaltung. https://www.icom.rwth-aachen.de/cms/icom/Forschung/Forschungsprojekte/~bjioai/XXX [abgerufen am: 23.04.2025]

7.2 Nachhaltige Zukunft

Wie sieht die Baustelle der Zukunft aus? Wie können Infrastrukturprojekte nachhaltiger geplant und umgesetzt werden? Welche Entwicklungen können helfen, Prozesse zu beschleunigen? Der Wunsch und die Notwendigkeit, nachhaltiger zu planen und zu bauen, zwingen die Branche zum Umdenken. Die Energiewende macht enorme Investitionen in erneuerbare Energien und den Ausbau von Stromnetzen notwendig, Verkehrsinfrastrukturen insgesamt müssen nachhaltiger gestaltet werden – auch hier gibt es eine Vielzahl an Ideen und Innovationen, die im folgenden Kapitel vorgestellt werden.

7.2.1 Weniger Lärm und CO_2: Netze BW erprobt mit den »NETZbaustellen der Zukunft« das Bauen von morgen

Nadine Eisinger

Baustellen haben nicht den besten Ruf – sie nerven, machen Lärm und erzeugen Schadstoffemissionen. Wie könnte das Bauen von morgen aussehen? Können elektrisch betriebene Bagger, Lkw, Stampfer, Rüttelplatten etc. ihre kraftstoffbetriebenen Pendants eins zu eins ersetzen? Mit den »NETZbaustellen der Zukunft« hat Netze BW diese und weitere Fragen ins Visier genommen.

Sind elektrifizierte Baustellen die Zukunft?

Damit Netze BW die Energiewende erfolgreich umsetzen kann, sind in den nächsten Jahren zahlreiche Modernisierungs-, Ausbau- und Netzverstärkungsmaßnahmen erforderlich. Unvermeidlich wird die Anzahl der Baustellen dadurch weiter zunehmen.

Mit den Pilotbaustellen in Bönnigheim und Rangendingen startete Netze BW im September 2024 für die Dauer von mehreren Wochen bzw. Monaten gleich zwei Bauprojekte im Rahmen des Programms »NETZbaustelle der Zukunft«. Mit den dortigen Tiefbaumaßnahmen wollte der Verteilnetzbetreiber gemeinsam mit zwei Baupartnerfirmen testen, wie das Bauen von morgen durch den Einsatz vollelektrisch betriebener Baumaschinen und Fahrzeuge nachhaltiger und lärmreduzierter aussehen kann. Untersucht wurden im Rahmen der Pilotbaustellen die technische Machbarkeit sowie die Auswirkungen des Einsatzes von vollelektrischen Baumaschinen auf den Bauablauf, die Kosten sowie Mensch und Umwelt.

Was in Skandinavien schon teilweise zu beobachten ist, ist nicht nur für Netze BW, sondern in ganz Deutschland bisher ein Novum: eine vollelektrische Baumaßnahme, die über mehrere Tage, Wochen und Monate andauert und bei der nicht nur die Maschinen vor Ort, sondern auch die Transportfahrzeuge elektrisch angetrieben werden. Mit den Pilotbaustellen betrat Netze BW daher Neuland. Umso mehr fieberte das Projektteam den Ergebnissen entgegen.

Eine gute Nachricht vorweg: Es hat sich gezeigt, dass Tiefbaumaßnahmen mit rein elektrischen Baugeräten und Fahrzeugen durchgeführt werden können. Beide Baumaßnahmen wurden inzwischen erfolgreich abgeschlossen. Fazit: Die für eine typische Netze-BW-Tiefbaustelle benötigten Maschinen sind in einer elektrischen Variante verfügbar, selbst der Prototyp eines elektrischen Spülbohrgeräts wurde erstmalig auf der Pilotbaustelle in Bönnigheim eingesetzt. Die Leistung der elektrischen Geräte ist außerdem mit konventionellen Vergleichsgeräten weitestgehend identisch.

Abb. 01: Elektrisches Spülbohrgerät: im Rahmen des Projekts erstmals auf einer realen Baustelle eingesetzt [Foto: Netze BW]

Größerer Zeitaufwand in der Bauvorbereitung und -durchführung

Zwar ist ein Trend zum emissionsarmen Fahren und Arbeiten auch in der Baubranche erkennbar, aber die Elektrifizierung von Baumaschinen hat aktuell eher Seltenheitswert. Vor diesem Hintergrund muss bereits in der Bauvorbereitung mehr Vorlaufzeit eingeplant werden, da die Baupartnerfirmen bisher kaum bis gar keine elektrischen Geräte besit-

zen und diese erst ausleihen müssen. Dies nimmt Zeit in Anspruch, die Verfügbarkeit ist begrenzt und es entstehen hohe Zusatzkosten im Vergleich zum konventionellen Bauen.

Darüber hinaus sind für die elektrische Bauweise ein Baustromanschluss mit ausreichend verfügbarer Leistung sowie die Errichtung von Lademöglichkeiten vor Ort notwendig – Prozessschritte, die es bisher auf den meisten Tiefbaustellen der Netze BW nicht gab.

Batteriekapazität und Lademöglichkeiten vor Ort sind ausschlaggebend für eine schnelle Bauabwicklung

In der Baudurchführung kommt es besonders aufgrund begrenzter Batteriekapazitäten zu Verzögerungen. Auf beiden Pilotbaustellen war der Elektrobagger ein limitierender Faktor, doch auch der E-Lkw stieß bei großen Entfernungen an seine Grenzen. Tiefbauarbeiten mussten teilweise früher beendet werden, da die Batterie des Baggers vollständig entladen war. Eine Nachladung der Batterie über die Mittagspause erwies sich als nicht sinnvoll. Dies ist auf die geringe Ladeleistung von ca. 11 kW zurückzuführen, die aufgrund der Sicherungen im Baustromverteilerkasten der Baupartnerfirma zur Verfügung stand sowie den hohen Energieverbrauch eines Kettenbaggers bei der Fahrt von der Baugrube zum Ladeanschluss. Eine wichtige Erkenntnis für zukünftige E-Baustellen ist daher, dass eine hohe Ladeleistung (zum Beispiel über eine separate mobile Ladesäule) garantiert werden muss und die Arbeitsweise in Bezug auf elektrisch betriebene Baumaschinen angepasst werden sollte, um unnötige Fahrtstrecken zu vermeiden.

Abb. 02: Der Elektrobagger auf der NETZbaustelle Bönnigheim [Foto: Netze BW]

Auch bei den Kleingeräten, wie Rüttelplatten und Stampfern, traten Hindernisse auf. Diese Geräte werden mit Wechselakkus betrieben, deren Laufzeit gering ist. Um die Verzögerungen im Bauablauf zu minimieren, werden mehrere Ersatzakkus benötigt. Zudem hat sich der Einsatz eines kleinen mobilen Batteriespeichers als hilfreich erwiesen, um die Wechselakkus direkt an der Baugrube zu laden. Punktuell mussten auch kabelgebundene Geräte eingesetzt werden, wie etwa ein Asphaltschneidgerät, da kein adäquates batteriebetriebenes Pendant auf dem Markt verfügbar war. Dies erforderte zusätzliche Infrastruktur sowie eine umfangreiche Kabelverlegung. Für die wandernden Tiefbaustellen eignen sich kabelgebundene Geräte daher nur bedingt, da dies zu einer Verlangsamung der Bauaktivitäten führt. Viele der eingesetzten Baugeräte gehören außerdem zur ersten Generation elektrischer Varianten, was auf den Pilotbaustellen teilweise zu Ausfällen führte. Ein kurzfristiger Ersatz bei Defekten ist aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit elektrischer Baumaschinen häufig nicht möglich.

Elektrische Bauweise führt aktuell zu erheblichen Mehrkosten

Die verlängerte Bauzeit mit elektrischen Maschinen und Fahrzeugen führt zu hohen Mehrkosten. Zwar liegen die reinen Betriebskosten der elektrischen Maschinen unter denen ihrer konventionellen Pendants, jedoch wirken sich die längere Arbeitszeit, der zeitweise Stillstand aufgrund von Defekten sowie die zusätzlichen Mietkosten negativ aus. Auch die Anschaffung von elektrischen Baugeräten ist mit deutlich höheren Kosten (bis zu zwei- bis dreifacher Kaufpreis) verbunden.

Positiver Einfluss auf Mensch und Umwelt klar ersichtlich

Äußerst positiv fällt das Fazit für Mensch und Umwelt aus. Durch die rein elektrischen Baugeräte und Fahrzeuge konnte eine deutliche Absenkung der klimarelevanten Emissionen auf der Baustelle erzielt werden. Die lokalen Emissionen der Baumaschinen können durch Elektrifizierung komplett vermieden werden, was bedeutet, dass vor Ort keine klimarelevanten Luftschadstoffemissionen durch die Baumaschinen entstehen.

Hinsichtlich der gesamten Emissionen der Baumaschinen (inklusive Vorkette) ergibt sich im Vergleich zu konventionellen Baumaschinen folgendes Bild: Bezogen auf die Gesamtbaustelle konnten in Bönnigheim unter Berücksichtigung des aktuellen Strommix 55 Prozent der klimarelevanten Emissionen (CO_2e) der Baumaschinen eingespart werden. Wäre eine Versorgung mit Grünstrom möglich gewesen, dann läge die Einsparung bei 96 Prozent. Auch die Emissionen weiterer gesundheitsbeeinträchtigender Schadstoffe, wie beispielsweise Feinstaub, wurden gesenkt.

Des Weiteren konnte durch die elektrische Bauweise eine deutliche Reduktion der Lärmemissionen erzielt werden. Der von Netze BW beauftragte TÜV Süd hat das im Rahmen einer auf den Pilotbaustellen durchgeführten Schallemissionsmessung bestätigt.

Vor allem bei den Geräten mit signifikanten Motorgeräuschen und häufigem Betrieb im Leerlauf konnte eine erhebliche Absenkung der Geräuschpegel nachgewiesen werden: Die Lärmreduktion beim elektrischen Bagger betrug rund 38 Prozent, beim E-Lkw sogar 99,9 Prozent im Vergleich zu konventionellen Geräten der selben Leistungsklasse.

Besonders hervorzuheben ist darüber hinaus, dass die direkt von den Baumaßnahmen betroffenen Anwohner bedeutend weniger Baugeräusche wahrgenommen haben, so belegt es eine extra durchgeführte Umfrage. Aber auch für das am Bau beteiligte Personal ergab sich eine angenehmere und schadstoff- sowie geruchärmere Arbeitsumgebung, die zudem die Kommunikation auf der Baustelle vereinfachte und somit auch zu einer erhöhten Arbeitssicherheit beitragen kann.

Fazit

Das Projekt ist noch eine Zukunftsvision. Begrenzte Verfügbarkeit, teilweise geringe Zuverlässigkeit, nicht immer ausreichende Batteriekapazitäten sowie hohe Mehrkosten: Auf absehbare Zeit ist noch nicht damit zu rechnen, dass nun alle Baustellen nach diesem Prinzip betrieben werden. Gemeinsam mit Partnerfirmen wird derzeit geprüft, wie sich der Einsatz von vollelektrischen Baumaschinen langfristig flächendeckend umsetzen lässt.

Die ersten Pilotbaustellen haben das Potenzial der Elektrifizierung für Mensch und Umwelt gezeigt. Einzelne Baugeräte und mobile Batteriespeicher konnten überzeugen, sodass eine Teilelektrifizierung schon jetzt denkbar ist. Auch Tagesbaustellen, bei denen eine Ladung der Maschinen vor Ort nicht erforderlich ist, könnten aus technischer Sicht bereits heute elektrifiziert werden. Der Einsatz elektrischer Baumaschinen wird perspektivisch zunehmend an Bedeutung gewinnen, wenn Batteriekapazitäten steigen und Kosten sinken. Mit fortschreitender Entwicklung verbessert sich zudem der technische Reifegrad der Maschinen. Des Weiteren kann die Verwendung von Grünstrom die Umweltauswirkungen weiter verringern. In diesem Fall kann der Einsatz von elektrischen Baumaschinen durchaus ein Erfolgskonzept sein – nicht nur für Mensch und Umwelt, sondern auch aus unternehmerischer Sicht. Hierfür gilt es, auch die Auswirkungen der Elektrifizierung im Bausektor auf das Stromnetz genauer zu untersuchen.

Abb. 03: Messeinrichtung (hinten) und elektrische Kleingeräte (vorn) [Foto: Netze BW]

Weiterer Fokus bei Netze BW: Digitalisierung der Bauprozesse

Neben den Pilotbaustellen im Rahmen der »NETZbaustelle der Zukunft« werden bei Netze BW weitere Lösungsansätze entwickelt, um das Bauen von morgen zu ermöglichen. Im Projekt NETZbau sollen alle Baumaßnahmen der Netze BW digitalisiert werden. Die Arbeit wird damit schneller, einfacher und intuitiver. Insgesamt sind derzeit fünf »digitale Werkzeuge« bei der Netze BW in Entwicklung, die den Arbeitsalltag für die Kollegen rund um das Baustellenmanagement erleichtern sollen – ein Vorteil auch für die Kunden.

Beispiel 1: Mit dem NETZbau-Planungstool, einer Web-Anwendung, ist es möglich, die geplanten Baumaßnahmen frühzeitig digital zu erfassen. Der große Vorteil dabei: Die betroffenen Kommunen haben die Möglichkeit, diese über eine digitale Plattform einzusehen. Die Kommune kann dort ebenfalls ihre eigenen Baumaßnahmen erfassen. Das Planungstool verhindert damit, dass eine Baustelle abgeschlossen wird, wo in wenigen Tagen an gleicher Stelle eine Baustelle der Kommune eingerichtet werden soll. Somit werden Synergie- und Abstimmungspotenziale zu geplanten Baumaßnahmen intern sowie extern identifiziert und transparent.

Beispiel 2: Ein weiteres Beispiel, das zu mehr Digitalisierung auf der Baustelle führt: Mithilfe der Montage-App kann direkt auf der Baustelle Material erfasst und automatisch ins Aufmaß hinzugefügt werden, wodurch eine genaue Abrechnung der verbauten

Materialien möglich ist. Außerdem können über die App Leitungen innerhalb einer Baugrube bis auf wenige Zentimeter genau erfasst und diese noch an Ort und Stelle per E-Mail direkt an die entsprechenden Fachbereiche zur Prüfung versendet werden. Die App verfügt zudem über Augmented-Reality(AR)-Funktionalitäten, wodurch Baugruben in einem 3D-Modell dargestellt werden können.

Nadine Eisinger studierte im Bachelor Energietechnik und Erneuerbare Energien an der Hochschule Mannheim sowie im Master Elektrische Energiesysteme und Elektromobilität an der Technischen Hochschule Ulm. Bei Netze BW stieg sie 2022 im Traineeprogramm getready4NETZ ein und ist seit Anfang 2024 als Ingenieurin im Bereich Technik – Digitalisierung und Innovation tätig. Seitdem ist sie als Projektleiterin für das bereichsübergreifende Projekt NETZbaustelle der Zukunft verantwortlich. Ziel des Projekts ist es, neue Technologien und innovative Lösungsansätze für das Bauen von morgen auf realen Pilotbaustellen zu erproben. In diesem Rahmen wurden die beiden Pilotbaustellen in Bönnigheim und Rangendingen zum Thema Elektrifizierung auf Baustellen umgesetzt und wissenschaftlich begleitet.

7.2.2 Zukunftsfähige Infrastrukturen – unterirdische Leitungskanäle als Bestandteil einer nachhaltigen Stadtentwicklung (Smart City)

Die Herausforderungen des Klimawandels und -schutzes erfordern eine optimale, das heißt eine integrierte und aufeinander abgestimmte Nutzung unter- und oberirdischer urbaner Räume und Flächen und stehen somit im Fokus einer nachhaltigen Stadtplanung. Neben der Reduzierung von Treibhausgasemissionen und dem Schutz natürlicher Ressourcen sind intelligente und nachhaltige Infrastrukturlösungen notwendig, um den Anforderungen einer dynamischen urbanen Gesellschaft gerecht zu werden. Parallel dazu stellen alternde Infrastrukturen mit zu erwartenden steigenden Schadenfällen und damit verbundenen Kosten ein weiteres Problem dar. Begehbare und nicht begehbare Leitungskanäle/-düker spielen bei dieser Thematik eine zunehmend wichtige Rolle. Leitungskanäle/-düker sind eine effiziente, platzsparende und nachhaltige Erschließungsmöglichkeit für Ver- und Entsorgungstrassen und können eine ressourcenschonende Gestaltung des unterirdischen Raums unterstützen.

In den letzten Jahren wurden in Deutschland bedeutende Fortschritte erzielt. Ein wesentlicher Beitrag hierzu war die Aktualisierung des Leitfadens »Unterirdische begehbare Leitungskanäle/-düker«[1]. Im Rahmen dieses Prozesses fand ein Wissenstransfer[2] statt, zudem wurde eine Checkliste zur

Dr. Heiko Spitzer

Klaus-Peter Reim

Emmanuel Leung

1 Vgl. Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK (AGFW) (Hrsg.): Leitfaden Planung, Bau und Betrieb unterirdischer, begehbarer Leitungskanäle und -düker (UBL). Teile 1 – 3, AGFW, GSTT 2024. https://cloud.agfw.de/f/eee39118e56540d59668/?dl=1 [abgerufen am: 12.02.2025]

2 Vgl. Wissenstransfer für Kommunen und Versorgungsunternehmen zu unterirdischen begehbaren Leitungskanälen als langfristig umwelt- und ressourcenschonende Infrastrukturbauwerke im urbanen Raum, Abschlussbericht entellgenio GmbH, 2022. www.dbu.de/projektdatenbank/35682-01/ [abgerufen am: 10.02.2025]

Anwendung von Leitungskanälen sowie von Rechenmodellen[3,4] erstellt. Diese Maßnahmen tragen dazu bei, die Diskussionen über den Nutzen von Leitungskanälen und -dükern über den gesamten Lebenszyklus (Abb. 01) hinweg zu objektivieren.

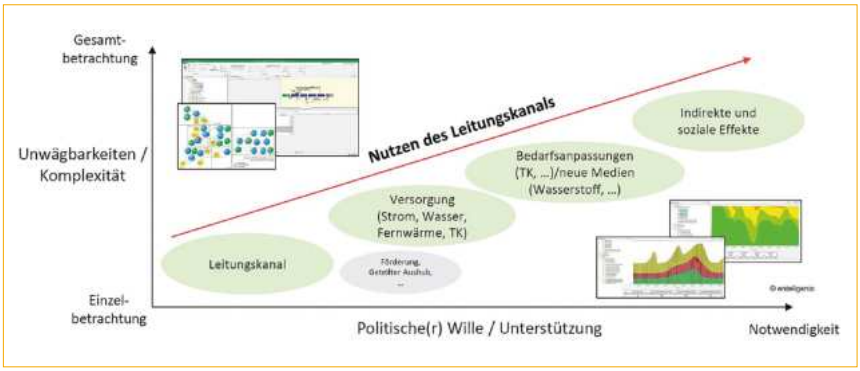


Abb. 01: Mittels Rechenmodellen lässt sich der Nutzen von Leitungskanälen/-dükern bewerten. [Quelle: entellgenio]

International ist im Jahr 2024 mit der ISO 37175 ein globaler Standard für Leitungskanäle geschaffen worden.[5] Die ISO 37175 ist als Komponente bei der Entwicklung von Smart Cities, die technologische Vernetzung und nachhaltige Stadtentwicklung vereinen, angesiedelt (Abb. 08).[6] Für Städte weltweit besteht damit ein Rahmen, intelligente und nachhaltige Lösungen mit Einsatz von Leitungskanälen zu entwickeln und zu implementieren.

Im Folgenden sollen die spezifischen Entwicklungen in Deutschland und führenden asiatischen Ländern wie China und Singapur vergleichend dargestellt werden. Beide Regionen zeichnen sich nach industriegeschichtlich unterschiedlichen Ausgangssituationen durch Projekte und innovative Ansätze in der Stadtentwicklung aus. Asiens Vorreiterstädte weisen eine beeindruckende Dynamik in der Umsetzung moderner Technologien und urbaner Konzepte auf.[7] Ein Blick auf die Entwicklungen in diesen Regionen ermöglicht wichtige Erkenntnisse für eine nachhaltige Stadtgestaltung durch die Umsetzung smarter Infrastrukturlösungen.

3 Spitzer, H.; Reim, K.-P.: Unterirdische Leitungskanäle/-düker als weiterer Baustein einer nachhaltigen und smarten Stadtentwicklung. In: VHV Allgemeine Versicherung AG (Hrsg.): VHV-Bauschadenbericht Tiefbau und Infrastruktur 2022/23. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2023. Vgl. www.bauforschung.de/downloads-oeffentlich/ [abgerufen am: 10.02.2025]

4 Spitzer, H.; Reim, K.-P.: Bewirtschaftung begehbarer Versorgungskanäle mit Unterstützung eines dynamischen Asset-Simulationsmodells. Bi UmweltBau (2016), Nr. 5, S. 54 – 59

5 ISO 37175:2024-08 Smart community infrastructures – Operation and maintenance of utility tunnels, 1. Ausgabe

6 ISO/TC 268/SC 1 Smart community infrastructures – Operation and maintenance of utility tunnels. ISO/TC268/SC1/WG7 Convenor, 10/28/2024

7 Luo, Y.; Zhang, C.; Hammad A.: Recent Development of Multi-Purpose Utility Tunnels in China. www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S088677982030465X [abgerufen am: 12.02.2025]

Historische Entwicklung und aktueller Stand

Für Deutschland lässt sich eine historische Einordnung von Leitungskanälen/-dükern ab dem Ende des 19. Jahrhunderts wie folgt vornehmen. Im Zuge der Industrialisierung in Europa kam die gebündelte unterirdische Leitungsführung in einer eigens dafür vorgesehenen baulichen Hülle mehr und mehr zur Anwendung. Insbesondere in engen Bauräumen oder bei mehreren Energie- und Wasserunternehmen stieß die Trassierung jedoch an räumliche Grenzen. Bezüglich der Arbeits- und Sicherheitsbedingungen gab es frühzeitig unterschiedliche Auffassungen, zumal die Arbeits- und Montageräume vergleichbar gering ausfielen. Die Konstruktions- und Verlegevarianten für die Leitungskanäle waren vielfältig, oft mit Klinker- und Natursteinmauerwerk oder trägerverstärktem Massenbeton, dazu Druckrohr- neben Freigefälleleitungen in Ein- oder Zweikammerkanälen. Freie Gerinne zur Abwasserableitung unter Rohrleitungen und Kabel waren dafür eher die Ausnahme.[8] Sinnbildlich für die Dauerhaftigkeit derartiger Konstruktionen ist unter anderem der historische Leitungskanal in der Dresdner Altstadt zu nennen (Abb. 02). Der 1899 mehrheitlich mit hart gebrannten Ziegeln und Kappengewölbe errichtete Versorgungskanal ist auch gegenwärtig, trotz deutlich höherer Verkehrslasten, voll funktionsfähig. In ihm wurden über 120 Jahre hinweg mehrmals Leitungen und Medien ohne Aufgrabungen instand gehalten, getauscht und ergänzt.

Abb. 02: Leitungskanal in der Dresdner Altstadt [Foto: © GIBA mbH]

Abb. 03: Innerstädtisches Bauen, grabenlose Ausrüstung über Montageöffnungen [Foto: © GIBA mbH]

Mitte bis Ende des 20. Jahrhunderts verlagerte sich der Neubau von den Innenstädten auf Liegenschaften wie Hochschulen, Kliniken, Flughäfen, Kasernen oder Bahnflächen (Abb. 03). Dazu kamen Querungen von Verkehrstrassen bzw. Gewässern als sogenannte Leitungsdüker. In Neubaugebieten des Wohnungsbaus wurden bei unproblematischen Eigentumsverhältnissen ganze Stadtteile mit Leitungskanälen erschlossen. Weiterhin gibt es Einsatzbereiche im Zusammenhang mit der Energiewende oder bei der Versor-

8 Heinemann, B.; Reim, K.-P.: Begehbare Versorgungskanäle – Stand der Technik. EuroHeat & Power 47 (2018), Nr. 01-02, S. 39 – 44

gung von Industriegebieten.[9] Für derartige Leitungskanalnetze (schätzungsweise 800 bis 900 Kilometer)[10] bestehen umfangreiche Betriebserfahrungen, mehrheitlich über 30 bis 60 Jahre hinweg. Dieser Erfahrungsfundus beim Bau und Betrieb von Leitungskanälen/-dükern in Deutschland erfährt mit den bereits genannten Aktivitäten eine entsprechende Weiterentwicklung mit modernen Planungs- und Bewirtschaftungsmethoden, um den Bestand fundiert zu erhalten sowie weitere Einsatzgebiete auszubauen.

In Asien begann in China der Einsatz von Leitungskanälen/-dükern im Jahr 1956 auf dem Platz des Himmlischen Friedens. Es dauerte jedoch bis 1994, bis in Shanghai ein funktionsfähigerer Leitungskanal mit einer Länge von 11,2 Kilometern gebaut wurde. Seit 2015 wurden 25 Städte (einschließlich der als Smart Cities ausgewiesenen Teile) mit der Planung von Leitungskanälen beauftragt.[11] Dies war der Beginn des integrierten Planens und Bauens von smarten Leitungskanälen/-dükern. Für Chinas neueste Leitungskanäle werden fortschrittliche Technologien wie Building Information Modeling (BIM) und geografische Informationssysteme (GIS) genutzt, um die betriebliche Effizienz und Wartung zu verbessern. Die Regierung unterstützt den Einsatz von Leitungskanälen/-dükern mit aktualisierten Vorschriften und einem umfassenden Normenkatalog, der alle Phasen von der Planung bis zur Wartung abdeckt. Diese Leitungskanäle/-düker werden sowohl in Smart-City-Entwicklungen, als auch in etablierten städtischen Gebieten, sanierten Wohnvierteln und historischen oder landschaftlich reizvollen Orten gebaut. Mit mehr als 7.000 bereits fertiggestellten Kilometern und einem starken Ausbau (entweder bereits im Bau oder in der Planung befindlich) zeigt diese Initiative Chinas Engagement für eine moderne, nachhaltige städtische Infrastruktur und seinen Fokus auf gleichbleibende Qualität und Effizienz von leistungsfähigen Städten.

In Singapur wurde Asiens erster begehbarer Leitungskanal, genannt Common Services Tunnel (CST), in der Marina Bay Area gebaut (Abb. 04).[12,13,14] Der CST gilt als ein wegweisendes Infrastrukturprojekt, das die Effizienz und Nachhaltigkeit der Städte verbessern soll. Das Konzept wurde in den 1990er-Jahren entwickelt und 1999 umgesetzt. In den asiatischen Ländern gibt es einen zunehmenden Trend, Leitungskanäle als Schlüsselkomponente der modernen Stadtentwicklung zu betrachten, insbesondere im Zusam-

9 Vgl. Unterirdische Leitungskanäle im urbanen Raum. Umwelt- und ressourcenschonende Infrastrukturbauwerke. www.tab.de/artikel/tab_Unterirdische_Leitungskanaele_im_urbanen_Raum-3726621.html [abgerufen am: 13.02.2025]

10 Für Deutschland liegt zu vorgenannter grober Einschätzung keine offizielle Statistik vor. Nähere Informationen sind über die Interessengemeinschaft Begehbare Versorgungskanäle (IBV) zu bekommen. Vgl. Unterirdische begehbare Versorgungs-/Leitungskanäle. www.utility-tunnel.com [abgerufen am: 13.02.2025]

11 Vgl. www.iqkep.com/wushui/9969.html und www.hangzhou.gov.cn/art/2022/9/21/art_1229243379_59065778.html [abgerufen am: 21.02.2025]

12 Vgl. Marina Bay. www.ctrlshift.gov.sg/engineering-marvels/marina-bay [abgerufen am: 13.02.2025]

13 Vgl. Common Service Tunnels & District Cooling- Singapore Marina Bay City. https://blog.japhethlim.com/index.php/2012/05/03/common-service-tunnels-singapore-marina-bay-city/ [abgerufen am: 13.02.2025]

14 Vgl. The Marina Bay Story. www.ura.gov.sg/Corporate/Get-Involved/Shape-A-Distinctive-City/Explore-Our-City/Marina-Bay/The-Marina-Bay-Story [abgerufen am: 13.02.2025]

menhang mit dem Bau von Smart Cities. Bemerkenswerte Beispiele für den Einsatz von Leitungskanälen finden sich in Japan, Malaysia und Indonesien. Japans Leitungskanäle, die Erdbeben und Überschwemmungen standhalten, zeigen einen zukunftsorientierten Ansatz für den Bau widerstandsfähiger und nachhaltiger Städte (Abb. 05).[15]

Abb. 04: Common Service Tunnel (CST) [Foto: © ctrlshift.gov.sg[16]]

Abb. 05: Azabu-Hibiya Common Utility Tunnel [Foto: © tokyoreporter.com[17]]

Abb. 06: Common Utility Tunnel (CUT) [Foto: © The Star.com.my[18]]

Abb. 07: Multi-Utility Tunnel System (MUT), das unter der neuen indonesischen Hauptstadt engelegt werden soll. [Foto: © ISEAS.Edu.Sg[19]]

Malaysias Common Utility Tunnel (CUT) in Putrajaya ist ein Beispiel für eine effiziente städtische Infrastruktur, die darauf ausgelegt ist, wiederholte Straßenaufgrabungen zu verhindern, Störungen für die Öffentlichkeit zu minimieren und wichtige Versorgungseinrichtungen wie Stromkabel, Wasserleitungen, Telekommunikationsleitungen und Gas-

15 Vgl. Tokyo underground. www.tokyoreporter.com/japan-news/special-reports/tokyo-underground [abgerufen am: 13.02.2025]

16 Marina Bay. www.ctrlshift.gov.sg/engineering-marvels/marina-bay [abgerufen am: 21.02.2025]

17 Vgl. Tokyo underground. www.tokyoreporter.com/japan-news/special-reports/tokyo-underground/] Wrong picture attached and shall be replaced as attached [abgerufen am: 21.02.2025]

18 Bavani, M.: Common utility tunnel system feasible for new developments. www.thestar.com.my/metro/metro-news/2024/11/22/common-utility-tunnel-system-feasible-for-new-developments#goog_rewarded [abgerufen am: 21.02.2025]

19 Negara, S. D.; Rebecca, N. H. Y.: The Nusantara Project in Progress: Risks and Challenges. www.iseas.edu.sg/articles-commentaries/iseas-perspective/2024-59-the-nusantara-project-in-progress-risks-and-challenges-by-siwage-dharma-negara-and-neo-hui-yun-rebecca/ [abgerufen am: 21.02.2025]

pipelines zu schützen (Abb. 06).[20] Die »No Dig«-Politik sorgt für eine nachhaltige und integrierte Nutzung des ober- und unterirdischen Raums im Rahmen der städtebaulichen Gestaltung. Im Mai 2024 kündigte Indonesien das Multi-Utility-Tunnel-System (MUT) als Schlüsselkomponente für seine neue, als Smart City konzipierte Hauptstadt Nusantara an.[21]

Technischer und normativer Rahmen für Leitungskanäle/-düker

Da Leitungskanäle/-düker eine zunehmend wichtige Rolle in verschiedenen Anwendungsfeldern – von der Stadtentwicklung über die Unterstützung der Energiewende bis zur Versorgung von Industrieparks – spielen, wird auch ein klarer technischer und normativer Rahmen benötigt.

Mit der Einführung der internationalen ISO 37175 im Jahr 2024 und der Aktualisierung des Leitfadens durch den Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW) und der German Society for Trenchless Technology e. V. (GSTT) in Deutschland wurde ein wertvoller normativer Rahmen geschaffen. Der Leitfaden konzentriert sich vorrangig auf das technische unterirdische Bauwerk Leitungskanal/-düker. Darin werden detaillierte Vorgaben für Planung, Bau und Betrieb begehbarer Leitungskanäle/-düker formuliert und damit nahezu alle denkbaren Anwendungsfälle adressiert – von der Stadtentwicklung, über die Energiewende bis zur Versorgung von Industrieparks. Im Mittelpunkt stehen technische, wirtschaftliche, sicherheitsrelevante und betriebliche Aspekte über die gesamte Lebensdauer der Leitungskanäle/-düker hinweg.

20 Vgl. Common utility tunnel for Putrajaya core island (M&E Works). www.smhb.com/portfolio/common-utility-tunnel-for-putrajaya-core-island-me-works [abgerufen am: 13.02.2025]

21 Vgl. New capital Nusantara as key to National Hydrogen Strategy. https://en.antaranews.com/news/313020/new-capital-nusantara-as-key-to-national-hydrogen-strategy#:~:text=MUT%20is%20an%20infrastructure%20built,to%20coduct%20%%2020inspections%20and%20repairs [abgerufen am: 13.02.2025]

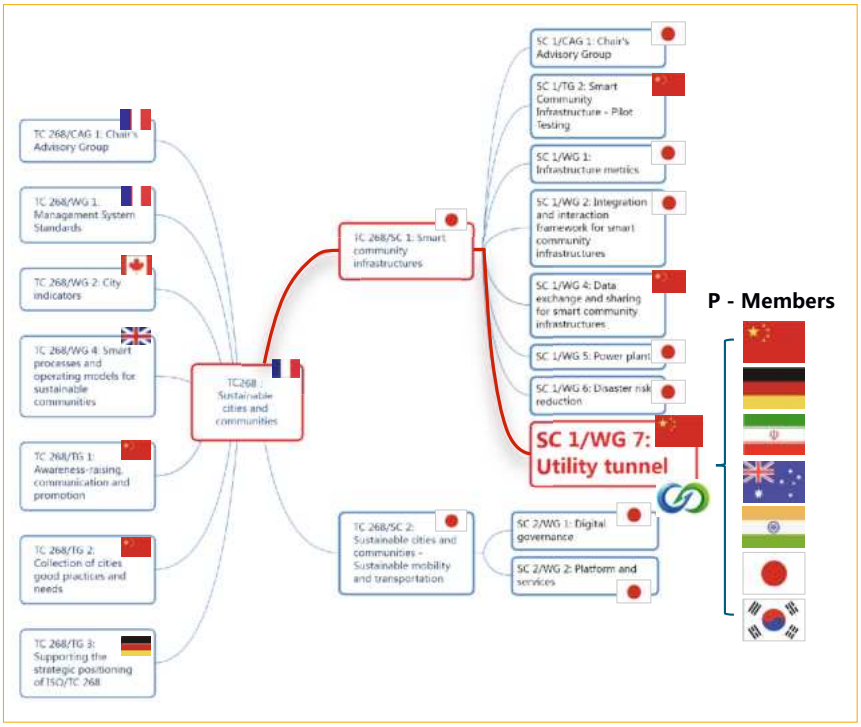


Abb. 08: Einordnung der ISO 37175 [Quelle: © Tiantian, Yi[22]]

Die ISO-Norm 37175 verfolgt einen systemischen Ansatz mit einem besonderen Fokus auf nachhaltige Stadtentwicklungsprojekte im Kontext von Smart Cities (Abb. 08).[23] Die Norm setzt stärker auf die Automatisierung von Planungs- und Betriebsprozessen sowie auf ein umfassendes Management während des gesamten Lebenszyklus. Durch ihre breitere Positionierung schafft die Norm Anknüpfungspunkte zu anderen ISO-Normen wie dem Asset- und Risikomanagement (siehe ISO 55001 und ISO 31010)[24].

Diese unterschiedlichen Ausrichtungen bieten entscheidende Vorteile: Während der Leitfaden eine präzise technische Grundlage für nahezu alle Anwendungsbereiche schafft, unterstützt die ISO 37175 die intelligente und integrative Entwicklung urbaner Infrastrukturen. Eine integrierte, sich gegenseitig ergänzende Betrachtung von Leitfaden und ISO-Norm erscheint zielführend und ermöglicht es, sich ein umfassendes Bild zu erar-

22 Tiantian, Yi.: Smart community infrastructures-Operation and maintenance of utility tunnels. ISO/TC268/SC1/WG7 Convenor, 10/28/2024.

23 ISO 37175:2024-08 Smart community infrastructures – Operation and maintenance of utility tunnels. 1. Ausgabe

24 ISO 55001: 2014 Asset management – Management systems – Requirements. ISO 31010:2019. Risk management – Risk assessment techniques. 2. Ausgabe

beiten. Zusammen betrachtet lassen sich Leitungskanäle/-düker damit für die nachhaltige Stadtentwicklung sowie alle weiteren Anwendungsfälle (wie dem Energieträgerwandel) fundiert im Konsens und normgerecht gestalten. Welche Bedeutung dies entfalten kann, zeigt sich sehr gut an der normgerechten Pilotlösung für Leitungskanäle in Hengqin (Abb. 09)[25], die unter Berücksichtigung der Erfahrungen als Vorlage für den weiteren Ausbau in China dient.

Abb. 09: Leitungskanal in Hengqin [Foto: © China Org. CN[26]]

Erwarteter Nutzen durch den Einsatz von Leitungskanälen/-dükern

Leitungskanäle/-düker bieten vielversprechende Möglichkeiten zur Optimierung leitungsgebundener Infrastrukturen in verschiedensten Bereichen, insbesondere aber bei der nachhaltigen Stadtentwicklung. Leitungskanäle/-düker tragen zur effizienten Nutzung von Ressourcen, zur langfristigen Wirtschaftlichkeit und zur Integration nachhaltiger Technologien bei. Der erwartete Nutzen erstreckt sich von der Stadtentwicklung über die Erschließung von Industriegebieten bis hin zur flexiblen Bereitstellung von Ver- und Entsorgungsmedien. Für jedes Vorhaben ist eine fundierte Planung und Bewertung entscheidend, um die langfristigen Effekte voll auszuschöpfen.

Nachfolgend werden die wesentlichen erwarteten Nutzenaspekte von Leitungskanälen/-dükern dargestellt:

25 Vgl. Zhuhai Hengqin Utility Tunnel Project. https://en.ccccltd.cn/yw/dcs/Municipal_Landscape/202108/t20210831_142125.html [abgerufen am: 14.02.2025]

26 www.china.org.cn/chinese/2017-12/21/content_50117782.htm [abgerufen am: 10.02.2025]

1. *Effiziente Raumnutzung und Schutz der Umwelt*
   Ein entscheidender Vorteil von Leitungskanälen liegt in der Möglichkeit, den ober- und unterirdischen Raum optimal zu nutzen. Dazu ist eine integrierte Betrachtung der ober- und unterirdischen Räume notwendig. Während bei der normgerechten konventionellen unterirdischen Verlegung von Versorgungssystemen oft Trassen mit einer Breite von bis zu 13 Metern erforderlich sind, ist die benötigte Breite bei Leitungskanälen meist auf 3 bis 4 Meter begrenzt. Diese platzsparende Bauweise schafft zusätzlichen Raum für Umweltschutzmaßnahmen wie zusätzliche Grünflächen, Schwammstadtkonzepte und andere Nutzungen an der Oberfläche. Die integrierte Raumbetrachtung ermöglicht kreative städtebauliche Lösungen und reduziert Eingriffe in die Landschaft. Zudem minimieren Leitungskanäle durch geringeren Erdaushub Umweltbelastungen und tragen zum Schutz sensibler Ökosysteme bei.

2. *Beitrag zur Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung*
   Leitungskanäle fördern die effiziente Nutzung von Ressourcen und ermöglichen umweltfreundliche Energieversorgungskonzepte. Sie bieten die nötige Infrastruktur für die Integration flexibel nutzbarer Energiesysteme wie Fernwärme/-kälte, Geothermie und intelligente Stromnetze. Damit leisten sie einen wertvollen Beitrag zur Senkung von CO_2-Emissionen und zur Förderung einer nachhaltigen Energieversorgung. Gleichwohl sind die zusätzlichen CO_2-Emissionen durch den Bau eines Leitungskanals anzurechnen bei ebenso vorhandenen Reduzierungsinitiativen. Eine Kenngröße, die die Aspekte aus den Punkten 1 und 2 treffend zusammenfasst und eine Indikation für den Nutzen ausweist, gilt es zu entwickeln.

3. *Stärkung der Widerstandsfähigkeit von Infrastrukturen*
   Angesichts zunehmender klimatischer Risiken schützen Leitungskanäle kritische Infrastrukturen vor extremen Wetterereignissen wie Überschwemmungen und Stürmen. Sie erhöhen die Stabilität und Anpassungsfähigkeit von Versorgungssystemen und tragen zu einem langfristig sicheren und nachhaltigen Betrieb bei.

4. *Langfristige Wirtschaftlichkeit und Entlastung des Verkehrs*
   Die unterirdische Verlegung von Versorgungssystemen in Leitungskanälen reduziert den Bedarf an häufigem Straßenaufbruch und Reparaturen erheblich. Bei anfänglich höherem Finanzbedarf sinken langfristig die Wartungskosten, während zusätzlich Verkehrsbeeinträchtigungen, Luft- und Lärmbelastungen deutlich reduziert werden. Die Berechnung des wirtschaftlichen Nutzens gestaltet sich in der Regel schwierig, da diese aufgrund des Betrachtungszeitraums und der einbezogenen Komponenten viel Raum zur Auslegung der Annahmen bietet (Abb. 01). Der politische Wille bzw. die Unterstützung ist ein wesentlicher Faktor.

5. *Förderung effizienter und vernetzter Systeme*
   Leitungskanäle ermöglichen die Integration fortschrittlicher Technologien wie IoT-basierter Überwachungssysteme zur effizienten Energienutzung und Echtzeit-Fehlererkennung. Zudem können sie durch ein breites Nutzungsspektrum wie Energiespeicherung, Rohrpost, Produkt- oder Abfalltransportsysteme die Ressourceneffizienz verbessern.

6. *Weitere Einsatzbereiche von Leitungskanälen*
   Neben ihrem Nutzen für städtische Infrastrukturprojekte bieten Leitungskanäle auch in anderen Bereichen entscheidende Vorteile. Sie unterstützen die effiziente Erschließung und Revitalisierung von Industriegebieten sowie einzelnen Liegenschaften wie Kliniken oder Universitäten.

Ausblick

Leitungskanäle/-düker sind als eine wesentliche Komponente einer Smart City positioniert. Als weitere Entwicklungsschritte sind in Deutschland identifiziert:

- Der Leitfaden wird in den Projektkreisen der AGFW und der Interessengemeinschaft Begehbare Versorgungskanäle (IBV) in spezifischen Regelwerken vertieft. Dabei stehen zunächst die Erhöhung des Sicherheitsniveaus, zum Beispiel Detaillösungen zum Brandschutz, zum Hochwasserschutz oder zu Rettungswegen, im Fokus. Innerhalb des jahrzehntelangen Betriebs ergeben sich Modernisierungs- und Ausbauaufgaben für die Leitungskanäle selbst, um Einsparpotenziale zu erschließen und somit die Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit der Gesamtlösung weiter zu verbessern.
- Zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Leitungskanälen/-dükern ist in einem ersten Schritt die Bandbreite/der Durchschnitt von direkten und indirekten CO_2-Emissionen über den Lebenszyklus von Leitungskanälen/-dükern in einem noch zu entwickelnden Nachweisverfahren zu ermitteln und mit einer konventionellen Verlegung zu vergleichen. Zur umfänglicheren Abbildung sind auch die Energie- und Ressourceneffizienz heranzuziehen. Der Einfluss weiterer Nachhaltigkeitskonzepte (beispielsweise das Schwammstadt-Konzept) ist durch den verringerten Platzbedarf zu berücksichtigen.
- Weiterhin stellen Leitungskanäle/-düker auch eine Lösungsalternative für die aktuellen Herausforderungen bei der Energieträgersubstitution dar. Wie diese aussehen können bzw. wie ein Beitrag dazu geleistet werden kann, gilt es zu untersuchen. Hierzu sind die bisherigen Informationen zum Einsatz von Leitungskanälen/-dükern für den Einsatz im Hoch- und Höchstspannungsbereich sowie im Bereich der Wärmeverteilungsanlagen aufzubereiten. Da im Vergleich zur konventionellen Medienverlegung mehr Platz für Baumstandorte, Straßenbegleitgrün und Schwammstadt-Maßnahmen zur Verfügung steht, sind auch die Beiträge zur Umweltentlastung und Klimafolgenanpassung (unter anderem Resilienz gegen starkregenbedingte Überflutung) zu betrachten.

- Um eine praktikable Regelung der verschiedenen Verantwortlichkeiten und die effiziente Gestaltung von Abläufen im unter- und oberirdischen Bereich nachhaltig zu erproben, sind praxisnahe Pilotprojekte (wie etwa in Hengqin) ein möglicher Ansatz, um innovative Konzepte zu testen und Best Practices zu entwickeln. Frühzeitig lassen sich Herausforderungen identifizieren und Lösungen erproben, die als Blaupause für eine flächendeckende Umsetzung dienen können.

Weiterhin können die bisherigen Erfahrungen in Asien und Europa als wertvolle Referenzen für die Entwicklung von Smart Cities in vielen Ländern weltweit dienen. Als Beispiele sollen der Marina Bay Common Services Tunnel in Singapur sowie die Leitungskanäle in Hengqin dienen. In europäischen Städten (zum Beispiel in Prag) bestehen ebenso jahrzehntelange Erfahrungen für den schrittweisen Ausbau von Leitungskanalnetzen. Mit der stufenweisen Implementierung von Managementpraktiken sowie operativen Modellen, der finanziellen Rahmenplanung sowie des Risikomanagements wird ein Maßstab für ähnliche Projekte weltweit gesetzt.

Dr. Heiko Spitzer ist seit 2009 geschäftsführender Gesellschafter der entellgenio GmbH. Er ist Experte bei der Unterstützung nationaler und internationaler Unternehmen bei der Ableitung optimierter Entscheidungen für langlebige Infrastrukturen. Hierbei geht es insbesondere um die Formulierung und Analyse von Szenarien auf Basis von fundierten Berechnungen und Optimierungen für Budget, Qualität und Risiko der Infrastrukturen. Zuvor war er bei einem nationalen Energieversorger, einer international agierenden Beratung sowie einem führenden Kommunikationstechnik-Provider beschäftigt.

Klaus-Peter Reim war Leiter der Arbeitsgruppe 2 für die Überarbeitung des Leitfadens zu Planung, Bau und Betrieb unterirdischer Leitungskanäle und -düker, Teil 2 »Konstruktive Planung – Bau und Ausrüstung«. Er fungiert weiterhin als Stellvertretender Sprecher der Interessengemeinschaft Begehbare Versorgungskanäle (IBV) und war bis 2019 Geschäftsführer der GIBA mbH.

Emmanuel Leung ist Principal Consultant für lokale und internationale Projekte bei CPG Facilities Management Pte Ltd. Er ist ein anerkannter Experte für Facility Management mit einer Spezialisierung auf intelligente und nachhaltige Lösungen für große Infrastrukturen, einschließlich Flughäfen, Krankenhäuser und Leitungskanäle. In den letzten 20 Jahren hat er Managementsysteme für Leitungskanäle in Singapur und China geleitet und entwickelt. Darüber hinaus hat er als Ausschussmitglied an der Ausarbeitung von Betriebs- und Wartungsstandards für Gebäude und Infrastruktur in Singapur und China und am ISO-Rahmenwerk mitgewirkt.

Future-proof infrastructures – Utility tunnel as part of a sustainable urban development (Smart City)

Dr. Heiko Spitzer

Klaus-Peter Reim

Emmanuel Leung

The challenges of climate change and protection require the optimal, i. e. an integrated and coordinated, use of underground and above-ground urban spaces and areas and are thus the focus of sustainable urban planning. In addition to reducing greenhouse gas emissions and protecting natural resources, smart and sustainable infrastructure solutions are necessary to meet the demands of a dynamic urban society. Walkable and non-walkable utility tunnels play an increasingly important role here. Utility tunnels are an efficient, space-saving and sustainable design option for supply and disposal routes to support a resource-saving design of underground space.

Germany has made significant progress in recent years because of the update of the guideline “walkable utility tunnels”[1]. The discussion has become more objective through the development of a checklist for the application of uitility tunnels as well as calculation models.[2,3,4]

Internationally, ISO 37175 was created in 2024 as a global standard for utility tunnels.[5] ISO 37175 is a component in the development of smart cities that combine technological networking and sustainable urban development[6]. This provides a framework for cities worldwide to develop and implement intelligent and sustainable solutions.

1 Guideline: Planning, Construction and Operation of Walkable Utility tunnels. cf.: https://cloud.agfw.de/f/eee39118e56540d59668/?dl=1 [accessed on: 10.02.2025]

2 Knowledge transfer for Municipalities and Utilities companies on Walkable Utility tunnels as long term environmentally friendly and resource saving infracstructure in Urban areas. Final Report entellgenio, 2022. Accessed: www.dbu.de/projektdatenbank/35682-01/ [accessed on: 10.02.2025]

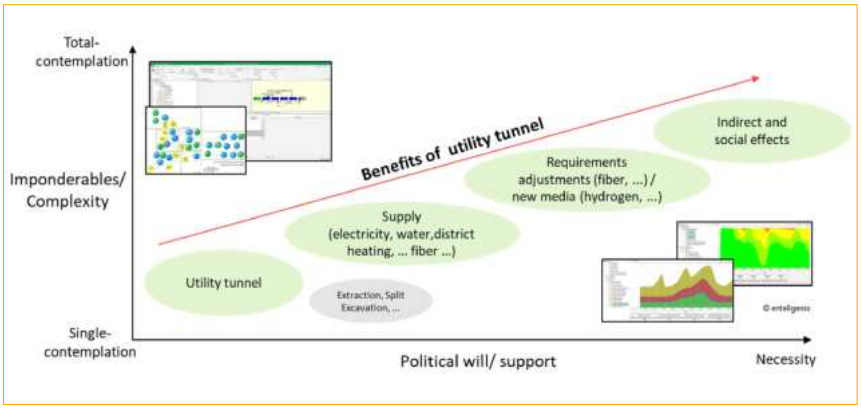


Fig. 01: Calculation models can be used to evaluate the benefits of utility tunnels. [©entellgenio]

In the following specific developments in Germany and leading Asian countries such as Singapore and China will be compared. Both regions are characterized by pioneering projects and innovative approaches to urban development following different starting points in terms of industrial history. Asia's pioneering cities currently possess an impressive dynamism in the implementation of modern technologies and urban concepts.[7] A look at the developments in these regions provides important insights for sustainable urban design through the implementation of smart infrastructure solutions.

Historical development and current status

For Germany, the historical classification of utility tunnels from the end of the 19th century onwards can be made as follows. In the course of industrialization in Europe, the bundled utility tunnels routing in a specially designed structural framework was used more and more. Especially in confined construction spaces with several energy and water companies, the route reached spatial limits. There were different opinions on the working and safety conditions at an early stage, especially since the working and assembly rooms were comparatively small. The construction and laying variants of utility

3 Spitzer, H., Reim, K.-P.: Utility tunnels as a further component of sustainable and smart urban development, VHV building damage report - Civil engineering and infrastructure 2022/23, page 273. Accessed: https://bauforschung.de/downloads-oeffentlich/ [accessed on: 10.02.2025]

4 Spitzer, H., Reim, K.- P.: Management of walkable utility tunnels with the support of a dynamic asset simulation model, Bi UmweltBau, issued 05/2016, p. 54 – 59

5 Smart community infrastructures – Operation and maintenance of utility tunnels, ISO 37175, First edition 2024-08

6 Tiantian, Yi: Smart community infrastructures – Operation and maintenance of utility tunnels. ISO/TC268/SC1/WG7 Convenor, 10/28/2024

7 Luo,Y.; Zhang, C.; Hammad A.: Recent Development of Multi-Purpose Utility Tunnels in China. www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S088677982030465X [accessed on: 10.02.2025]

tunnels were diverse, often with clinker and natural stone masonry or beam-reinforced mass concrete, plus pressure pipe and gravity pipes in one- or two-chamber utility tunnels. Free channels for wastewater drainage under pipelines and cables were rather the exception.[8] The historic utility tunnel in Dresdner old town is emblematic of the durability of such constructions (Fig. 02). The utility tunnel, which was built in 1899 mainly with hard-fired bricks and vaulted ceilings, is still fully functional today, despite significantly higher traffic loads. Over 120 years, pipes and media were replaced several times without excavations.

Fig. 02: Utility Tunnel in Dresdner Old Town [Source: © GIBA mbH]

Fig. 03: Inner-city construction, trechless loose equipment via installation openings [Source: © GIBA mbH]

In the mid to late 20th century, new construction shifted from city centres to properties such as universities, clinics, airports, barracks or railway areas. In addition, there were crossings of traffic routes or bodies of water as so-called line diverter. In new housing development areas, entire districts were developed with utility tunnels if ownership was unproblematic. There are also areas of application in the field of energy transition, such as the Elbe utility tunnel or in the supply of industrial areas[9]. For such duct network (estimated at 800 to 900 kilometres)[10], extensive operating experience exists, most of them over 30 to 60 years. This pool of experience in the construction and operation of utility tunnels in Germany is being actively developed with the aforementioned activities using modern planning and management methods in order to maintain the existing system and expand further areas of application.

8 Heinemann, B., Reim, K.-P.: Utility tunnels - state of the art, Euro Heat& Power 47(2018), Issued 01-02, p. 39–44

9 Environmentally friendly and resource-saving infrastructure structures. Utility tunnels in urban areas. Tab 1-2, 2022, www.tab.de/artikel/tab_Unterirdische_Leitungskanaele_im_urbanen_Raum-3726621.html [accessed on: 13.02.2025]

10 There are no official statistics available for Germany on the above-mentioned rough estimate. More information can be obtained from the Interest Group for Walkable Utility tunnels (IBV). f. www.utility-tunnel.com

In Asia, the use of utility tunnels began in China in 1956 on Tiananmen Square. However, it took until 1994 for a more functional utility tunnel with a length of 11.2 km to be built in Shanghai. Since 2015, 25 cities (including the parts designated as smart cities) have been tasked with planning utility tunnels[11]. This was the beginning of the integrated planning and construction of smart utility tunnels. China's newest utility tunnels use advanced technologies such as Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS) to improve operational efficiency and maintenance. The government supports the use of utility tunnels with updated regulations and a comprehensive set of standards covering all phases from planning to maintenance. In addition to smart city developments, these utility tunnels are being built in established urban areas, redeveloped residential neighborhoods, and historic or scenic locations. With over 7.000 kilometres already completed and a strong expansion (either already under construction or in the planning stage), this initiative demonstrates China's commitment to modern, sustainable urban infrastructure and its focus on maintaining the quality and efficiency of high-performing cities.

Singapore, on the other hand, built Asia's first accessible utility tunnels (called the "Common Services Tunnel" (CST) in the Marina Bay Area (Fig. 04)[12,13,14]. The CST is considered a pioneering infrastructure project that aims to improve the efficiency and sustainability of cities. The concept was developed in the 1990s and implemented in 1999. In Asian countries, there is an increasing trend to consider utility tunnels as a key component of modern urban development, especially in the context of the construction of smart cities. Notable examples of the use of utility tunnels can be found in Japan, Malaysia and Indonesia. Japan's utility tunnels can withstand earthquakes and floods, showing a forward-looking approach to building resilient and sustainable cities (Fig. 05)[15].
Malaysia's Common Utility Tunnel (CUT) in Putrajaya is an example of efficient urban infrastructure designed to prevent repeated road excavations, minimise disruption to the public and protect key utilities such as power cables, water pipes, telecommunication lines and gas pipelines (Fig. 06)[16].

11 Cf. http://www.iqkep.com/wushui/9969.html and https://www.hangzhou.gov.cn/art/2022/9/21/art_1229243379_59065778.html. [accessed on: 21.02.2025]

12 Cf. Marina Bay. https://www.ctrlshift.gov.sg/engineering-marvels/marina-bay/ [accessed on: 21.02.2025]

13 Cf. Common Service Tunnels & District Cooling – Singapore Marina Bay City. https://blog.japhethlim.com/index.php/2012/05/03/common-service-tunnels-singapore-marina-bay-city/ [accessed on: 21.02.2025]

14 Cf. The Marina Bay Story. https://www.ura.gov.sg/Corporate/Get-Involved/Shape-A-Distinctive-City/Explore-Our-City/Marina-Bay/The-Marina-Bay-Story [accessed on: 21.02.2025]

15 Cf. Tokyo underground. https://www.tokyoreporter.com/japan-news/special-reports/tokyo-underground/ [accessed on: 10.02.2025]

16 Cf. Common utility tunnel for Putrajaya core island (M&E Works). https://www.smhb.com/portfolio/common-utility-tunnel-for-putrajaya-core-island-me-works/ [accessed on: 10.02.2025]

Fig. 04: Common Service Tunnel (CST)
[Source: © ctrlshift.gov.sg[17]]

Fig. 05: Azabu-Hibiya Common Utility Tunnel
[Source: © tokyoreporter.com[18]]

Fig. 06: Common Utility Tunnel (CUT)
[Source: © The Star.com.my[19]]

Fig. 07: Multi-Utility Tunnel System (MUT) to be built under the new Capital of Indonesia
[Source: © ISEAS.Edu.Sg[20]]

The "No Dig" policy ensures a sustainable and integrated use of the above- and below-ground space within the framework of urban design. In May 2024, Indonesia announced the Multi-Utility Tunnel System (MUT) as a key component for its new capital Nusantara, designed as a smart city[21].

Technical and normative framework for utility tunnels

Since utility tunnels play an increasingly important role in various fields of application – from urban development to supporting the energy transition to supplying industrial parks – a clear technical and normative framework is also needed.

17 Marina Bay. https://www.ctrlshift.gov.sg/engineering-marvels/marina-bay [accessed on: 21.02.2025]

18 Cf. Tokyo underground. https://www.tokyoreporter.com/japan-news/special-reports/tokyo-underground/ [accessed on: 21.02.2025]

19 Bavani, M.: Common utility tunnel system feasible for new developments. https://www.thestar.com.my/metro/metro-news/2024/11/22/common-utility-tunnel-system-feasible-for-new-developments#goog_rewarded [accessed on: 21.02.2025]

20 Negara, S. D.; Rebecca, N. H. Y.: The Nusantara Project in Progress: Risks and Challenges. https://www.iseas.edu.sg/articles-commentaries/iseas-perspective/2024-59-the-nusantara-project-in-progress-risks-and-challenges-by-siwage-dharma-negara-and-neo-hui-yun-rebecca/ [accessed on: 21.02.2025]

21 Cf. New capital Nusantara as key to National Hydrogen Strategy. https://en.antaranews.com/news/313020/new-capital-nusantara-as-key-to-national-hydrogen-strategy. [accessed on: 10.02.2025]

With the introduction of international ISO 37175 in 2024 and the updating of the guidelines by AGFW (Independent, impartial German association promoting energy efficiency, (district) heating, cooling and CHP – Combined Heat and Power – at national and international levels) and GSTT (German society for Trenchless Technology e. V.) in Germany, a valuable normative framework has been created. The guidelines concentrate primarily on the technical underground structure of the utility tunnel. Detailed specifications for the planning, construction and operation of walkable utility tunnels are formulated and thus almost all conceivable applications are addressed – from urban development, the energy transition or the supply of industrial parks. The focus is on technical, economic, safety-relevant and operational aspects over the entire service life of the utility tunnels.

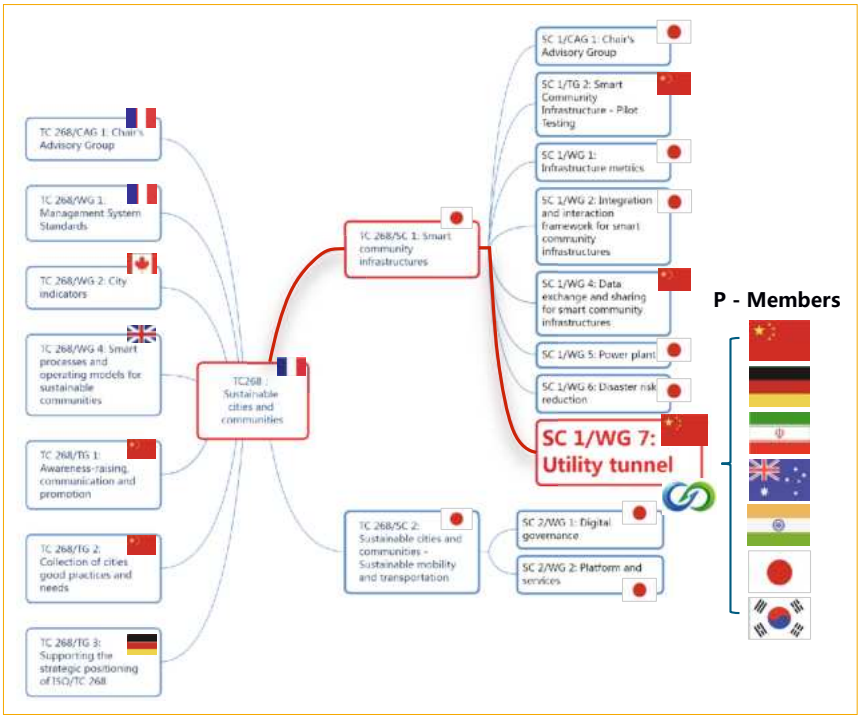


Fig. 08: Categorization of ISO 37175 [Source: © Tiantian, Yi[22]]

The ISO 37175 standard, on the other hand, pursues a systemic approach with a special focus on sustainable urban development projects in the context of smart cities (Fig. 08).[23] The standard places greater emphasis on the automation of planning and

22 Tiantian, Yi.: Smart community infrastructures-Operation and maintenance of utility tunnels. ISO/TC268/SC1/WG7 Convenor, 10/28/2024.

23 Smart community infrastructures - Operation and maintenance of utility tunnels, ISO 37175, 1. edition

operational processes as well as on comprehensive management over the entire life cycle. Due to its broader positioning, the standard creates points of contact with other ISO standards such as asset and risk management (see ISO 55001 and ISO 31010)[24].

These different orientations offer decisive advantages: While the guide creates a precise technical basis for almost all areas of application, ISO 37175 supports the intelligent and integrative development of urban infrastructures. An integrated, mutually complementary approach to the guideline and the ISO standard appears to be effective and enables a comprehensive picture to be developed. Taken together, this allows utility tunnels to be designed for sustainable urban development and all other applications (such as energy transition) in a well-founded, consensus-based and standard-compliant manner. The significance of this can be demonstrated very well by the standard compliant pilot of the utility tunnels in Hengqin[25], which serves as a template for further expansion in China taking into account the experience gained.

Fig. 09: Hengqin Utility Tunnel [Source: © China Org. CN[26]]

Expected benefits from the use of utility tunnels

Utility tunnels offer promising opportunities for optimising pipeline infrastructures in a wide range of areas, but especially in sustainable urban development. Utility tunnels contribute

24 ISO 55001: 2014 Asset management – Management systems – Requirements
ISO 31010:2019 Risk management – Risk assessment techniques.

25 Cf. Zhuhai Hengqin Utility Tunnel Project. https://en.ccccltd.cn/yw/dcs/Municipal_Landscape/202108/t20210831_142125.html [accessed on: 10.02.2025]

26 China.org.cn: A look at Zhuhai's underground 'artery'. http://www.china.org.cn/chinese/2017-12/21/content_50117782.htm [accessed on: 10.02.2025]

to the efficient use of resources, long-term profitability and the integration of sustainable technologies. Their expected benefits range from urban development to the development of industrial areas to the provision of flexible supply and disposal media. For every project, well-founded planning and evaluation is crucial in order to fully exploit the long-term effects.

The main expected benefits of utility tunnels are presented below:

1. *Efficient use of space and protection of the environment*
   A decisive advantage of utility tunnels is the possibility of making optimal use of the above- and below-ground space. This requires integrated consideration of the above- and below-ground spaces. While the standard-compliant conventional underground laying of utility systems often requires routes with a width of up to 13 meters, the required width for utility tunnels is mostly 3 – 4 metre.

   This space-saving construction method creates additional space for environmental protection measures such as additional green spaces, sponge city concepts and other uses on the surface. Integrated spatial observation enables creative urban planning solutions and reduces interventions in the landscape. In addition, utility tunnels minimise environmental pollution through lower surface excavation and contribute to the protection of sensitive ecosystems.

2. *Contribution to sustainability and resource conservation*
   Utility tunnels promote the efficient use of resources and enable environmentally friendly energy supply concepts. They provide the necessary infrastructure for the integration of renewable energy systems such as district cooling, geothermal energy and smart grids. In doing so, they make a valuable contribution to reducing CO_2 emissions and promoting a sustainable energy supply. Nevertheless, the additional CO_2 emissions caused by the construction of a utility tunnel must be taken into account in existing reduction initiatives. A parameter summariszes effectively aspects from points 1 and 2 and shows an indication for the benefits must be developed.

3. *Strengthening the resilience of infrastructures*
   In view of increasing climatic risks, utility tunnels protect critical infrastructures from extreme weather events such as floods and storms. They increase the stability and adaptability of supply systems and contribute to long-term safe and sustainable operation.

4. *Long-term economic efficiency and relief of traffic*
   Laying utility systems in tunnels significantly reduces the need for frequent road demolition and repairs. With initially higher financial requirements, maintenance costs are reduced in the long term, while traffic disruptions, air pollution and noise pollution are also significantly reduced. The calculation of the economic benefit is usually diffi-

cult because it offers a lot of room for interpreting the assumptions due to the period under consideration and the components included (Fig. 01). Political will/support is an essential factor.

5. *Promoting efficient and networked systems*
   Utility tunnels allow the integration of advanced technologies such as IoT-based monitoring systems for efficient energy use and real-time fault detection. They can also improve energy efficiency through a wide range of uses such as energy storage, pneumatic tube systems, product or waste transportation systems.

6. *Other areas of application of utility tunnels*
   In addition to their benefits for urban infrastructure projects, utility tunnels also offer decisive advantages in other areas. They support the efficient development and revitalization of industrial areas and individual properties such as hospitals or universities.

Outlook

Utility tunnels are positioned as an essential component of a smart city. Further development steps have been identified in Germany and can serve as a reference for other countries worldwide:

- The guidelines will be further developed in the project groups of the AGFW and the IBV in specific regulations. The initial focus is on increasing the level of safety, e. g. through detailed solutions for fire protection, flood protection or escape routes. During decades of operation, modernization and expansion tasks have arisen for the utility tunnels to tap into savings potential and thus implement the sustainability and cost-effectiveness of the overall solution.
- To assess the sustainability of utility tunnels, the first step is to determine the range/average of direct and indirect CO_2 emissions over the life cycle of utility tunnels in a verification procedure yet to be developed and compared with conventional installation. For a more comprehensive illustration, energy and resource efficiency should also be taken into account. The influence of other sustainability concepts (e. g. the sponge city concept) must be taken into account due to the reduced space requirements.
- Furthermore, utility tunnels also represent an alternative solution for the current challenges of energy substitution. How these can look like and how a contribution can be made must be investigated. For this purpose, the existing information on the use of utility tunnels for use in the high-voltage and extra-high-voltage range as well as in the area of heat distribution systems must be prepared. Since there is more space available for tree locations, roadside greenery and sponge city measures compared to conventional media installation, the contributions to environmental relief and climate impact adaptation (including resilience to flooding caused by heavy rainfall) should also be considered.

- In order to sustainably establish a practicable regulation of the various responsibilities and the efficient design of processes in underground and above-ground areas, practical pilots (such as in Hengqin) may be a possible approach to experiment with innovative concepts and develop best practices. Challenges can be identified at an early stage and solutions tested that can serve as a blueprint for widespread implementation.
- Furthermore, the experience gained so far in Asia and Europe can serve as valuable references for the development of smart cities in many countries worldwide. Examples include the Marina Bay Common Services Tunnel and the utility tunnel in Hengqin. European cities (e. g. Prague) have decades of experience in the gradual expansion of sewer networks. With the gradual implementation of management practices and operational models, financial framework planning and risk management, they set a benchmark for similar projects worldwide.

Dr. Heiko Spitzer has been Managing Partner of entellgenio GmbH since 2009. He is an expert in supporting national and international companies in deriving optimized decisions for long-lasting infrastructures. In particular, this involves the formulation and analysis of scenarios on the basis of well-founded calculations and optimizations for the budget, quality and risk of the infrastructures. Previously, he worked for a national energy supplier, an international consultancy and a leading communications technology provider.

Klaus-Peter Reim has been head of Working Group 2 for the revision of the Guidelines for the Planning, Construction and Operation of Utility tunnels for Part 2 “Constructive Planning – Construction and Equipment”. He continues to act as deputy spokesman of the Interest Group for Walkable Utility tunnels (IBV) and was Managing Director of GIBA mbH until 2019.

Emmanuel Leung is a Principal Consultant for local and international projects at CPG Facilities Management Pte Ltd. He is a recognized expert in facility management with a specialization in smart and sustainable solutions for large infrastructures, including airports, hospitals and utility tunnels. For the past 20 years, he has led and developed management systems for utility tunnels in Singapore and China. In addition, as a committee member, he has contributed to the development of operation and maintenance standards for buildings and infrastructure in Singapore, China, and the ISO framework.

7.2.3 Die mobile Gasdruckregelanlage – eine Entwicklung für mehr Nachhaltigkeit und Flexibilität

INTERVIEW – JAN SYRÉ | MARIO STÖTZER

Mario Stötzer

Jan Syré

Die Energiewende und der Schutz kritischer Infrastrukturen sind wesentliche Themen in der modernen Energieversorgung. Vor diesem Hintergrund hat die Ohra Energie GmbH aus Thüringen eine innovative Lösung entwickelt: die mobile Gasdruckregelanlage. Dieses zukunftsweisende Projekt hat das Ziel, die Nachhaltigkeit zu fördern, die Flexibilität der Gasversorgung zu erhöhen und gleichzeitig eine hohe Resilienz gegenüber Störungen sicherzustellen. Das nachfolgende Interview zwischen Mario Stötzer (Ohra Energie GmbH), und Jan Syré (VST-Verband Sicherer Transport- und Verteilnetze/KRITIS e. V.) erörtert die Beweggründe für diese Entwicklung, erläutert die technischen Details und beschreibt die praktischen Einsatzmöglichkeiten der mobilen Gasdruckregelanlage.

Jan Syré: Herr Stötzer, was waren Motivation und Ziele, die hinter dem innovativen Projekt Ihres Unternehmens stehen – und was macht dieses Projekt so einzigartig?

Mario Stötzer: Die mobile Gasdruckregelanlage ist ein innovativer Meilenstein in der Energieversorgung. Besonders beeindruckend ist ihre Fähigkeit, sich an wechselnde Bedingungen anzupassen und dadurch eine stabile sowie umweltfreundliche Gasversorgung sicherzustellen. Das Besondere an unserer Anlage im Vergleich zu bisherigen Ersatzanlagen ist die feste Installation auf einem Pkw-Anhänger, den wir speziell für diese Anforderung mit dem Hängerbau entwickelt haben und der auf ein zulässiges Gesamtgewicht von maximal 3,5 Tonnen optimiert wurde. Damit erreichen wir auch schwer zugängliche Einsatzorte, ohne dass ein Kran erforderlich wird. Die Energiewende bringt tiefgreifende Veränderungen in der Energieversorgung mit sich. Insbesondere die Gasnetze stehen vor der Herausforderung, nicht nur nachhaltiger zu arbeiten, sondern auch den zunehmend strengen regulatorischen Anforderungen gerecht zu werden. Ein zentrales Ziel ist die Reduktion von Methanemissionen zur Minimierung der Umweltauswirkungen des Gasbetriebs. Dies impliziert die Einhaltung der Vorschriften der Methanverordnung, die die Emissionen von Methan in die Atmosphäre begrenzen. Darüber hinaus erfordert die Anpassung an sich verändernde klimatische Bedingungen und die Sicherstellung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Störungen durch Naturkatastrophen oder andere äußere Einflüsse eine erhöhte Flexibilität der Infrastruktur. Resilienz ist inzwischen ein Schlüsselwort in der Energieversorgung geworden.

Grundsätzlich kann man vorab sagen, dass die mobile Gasdruckregelanlage entwickelt wurde, um diesen Herausforderungen zu begegnen. Diese Anlage ermöglicht eine präzise Druckregelung, die sowohl eine zuverlässige Gasversorgung gewährleistet als auch hohe Flexibilität, Wirtschaftlichkeit und Umweltfreundlichkeit bietet. Dieses System stellt eine bedeutende Innovation dar, die sowohl die Energiewende unterstützt als auch zur Erhöhung der Resilienz moderner Gasnetze beiträgt. Ein resilientes Gasnetz kann auf Herausforderungen wie technische Störungen, Naturkatastrophen oder Angriffe durch Dritte reagieren, ohne dass die Versorgungssicherheit langfristig beeinträchtigt wird.

Abb. 01: Die feste Installation auf einem Pkw-Anhänger ermöglicht den Transport der mobilen Gasdruckregelanlage. [Foto: Ohra Energie GmbH]

Syré: Bevor wir weiter auf die technischen Details eingehen, lassen Sie uns zunächst auf die Herausforderungen blicken, die es im Einsatzfall geben könnte. Der Schutz der kritischen Infrastruktur (KRITIS) bei Natur- und Klimakatastrophen sowie potenziellen Angriffen oder Sabotage ist ein zentraler Aspekt, insbesondere, da Gasnetze Teil der kritischen Energieversorgung sind. Das neue KRITIS-Dachgesetz legt die Messlatte recht hoch – haben Sie sich als Ohra Energie GmbH daran orientiert?

Stötzer: Die Resilienz von Gasnetzen steht vor vielen Herausforderungen technischer, ökologischer und gesellschaftlicher Art. Zu den größten Hürden zählen der Klimawandel und Naturkatastrophen, aber auch eine alternde Infrastruktur der Bestandsnetze. Hinzugekommen sind Cyberangriffe und allgemeine Sicherheitsrisiken. In letzter Zeit gehören leider zunehmend Extremwetter wie Überschwemmungen, Hitze oder Stürme dazu. In Bergbauregionen müssen unsere Netze aber auch »geologisch bedingte« Ereignisse wie Erdsetzungen und Erdbeben aushalten. Und denken Sie an die Katastrophe im Ahrtal im Jahr 2021 oder die immer häufiger heftig ausfallenden Hochwasser. Alles das kann die Sicherheit der Infrastruktur von Gasnetzen gefährden. Leitungen und Anlagen müssen im Ereignisfall extremen Bedingungen standhalten. Zudem sind viele Gasnetze veraltet und benötigen teure Instandhaltung und Modernisierung für Sicherheit und Effizienz. Insgesamt erfordern Neubau und Instandhaltung erhebliche Investitionen der Netzbetreiber – geht es doch immer um den

Erhalt der Versorgungssicherheit mit Energie für die Bevölkerung und die Wirtschaft in Deutschland.

Stichwort Digitalisierung – sie ist dringend notwendig, muss umfassend, schnell und vor allem sicher umgesetzt werden. Sie bietet aber auch ein Eingangstor für Probleme, wenn man hier nicht aufpasst und unvorbereitet ist. Die Digitalisierung macht Gasnetze darüber hinaus anfälliger für Cyberangriffe, die den Betrieb und die Energieversorgung stören könnten. Schutzmaßnahmen und IT-Infrastrukturen müssen daher ständig aktualisiert werden – ein weiterer Kostenfaktor für Netzbetreiber.

Und weil Sie gerade exemplarisch das KRITIS-Dachgesetz anführten: Wir müssen auch die EU-Methanverordnung dazu zählen. Diese regulatorischen Vorgaben erfordern erhebliche Anpassungen und Investitionen in Technik und Betriebsmethoden. Das waren Beweggründe für uns, über eine mobile Gasdruckregelanlage nachzudenken.

Syré: Ich sehe schon, ein vielschichtiges Thema, das sowohl technische Innovationen als auch strategische Planung, Investitionen und Kooperation erfordert.

Stötzer: Einen Aspekt möchte ich zusätzlich noch anfügen. Ein zentrales Element der mobilen Gasdruckregelanlage ist der nachhaltige Umgang mit Ressourcen. Wir als regionaler Netzbetreiber verfolgen einen Ansatz, bei dem Anlagenteile aus einer Altanlage wiederverwendet werden. So eine Philosophie trägt erheblich dazu bei, die Kosten zu senken und den ökologischen Fußabdruck zu verringern. Der Einsatz von bereits vorhandenen Komponenten im Rahmen einer Kreislaufwirtschaft ermöglicht es, den Lebenszyklus von Materialien zu verlängern und den Abfall zu minimieren. Wir zeigen so recht eindrücklich, wie Nachhaltigkeit auf praktischer Ebene umgesetzt werden kann.

Hinzu kommt das bereits erwähnte Thema der EU-Methanverordnung, das zur Nachhaltigkeit dieses Projekts beiträgt. Anstatt Methan unkontrolliert abzufackeln oder freizusetzen, sorgt die Gasdruckregelanlage für eine kontrollierte Druckabführung. Dadurch wird nicht nur die Umwelt geschützt, sondern es entstehen auch wirtschaftliche Vorteile, da Emissionen reduziert und die Effizienz gesteigert werden.

Syré: Stimmt, das Abfackeln ist ein Thema, das immer wieder in den Medien auftaucht und von der Bevölkerung kritisch gesehen wird.

Stötzer: Es ist aus mehreren Gründen ungünstig, sowohl aus ökologischer, ökonomischer als auch aus technischer Sicht. Das Abfackeln von Gas setzt CO_2 frei, was den Klimawandel nachweislich antreibt. Obwohl Methan (CH_4) in weniger schädliches CO_2 umgewandelt wird, tragen diese Emissionen immer noch stark zur Erderwärmung bei. Im Vergleich zu CO_2 weist Methan eine signifikant höhere Klimaschädlichkeit auf. Die Verordnung zielt daher darauf ab, die globale Erwärmung zu verlangsamen und die Klimaziele der Europäischen Union, insbesondere im Rahmen des Pariser Abkommens, zu erreichen. Unvollständige Verbrennung erzeugt zusätzlich gesundheitsschädliche Schadstoffe wie Rußpartikel und Kohlenmonoxid. Und selbst scheinbar kleine Mengen summieren sich in der Gesamtheit. Aber es ist, banal gesagt, auch eine Verschwendung von Ressourcen. Beim Abfackeln entweicht wertvolles Erdgas in die Luft, das sehr gut anderweitig Verwendung finden könnte: bei der Energieerzeugung, als Rohstoff in der Industrie oder für die Wärmeversorgung.

Außerdem bedeutet das Abfackeln von Gas finanzielle Verluste, da das Gas nicht genutzt werden kann. In der Gas- und Ölindustrie könnte dieses Gas verkauft oder weiterverarbeitet werden, weshalb sich das Abfackeln negativ auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt. Und auch bei uns im Unternehmen schlagen die Verluste nachhaltig zu Buche, was wiederum ein Grund für die Entwicklung der mobilen Gasdruckregelanlage war. Ein letzter Beweggrund in diesem Themenfeld sind zudem auch zu erwartende regu-

latorische Herausforderungen. Viele Länder haben inzwischen durchaus strikte Vorschriften erlassen, die das Abfackeln von Gas einschränken oder untersagen, um ökologische Ziele zu erreichen. Netzbetreiber, die diese Praxis weiterhin beibehalten, setzen sich somit rechtlichen und regulatorischen Risiken aus.

Syré: Also kann man sagen, Ihr Unternehmen hat den Sprung nach vorn gemacht, auch um ein Signal zu setzen?

Stötzer: Eindeutig ja – das Thema Image darf man hier nicht unterschätzen. Abfackeln ist ineffizient und wenig nachhaltig. Es schadet dem Ruf eines Unternehmens, besonders in Zeiten, in denen Nachhaltigkeit hoch im Kurs steht und man der öffentlichen Beobachtung – zu Recht – ausgesetzt ist. Moderne Technologien wie die mobile Gasdruckregelanlage bieten umweltfreundliche Alternativen. Sie ermöglichen eine kontrollierte Druckabführung ohne Abfackeln und reduzieren so Umweltbelastungen, während sie zugleich Effizienz und Nachhaltigkeit fördern. In den Medien wurde deswegen sehr positiv berichtet und auch unsere Kunden haben dieses Engagement wahrgenommen.

Syré: Lassen Sie uns jetzt von der theoretischen – und durchaus auch imagetechnischen – Betrachtung zur Technologie kommen. Wie sind Sie da vorgegangen? Sie konnten vielleicht einzelne Komponenten »von der Stange« kaufen, recyceln im Sinne der Kreislaufwirtschaft auch einiges – aber damit hatten Sie ja noch keinen Plan.

Stötzer: Nein, einen Plan mussten wir erst erstellen. Deswegen begann die Konzeption der mobilen Gasdruckregelanlage mit einer ausführlichen Vorplanung, die eine genaue Analyse der Netzstruktur sowie der Betriebsdrücke im betreffenden Netzgebiet und bei benachbarten Netzbetreibern umfasste. Diese sorgfältige Planung bildete dann die Basis für die Entwicklung einer leistungsstarken, flexiblen und – ganz wichtig – anwenderfreundlichen Lösung. Oberste Priorität: Die Integration der mobilen Gasdruckregelanlage in unsere bestehenden Netzstrukturen musste durch eine effiziente und unkomplizierte Implementierung gegeben sein. Das galt auch für die Einbindung in die Messtechnik und Überwachungssysteme. Denn nur eine präzise Gasdruckmessung sowie Überwachung gewährleistet Qualität und konstante Sicherheit im Betrieb. Sie steht ja oftmals auch inmitten einer Ortslage und die Bevölkerung darf zu keiner Zeit gefährdet sein.

Relevant für die Anwendung ist zudem eine hohe Flexibilität im Transport und Einsatz. Die mobile Anlage kann an unterschiedliche Orte innerhalb des Versorgungsgebiets transportiert und dort eingesetzt werden, was sie besonders flexibel und vielseitig macht. Wichtig war uns deswegen immer, dass sie als Anhänger mit handelsüblichen Fahrzeugen bewegt werden kann – und darf!

Syré: Handelsüblich ist ein gutes Stichwort. Können Sie uns etwas zu den technischen Parametern sagen?

Stötzer: Sicher, das ist kein Geheimnis. Wir möchten die Anlage ja auch anderen Netzbetreibern im Bedarfsfall zur Verfügung stellen und dafür müssen die schon vorab mit der Anlage planen und prüfen können, ob sie in deren spezifisches Netz passt. Fangen wir einfach einmal mit dem Einfachen an: Der gesamte Anhänger hat ein Gewicht von nur 3.500 Kilogramm. Um das Limit zu erreichen, mussten umfangreiche Berechnungen angestellt werden. Aber dadurch ist die Anlage auch erheblich flexibler im Transport geworden und erfüllt die Anforderungen an »Mobilität« hervorragend.

Kurz die wichtigsten technischen Kennzahlen: Der maximale Eingangsdruck liegt bei 25 bar und der Ausgangsdruck kann bis zu 16 bar betragen. An Leistung bedeutet das bis zu 8.000 Nm³/h ohne

Messung und immer noch 5.000 Nm³/h mit Messung. Kommen wir zu den Anschlüssen und deren Nennweiten – die liegen bei DN 80 im Eingang und bei DN 150 im Ausgang. Als Besonderheiten möchte ich hier noch die Möglichkeit zur externen Odorierung und elektrischen Vorwärmung anführen.

Abb. 02: Mobile Gasdruckregelanlage im Einsatz [Foto: Ohra Energie GmbH]

Syré: Wie wirkt sich das dann im Betrieb vor Ort aus?

Stötzer: Beispielsweise durch hohe Sicherheit für ein planmäßiges Arbeiten. Die Anlage erlaubt eine präzise Druckanpassung bei Netzerweiterungen oder Umbauten. Dadurch wird das Risiko für Fehler minimiert, und die Arbeiten können effizient und sicher durchgeführt werden. Im Tagesgeschäft relevant: Bei regelmäßigen Wartungsarbeiten wie dem Austausch von Armaturen oder Dichtungswechseln wird eine schnelle, kostengünstige Umsetzung ohne umfangreiche Baumaßnahmen ermöglicht. Das spart Zeit und reduziert die Abhängigkeit von externen Dienstleistern – die vielleicht auch nicht immer Kapazitäten haben. Arbeitet die Anlage dann im Rahmen einer Störungsbearbeitung, senkt sie bei Leckagen oder Störungen gezielt den Druck, was wiederum schnelle und sichere Reparaturen ermöglicht. Dies senkt die Kosten und reduziert das Risiko von Fehlern oder Schäden.

Syré: Wenn Sie die Planung und Anwendung so beschreiben, geht es sicherlich nicht nur um technische Möglichkeiten, sondern auch um technische Regelwerke. Was mussten Sie hier berücksichtigen?

Stötzer: Ja, ganz wichtig: Die mobile Gasdruckregelanlage erfüllt die geltenden Normen und Vorschriften für den sicheren Betrieb und die Umweltverträglichkeit von Gasanlagen. Dazu gehören Regelwerke des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW). Diese Regelwerke gewährleisten die Sicherheitsstandards der Anlage und berücksichtigen sowohl den Betrieb als auch den Umweltschutz. Im Einzelnen bedeutet die Einhaltung des DVGW-Regelwerks, das umfassend die Anforderungen an Gasdruckregelanlagen beschreibt, dass diese Anlagen in Übereinstimmung mit den neuesten technischen Entwicklungen betrieben werden. Unsere Gasdruckregelanlage entspricht unter anderem den Anforderungen der Integration modernster Messtechnik zur Überwachung des Gasdrucks. So haben wir sicher-

gestellt, dass die Anlage alle notwendigen Standards für den sicheren Betrieb und die Flexibilität im Netzbetrieb erfüllt.

Andere für uns zu berücksichtigende DVGW-Regelwerke umfassen zum Beispiel Vorgaben zur Dimensionierung, zum sicheren Betrieb, zur Wartung und zu Prüfzyklen. Insgesamt kann man so sicherstellen, dass die Anlage zuverlässig und normgerecht funktioniert.

Weitere DVGW-Richtlinien, die ich jetzt nur einmal am Rande ergänzend erwähnen möchte, sind beispielsweise entscheidend für die Planung und den Betrieb von Gasversorgungsanlagen und den Schutz vor Methanemissionen. Diese Vorgaben beschreiben die Bedingungen, unter denen bestehende Anlagenkomponenten im Themenfeld Nachhaltigkeit und Wirtschaftskreislauf wiederverwendet werden dürfen oder auch zusätzliche Maßnahmen zur Emissionsminderung.

Egal wer die Anlage wo auch immer betreibt, kann sich darauf verlassen, dass alles zuverlässig arbeitet und vor allem sicher. Noch einmal: Da die Anlage auch inmitten von Gemeinden arbeiten soll – und auch bereits gearbeitet hat – steht für uns als Eigentümer der Anlage die Sicherheit immer an erster Stelle. Sollte sich also ein anderer Netzbetreiber einmal der Anlage bedienen, kann er sicher sein und Vertrauen in ihre Zuverlässigkeit haben. Das macht sie zu einer zukunftsfähigen und verantwortungsbewussten Lösung im Einsatzfall.

Syré: So geregelt und überwacht ist die Anlage ja eigentlich unbegrenzt von Zeit und Raum einsetzbar?

Stötzer: Könnte man denken, ist aber nicht so. Die Betriebsdauer einer mobilen Gasdruckregelanlage wird durch verschiedene Faktoren bestimmt, einschließlich der spezifischen Einsatzbedingungen, der gesetzlichen Vorschriften und der technischen Spezifikationen. Die Anlage kann für die Dauer eines Projekts oder einer spezifischen Aufgabe betrieben werden, wie zum Beispiel bei Bauarbeiten, Wartungsmaßnahmen oder Störungsbeseitigungen. Es gibt keine festgelegte maximale Betriebsdauer, vorausgesetzt, dass die Anlage regelmäßig gewartet wird und alle Sicherheitsanforderungen erfüllt sind. Und die genauen Regelungen können je nach Einsatzort und Zweck unterschiedlich sein – für den grenzüberschreitenden Einsatz müssen zusätzlich die landesspezifischen Regeln berücksichtigt werden. Das bedarf sicherlich einiger Vorüberlegungen, aber ist auch kein Hexenwerk, da ja hier auch schon EN zur Anwendung kamen.

Syré: Gibt es Fälle, die den Einsatz verhindern oder gar verbieten?

Stötzer: Ja, wenn die oben angeführten technischen Parameter des betreffenden Netzes nicht passen. Wie gesagt, der Eingangsdruck von maximal 25 bar ist die Grenze. Wenn die Betriebsbedingungen außerhalb dieser Spezifikationen liegen, ist der Einsatz nicht möglich. Oder wenn zum Beispiel die adäquate Anbindung an das bestehende Gasnetz oder die notwendige Vorinstallation fehlen, kann die Anlage nicht betrieben werden. Und Stichwort Natur: Starke Überschwemmungen oder schwerer Frost beeinträchtigen den Betrieb, besonders bei ungeschützten Standorten.

Nicht zu vergessen sind Umweltschutzvorgaben. Sollte festgestellt werden, dass der Betrieb der Anlage in einem bestimmten Szenario gegen Umweltauflagen verstößt, beispielsweise in Wasserschutzgebieten, ist die Verwendung der Anlage untersagt. Ganz wichtig sind auch die Standortbedingungen direkt vor Ort. Die Anlage benötigt einen stabilen und sicheren Untergrund, da muss notfalls vorgearbeitet werden. Im Betrieb muss die Anlage unverrückbar vibrationsfrei stehen, das schließt unbefestigte oder unsichere Standorte aus.

Syré: Letzteres bedeutet also im Einzelfall eine Untergrundvorbereitung wie bei einem Kraneinsatz?

Stötzer: Das kann man so sagen. 3,5 Tonnen müssen einfach sicher stehen, da darf nichts einsinken, schräg stehen oder uneben sein. Der Untergrund sollte deswegen vorzugsweise befestigt sein, zum Beispiel aus Beton- oder Asphalt bestehen, um ein Einsinken oder Verschieben der Anlage zu verhindern. Weiche oder lose Untergründe wie Sand oder unbefestigter Erdboden sind ungeeignet und benötigen möglicherweise Stahlplatten oder Stützen. Dann muss der Untergrund so gestaltet sein, dass Regenwasser oder andere Flüssigkeiten garantiert abfließen können, um eine Ansammlung von Wasser unter der Anlage zu vermeiden. Auch bei extremen Witterungsbedingungen wie Schnee, Frost oder starken Regenfällen muss der Untergrund rutschfest und stabil bleiben.

Syré: Als Vertreter eines Verbandes für Sichere Versorgungsnetze möchte ich gern einmal wissen, wie es denn im Umfeld anderer Versorgungsinfrastrukturen aussieht.

Stötzer: Ganz klar und eindeutig. Die Versorgungssicherheit der Bestandsinfrastrukturen vor Ort muss durchgehend gewährleistet sein. So muss sichergestellt werden, dass der Standort keine bestehenden Leitungen, Kanäle oder andere empfindliche Infrastrukturen überlagert, die durch das Gewicht der Anlage beschädigt werden könnten. Und unter einer Stromleitung sollte man das Gerät auch nicht aufstellen, zumal, wenn eventuell der Einsatz eines Kranfahrzeugs eingeplant werden muss. Zum Beispiel dürfen bei Wartungsarbeiten keine anderen Versorgungsinfrastrukturen in Mitleidenschaft gezogen werden. Es dürfen keine explosiven oder leicht entflammbaren Materialien am Standort vorhanden sein, die das Sicherheitsrisiko erhöhen könnten – auf Baustellen kann so etwas ja schon einmal vor Ort gelagert sein.

Aber so weit muss es gar nicht gehen: Bereits im Falle eines aufziehenden Gewitters sollte der Betrieb der Anlage unterbrochen und der Standort gesichert werden. Die Anlage arbeitet mit Gas, da wäre ein Blitzschlag extrem gefährlich, der schwerwiegende Schäden verursachen könnte. Deswegen sollte ein Blitzschutzsystem zur Anwendung kommen, das wir ebenfalls an Bord haben.

Abb. 03: Mobile Gasdruckregelanlage im Einsatz [Foto: Ohra Energie GmbH]

Und bevor man es vergisst: Die Anlage ist mobil – das bedeutet, sie fährt im Straßenverkehr. Die Entwicklung stellte uns und den Fahrgestellbauer vor die spannende Aufgabe, innovative Technik mit den strengen Vorgaben der TÜV-Regelwerke für Anhänger zu verbinden. Alle Komponenten erfüllen gesetzliche Anforderungen und hohe Sicherheitsstandards. Das Design garantiert flexible Nutzung und vollständige Normkonformität. Auch wenn es »nur« ein Anhänger ist, der mit bedruckten Seitenwänden durch die Landschaft fährt, bei der Planung war auch die Sicherheit des Fahrgestells im Fokus und wird regelmäßig durch den TÜV überprüft.

Syré: Also kann man durchaus von einem Gesamtkunstwerk sprechen?

Stötzer: Kunstwerk ist hier vielleicht nicht ganz der richtige Begriff, aber ja, es stimmt. Bei Planung und Umsetzung wurden alle Kernprobleme zusammengefasst, die im Anlagenbau der mobilen Gasdruckregelanlage berücksichtigt werden mussten: die Integration sowohl etablierter vorhandener und neuer Technik, die Gewährleistung präziser Mess- und Regelungssysteme sowie die konsequente Umsetzung aller regulatorischen Anforderungen.

Wir haben die mobile Gasdruckregelanlage im Frühjahr 2024 in Betrieb genommen. Seitdem hat sie bei jedem Einsatz ihre Sinnhaftigkeit und Zuverlässigkeit unter Beweis gestellt. Übrigens nicht nur bei uns im Unternehmen, sondern auch bei anderen Netzbetreibern hat sie eindeutig ihre wertvolle Unterstützung bei der Bewältigung von Herausforderungen bewiesen.

Mario Stötzer ist bei der Ohra Energie GmbH als Leiter des Bereichs Netzbetrieb beschäftigt und dort für den Betrieb des Gasnetzes sowie für die Themenschwerpunkte Sicherheit und Organisation der technischen Prozesse zuständig. Die Ohra Energie versorgt rund 15.600 Abnehmer der Region West- und Mittelthüringen mit Erdgas. Das Versorgungsgebiet umfasst eine Fläche von circa 844 Quadratkilometern, das Leitungsnetz beläuft sich auf eine Gesamtleitungslänge von 807,3 Kilometern im Hoch-, Mittel- und Niederdruckbereich. Stötzer ist zudem stellvertretender Vorstandsvorsitzender des VST – Verband Sichere Transport- und Verteilnetze/KRITIS e.V. Dieser hat zum Ziel, die Sicherheit der vorhandenen Versorgungsnetze zu erhöhen. Gemeinsam mit dem Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) wirkt der VST im Koordinierungskreis der Initiative BALSibau (Leitungsbetreiber zur Schadensminimierung im Bau) an der Sicherstellung einer bundesweiten und spartenübergreifenden Präventionsarbeit zum Schutz der Versorgungsnetze und Kritischen Infrastrukturen (KRITIS) mit.

Jan Syré ist seit 2015 Leiter des Bereichs Politik & Kommunikation beim VST – Verband Sichere Transport und Verteilnetze/KRITIS e.V. Der VST ist ein spartenneutraler Interessenverband von Betreibern von Transport und Verteilnetzen, unter anderem aus den Bereichen Gas, Strom, Wasser, Abwasser, Fernwärme und Telekommunikation. Er hat zum Ziel, durch Präventionsarbeit und Information die sogenannten Kritischen Infrastrukturen (KRITIS) und normalen Versorgungsnetzinfrastrukturen vor Eingriffen Dritter (beispielsweise im Rahmen von Bauarbeiten, Unfällen oder anderen durch Unachtsamkeit oder Fahrlässigkeit verursachten Eingriffen) zu schützen. Damit soll die Versorgungssicherheit in Deutschland und der Europäischen Union (EU) zuverlässig erhalten werden.

7.3 Bauforschung aktuell

Der wissenschaftlichen Forschung entspringen vielfältige Ideen und Innovationen, die die Zukunft von Infrastruktur entscheidend prägen. So können unter anderem Kosten gesenkt und Schäden bereits im Vorfeld vermieden werden, etwa durch effizientes Schadenmanagement, mit dessen Hilfe ökonomische Auswirkungen und Optimierungspotenziale erkannt und genutzt werden. Auch Building Information Modeling (BIM) kommt hier zum Einsatz und entfaltet, richtig eingesetzt, enormes Potenzial. Im folgenden Kapitel werden Möglichkeiten aufgezeigt, die die Zusammenarbeit beim Planen und Bauen verbessern sowie die Transparenz, Kosten- und Terminsicherheit in Bauprojekten steigern.

7.3.1 IFB-Studie »Bauwirtschaft – digital + nachhaltig« (Bericht 4)

Die Studie untersucht die zentrale Rolle der Nachhaltigkeit in der Baubranche und beleuchtet praxisorientierte Lösungen, die dazu beitragen können, die Umweltauswirkungen zu minimieren und die Ressourceneffizienz zu maximieren. Angesichts der Herausforderungen, wie der steigenden Nachfrage nach Wohn- und Arbeitsraum, der begrenzten Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen und den Auswirkungen des Klimawandels, wird deutlich, dass die Branche vor der Notwendigkeit steht, ihre Baupraktiken grundlegend zu ändern. Traditionelle Baumethoden und Materialien tragen erheblich zur Umweltbelastung bei, weshalb der Fokus zunehmend auf innovativen, umweltfreundlichen und ressourcenschonenden Bauweisen liegt. Die Studie untersucht verschiedene Ansätze und Technologien, die das Potenzial haben, den ökologischen Fußabdruck des Bauwesens erheblich zu reduzieren. Hierbei werden nicht nur neue, nachhaltige Baumaterialien, sondern auch moderne Bauverfahren und Kreislaufwirtschaftskonzepte berücksichtigt, die den Energieverbrauch senken und Abfall minimieren können. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Frage, wie nachhaltiges Bauen nicht nur ökologisch sinnvoll, sondern auch wirtschaftlich tragfähig und sozial gerecht gestaltet werden kann.

Darüber hinaus wird der wirtschaftliche und soziale Nutzen nachhaltiger Baupraktiken betrachtet und gezeigt, dass Unternehmen durch die Umsetzung innovativer und umweltfreundlicher Bauprojekte Wettbewerbsvorteile erzielen können, während gleichzeitig gesunde und sozial gerechte Lebensräume geschaffen werden. Dies schließt die Bereitstellung von bezahlbarem Wohnraum und die Förderung der sozialen Gerechtigkeit ein. Anhand von Praxisbeispielen werden erfolgreiche Implementierungen nachhaltiger Prinzipien in der Bauplanung und -ausführung vorgestellt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Studie ist die Rolle der Politik und gesetzlicher Rahmenbedingungen. Die Studie berücksichtigt aktuelle politische Initiativen, wie die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie sowie das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), die darauf abzielen, die Transformation hin zu nachhaltigeren Baupraktiken zu fördern und die Branche auf Klimaneutralität auszurichten. Hierbei wird insbesondere untersucht, inwiefern bestehende gesetzliche Rahmenbedingungen und politische Maßnahmen die Umsetzung nachhaltiger Baupraktiken vorantreiben oder behindern.

Ziel der Studie ist es, die Bandbreite der Lösungen vorzustellen, die es der Baubranche ermöglichen, die ökologischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen der Zukunft erfolgreich zu meistern.

IFB-Studie »Bauqualität beim Neubau von Ein- und Zweifamilienhäusern, Analyse baubegleitender Qualitätskontrollen unabhängiger Bauherrenberater des BSB«

Gemeinschaftsprojekt: Bauherren-Schutzbund e. V., Berlin; VHV Allgemeine Versicherungen AG, Hannover; Institut für Bauforschung e. V., Hannover

Die technischen und rechtlichen Anforderungen an den Neubau von Wohngebäuden haben in den vergangenen Jahren kontinuierlich zugenommen. Dazu kommen die seitens der Bauherren bestehenden hohen Erwartungen an eine qualitativ hochwertige Bauausführung, die mit gleichzeitig geringen Baukosten und Bauzeiten angestrebt wird. Die regulatorischen Vorgaben, insbesondere im Hinblick auf sicherheits- und effizienztechnische Anforderungen, wurden fortlaufend erweitert. Dies resultiert sowohl aus geänderten gesetzlichen und normativen Anforderungen als auch aus der Entwicklung neuer Baumaterialien, innovativer Technologien und geänderter Marktstrukturen. Infolgedessen steigen die spezifischen Anforderungen an alle Beteiligten des Planungs- und Bauprozesses stetig an.

Die Bauqualität von Neubauvorhaben wurde bereits in vier gemeinsamen Studien des IFB und des Bauherren-Schutzbundes e. V. (BSB) untersucht. Seit 2007 konnte dabei wiederholt eine hohe Anzahl an Mängeln im Bauablauf festgestellt werden. Ein Rückgang der Gesamtzahl der Baumängel war über die durchgeführten Studien hinweg nicht nachweisbar, wenngleich in einzelnen Gewerken positive Entwicklungen dokumentiert wurden. Diese Ergebnisse bestätigen im Wesentlichen die Praxiserfahrungen des IFB hinsichtlich der Mängelhäufigkeit im Wohnungsneubau, die insbesondere im Rahmen planungs- und baubegleitender Qualitätssicherungen, gutachterlicher Tätigkeiten sowie messtechnischer Untersuchungen gewonnen wurden.

Gleichzeitig belegen die Studienergebnisse sowie praktische Erfahrungen, dass baubegleitende Qualitätskontrollen einen wesentlichen Beitrag zur Früherkennung und Behebung von Baumängeln leisten. Somit stellen sie eine effektive Maßnahme zur Vermeidung von Fehlern und Mängeln und zur Reduktion zusätzlicher (Beseitigungs-)Kosten dar.

Vor diesem Hintergrund vereinbarten das IFB und der BSB im Jahr 2024 eine erneute Untersuchung, um die aktuelle Bauqualität zu evaluieren und mit vorhergehenden Studienergebnissen zu vergleichen. Die Untersuchung basiert auf einer Stichprobe von 100 Neubauvorhaben im Ein- und Zweifamilienhausbereich, die zwischen 2020 und 2024 errichtet wurden. Diese Bauvorhaben wurden durch unabhängige Bauherrenberater des BSB im Rahmen einer baubegleitenden Qualitätssicherung betreut.

Die Untersuchung stützt sich auf die Analyse der im Rahmen dieser Bauvorhaben erfassten Dokumente und die Dokumentation der bundesweit einheitlich durchgeführten Kontrollen. Diese Dokumentationen entsprechen weitestgehend der digitalen Berichtsmatrix des BSB sowie den festgelegten Prüfumfängen und Kontrolltiefen. Im Rahmen der Studie wurden die Inhalte, Abläufe und Ergebnisse dieser Kontrollen systematisch untersucht und anhand folgender Schwerpunkte analysiert:

- Frequenz und Dichte der Baustellenkontrollen,
- Art und Umfang der Mängel sowie Zeitpunkt der Mängelfeststellung sowie deren Einfluss auf Schadenvermeidung bzw. Beseitigungskosten,
- Mängelschwerpunkte im Bauablauf und deren bauliche sowie finanzielle Auswirkungen,
- Bedeutung baubegleitender Qualitätskontrollen für die Anzahl und das Ausmaß der Mängel bei der Schlussabnahme,
- Ableitung allgemeiner Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Optimierung und Durchführung von Qualitätskontrollen.

Das Ziel dieser Untersuchung ist es, grundlegende Erkenntnisse zur Verbesserung der Bauqualität im Wohnungsbau zu gewinnen und praxisorientierte Empfehlungen für private Bauherren sowie Immobilienerwerber zu formulieren. Gleichzeitig soll eine verstärkte Sensibilisierung aller am Bau beteiligten Akteure für Qualitätssicherungsmaßnahmen gefördert werden und insgesamt der Dialog zwischen Bauherren, Bauunternehmen, Planern und weiteren relevanten Akteuren intensiviert werden.

IFB-Kurzstudie »Bauqualität beim Neubau von Ein- und Zweifamilienhäusern – die 10 häufigsten Mängel mit Einfluss auf Energieeffizienz und Nachhaltigkeit«

Gemeinschaftsprojekt: Bauherren-Schutzbund e. V. und Institut für Bauforschung e. V. mit datentechnischer Unterstützung der VHV Allgemeine Versicherung AG

Auf Basis der Analyse baubegleitender Qualitätskontrollen (BQK) 2024 wurde eine Kurzstudie zur Verbraucherinformation erarbeitet, die eine Kurzdarstellung der Abläufe im Rahmen der baubegleitenden Qualitätskontrolle inklusive möglicher förderrelevanter Rahmenbedingungen (KFW, BAFA) wiedergibt.

Darüber hinaus werden zehn typische Mängel/Schäden, die im Rahmen der BQK-Analyse festgestellt wurden, anhand der folgenden Struktur beschrieben und bildlich dargestellt:

- Feststellung des Mangels/Schadens,
- Soll-Ist-Beschreibung,
- Zeitpunkt, Ursachen, Folgen,
- Kosten (Beseitigung, gegebenenfalls Regulierung) sowie
- Vermeidung/Risikominimierung/Planungsoptimierung.

Die separat auszuwertenden Mängel mit Einfluss auf Energieeffizienz und Nachhaltigkeit bilden folgende Themenbereiche ab:

- Fehler im Rahmen der Vertragsgestaltung/Fördermittel,
- Wärmedämmung (Material, Zulassung, Ausführung),
- Fenster/Fenstertür (Qualität, Befestigung, Abdichtung),
- Luftdichtheit/Dach,
- Anlagentechnik (Heizung, Lüftung, PV/PVT),
- Feuchtefolgeschäden (Effizienz),
- Bauphysikmängel (Wärmebrücken, sommerlicher Wärmeschutz).

7.3.2 Effizientes Schadenmanagement in der Bauwirtschaft: ökonomische Auswirkungen und Optimierungspotenziale

Florian Reidmann

Die wirtschaftliche Bedeutung eines effizienten Schadenmanagements

Das Schadenmanagement spielt eine zentrale Rolle in der Bauindustrie, da Bauprojekte meist Unikate mit hohen Investitionen für den Auftraggeber sind. Schäden können nicht nur finanzielle Einbußen für die beauftragten Bauunternehmen verursachen, sondern haben auch gesamtwirtschaftliche Auswirkungen. Verzögerungen und Mängel in der Bauausführung führen zu hohen Transaktionskosten, insbesondere bei den Überwachungs- und Durchsetzungskosten insgesamt und beeinflussen das Wirtschaftswachstum negativ.[1]

Im Rahmen einer Forschungsarbeit wurden die volkswirtschaftlichen Effekte des Schadenmanagements in der Bauindustrie untersucht. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Reduktion von Transaktionskosten, die Auswirkungen auf die Makro- und Mikroökonomie sowie auf mögliche Optimierungspotenziale gelegt. Dafür wurden empirische Daten aus Experteninterviews genutzt, um praxisnahe Erkenntnisse zu gewinnen.

Empirische Untersuchung durch Experteninterviews

Zur Untersuchung wurden problemzentrierte Interviews mit diversen Fachexperten aus der Bauindustrie und verwandten Bereichen durchgeführt. Diese Methode wurde gewählt, um gezielt praxisnahe Erkenntnisse zu gewinnen.[2] Bei den Interviewpartnern handelte es sich um Akteure aus der Infrastrukturpolitik und der Bauforschung, Industrie-Versicherungsexperten und Großbauprojektleiter.

Die Interviews wurden halbstandardisiert geführt, um einerseits eine systematische Vergleichbarkeit zu gewährleisten und andererseits Raum für detaillierte Einblicke zu lassen. Auf Basis der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring wurden zuerst die Interviews transkribiert und anschließend einer Inhaltsanalyse unterzogen, wobei zentrale Themen und Muster identifiziert wurden.[3]

1 Vgl. Ménard, C.: A New Institutional Approach to Organization. In: Ménard, C.; Shirley, M.M. (Hrsg.): Handbook of New Institutional Economics. Berlin/Heidelberg: Springer, 2008

2 Vgl. Flick, U.: Das episodische Interview – Konzeption einer Methode. In: Flick, U.: Psychologie des technisierten Alltags. Soziale Konstruktion und Repräsentation technischen Wandels. Wiesbaden: Westdeutscher Verlag, 1996

3 Vgl. Mayring, P.: Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. 12. überarb. Aufl. Weinheim: Beltz, 2015

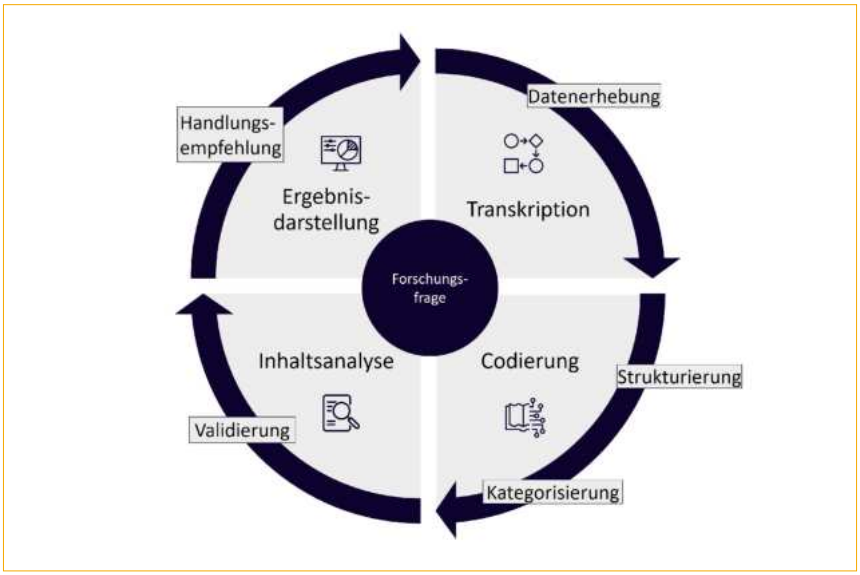


Abb. 01: Ablauf der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [Foto: Mayring, P.: Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. 12. überarb. Aufl. Weinheim: Beltz 2015]

Schadenmanagement als Schlüssel zur Effizienzsteigerung in der Bauindustrie

Die Interviews ergaben, dass Schäden erhebliche finanzielle Belastungen für die beauftragten Bauunternehmen darstellen, die über die direkten Wiederinstandsetzungskosten hinausgehen und nicht komplett durch die Bauversicherungen oder den Auftraggeber gedeckt sind. Neben Verzögerungen und Vertragsstrafen entstehen durch Ineffizienzen hohe Transaktionskosten, insbesondere für den Auftragnehmer.[4]

Ein effizienteres Schadenmanagement könnte die Transaktionskosten in mehreren Bereichen reduzieren: Durch eine optimierte Vertragsgestaltung, den verstärkten Einsatz moderner Technologien und bessere präventive Maßnahmen könnten unnötige Verhandlungskosten und Nachbesserungen vermieden werden. Experten betonten insbesondere die Bedeutung von Building Information Modeling (BIM) und Drohnentechnologie zur frühzeitigen Identifikation von Schäden.[5]

Gesamtwirtschaftliche Folgen eines ineffizienten Schadenmanagements

Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene führen Schäden in der Bauindustrie zu erheblichen Ineffizienzen in der Infrastrukturentwicklung. Verzögerungen und Mängel erhöhen die Staatsausgaben für Instandsetzungen, belasten öffentliche Haushalte und beeinträch-

4 Gemäß Interview des Autors mit dem Versicherungsexperten am 12.07.2024 (unveröffentlicht)

5 Gemäß Interview des Autors mit dem Bauschadensexperten am 12.07.2024 (unveröffentlicht)

tigen das Wirtschaftswachstum. Gerade bei Großprojekten wie Brücken, Straßen und öffentlichen Gebäuden haben Bauschäden kurz- bis mittelfristige Effekte, da sie die Nutzung dieser Infrastrukturen einschränken und auf andere Infrastrukturlösungen ausgewichen werden muss, beispielsweise eine andere Brücke. Resultierend ergeben sich hier indirekte Kosten für die gesamte Wirtschaft.[6]

Ein besonders bedeutender Aspekt ist die Investitionssicherheit. Private und institutionelle Investoren scheuen sich zunehmend, in Bauprojekte mit hohem Schadenrisiko zu investieren, was langfristig die Kapitalflüsse in die Branche reduziert. Eine ineffiziente Bauwirtschaft kann das gesamte Wirtschaftswachstum hemmen, indem sie als zentraler Wirtschaftszweig weniger produktiv ist und geringere Multiplikatoreffekte auf nachgelagerte Sektoren wie den Maschinenbau, die Baustoffproduktion und die Logistik hat.[7]

Auch die Versicherungsbranche ist betroffen: Steigende Schadenquoten führen zu höheren Prämien für Bauunternehmen, was die Finanzierungskosten für Projekte weiter erhöht. Langfristig könnte dies dazu führen, dass einige Bauunternehmen vom Markt verdrängt werden, insbesondere kleinere und mittelständische Unternehmen, die weniger finanzielle Reserven haben. Eine Marktkonsolidierung würde zustande kommen.[8]

Zudem entstehen durch mangelhafte Bauausführungen höhere Umweltbelastungen. Baustellen, die wegen Schäden verlängert werden müssen, verbrauchen mehr Energie und Materialien, wodurch die CO_2-Emissionen steigen. In Anbetracht der Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) ergeben sich insgesamt höhere CO_2-Emissionswerte für Bauunternehmen, die dann wiederum einen Nachteil ergeben, spätestens wenn ein Bauunternehmen ein Nachhaltigkeitssiegel, zum Beispiel von EcoVadis[9], benötigt. Zudem sind die zusätzlichen Ressourcenverbräuche und Umweltkosten durch verspätete Projekte volkswirtschaftlich relevante Faktoren.[10]

Auswirkungen auf Unternehmen, Marktstruktur und Wettbewerbsfähigkeit

Für einzelne Bauunternehmen bedeuten Schäden nicht nur direkte Kosten, sondern auch erhebliche Reputationsverluste. Unternehmen, die wiederholt mit Baumängeln und Verzögerungen in Verbindung gebracht werden, verlieren langfristig Marktanteile, da Auftraggeber zunehmend auf Bauunternehmen mit nachweislich hoher Qualität und effi-

6 Gemäß Interview des Autors mit dem Bauwirtschaftsexperten am 11.07.2024 (unveröffentlicht)

7 Gemäß Interview des Autors mit dem Infrastrukturexperten am 12.07.2024 (unveröffentlicht)

8 Gemäß Interview des Autors mit dem Bauwirtschaftsexperten am 12.07.2024 (unveröffentlicht)

9 Vgl. EcoVadis: Der globale Standard für widerstandsfähige, nachhaltige Lieferketten. https://ecovadis.com/de [abgerufen am: 14.03.2025]

10 Gemäß Interview des Autors mit dem Infrastrukturexperten am 12.07.2024 (unveröffentlicht)

zientem Schadenmanagement setzen. Gerade in öffentlichen Ausschreibungen können sich Qualitätsmängel negativ auf zukünftige Aufträge auswirken.[11]

Darüber hinaus entstehen durch Schäden erhöhte Betriebskosten, die insbesondere kleinere Bauunternehmen stark belasten. Unvorhergesehene Nachbesserungen führen zu höheren Material- und Personalkosten, während durch Verzögerungen Vertragsstrafen und Finanzierungskosten steigen. Gerade Unternehmen mit geringen finanziellen Reserven sind durch Schadenkosten stark betroffen und laufen Gefahr, in Liquiditätsprobleme zu geraten oder sogar Insolvenz anzumelden.[12]

Ein weiteres Problem sind steigende Materialkosten, insbesondere, wenn Bauunternehmen Materialien aufgrund von Schäden nachbestellen müssen. Durch ineffizientes Schadenmanagement können zudem Lieferketten gestört werden, was zu weiteren Verzögerungen führt. Da viele Baustoffe *just-in-time* geliefert werden, haben ungeplante Schäden direkte Auswirkungen auf die gesamte Lieferkette.[13]

Die Interviews zeigen zudem, dass viele Bauunternehmen in präventive Maßnahmen investieren sollten, um die negativen Effekte von Schäden zu reduzieren. Beispielsweise setzen jetzt schon einige Unternehmen verstärkt auf digitale Schadenmanagementsysteme oder Lean-Management-Ansätze, um Fehler frühzeitig zu identifizieren und zu minimieren. Unternehmen, die solche Maßnahmen konsequent umsetzen, berichten von reduzierten Schadenkosten und verbesserten operativen Abläufen.[14]

Ein weiteres mikroökonomisches Problem ist die Belastung der Arbeitskräfte. Baustellenverzögerungen und unerwartete Schäden führen zu erhöhtem Druck auf die Mitarbeiter, die sich mit zusätzlichen Arbeitsstunden und stressbedingten Herausforderungen auseinandersetzen müssen. Langfristig kann dies zu einer höheren Fluktuation und Fachkräftemangel führen, was wiederum die Effizienz und Produktivität der Unternehmen beeinträchtigt.[15]

Erkenntnisse und Implikationen für die Bauwirtschaft

Die Analyse zeigt, dass ineffizientes Schadenmanagement in der Bauindustrie erhebliche wirtschaftliche Auswirkungen hat. Sowohl auf makroökonomischer als auch auf mikroökonomischer Ebene entstehen durch Schäden hohe Kosten. Eine Optimierung des

11 Gemäß Interview des Autors mit dem Bauschadenexperten am 12.07.2024 (unveröffentlicht)
12 Gemäß Interview des Autors mit dem Infrastrukturexperten am 12.07.2024 (unveröffentlicht)
13 Gemäß Interview des Autors mit dem Versicherungsexperten am 12.07.2024 (unveröffentlicht)
14 Gemäß Interview des Autors mit dem Bauschadenexperten am 12.07.2024 (unveröffentlicht)
15 Gemäß Interview des Autors mit dem Infrastrukturexperten am 12.07.2024 (unveröffentlicht)

Schadenmanagements könnte zur Reduktion von Transaktionskosten, zur Steigerung der Produktivität und zur langfristigen Verbesserung der Wirtschaftslage beitragen.

Ansätze zur Optimierung des Schadenmanagements

Auf Basis der Forschungsfragen, der Analyse und der theoretischen Grundlagen des Schadenmanagements in der Bauindustrie können drei Hypothesen abgeleitet werden.

Hypothese 1: Effektives Schadenmanagement senkt die direkten und indirekten Kosten der Bauindustrie.

Diese Hypothese unterliegt der Annahme, dass die präventiven Maßnahmen zu einer Risikooptimierung und einer schnellen Behebung von Schäden entstehende Kosten wie Material, Arbeitszeit und Projektverzögerung deutlich reduzieren. Die Experten bestätigten in den Interviews, dass einzelne Bauunternehmen, die moderne Technologien einsetzten, ihre Schadenhäufigkeit und die Schadenhöhe bereits reduziert haben.

Hypothese 2: Der Einsatz moderner Technologien führt zu einer Reduktion von Transaktionskosten und einer Effizienzsteigerung in der Bauindustrie.

In den Interviews wurde mithilfe der theoretischen Grundlage festgestellt, dass die modernen Technologien nicht nur die Planungs- und Bauausführungsprozesse optimieren, sondern auch die Kosten für die Vertragsabschlüsse, die Verhandlungen und die Überwachung der Bauprojekte reduziert werden. Die Experteninterviews haben deutlich gezeigt, dass die Schadenprävention deutlich verbessert wird, was zu einer langfristigen Reduktion der Transaktionskosten führt.

Hypothese 3: Ein optimiertes Schadenmanagement trägt zur volkswirtschaftlichen Stabilität bei, indem es das Wirtschaftswachstum im Bausektor fördert.

Die dritte Hypothese wird aus der volkswirtschaftlichen Analyse der Bauindustrie abgeleitet. Die Produktivität im Bausektor wird durch weniger Verzögerungen und Kostenüberschreitungen gesteigert. Anhand dessen sind Investitionen in die Baubranche sicherer als zuvor, wodurch eine langfristigere Attraktivität entsteht. Es folgt ein stabilerer Investitionsfluss, was zu langfristigen Vorteilen führt. Die Interviews mit den Experten unterstreichen, dass ein stabiles Schadenmanagement zur Sicherung der Infrastruktur beiträgt und die wirtschaftliche Stabilität einer Volkswirtschaft gefördert wird.

Strategien für eine effizientere Zukunft des Schadenmanagements

Die Bauindustrie sollte verstärkt auf digitale Technologien setzen, um Schäden frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden. Eine Strategie hierfür wären Investitionen in Präventionsmaßnahmen und gezielte Schulungen für Bauleiter, wodurch langfristig die Qualität und Effizienz der Branche verbessert wird.

Anschließend können die politischen Entscheidungsträger Anreize für Investitionen in innovative Schadenmanagement-Methoden schaffen. Eine mögliche steuerliche Erleichterung oder das Aufsetzen neuer Förderprogramme könnten dazu beitragen, dass Unternehmen moderne Technologien schneller und gezielter implementieren. Langfristig wird mit dieser Lösung ein Wettbewerbsvorteil geschaffen.

Abschließend zeigt sich, dass ein durchdachtes effektives Schadenmanagement sowohl für die Bauwirtschaft als auch für die Volkswirtschaft entscheidende Vorteile mit sich bringt. Durch die Implementierung innovativer Ansätze könnte es langfristig zu einer Reduktion der volkswirtschaftlichen Kosten führen und zu einem stabileren Wirtschaftswachstum beitragen, was in der aktuellen Zeit wirtschaftlicher Instabilität besonders relevant ist.

Florian Reidmann ist angehender M.Sc.-Student an der Frankfurt School of Finance & Management. Während seines dualen Studiums bei HOCHTIEF arbeitete er beim Inhouse-Insurance Makler an Großprojekten wie Rechenzentren, Brücken und E-Ladeinfrastruktur. Zudem entwickelte er ein ESG-Audit für HOCHTIEF und war international in Tschechien tätig, um ESG-Standards für Bauprojekte zu etablieren. Neben seiner Tätigkeit in den industriellen Versicherungen sammelte er umfassende Erfahrungen im Finanzsektor bei DealCircle, AURICON und IEG Investment Banking mit Fokus auf Unternehmensanalysen und Fusionen.

7.3.3 Zielgerichtete Digitalisierung im öffentlichen Infrastrukturbau

Markus Boden

Der digitale Wandel führt zu tiefgreifenden Veränderungen in Wirtschaft und Gesellschaft, die regional und sektoral unterschiedlich schnell voranschreiten. Sowohl die öffentliche Hand als auch die Bauwirtschaft sind digitale Nachzügler, die im Bereich der öffentlichen Infrastruktur aufeinandertreffen. Für eine zielgerichtete digitale Transformation braucht es klare Zielvorgaben und die Möglichkeit, diese mit dem aktuellen Stand der Digitalisierung zu vergleichen. Der in diesem Artikel beschriebene BIM-Reifegradcheck basiert auf den Zielen des »Masterplans BIM Bundesfernstraßen«[1] und dient dem Abgleich der aktuellen digitalen Reife mit aktuellen Zielen der öffentlichen Infrastruktur.

Digitalisierung im Herzen Deutschlands und Europas

Das Netzwerk der European Digital Innovation Hubs (EDIH) hat das Ziel, europaweit öffentliche und private Organisationen bei ihrer digitalen Transformation zu unterstützen. Im Rahmen des Förderprogramms »Digitales Europa« wurden in Deutschland 17 der insgesamt 228 europaweiten EDIHs gegründet. Diese sind regional verankert und auf unterschiedliche Sektoren spezialisiert. Dadurch kann bei regionalen Anfragen auf ein europaweites Netzwerk aus Experten zurückgegriffen werden.[2] Das EDIH Thuringia gilt für die Region Thüringen und Mitteldeutschland als zentrale Anlaufstelle für öffentliche Organisationen sowie kleine und mittlere Unternehmen. Die sektorale Spezialisierung liegt auf den Themenbereichen Mobilität und Infrastruktur mit zusätzlichen Angeboten, beispielsweise in der IT-Infrastruktur und Software oder dem Bauwesen. Die durch die Europäische Union geförderten Services des EDIH Thuringia können online auf einem digitalen Marktplatz sektorspezifisch gefiltert, angefragt und zum Teil direkt ausgeführt werden.[3]

1 Vgl. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV): Masterplan BIM Bundesfernstraßen. https://www.bim-bundesfernstrassen.de/masterplan/ [abgerufen am: 13.03.2025]

2 Vgl. European Commission: Netzwerk der European Digital Innovation Hubs in Deutschland. https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/edih-catalogue/countries/germany [abgerufen am: 13.03.2025]

3 Vgl. European Digital Innovation Hub. Digitalisierung einfach machen. https://edih.digital/moodle/ [abgerufen am: 13.03.2025]

Digitale Reifegradchecks als Startpunkt digitaler Transformation

Der Ausgangspunkt digitaler Transformationsprozesse ist die Erfassung des Istzustandes der digitalen Reife im Rahmen eines digitalen Reifegradchecks (engl. *Digital Maturity Assessments*). Digitale Reifegradmodelle stellen eine Methode zur Messung des aktuellen Zustands einer Organisation in Bezug auf die digitale Transformation, die digitale Strategie oder den Einsatz von Technologie dar.[4] Die Forschungsstelle der Europäischen Union (Joint Research Centre[5]) hat jeweils einen digitalen Reifegradcheck mit Fragen für die öffentliche Hand und einen für kleine und mittlere Unternehmen entwickelt. Mit diesen Checks werden Digitalisierungsgrade in verschiedenen Organisationsbereichen abgefragt. Die Checks werden europaweit mit allen Kunden der EDIH zu den drei Zeitpunkten vor, während und nach den Services durchgeführt. Die Reifegradchecks sollen verschiedene Mehrwerte für die EDIH, deren Kunden sowie die Europäische Union bringen:

1. Bewertung des aktuellen Stands der digitalen Reife der Organisationen für die Ermittlung der erforderlichen EDIH-Digitalisierungsdienste,
2. europaweites Benchmarking für die Organisationen für eine bessere Einschätzung der eigenen digitalen Reife im Vergleich zu Mitbewerbern,
3. Messung und Berichterstattung über die Wirksamkeit der EDIH-Dienste durch drei Durchführungen,
4. Bereitstellung von Feedback für politische Entscheidungen und erforderliche Korrekturmaßnahmen.[6]

Die Praxis hat gezeigt, dass die Auswertung der EDIH-Reifegradchecks zwar eine gute administrative Übersicht der digitalen Reife in verschiedenen Ländern und Sektoren Europas liefern, die Ergebnisse aufgrund der mangelnden Spezifizierung jedoch keine ausreichende Detailtiefe liefern, um handfeste Ausgangspunkte für digitale Transformationsprozesse darzustellen. Dafür müssen sektorspezifische Erweiterungen der Fragen und Auswertungen bereitgestellt werden.

Building Information Modeling (BIM) im öffentlichen Infrastrukturbau

Insbesondere in der öffentlichen Infrastruktur sind effiziente digitale Prozesse entscheidend, um Planungs- und Bauprozesse zu optimieren. Building Information Modeling (BIM) spielt hierbei eine zentrale Rolle. Der »Masterplan BIM Bundesfernstraßen« knüpft

4 Haryanti, T.; Rakhmawati, N. A. und Subriadi, A. P.: The Extended Digital Maturity Model. BDCC, (2023), Nr. 1, S. 1 – 17, 2023, DOI: 10.3390/bdcc7010017

5 Vgl. European Commission/EU Science Hub: Science for policy. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/index_en [abgerufen am: 13.03.2025]

6 Vgl. Kalpaka, A.; Rissola, G.; De Nigris S.; Nepelski, D.: Digital Maturity Assessment (DMA) Framework & Questionnaires for SMEs/PSOs. guidance document for EDIHs. https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/system/files/2023-11/DMA_Framework_Guidelines_for_EDIHs.pdf [abgerufen am: 13.03.2025]

an den »Stufenplan Digitales Planen und Bauen«[7] von 2015 an und definiert die aktuellen Ziele für die Digitalisierung im öffentlichen Infrastrukturbau. Im Masterplan wird ein Phasenmodell für den zeitlichen Rahmen der BIM-Einführung in der Autobahn GmbH und den Auftragsverwaltungen der Länder für Bundesautobahnen und Bundesstraßen beschrieben. Das Ziel ist die bundeseinheitliche Anwendung der BIM-Methode nach Abschluss der dritten Phase bis Ende 2025.[8]

Sowohl für die EDIH als auch gemäß dem Masterplan stellen digitale Reifegradmodelle wichtige Instrumente dar, um den aktuellen Digitalisierungsgrad zu ermitteln, eine Digitalisierungsstrategie zu entwickeln und die ergriffenen Maßnahmen zur Digitalisierung begleitend zu evaluieren. Für den öffentlichen Infrastrukturbau gab es jedoch kein veröffentlichtes BIM-Reifegradmodell, das an die Zielvorgaben des Masterplans angepasst und als Online-Reifegradtool zur Verfügung gestellt wird. Es fehlte an geeigneten Instrumenten zur Bewertung des digitalen Fortschritts von Infrastrukturbehörden. Das im Folgenden beschriebene BIM-Reifegradmodell soll diese Lücke schließen und bei der digitalen Transformation im Infrastrukturbau unterstützen.

Entwicklung eines branchenspezifischen BIM-Reifegradmodells

Im Rahmen der im Wettbewerb »Auf IT gebaut« ausgezeichneten Masterarbeit »Digitalisierung auf dem Prüfstand: Digital Maturity Assessments für BIM in der Infrastruktur« am Lehrstuhl Verkehrssystemplanung der Bauhaus-Universität Weimar wurden zum einen die Prozesse rund um die bestehenden Reifegradchecks der EDIH digitalisiert. Zum anderen wurde die Möglichkeit für eine branchenspezifische Erweiterung der einzelnen EDIH umgesetzt. Dies wurde anhand eines BIM-Reifegradchecks für Institutionen des öffentlichen Infrastrukturbaus beispielhaft durchgeführt. Der BIM-Reifegradcheck[9] wurde separiert auf dem Forum Bauinformatik in einem wissenschaftlichen Paper veröffentlicht und ist auf dem digitalen Marktplatz des EDIH Thuringia[10] als Onlineservice frei verfügbar.

7 Vgl. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.): Stufenplan Digitales Planen und Bauen. Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile [abgerufen am: 13.03.2025]

8 Vgl. Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV): Masterplan BIM Bundesfernstraßen. https://www.bimdeutschland.de/fileadmin/media/Downloads/Download-Liste/Strasse/BIM_Masterplan_Bundesfernstrassen_barrierefrei.pdf [abgerufen am: 13.03.2025]

9 Vgl. Boden, M.: Ein BIM-Reifegradmodell zur Messung der digitalen Transformation von Infrastrukturbehörden. In: 35. Forum Bauinformatik, fbi 2024. Hamburg: Technische Universität Hamburg, Institut für Digitales und Autonomes Bauen, 2024, S. 244 – 251, DOI: 10.15480/882.13509

10 EDIH Thuringia (Hrsg.): BIM-Reifegradcheck. https://edih.digital/course/view.php?id=49 [abgerufen am: 13.03.2025]

Das BIM-Reifegradmodell basiert auf einer Analyse der bisherigen Digitalisierungsansätze im Bauwesen und folgt den spezifischen Zielsetzungen für die öffentliche Hand. Es umfasst mehrere Dimensionen von der Erarbeitung von BIM-Zielen und einer BIM-Implementierungsstrategie über die Erfassung digitaler Prozesse bis hin zum Datenmanagement (Abb. 01). Für jede Dimension wurden messbare Key-Performance-Indikatoren identifiziert und entsprechend den Zielen des »Masterplans BIM Bundesfernstraßen« für sechs Reifegrade definiert. Dies mündet in einer Matrix mit Dimensionen und ihren Key-Performance-Indikatoren sowie deren jeweiligen Ausprägungen für die jeweiligen Reifegrade.

Abb. 01: Dimensionen und Key-Performance-Indikatoren des Reifegradmodells [Quelle: Markus Boden]

Von der Theorie zur Praxis: Anwendung des BIM-Reifegradchecks

Die Anwendung des BIM-Reifegradmodells erfolgt mit einem entwickelten Online-Tool, das eine eigenständige Durchführung mit automatischer Auswertung ermöglicht. Zu Beginn erfolgt eine Abfrage bezüglich der höchsten betreuten Straßenklasse (Fernstraßen, Landstraßen, Kreisstraßen). Dadurch werden die Zielstellungen für die Auswertung entsprechend des Masterplans je nach Verwaltungsebene angepasst. Durch diese Maßnahme soll insbesondere auch der kommunale Infrastrukturbau mitberücksichtigt werden. Daraufhin wird von den durchführenden Organisationen für jeden Key-Performance-Indikator ein entsprechender Reifegrad als aktueller Istzustand ausgewählt (Abb. 02).

Abb. 02: Beispielhafte Abfrage eines Key-Performance-Indikators [Quelle: Markus Boden]

Die anschließende Auswertung enthält eine Übersicht in Ampeldarstellung für die Dimensionen und ihre Key-Performance-Indikatoren entsprechend des Soll-Ist-Vergleichs. Zusätzlich bietet die Auswertung Weblinks zu Hilfestellungen wie Online-Dokumenten und Vorlagen von BIM Deutschland oder BIM Bundesfernstraßen (Abb. 03). Die Auswertung kann als Ausganspunkt für individuelle Beratungen durch Digitalisierungsinitiativen wie dem EDIH Thuringia dienen. Die beschriebene Reifegradmatrix und der Source-Code des entwickelten Webtools werden vollständig über GitHub bereitgestellt und können genutzt oder weiterentwickelt werden.[11]

Abb. 03: Ausschnitt aus der Auswertungsdarstellung im Webtool mit Links zu unterstützenden Webdokumenten [Quelle: Markus Boden]

Der Lehrstuhl Baubetrieb und Bauverfahren der Bauhaus-Universität Weimar begleitet wissenschaftlich die BIM-Einführung beim Thüringer Landesamt für Bau und Verkehr (TLBV) im Rahmen des Forschungsprojekts BIMwissT.[12] In diesem Rahmen wurde der BIM-Reifegradcheck gemeinsam durchgeführt und evaluiert. Die Praxisanwendung zeigt, dass Infrastrukturbehörden durch die Anwendung des Modells Erkenntnisse über ihre digitalen Defizite gewinnen können. Beim Vergleich der Auswertung des BIM-Reifegradchecks mit den bereits geplanten Arbeitspaketen des wissenschaftlichen Begleitprojekts

11 Vgl. Boden, M.: masterproject-BIM4VID-Reifegradmatrix. https://github.com/MarkusFrBoden/masterproject-BIM4VID-Reifegradmatrix [abgerufen am: 13.03.2025]

12 Vgl. BIMwissT: Wissenschaftliche Begleitung bei der Implementierung des Building Information Modeling (BIM) im Straßen- und Ingenieurbau innerhalb der Thüringer Straßenbauverwaltung. https://www.uni-weimar.de/de/bau-und-umwelt/professuren/baubetrieb-und-bauverfahren/forschung/bimwisst/ [abgerufen am: 13.03.2025]

zeigt sich, dass die geplanten Arbeitsschritte mit den Dimensionen übereinstimmen, die bei der Auswertung keine grüne Ampelbewertung erhielten. Durch die dauerhafte Verfügbarkeit des Checks können auch verschiedene Abteilungen und Bereiche gesonderte Ergebnisse erhalten, wodurch ein gezielter Austausch angeregt werden kann.

Ein strukturiertes Vorgehen für die digitale Zukunft

Die digitale Transformation der Infrastrukturverwaltung ist ein langfristiger Prozess, der strukturiert begleitet werden muss. Die Einführung der BIM-Methode wird in Anbetracht der Zielstellungen im Masterplan BIM Bundesfernstraßen in näherer Zukunft weitere Aufmerksamkeit erhalten. Insbesondere die Unterstützung der Länder und Kommunen stellt hier eine zentrale Aufgabe dar, um die im Bereich der Bundesfernstraßen gewonnenen Erkenntnisse aufzubereiten und in die Breite zu tragen. Reifegradmodelle wie das hier vorgestellte BIM-Reifegradmodell können dafür einen Beitrag leisten. Der darauf basierende Onlinecheck bietet eine Grundlage für Behörden, um ihren digitalen Fortschritt zu messen, gezielte Maßnahmen zu planen und die Effizienz öffentlicher Infrastrukturprojekte zu steigern. Durch die Kombination mit bestehenden europäischen Digitalisierungsinitiativen kann die Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft der Bauwirtschaft nachhaltig gestärkt werden.

Markus Boden beschäftigt sich mit der Digitalisierung in der Bau- und Immobilienbranche. Mit Tätigkeiten in der Projektsteuerung, im BIM-Management und in der Bau-IT hat er an verschiedenen digitalen Herausforderungen gearbeitet. Im Januar 2025 wurde seine Masterarbeit über BIM im öffentlichen Infrastrukturbau mit dem Preis »Auf IT gebaut« in der Kategorie Baubetriebswirtschaft ausgezeichnet. Mittlerweile ist er an der Bauhaus-Universität Weimar an den Lehrstühlen Baubetrieb und Bauverfahren sowie Verkehrssystemplanung beschäftigt und forscht an Thematiken der digitalen Baulogistik.

8 PERSPEKTIVE

Den vorliegenden VHV-Bauschadenbericht haben wir erneut dem Thema Infrastruktur gewidmet und diesmal deren Zukunftsfähigkeit in den Fokus gerückt. Eine Zukunftsfähigkeit, die sich mit einer Vielzahl relevanter Anforderungen verbinden und beschreiben lässt: Sicherheit, Resilienz, Dauerhaftigkeit, Ressourcenschutz, Nachhaltigkeit, Transformation, Digitalisierung – einzeln und vor allem in ihrer Gesamtheit eine wirkliche Herausforderung. Erste Erkenntnis: Die Infrastruktur der Zukunft muss faktisch alles sein und können. Sie ist, so hat es Niedersachsens Ministerpräsident Olaf Lies treffend formuliert »gleichermaßen Basis und Rückgrat einer funktionierenden Wirtschaft«. Einer der Gründe, weshalb wir uns aufgrund der Relevanz auch intensiv mit der Infrastruktur der Vergangenheit und Gegenwart auseinandergesetzt haben, um dieses Wissen als Basis der Zukunftsfähigkeit einzuordnen und zu bewerten.

Entstanden ist der neue, mittlerweile sechste Bauschadenbericht der erfolgreichen VHV-Bauschadenberichtsreihe mit der Ihnen bekannten Struktur, gefüllt mit aktuellen Daten und Fakten, Innovationen und Erfahrungen, Erkenntnissen und Ideen, Entwicklungen und Trends in 52 Beiträgen auf fast 400 Seiten. Gefüllt mit Wissen, das wichtig ist. Mit Wissen, was sich bewährt hat und nicht verloren gehen darf, was ganz neu ist oder noch in Forschungsprojekten bearbeitet wird. In jedem Fall Wissen, das geteilt werden muss. Wissen, das Grundlage von Perspektive ist und von Zukunftsfähigkeit.

Schauen wir in den Status, der begründet, warum dieses Wissen notwendig ist: Die zweijährliche Analyse der Schadendaten zeigt im Zusammenhang mit der Einordnung in die Planungs- und Baupraxis weiterhin ein deutliches Potenzial zur Verbesserung der Bauqualität, was sich insbesondere im Bereich der Entwicklung der Schadenkosten, die versicherungsreguliert wurden, jedoch im Rahmen der aktuellen Auswertungen auch in einem Anstieg der gemeldeten Schadenzahlen widerspiegelt.

Betrachtet man die Entwicklung der Schadenkosten, können – datenbasiert – lediglich diejenigen Schadenkosten bewertet werden, die durch Schadenmeldung erfasst und gemäß Versicherungsvertrag reguliert wurden. Bekannt ist, dass darüber hinaus Kosten anfallen, die sowohl die schadenverursachenden als auch die betroffenen Beteiligten (durch zum Beispiel interne logistische Prozesse und weitere Kostenfaktoren) wirtschaftlich belasten (vgl. auch VHV-Bauschadenbericht 2020/21, Kap. 4.5, Thema Kosten, S. 85 ff.). Die im aktuellen Bericht dargestellten Schadenkosten für Schadenfälle im Bereich Tiefbau und Infrastruktur seit 2019 bzw. mit einem Rückblick auf den Zeitraum ab 2015, sind insofern nicht die finalen, zur vollumfänglichen Beseitigung eines Schadens erforderlichen Kosten. Diese dürften – vor dem Hintergrund angewandter studienbasierter Berechnungen aus Großbritannien – noch einmal um abgeschätzte 10 bis 15 Prozent darüber liegen. Dieses (volks-)wirtschaftliche Potenzial gilt es im Rahmen der unternehmensinternen Mangelverfolgungs- und Managementprozesse sowie durch konsistente Kommunikationsprozesse zu entwickeln.

Von größter Relevanz ist dabei die detaillierte Analyse und Bewertung der Schadenbilder, -arten und -ursachen, die Basis der Maßnahmenentwicklung zur Mangel- und Schadenprävention ist. Dabei spielt vor allem die Praxis-Einordnung der Schadenursachen eine wesentliche Rolle: Die Auswertung der Schadenursachen zeigt mit über 51 Prozent eine unverändert hohe Fehlerquote bei der Ausführung durch die fehlerhafte Bedienung von Arbeitsmaschinen, die vereinfacht als »Baggerschäden« bezeichnet werden, sowie über 85 Prozent bei der Schadenart Leitungsschäden und über 57 Prozent an der Schadenstelle Kommunikationsleitung, Letzteres vor allem der Vielzahl der Arbeiten in diesem Bereich geschuldet.

Bei der Analyse zur Schadenentstehung wurden und werden vor allem die mangelhafte Arbeitssorgfalt bei parallel steigenden (technischen) Anforderungen an die Tiefbauarbeiten und unzureichende Kontrollen während und nach der Fertigstellung von Bauleistungen als schadenursächlich erkannt, was bei den Baubeteiligten immer häufiger auch zu einem empfundenen umfassenden Qualitätsverlust der ausgeführten Arbeiten führt (vgl. Kap. 4, S. 97 ff.). Betrachtet man begutachtete Schadenfälle im Detail, finden sich im Vorfeld der Schadenentstehung jedoch nicht selten Fehlerquellen in Prozessen, wie zum Beispiel in fehlender Information, unterbrochener Kommunikation, unklarer Verantwortlichkeit, fehlender Fachkompetenz sowie in Zeit- und Kostendruck. Insofern müssen die Präventionsmaßnahmen und -strategien bereits hier ansetzen, weshalb in den Kapiteln »Fokus Risiko – Einblicke in Baurecht und Versicherung« (vgl. Kap. 2, S. 35 ff.) und »Schwerpunkt Sicherheit – historische und moderne Kommunikationsmethoden« (vgl. Kap. 3, S. 59 ff.) relevante Grundlagen und Randbedingungen in den Blick genommen werden. Sie spielen vor allem auch dann eine Rolle, wenn die politischen Zielsetzungen zur Investition von 500 Milliarden Euro im Rahmen von Instandsetzung und Ausbau der Infrastruktur umgesetzt werden und damit noch einmal neue Anforderungen (Menge,

Zeit, Komplexität) auf die Branche zukommen. Wie das im Sinne einer zukunftsfähigen Infrastruktur möglich sein kann und was es braucht, zeigen ein Vorwort und die Beiträge der Verbände von Bauindustrie und Baugewerbe (vgl. Kap. 1, S. 23 ff.) sowie die Aussage des Niedersächsischen Ministerpräsidenten, Olaf Lies, der dieses Thema unverändert als »Chefsache« bewertet und gemeinsam mit dem neuen Minister für Wirtschaft, Verkehr und Bauen des Landes Niedersachsen, Grant Hendrik Tonne, vorantreiben wird.

Wie dies bundesweit, in Nachbarländern oder zum Beispiel in China bereits in den unterschiedlichsten Teilbereichen gelingt, zeigen interessante Praxisbeispiele, die wir am Beispiel aus China wieder zweisprachig (deutsch und englisch) veröffentlichen. Wie Entwicklungen in Richtung Zukunft und Zukunftsfähigkeit voranschreiten, zeigen Umfang und Vielfalt unserer Beiträge in den Abschnitten »Transformation der Infrastruktur« (vgl. Kap. 6, S. 177 ff.) mit Themenbereichen zu Boden, Material und Leitungstiefbau, zu Verkehrsbauwerken und aus Quartieren und Städten, ebenso wie Beiträge zur digitalen und nachhaltigen Zukunft und zur aktuellen Bauforschung im Kapitel »Zukunft der Infrastruktur« (vgl. Kap. 7, S. 283 ff.). Erfahren Sie hier das Wissen, das Sie in Ihrer täglichen Praxis anwenden und umsetzen können, diskutieren Sie es, geben Sie es weiter und uns gern ein Feedback.

Ein finaler Hinweis, der aber sicher nur eine Erkenntnis beim Lesen ergänzt: Die Beiträge enthalten nicht immer die finale Lösung auf jede relevante Fragestellung. Zum Teil bleiben sie die Lösung sogar noch schuldig, beschreiben Prozessschritte oder rufen zur Zusammenarbeit auf, um Lösungen zu finden. Die Erkenntnisse sind nicht immer allgemeingültig und vollständig übertragbar, aber sie zeigen Möglichkeiten und Wege, die voranbringen. So ist und bleibt der Anspruch der Autoren, mit diesem Buch zu sensibilisieren und die Relevanz von Bauqualität, Mangel- und Schadenprävention als Grundlage der Zukunftsfähigkeit von Infrastruktur zu kommunizieren.

Wir wünschen uns deshalb, dass der Bauschadenbericht erneut als Kommunikations- und Arbeitsmittel angenommen und wertgeschätzt wird und zur Diskussion, Weiterentwicklung und Motivation in Bildungs-, Planungs- und Baupraxis beiträgt. Für die Weiterführung im Rahmen der VHV-Bauschadenberichtsreihe freuen wir uns über Ihre konstruktive Kritik, neue Ideen und Ihre Mitarbeit.

Die Autoren

9 WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN UND SERVICE

Kapitel	Name	Unternehmen	Adresse	E-Mail/Homepage
2.1	Prof. Dr. jur. Günther Schalk Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht	TOPJUS Rechtsanwälte Kupferschmid & Partner mbB	Lenbachstraße 19 – 21 86529 Schrobenhausen	www.topjus.de schalk@topjus.de
2.2	Alexander Pritzl Kundenbetreuer	bauass Versicherungs- makler GmbH + Co.KG	Am Schallerseck 34 90765 Fürth	www.bauass.com
2.3	Christian Schatten- hofer Vertriebsdirektor Vertriebsdirektion Bauwirtschaft	VHV Allgemeine Versiche- rung AG	Hanauer Straße 22 80992 München	www.vhv-bauexperten.de cschattenhofer@vhv.de
2.3	Hermann Wulke Leiter Neugeschäft Bauleistung/Montage	VHV Allgemeine Versiche- rung AG	Constantinstraße 90 30177 Hannover	www.vhv.de
2.4	Felix Pakleppa Hauptgeschäftsführer	Zentralverband Deutsches Baugewerbe	Kronenstraße 55 – 58 10117 Berlin	www.zdb.de
2.5	Tim-Oliver Müller Hauptgeschäftsführer	Hauptverband der Deut- schen Bauindustrie e.V.	Kurfürstenstraße 129 10785 Berlin	www.bauindustrie.de
2.5	Dr. Moritz Püstow Leiter Öffentliches Recht	KPMG Law Rechtsanwalts- gesellschaft mbH	Heidestraße 58 10557 Berlin	www.kpmg-law.de mpuestow@kpmg-law.com
3.1	Leander Syré	BHT Berlin Studiengang Architektur	Zehlendorfer Damm 53 14532 Kleinmachnow	leander@syre.de
3.2	Ingo Reiniger 1. Vorstand BIL eG	BIL eG	Josef-Wirmer-Straße 1 – 3 53123 Bonn	www.bil-leitungsauskunft.de

Kapitel	Name	Unternehmen	Adresse	E-Mail/Homepage
3.3	Gerit Liebmann Dipl. Betriebsw. (BA) Leitung Akademie BDEW Akademie	EW Medien und Kongresse GmbH	Bismarckstraße 33 10625 Berlin	www.essociation.de
3.4	Prof. Dr.-Ing. Ralf Hörstmeier	VFMEA - die Methode zur Verschwendungs-, Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse	Sonnenweg 2 32139 Spenge	www.vfmea.de
6.1.1	Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus	Leibniz Universität Hannover Institut für Geotechnik	Appelstraße 9A 30167 Hannover	www.igth.uni-hannover.de
6.1.2	Dipl.-Ing. (FH) Christian Staub Geschäftsführender Gesellschafter	Clausing GmbH Tiefbauunternehmen	Emsweg 1 49090 Osnabrück	www.clausing-tiefbau.com
6.1.3	Dipl.-Ing. (FH) Katrin Mees Abteilungsleiterin Nachhaltiges Bauen und Umwelt	Zentralverband Deutsches Baugewerbe	Kronenstraße 55 – 58 10117 Berlin	www.zdb.de
6.1.4	Dipl.-Ing. (FH) Henning Stegemerten Abteilungsleiter Liegenschaften/ Leitungsrechte, Plananfragen Dritter und GIS	Gasunie Deutschland Transport Services GmbH	Pasteurallee 1 30655 Hannover	www.gasunie.de
6.1.5	Tim Kosok Teamleiter Energiekunden	Bosch Building Technologies	Fritz-Schäffer-Straße 9 81737 München	www.boschbuildingsolutions.de
6.2.1	Lukas Guntermann, M.Sc. Wissenschaftlicher Mitarbeiter	Ruhr-Universität Bochum Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen	Universitätsstraße 150 44801 Bochum	www.inf.bi.ruhr-uni-bochum.de
6.2.1	Bjarne Sprenger, M.Sc. Wissenschaftlicher Mitarbeiter	Universität Duisburg-Essen Institut für Massivbau	Universitätsstraße 15 45141 Essen	www.uni-due.de/massivbau

Kapitel	Name	Unternehmen	Adresse	E-Mail/Homepage
6.2.2	Philipp Matschoss Head of UAV	F7 Digital GmbH	Rathausstraße 16 33397 Rietberg	www.f7-digital.de
6.2.3	Dr.-Ing. Jens Heinrich Prokurist und Gesellschafter	KHP Dortmund König und Heunisch Planungsgesellschaft mbH	Hohenbuschei-Allee 2 44309 Dortmund	www.khp-dortmund.de
6.2.3	Prof. Dr.-Ing. Reinhard Maurer Geschäftsführender Gesellschafter	KHP Dortmund König und Heunisch Planungsgesellschaft mbH	Hohenbuschei-Allee 2 44309 Dortmund	www.khp-dortmund.de
6.2.3	Dipl.-Ing. Theo Reddemann Geschäftsführer	Bauunternehmung Gebr. Echterhoff GmbH & CO. KG Bauunternehmung	Industriestraße 9 49492 Westerkappeln	www.echterhoff.de
6.2.3	Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Till Schnetgöke Prokurist	Bauunternehmung Gebr. Echterhoff GmbH & CO. KG Bauunternehmung	Industriestraße 9 49492 Westerkappeln	www.echterhoff.de
6.2.3	Tamer Yavuz, M.Sc.	Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen	Wildenbruchplatz 1 45888 Gelsenkirchen	www.strassen.nrw.de
6.2.4	Dipl.-Ing. Thorsten Försterling	Büro für Soziale Architektur alberts.architekten BDA	Sennestadtring 15b 33689 Bielefeld-Sennestadt	www.alberts-architekten.de
6.3.1	Romina Gutzmer Techn. Projektmitarbeiterin Baulandentwicklung	Niedersächsische Landgesellschaft mbH	Arndtstraße 19 30167 Hannover	www.nlg.de
6.3.2	Laura Kettler, M.Sc. Architektur und Städtebau	MOSAIK architekt:innen bda partnerschaftsgesellschaft mbb	Hornemannweg 5 30167 Hannover	www.mosaik.org
6.3.2	Robert Marlow Architekt BDA Partner/ Geschäftsführer	MOSAIK architekt:innen bda partnerschaftsgesellschaft mbb	Hornemannweg 5 30167 Hannover	www.mosaik.org

Kapitel	Name	Unternehmen	Adresse	E-Mail/Homepage
6.3.3	Dipl.-Ing. (TH) Markus Becker Geschäftsführer	BERTHOLD BECKER Büro für Ingenieur- u. Tiefbau GmbH	Ehlinger Straße 14 53474 Bad Neuenahr-Ahrweiler	www.ib-becker.com
6.3.3	Maike Zimmermann, M.Sc. Projektingenieurin	BERTHOLD BECKER Büro für Ingenieur- u. Tiefbau GmbH	Ehlinger Straße 14 53474 Bad Neuenahr-Ahrweiler	www.ib-becker.com
6.3.4	Mark Füger Geschäftsführer	Team Nachhaltigkeit Consulting GmbH	Maienfeldstraße 19/1 72074 Tübingen	www.team-nachhaltigkeit.de
6.3.4	Melissa Mang, M.Sc. Produktentwicklung und Qualitätsmanagement	RETERRA Erden Süd GmbH	Kehlenweg 5 71686 Remseck am Neckar	www.reterra-erden.de
6.3.5	Tina Unruh Architektin, Geschäftsführerin	Hamburger Stiftung Baukultur, HSBK	Grindelhof 40 20146 Hamburg	www.hsbk.city
6.3.6	Silke Bainbridge Nott Referentin Technik und Energie Geschäftsführerin	Verband norddeutscher Wohnungsunternehmen e. V. VNW Landesverband Hamburg e.V.	Tangstedter Landstraße 83 22415 Hamburg	www.vnw.de/interessenvertretung/technik-und-energie
6.3.6	Petra Memmler Architektin, Dipl. Sachverständige (DIA)	Verband norddeutscher Wohnungsunternehmen e.V. VNW Landesverband Hamburg e.V.	Tangstedter Landstraße 83 22415 Hamburg	www.vnw.de/interessenvertretung/technik-und-energie
7.1.1	Florian Biller Geschäftsführer	Capmo GmbH	Ridlerstraße 39 80339 München	www.capmo.com
7.1.1.2	Arnulf Christa Interim Manager/ Partner	Christa Consult	Korianderweg 18 86169 Augsburg	www.christaconsult.de
7.1.2	Lisa von Rössing, M.Sc. Wissenschaftliche Mitarbeiterin	Ruhr-Universität Bochum Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen	Universitätsstraße 150 44801 Bochum	www.inf.bi.ruhr-uni-bochum.de
7.1.3	Michael Honds Geschäftsführer	ArborPlan GmbH & Co. KG	Mennrathschmidt 42 41179 Mönchengladbach	www.arborplan.de

Kapitel	Name	Unternehmen	Adresse	E-Mail/Homepage
7.1.4	Larissa Zeichhardt Geschäftsführerin	LAT Gruppe	Modersohnstraße 36 10245 Berlin	www.lat.de
7.2.1	Nadine Eisinger Ingenieurin Intelligente Netze Technik Innovation (TDI)	Netze BW GmbH	Schelmenwasenstraße 15 70567 Stuttgart	www.netze-bw.de
7.2.2	Dr. Heiko Spitzer Geschäftsführender Gesellschafter	entellgenio GmbH	Ismaninger Straße 52 81675 München	www.entellgenio.com
7.2.2	Klaus-Peter Reim	Gesellschaft für Ingenieurbau Bauwerksinstandhaltung und Anlagenmanagement mbH	Zwenkauer Straße 159 04420 Markranstädt	www.giba-online.de
7.2.2	Emmanuel Leung Principal Consultant for local and international projects	CPG Facilities Management Pte Ltd.	1 North Coast Avenue, #04-04 Singapore 737663	www.cpgfm.com.sg
7.2.3	Mario Stötzer Leiter Netzbetrieb	Ohra Energie GmbH	Fröttstädt Am Bahnhof 4 99880 Hörsel	www.ohraenergie.de
7.2.3	Jan Syré Leiter Politik & Kommunikation	Verband Sichere Transport- und Verteilnetze – KRITIS e.V. (VST)	Bernburger Straße 32 10963 Berlin	www.vst-kritis.de
7.3.1	Florian Reidmann			florian.reidmann@gmail.com
7.3.2	Markus Boden M.Sc. Wissenschaftlicher Mitarbeiter	Bauhaus-Universität Weimar	Marienstraße 7a 99423 Weimar	www.uni-weimar.de

10 DANK

Den dritten Tiefbaubericht und damit den mittlerweile sechsten VHV-Bauschadenbericht in sieben Jahren haben Sie gerade gelesen oder durchgeschaut. Und Sie werden, ebenso wie wir Autoren, bemerkt haben, wie vielseitig und bedeutend das besprochene Thema »Zukunftsfähige Infrastruktur« ist. Wir haben diese Thematik betrachtet, weil sie eine der relevantesten Zukunftsfragen behandelt, damit wesentliche Grundlage für den Hoch- und Tiefbau ist und die Tätigkeit unserer gesamten Baubranche betrifft. Entstanden ist wieder ein inhaltliches Schwergewicht, das unser Vorhaben trägt, »Kluges Wissen zur Mangel- und Schadenprävention in alle relevanten Köpfe zu kommunizieren«. Und dass das weder mit diskreditierenden Informationen noch mit langweiligen Abhandlungen zusammenhängt, sondern mit großartigen Entwicklungen, interessanten Innovationen, transparenten Fakten und anschaulichen Beispielen durchaus die Aufbruchstimmung der Branche beschreibt, zeigt unser Bericht.

Fast ein Jahr Forschungsarbeit sowie interdisziplinäre Zusammenarbeit und intensive Netzwerkarbeit mit vielen von Ihnen sind erneut die Grundlage des vorliegenden Buches, das wir nun wieder als Kommunikationswerkzeug in Ihre Hände geben. Einmal mehr hoffen wir auf dessen Verbreitung und Nutzung in der Praxis und Ausbildung, aber auch auf Ihr kritisches Feedback.

Unser Dank gilt der VHV Allgemeine Versicherung AG in Hannover für die Finanzierung des Projekts, das Bereitstellen der Daten, die fachliche Unterstützung und nicht zuletzt für das Vertrauen im Hinblick auf die Erarbeitung und Veröffentlichung dieses jährlichen Berichts. Dieses Engagement für ein solches Werk ist nicht selbstverständlich, umso mehr wissen wir zu schätzen, dass wir es schon so lange und weiter umsetzen dürfen. Ebenso danken wir dem Fraunhofer IRB Verlag für die professionelle Zusammenarbeit und die Möglichkeit, den Bericht über diesen renommierten Fachverlag allen Interessierten zugängig machen zu können.

Ein großer Dank gilt den Partnern, die uns zum Teil seit dem ersten Bauschadenbericht mit Fachkompetenz, Ideen und konstruktiver Kritik sowie mit einem Experten-Netzwerk unterstützen. Hier seien stellvertretend die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der VHV All-

gemeine Versicherung AG, der TOPJUS Rechtsanwälte Kupferschmid & Partner mbB, der BIL eG, des Verbands Sichere Transport- und Verteilnetze – KRITIS e.V., der BERTHOLD BECKER Büro für Ingenieur- u. Tiefbau GmbH, des Büros für Soziale Architektur alberts.architekten BDA, des Hauptverbands der Deutschen Bauindustrie e.V. und des Zentralverbands Deutsches Baugewerbe erwähnt.

Wir danken zudem den hochrangigen Persönlichkeiten, die mit Impulsen und Grußworten einen lebhaften Einstieg in unser Thema der zukunftsfähigen Infrastruktur gegeben haben:

- Olaf Lies, Niedersächsischer Ministerpräsident,
- Rainer Nagel, Vorstandsvorsitzender Bundesstiftung Baukultur,
- Wolfgang Schubert-Raab, Präsident Zentralverband Deutsches Baugewerbe,
- Peter Bachmann, Unternehmer und Pionier in der Bau- und Nachhaltigkeitsbranche und
- Dr. Sebastian Reddemann, Sprecher des Vorstands, VHV Allgemeine Versicherung AG.

Unser größter und finaler Dank gilt allen Autoren, die dieses Buch mit ihrem Wissen, ihrer Erfahrung und ihren hochinteressanten Fachbeiträgen in den Kapiteln 2, 6 und 7 bereichert haben und durch ihr Engagement, ihre Zeit und ihre Expertise den Bauschadenbericht immer wieder zu dem machen, was er ist: ein hochaktuelles, praxisorientiertes und informatives Werk für alle, die sich für Mangel- und Schadenprävention und damit für qualitativ hochwertiges Planen und Bauen interessieren:

- ArborPlan GmbH & Co. KG, Mönchengladbach
- bauass Versicherungsmakler GmbH + Co.KG, Fürth
- Bauhaus-Universität Weimar, Weimar
- Bauunternehmung Gebr. Echterhoff GmbH & CO. KG, Westerkappeln
- BERTHOLD BECKER Büro für Ingenieur- u. Tiefbau GmbH, Bad Neuenahr-Ahrweiler
- BHT Berlin, Studiengang Architektur, Berlin
- BIL eG, Bonn
- Bosch Building Technologies, München
- Büro für Soziale Architektur alberts.architekten BDA, Bielefeld-Sennestadt
- Capmo GmbH, München
- Clausing GmbH Tiefbauunternehmen, Osnabrück
- Christa Consult, Augsburg
- CPG Facilities Management Pte Ltd., Singapur
- entellgenio GmbH, München
- EW Medien und Kongresse GmbH, Berlin
- Hamburger Stiftung Baukultur, HSBK, Hamburg
- F7 Digital GmbH, Rietberg

- Gasunie Deutschland Transport Services GmbH, Hannover
- Gesellschaft für Ingenieurbau Bauwerksinstandhaltung und Anlagenmanagement mbH, Markranstädt
- Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Berlin
- KHP Dortmund, König und Heunisch Planungsgesellschaft mbH, Dortmund
- KPMG Law Rechtsanwaltsgesellschaft mbH, Stuttgart
- Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen, Gelsenkirchen
- LAT Gruppe, Berlin
- Leibniz Universität Hannover, Institut für Geotechnik, Hannover
- MOSAIK architekt:innen bda partnerschaftsgesellschaft mbb, Hannover
- Niedersächsische Landgesellschaft mbH, Hannover
- Ohra Energie GmbH, Hörsel
- RETERRA Erden Süd GmbH, Remseck am Neckar
- Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Lehrstuhl Informatik im Bauwesen
- Team Nachhaltigkeit Consulting GmbH, Tübingen
- TOPJUS Rechtsanwälte Kupferschmid & Partner mbB, Schrobenhausen
- Universität Duisburg-Essen, Institut für Massivbau, Essen
- Verband norddeutscher Wohnungsunternehmen e.V. VNW Landesverband Hamburg e.V., Hamburg
- Verband Sichere Transport- und Verteilnetze – KRITIS e.V. (VST), Berlin
- VFMEA - die Methode zur Verschwendungs-, Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse, Spenge
- Zentralverband Deutsches Baugewerbe, Berlin
- Netze BW GmbH, Stuttgart.

Die Autoren
Institut für Bauforschung e.V.

Abbildungsverzeichnis

Seite 3, Minister Olaf Lies [Foto: Henning Scheffens]
Seite 7, Reiner Nagel [Foto: Lidia Tirri für die Bundesstiftung Baukultur]
Seite 9, Wolfgang Schubert-Raab [Foto: Foto: © RAAB]
Seite 11, Peter Bachmann [Foto: CircularSkills]
Seite 15, Dr. Sebastian Reddemann [Foto: VHV Allgemeine Versicherung AG]

Einleitung

1 Bauen aktuell – Wie Infrastrukturen fit für die Zukunft werden

Seite 27, Felix Pakleppa [Foto: © ZDB/Hufnagl]
Seite 30, Dr. Moritz Püstow
Seite 30, Tim-Oliver Müller
Seite 32, Abb. 01: Modell zum CO_2-Schattenpreis [Quelle: Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.]

2 Fokus Risiko – Einblicke in Baurecht und Versicherung

Seite 36, Prof. Dr. jur. Günther Schalk
Seite 43, Christian Schattenhofer
Seite 43, Hermann Wulke
Seite 43, Christian Schattenhofer / Hermann Wulke
Seite 49, Abb. 01: Überflutetes Kellergeschoss nach Starkregenereignis [Foto: bauass Versicherungsmakler GmbH & Co. KG]
Seite 49, Alexander Pritzl
Seite 51, Abb. 02: Vergleich des Schadendurchschnitts, Bauphase [Daten VHV; Grafik IFB]
Seite 52, Abb. 03: Bauleistungsversicherung: Schadendurchschnitt Bauphase, Firmenkunden [Daten VHV; Grafik IFB]
Seite 52, Abb. 04: Bauleistungsversicherung: Schadendurchschnitt Bauphase, private Bauherren [Daten VHV; Grafik IFB]
Seite 54, Abb. 05: Bauleistungsversicherung: Schadendurchschnitt Bauphase, Firmenkunden [Daten VHV; Grafik IFB]
Seite 54, Abb. 06: Bauleistungsversicherung: Schadendurchschnitt Bauphase, private Bauherren [Daten VHV; Grafik IFB]

3 Schwerpunkt Sicherheit – Entwicklungen in Kommunikation und Weiterbildung

Seite 60, Leander Syré
Seite 62, Abb. 01: Trinity College Library Cambridge R.17.1, 1150 [Quelle: Marco Krätschmer, Katja Thode und Christina Vossler-Wolf (Hrsg.): Klöster und ihre Ressourcen, Tübingen 2018, S. 146, DOI: 10.15496/publikation-26323] [abgerufen am: 28.04.2025]
Seite 62, Abb. 02: Wasserleitungsplan der Stadt Wismar, um 1710 [Quelle: Archiv der Hansestadt Wismar, Crull-Sammlung, Signatur: AHW, Crull-Sammlung, 0101]
Seite 63, Abb. 03: Wasserleitungsplan der Stadt Wismar, um 1710 [Quelle: Archiv der Hansestadt Wismar, Crull-Sammlung, vgl. Zeitreise Wismar: www.zeitreise-wismar.de/buecher-tw/plakate/] [abgerufen am: 28.04.2025]
Seite 64, Abb. 04: Entwurf eines Wasserleitungsplans, 1740 [Quelle: Das Schwäbisch Haller Häuserlexikon, Am Spitalbach 8, Abbildungen zur Verfügung gestellt vom Stadt- und Hospitalarchiv Schwäbisch Hall]
Seite 65, Abb. 05: Stadt-Wasserkunst Hamburg, 1864; entworfen und ausgeführt von W. Lindley in den Jahren 1844 bis 1861 [Quelle: Universitätsbibliothek Hamburg]
Seite 67, Abb. 06: Historischer Leitungsplan für das Bremer Stromleitungsnetz [Quelle: Wesernetz Bremen GmbH]
Seite 68, Abb. 07: Topfbuch der Gemeinde Ohrdruf [Quelle: Ohra Energie GmbH]
Seite 69, Abb. 08: Rohrnetzplan der Gemeinde Ohrdruf [Quelle: Ohra Energie GmbH]
Seite 69, Abb. 09: Skizzenbuch für Gasleitungen und Hausanschlüsse in der Gemeinde Finsterbergen, Thüringen [Quelle: Ohra Energie GmbH]
Seite 70, Abb. 10: Planwerk des Netzbetreibers Ohra Energie [Quelle: Ohra Energie GmbH]
Seite 71, Abb. 11 : Wasser-Topfbuch für die Gemeinden Engelsbach und Finsterbergen in Thüringen [Quelle: Ohra Energie GmbH]
Seite 73, Abb. 01: BIL-Portal 2024: Mit 194.000 Anfragen und einer Datenbasis von 1,2 Millionen Maßnahmen wächst die Plattform kontinuierlich – über 70.000 registrierte Anwender und wöchentlich 250 neue Nutzer seit 2016 [Quelle: BIL eG 2025]
Seite 73, Ingo Reiniger
Seite 74, Abb. 02: Verteilung der Anfragen zur Leitungsauskunft im BIL-Portal im Jahr 2024 [Quelle: BIL eG 2025]
Seite 75, Abb. 03: Entwicklung der Anfragen zur Leitungsauskunft in der Klassifizierung »Breitband« im Zeitraum von 2016 bis 2024 [Quelle: BIL eG 2025]
Seite 75, Abb. 04: Entwicklung der Anfragen zur Leitungsauskunft in der Klassifizierung »Erneuerbare Energien« im Zeitraum von 2016 bis 2024 [Quelle: BIL eG 2025]
Seite 76, Abb. 05: Entwicklung des Anfrageaufkommens in der Klassifizierung »Solarenergie« in den Jahren 2022 und 2024 [Quelle: BIL eG 2025]
Seite 76, Abb. 06: Entwicklung des Anfrageaufkommens in der Klassifizierung »Windenergie« in den Jahren 2022 und 2024 [Quelle: BIL eG 2025]
Seite 77, Abb. 07: Entwicklung der Anfragen zur Leitungsauskunft in der Klassifizierung »Kraftwerke« im Zeitraum von 2016 bis 2024 [Quelle: BIL eG 2025]
Seite 78, Abb. 08 und 09: Entwicklung der Anfragen zur Leitungsauskunft in der Klassifizierung »Fernleitungen« (Abb. 08) und Mittel- und Niederspannungsleitungen (Abb. 09) im Zeitraum von 2016 bis 2024 [Quelle: BIL eG 2025]
Seite 79, Abb. 10: Geometrien der geplanten Vorhaben in der Klassifizierung »Freileitung« in Deutschland [Quelle: BIL eG 2025]
Seite 80, Abb. 11: Entwicklung behördlicher Maßnahmen im Zeitraum von 2016 bis 2024 [Quelle: BIL eG 2025]
Seite 81, Abb. 12: Entwicklung der Maßnahmen in den Klassifizierungen »Fernwärme«, »Ladestationen« und »Hausanschlüsse« im Zeitraum von 2016 bis 2024 [Quelle: BIL eG 2025]
Seite 82, Abb. 13: Aktionsradius: Geografische Distanz zwischen dem Sitz des Anfragenden und der Lage der geplanten Maßnahme [Quelle: BIL eG 2025]
Seite 82, Abb. 14: Das Portal zur rechtssicheren und kostenfreien Einholung von Leitungsauskünften durch die Infrastrukturbetreiber aller Versorgungssparten: www.bil-leitungsauskunft.de [Quelle: BIL eG 2025].
Seite 84, Gerit Liebmann [Foto: EW Medien und Kongresse GmbH]
Seite 85, Abb. 01: BDEW-Fachtagung in Hamburg 2024 [Foto: EW Medien und Kongresse]
Seite 86, Abb. 02: EW-Fachtagung »Werkstatt Kabel 2024« [Foto: EW Medien und Kongresse]
Seite 90, Prof. Dr. Ralf Hörstmeier [Foto: Susanne Freitag]
Seite 92, Abb. 01: Bewährte Projektschritte im Ablauf der VFMEA-Methode [Quelle: Prof. Dr.-Ing. Ralf Hörstmeier]
Seite 93, Abb. 02: Fehler- und Verschwendungssammelliste im Rahmen der Betriebsstruktur (Muster) [Quelle: Prof. Dr.-Ing. Ralf Hörstmeier]

4 Aktuelle Schadenanalyse

Seite 98, Abb. 01: Anzahl der gemeldeten Schadenfälle, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 100, Abb. 02: Anzahl der gemeldeten Schadenfälle, 2015 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 101, Abb. 03: Zeitraum zwischen Schadenereignis und Schadenmeldung, Meldejahre 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 102, Abb. 04: Durchschnittliche Anzahl der Monate zwischen Schadenereignis und Schadenmeldung bei geschlossenen und noch offenen Schadenfällen, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 103, Abb. 05: Verhältnis von abgeschlossenen zu noch offenen Schadenfällen, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 104, Abb. 06: Aufwand für die gemeldeten Schadenfälle pro Jahr, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 105, Abb. 07: Aufwand für abgeschlossene Schadenfälle, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 106, Abb. 08: Aufwand für Schadenfälle in Bearbeitung, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 108, Abb. 09: Durchschnittlicher Aufwand je Schadenfall pro Jahr, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 109, Abb. 10: Die prozentuale Zusammensetzung der Aufwandskosten aller gemeldeten Schadenfälle, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 110, Abb. 11: Die Aufschlüsselung der durchschnittlichen Einzelkosten je Schadenfall pro Jahr, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 111, Abb. 12: Die festgestellten Schadenarten, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 112, Abb. 13: Die häufigsten festgestellten Schadenarten, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 114, Abb. 14: Die prozentuale Zusammensetzung der einzelnen Kostenkomponenten an den gesamten Aufwendungen je Schadenart, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 115, Abb. 15: Rückstellung, Regulierungskosten und Zahlung je Schadenart, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 117, Abb. 16: Entwicklung der Regulierungskosten je Schadenart, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 119, Abb. 17: Entwicklung der Zahlungen je Schadenart, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 122, Abb. 18: Die festgestellten Schadenursachen, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 123, Abb. 19: Die häufigsten festgestellten Schadenursachen, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 125, Abb. 20: Die festgestellten Schadenstellen, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 126, Abb. 21: Die häufigsten Schadenstellen, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

Seite 128, Abb. 22: Die Entwicklung der häufigsten Schadenstellen, 1990 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 131, Abb. 23: Die häufigsten Schadenursachen bei Leitungsschäden, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 132, Abb. 24: Die von Beschädigungen betroffenen Leitungsarten, 2019 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 133, Abb. 25: Die Entwicklung der häufigsten Leitungsschäden, 2015 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 136, Abb. 26: Die Entwicklung der Schadenbeseitigungskosten von Leitungsschäden, 2015 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 139, Abb. 27: Der Aufwand für die gemeldeten Schadenfälle pro Jahr, 2015 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]
Seite 141, Abb. 28: Die Zahlungen für die abgeschlossenen Schadenfälle pro Jahr, 2015 bis 2023 [Grafik: IFB, Daten: VHV]

5 Schadenbeispiele

Seite 147, Abb. 01: Geprüfter Bohrkern, Abriss innerhalb der neuen Asphaltdecke
Seite 151, Abb. 01: Blick auf den Gehweg; die Pflastersteine sind bereits entfernt
Seite 152, Abb. 02: Beschädigtes Erdkabel
Seite 153, Abb. 03: Für die Reparatur vorbereitetes Erdkabel
Seite 156, Abb. 01: Blick auf die Zu- und die Ausfahrtsrampe mit den mittig zwischen den Fahrbahnen verlegten Leerrohren
Seite 157, Abb. 02: Durch Verschraubungen perforierte erste Abdichtungsebene; die weiße Färbung wurde von der beim Bohren anfallenden Betonschlämme verursacht
Seite 158, Abb. 03: Mit Metallschienen abgetrennter und gesicherter Sanierungsbereich
Seite 159, Abb. 04: Blick auf die noch zu sanierende erste Abdichtungsebene und die umgebende, bereits ausgeführte Schutzschicht aus Gussasphalt
Seite 162, Abb. 01: Abgesackter Bereich der Fahrbahndecke
Seite 162, Abb. 02: Wie Abb. 01
Seite 166, Abb. 01: Blick auf den teilweise abgefrästen Asphaltbelag
Seite 167, Abb. 02: Hohlräume im Asphaltbelag
Seite 167, Abb. 03: Wie Abb. 02
Seite 168, Abb. 04: Hohlräume im Asphaltbelag nach dem Abfräsen der Blasen
Seite 172, Abb. 01: Metallprofil in der Rohrwand des Abwasserkanals
Seite 172, Abb. 02: Eingerammter Schutzplankenpfosten im Abwasserkanal
Seite 173, Abb. 03: Blick auf weitere eingerammte Schutzplankenpfosten
Seite 173, Abb. 04: Durch das Einrammen beschädigtes Kanalrohr

6 Transformation der Infrastruktur

Seite 178, Prof. Dr. Martin Achmus
Seite 178, Paul Hönnecke
Seite 179, Abb. 01: Beispielskizze der Situation mit dem Abstand zwischen dem Einfamilienhaus und den Parkplätzen [Quelle: Prof. M. Achmus]
Seite 181, Abb. 02: Prognosegleichungen des 20. IFB-Berichts und der BAW für die maximale Komponente der Fundamentschwinggeschwindigkeit infolge Verdichtung mit Vibrationswalzen [Quelle: Prof. Dr.-Ing. M. Achmus]
Seite 184, Christian Staub
Seite 186, Abb. 01: Aufbereitungsplatz für Bodenmanagement, Mischanlage für Compound, Zement und Steuerungstechnik [Foto: Clausing GmbH Tiefbauunternehmen]
Seite 188, Abb. 02: Schematische Darstellung des Verfestigungsverlaufs [ZFSV]
Seite 189, Katrin Mees
Seite 192, Henning Stegemerten
Seite 194, Abb. 01: Entwicklung von Plananfragen Dritter (PAD) bei GUD seit 2013 [Quelle: Gasunie Deutschland Transport Services GmbH]
Seite 195, Abb. 02: Entwicklung unerlaubter Trasseneingriffe (UT) von 2017 bis 2024 [Quelle: Gasunie Deutschland Transport Services GmbH]
Seite 197, Tim Kosok
Seite 198, Abb. 01: Videobasierte Branderkennung stützt sich auf die Fähigkeit verschiedener Analysetechniken, die Livebilder auf Brände untersuchen. [Quelle: Bosch Building Technologies]
Seite 199, Abb. 02: Gesicherten Zugang ohne personellen Aufwand erhalten auch Techniker von Fremdfirmen durch moderne Zutrittskontrolllösungen. [Foto: Bosch Building Technologies]
Seite 200, Abb. 03: Sicherheitslösungen mit Videotechnologie, die intelligente Analysefunktionen enthält, erhöhen den Perimeterschutz. [Quelle: Bosch Building Technologies]
Seite 201, Abb. 04: Drohnenflüge BVLOS bieten vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Energieversorger, beispielsweise Wächterflüge über weitläufiges Gelände. [Foto: Bosch Building Technologies]
Seite 204, Lukas Guntermann
Seite 204, Bjarne Sprenger
Seite 205, Abb. 01: Schematische Darstellung der Strukturidentifikation durch FE-Model-Updating [Quelle: Lukas Guntermann]
Seite 206, Abb. 02: Überblick über die Funktionsprinzipien Evolutionärer Algorithmen [Quelle: Lukas Guntermann]
Seite 207, Abb. 03: Untersuchte Optimierungsparameter mit Beispielen [Quelle: Lukas Guntermann]
Seite 208, Abb. 04: Beispielhafte Schadenfunktion [Quelle: Lukas Guntermann]
Seite 208, Abb.05: Gesamtablauf des Genetischen Algorithmus [Quelle: Lukas Guntermann]
Seite 209, Abb. 06: Konzept der Programmierung des Genetischen Algorithmus [Quelle: Lukas Guntermann, angelehnt an Guntermann/Sprenger(2024)]
Seite 210, Abb. 07: Identifizierte Strategieparameter und Sub-Algorithmen, die die schnellste Konvergenz (gemessen an der Generationenanzahl bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums) unter den verwendeten Parameterkonditionen aufweisen [Quelle: Lukas Guntermann]
Seite 211, Abb. 08: Validierungsbauwerk – vorgespannter Fertigteildachbinder [Quelle: Lukas Guntermann/Bjarne Sprenger]
Seite 212, Abb. 09: Ausschnitt der Ergebnisse am Validierungsbauwerk für N = 50, gemessen in 6 Versuchen: durchschnittliche prozentuale Abweichungen von den Zielwerten [Quelle: Lukas Guntermann/Bjarne Sprenger]
Seite 212, Abb. 10: Beispielhafter MATLAB-Output der Konvergenzergebnisse (Versuch 08 mit N = 75) [Quelle: Lukas Guntermann in MATLAB
Seite 212, Philipp Matschoss
Seite 216, Abb. 01: Der 3D-Laserscanner und die Vermessungsdrohne als Werkzeuge vor Ort im Einsatz [Foto: F7 DIGITAL GmbH]
Seite 217, Abb. 02: Schäden lassen sich in TWINSPECT frühzeitig erkennen und analysieren. [Quelle: F7 DIGITAL GmbH]
Seite 217, Abb. 03: Das fliegende Vermessungssystem erstellt 3D-Messpunktwolken aus 2D-Fotodaten. [Foto: F7 DIGITAL GmbH]
Seite 219, Abb. 04: Der terrestrische Laserscanner erfasst präzise 3D-Messpunktwolken und 360-Grad-Panoramen. Für den Laserscanner nicht zu erfassen sind höhere Ebenen, Hinterschneidungen und Winkelverschattungen, da er je nach verwendetem Stativ auf ca. 3 Meter Positionshöhe des Stativkopfs begrenzt ist. [Foto: F7 DIGITAL GmbH]
Seite 219, Abb. 05: Darstellung der 3D-Messpunktwolke ausschließlich aus den terrestrischen Laserscans [Quelle: F7 DIGITAL GmbH]
Seite 220, Abb. 06: Das unbemannte Luftfahrtsystem (UAS) kennt dank RTK-Modul seine exakte Position zentimetergenau. [Foto: F7 DIGITAL GmbH]
Seite 223, Abb. 07: Darstellung der räumlichen Anordnung der einzelnen rund 5400 Auslösemomente der Kamerapositionen [Quelle: F7 DIGITAL GmbH]
Seite 224, Abb. 08: Geometrische Darstellung mit Röntgen-Effekt der vernetzten Messpunktwolke in der Druntersicht [Quelle: F7 DIGITAL GmbH]
Seite 225, Abb. 09: Visualisierung aus dem vernetzten 3D-Ergebnis mit Fototexturen und einer detektierten Schadstelle [Quelle: F7 DIGITAL GmbH]
Seite 226, Abb. 10: Die automatische KI-basierte Schadenerkennung liefert präzise Ergebnisse. [Quelle: F7 DIGITAL GmbH]
Seite 231, Abb. 01: Ausführungsvarianten der Widerlager in modularer Expressbauweise (Systeme der Unternehmensgruppe Echterhoff), links: Münsterstraße, rechts: Amelsbürener Straße [Quelle: KHP Dortmund/Echterhoff]
Seite 232, Abb. 02: Planauszug zur wasserdichten Betonplombe zwischen den Flügelwandelementen (System der Unternehmensgruppe Echterhoff), hier: Ausführung Amelsbürener Straße [Quelle: KHP Dortmund/Echterhoff]
Seite 232, Tab. 01 Gegenüberstellung der Entwurfsrandbedingungen nach RE-ING und Bauausführung
Seite 233, Abb. 03: Verschub eines halbseitigen Überbaus (1. Bauabschnitt) mittels SPMT-Fahrzeugen, Münsterstraße [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]
Seite 233, Abb. 04: Montage des Randträgers mit Hybridkappe in Endlage (2. Bauabschnitt), Bauwerk Münsterstraße [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]
Seite 234, Abb. 05: Bauwerk Münsterstraße nach Fertigstellung [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]
Seite 235, Abb. 06: Regelquerschnitt des Ersatzneubaus Amelsbürener Straße [Quelle: KHP Dortmund]
Seite 236, Abb. 07: Aufstellen der modularen Widerlagerelemente, Amelsbürener Straße [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]
Seite 237, Abb. 08: Ausbau der Fertigteilträger nach Herstellung im Fertigteilwerk [Quelle: KHP Dortmund]
Seite 238, Abb. 09: Hybride Kappe mit Schalungselement aus Carbonbeton (System der Unternehmensgruppe Echterhoff), Bauwerk Amelsbürener Straße [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]
Seite 239, Abb. 10: Einheben eines Randträgers mit bereits vormontierter Carbonkappe und Geländer, Bauwerk Amelsbürener Straße [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]
Seite 239, Abb. 11: Betonage der Ortbetonschicht unter laufendem Verkehr, Bauwerk Amelsbürener Straße [Foto: Echterhoff GmbH & Co. KG]
Seite 243, Abb. 01: Begatalbahn bei Dörentrup [Foto: Thorsten Försterling]
Seite 243, Thorsten Försterling [Foto: Peter Wehowsky]
Seite 248, Abb. 02: Das MONOCAB ist eine kreiselstabilisierte Einschienenbahn: Selbstfahrende Kabinen für vier bis sechs Passagiere fahren in beiden Richtungen auf einem Gleis. [Quelle: MONOCAB – TH OWL, M.Sc. Moritz Knitter]
Seite 249, Romina Gutzmer
Seite 250, Abb. 01: Luftbild, April 2017 [Foto: NLG]
Seite 252, Abb. 02: Planungsgrundlage – Masterplan [Quelle: NLG]

Seite 254, Abb. 03: Entschärfte Fliegerbombe [Quelle: Feuerwehr Hannover]
Seite 255, Laura Kettler [Foto: Marcel Domeier]
Seite 255, Robert Marlow [Foto: Marcel Domeier]
Seite 257, Abb. 01: Maßnahmen zur effizienten Flächenentwicklung [Quelle: MOSAIK/studiomauer]
Seite 258, Abb. 02: Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität und Freiraumqualität [Quelle: MOSAIK/studiomauer]
Seite 259, Abb. 03: Maßnahmen für nachhaltiges Mobilitätsverhalten [Quelle: MOSAIK/studiomauer]
Seite 260, Abb. 04: Rückbaubare Konstruktionen und Bauweisen nach dem Cradle-to-Cradle-Prinzip [Quelle: MOSAIK/studiomauer]
Seite 263, Markus Becker
Seite 263, Maike Zimmermann
Seite 264, Abb. 01: Bad Neuenahr-Ahrweiler im Juli 2021 [Foto: Dominik Ketz]
Seite 264, Abb. 02: Außengebiet Heimersheim nach Starkregenereignis im Juni 2021 [Foto: Marcus Werner/Dominik Ketz]
Seite 266, Abb. 03: Ausgespülte und beschädigte Infrastruktur nach dem Hochwasser 2021 [Foto: Dominik Ketz]
Seite 268, Abb. 04: Auszug aus infraShare mit eingetragenen Projektideen für Hochwasserrückhaltebecken [Quelle: infraShare]
Seite 269, Mark Füger
Seite 269, Melissa Mang
Seite 272, Abb. 01: Schematischer Aufbau einer Baumpflanzgrube mit RETERRA-Schlämmsubstrat [Grafik: RETERRA]
Seite 274, Abb. 02: Pyrolyseanlage Firma BIOMACON [Foto: Biomacon]
Seite 274, Abb. 03: Pyrolyseanlage Firma BIOMACON [Foto: Biomacon]
Seite 276, Tina Unruh [Foto: Tina Unruh]
Seite 276, Abb. 01: Die Stiftung lädt mit offenen Veranstaltungen zur Beteiligung ein. HSBK Baukultur Forum 24 #Baustelle [Foto: Michelle Jekel]
Seite 276, Tina Unruh
Seite 277, Abb. 02: Unternehmen können die Plattform nutzen und mit der HSBK kooperieren. HSBK Baukultur Forum 24 #Baustelle [Foto: Michelle Jekel]
Seite 279, Abb. 03: In unterschiedlichen Formaten, hier bei der HSBK-Tour bei der Hamburger Hochbahn, werden Informationen weitergegeben und Exkursionen zu Baustellen angeboten. [Foto: Tina Unruh]
Seite 280, Petra Memmler

7 Zukunft der Infrastruktur

Seite 284, Florian Biller
Seite 287, Arnulf Christa
Seite 288, Abb. 01: Unternehmen, die ihre Prozesse digitalisieren, wickeln mehr Aufgaben effizient ab und reduzieren die durchschnittliche Bearbeitungszeit von Aufgaben. [Foto: Capmo GmbH]
Seite 289, Abb. 02: Digitale Plattformen ermöglichen, dass alle Projektbeteiligten – unabhängig davon, ob sie auf der Baustelle oder im Büro sind – auf Echtzeitdaten zugreifen können. [Foto: Capmo GmbH]
Seite 290, Abb. 03: Egal ob vom Büroarbeitsplatz, Tablet oder Mobiltelefon: Alle wichtigen Aufgaben im Projektmanagement und auf der Baustelle sind auf einer integrierten KI-gestützten Plattform vereint. [Foto: Capmo GmbH]
Seite 292, Lisa von Rössing
Seite 294, Abb. 01: Detektion von Maßlinienbegrenzungen (Dimension Symbol) und Schnittsymbolen (Section Symbol) in einem Brückenbauplan [Quelle: Ruhr-Universität Bochum]
Seite 296, Abb. 02: Schema der beiden evaluierten FSD-Methoden Brute-Force-Baseline (BFB) und Two-Step-Fine-Tuning-Approach (TFA) [Quelle: Ruhr-Universität Bochum]
Seite 298, Abb. 03: Beispieldetektion mit der TFA-Methode im Bridge-Datensatz; korrekte Detektionen in Grün, nicht detektierte Symbole in Blau, falsche Detektionen in Orange [Quelle: Ruhr-Universität Bochum]
Seite 300, Michael Honds
Seite 302, Abb. 01: Leitungsverlauf mit Schieber (roter Kreis) [Foto: ArborPlan GmbH & Co. KG]
Seite 302, Abb. 02: Schichttiefen-Ansicht mit hochreflektierender Leitungsanlage [Foto: ArborPlan GmbH & Co. KG]
Seite 302, Abb. 03: 3D-Ansicht des Leitungskörpers im Boden [Quelle: ArborPlan GmbH & Co. KG]
Seite 302, Abb. 04: 3D-Ansicht in seitlicher Ausrichtung [Quelle: ArborPlan GmbH & Co. KG]
Seite 303, Abb. 05: Leitungskörper nach Anlage eines Querschlags [Foto: ArborPlan GmbH & Co. KG]
Seite 303, Abb. 06: Virtueller Vergleich des Querschlags [Foto: ArborPlan GmbH & Co. KG]
Seite 303, Abb. 07: 3D-Ansicht des gescannten Abschnitts mit »allen« Leitungen [Quelle: ArborPlan GmbH & Co. KG]
Seite 304, Abb. 08: Messfeld eines Platanenstandorts im Nahbereich der erdverlegten Leitung [Foto: ArborPlan GmbH & Co. KG]
Seite 305, Abb. 09: Leitungsverlauf und Wurzel-Zugschlingen-Nachweis [Quelle: ArborPlan GmbH & Co. KG]
Seite 305, Abb. 10: 3D-Nachweis der Wurzel-Leitungs-Interaktion [Quelle: ArborPlan GmbH & Co. KG]
Seite 305, Abb. 11: Wurzel-Leitungs-Interaktion [Foto: ArborPlan GmbH & Co. KG]
Seite 308, Larissa Zeichhardt
Seite 312, Nadine Eisinger
Seite 313, Abb. 01: Elektrisches Spülbohrgerät: im Rahmen des Projekts erstmals auf einer realen Baustelle eingesetzt [Foto: Netze BW]
Seite 314, Abb. 02: Der Elektrobagger auf der NETZbaustelle Bönnigheim [Foto: Netze BW]
Seite 317, Abb. 03: Messeinrichtung (hinten) und elektrische Kleingeräte (vorn) [Foto: Netze BW]
Seite 319, Dr. Heiko Spitzer
Seite 319, Klaus-Peter Reim
Seite 319, Emmanuel Leung
Seite 320, Abb. 01: Mittels Rechenmodellen lässt sich der Nutzen von Leitungskanälen/-dükern bewerten. [Quelle: entellgenio]
Seite 321, Abb. 02: Leitungskanal in der Dresdner Altstadt [Foto: © GIBA mbH]
Seite 321, Abb. 03: Innerstädtisches Bauen, grabenlose Ausrüstung über Montageöffnungen [Foto: © GIBA mbH]
Seite 323, Abb. 04: Common Service Tunnel (CST) [Foto: © ctrlshift.gov.sg]
Seite 323, Abb. 05: Azabu-Hibiya Common Utility Tunnel [Foto: © tokyoreporter.com]
Seite 323, Abb. 06: Common Utility Tunnel (CUT) [Foto: © The Star.com.my]
Seite 323, Abb. 07: Multi-Utility Tunnel System (MUT), das unter der neuen indonesischen Hauptstadt engelegt werden soll. [Foto: © ISEAS.Edu.Sg]
Seite 325, Abb. 08: Einordnung der ISO 37175 [Quelle: © Tiantian, Yi]
Seite 326, Abb. 09: Leitungskanal in Hengqin [Foto: © China Org. CN]
Seite 330, Dr. Heiko Spitzer
Seite 330, Klaus-Peter Reim
Seite 330, Emmanuel Leung
Seite 331, Fig. 01: Calculation models can be used to evaluate the benefits of utility tunnels. [©entellgenio]
Seite 332, Fig. 02: Utility Tunnel in Dresdner Old Town[Source: © GIBA mbH]
Seite 332, Fig. 03: Inner-city construction, trechless loose equipment via installation openings [Source: © GIBA mbH]
Seite 334, Fig. 04: Common Service Tunnel (CST) [Source: © ctrlshift.gov.sg]
Seite 334, Fig. 05: Azabu-Hibiya Common Utility Tunnel [Source: © tokyoreporter.com]
Seite 334, Fig. 06: Common Utility Tunnel (CUT) [Source: © The Star.com.my]
Seite 334, Fig. 07: Multi-Utility Tunnel System (MUT) to be built under the new Capital of Indonesia [Source: © ISEAS.Edu.Sg]
Seite 335, Fig. 08: Categorization of ISO 37175 [Source: © Tiantian, Yi]
Seite 336, Fig. 09: Hengqin Utility Tunnel [Source: © China Org. CN]
Seite 340, Mario Stötzer
Seite 340, Jan Syré
Seite 341, Abb. 01: Die feste Installation auf einem Pkw-Anhänger ermöglicht den Transport der mobilen Gasdruckregelanlage. [Foto: Ohra Energie GmbH]
Seite 344, Abb. 02: Mobile Gasdruckregelanlage im Einsatz [Foto: Ohra Energie GmbH]
Seite 346, Abb. 03: Mobile Gasdruckregelanlage im Einsatz [Foto: Ohra Energie GmbH]
Seite 352, Florian Reidmann
Seite 353, Abb. 01: Ablauf der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring [Foto: Mayring, P.: Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. 12. überarb. Aufl. Weinheim: Beltz 2015]
Seite 358, Markus Boden
Seite 361, Abb. 01: Dimensionen und Key-Performance-Indikatoren des Reifegradmodells [Quelle: Markus Boden]
Seite 362, Abb. 02: Beispielhafte Abfrage eines Key-Performance-Indikators [Quelle: Markus Boden]
Seite 362, Abb. 03: Ausschnitt aus der Auswertungsdarstellung im Webtool mit Links zu unterstützenden Webdokumenten [Quelle: Markus Boden]

8 Perspektive

9 Weiterführende Informationen und Service

10 Dank

Stellvertreterfotos

Seite 6, 14, 20, 22, 34, 57, 58, 95, 96, 144, 176, 203, 282, 364, 368, 374 [IFB]

Notizen

Notizen

ISBN 978-3-7388-0923-7

Fraunhofer IRB | Verlag

SCHUTZGEBÜHR 24,– €