



Entwicklung von ecosoft: Von einem zentralen End-to-End-Zielbild zu einer föderierten, semantisch gestützten Systemarchitektur

Christoph Bindal-Gutsche, Thomas Fischer*

ecoworks GmbH, Lübecker Str. 1–2, 10559 Berlin, Deutschland

MANUSKRIFTINFO

DOI: 10.5281/zenodo.21930534

Veröffentlicht: 14. August 2026

Lizenz: CC BY 4.0

Schlüsselwörter:

Serielle Sanierung; Energetische Gebäudesanierung; Industrielle Vorfertigung; ecosoft; Softwarearchitektur; Föderierte Systemarchitektur; Hexagonale Architektur; Architekturentscheidungen; Design Science; Reifegrade; Minimum Viable Product; Proof of Concept; BIM; Scan-to-BIM; Bautechnische Fachmodelle; Semantische Interoperabilität; Semantisches Zwischenmodell; Datenmodell; Datenhoheit; Versionierung; Frühphasenkalkulation; Mengenermittlung; Produktkonfiguration; Leistungspositionen; Funktionale Leistungsbeschreibung; Qualitätskontrolle; Human-in-the-loop; Systemintegration

ZUSAMMENFASSUNG

Die serielle Sanierung von Bestandsgebäuden erfordert frühe Mengen-, Kalkulations- und Konfigurationsentscheidungen, obwohl Gebäudedaten heterogen, lückenhaft und zwischen Fachsystemen nur begrenzt semantisch anschlussfähig sind. Der Beitrag rekonstruiert die Entwicklung von ecosoft als industrielle Design-Science-Fallstudie anhand von Entwicklungsdokumentation, Prototypen, MVPs, technischen Artefakten, Kalkulationsvergleichen sowie Nutzer- und Prozessfeedback. Untersucht werden vier miteinander gekoppelte Arbeitsbereiche: Objekt- und Mengendaten, Komponenten-, Leistungs-, Preis- und Regelwissen, Kalkulations- und Anwendungsfunktionen sowie Qualitätskontrolle und Systemintegration. Der Entwicklungsweg führte von einem zentralen End-to-End-Zielbild über modulare Funktionsnachweise zu einem fokussierten Kalkulations-, Konfigurations- und Transformationskern innerhalb einer föderierten Fachsystemlandschaft. Tragfähig waren insbesondere versionierte Objekt-, Komponenten-, Leistungs- und Preisstrukturen, der Kalkulationskern sowie abgegrenzte Projekt-, Ausgabe- und Qualitätsfunktionen. Portfolio- und Frühphasenkonfiguration sowie Integrationsartefakte erreichten unterschiedliche, teilweise begrenzte Reifegrade. Zentrale Regelmodelle, kundenbediente Detailkonfiguration und ein externer Portalvollausbau wurden dagegen refokussiert oder nicht weiterverfolgt. Die Fallstudie zeigt, dass technische Schnittstellen allein keine fachliche Durchgängigkeit herstellen. Semantische Zuordnung, definierte Datenstände, Triggerpunkte und Human-in-the-loop-Prüfungen bleiben erforderlich. Der Beitrag liefert damit übertragbare Architektur- und Entscheidungsprinzipien, jedoch keine allgemeine Wirksamkeitsbewertung. Die Aussagen sind auf den untersuchten industriellen Kontext und eine interne, nicht unabhängig extern evaluierte Evidenzbasis begrenzt.

Vorhaben SerSan-16244, Bundesförderung Serielles Sanieren – Modul II. Dieser Beitrag steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0) und darf einschließlich der Abbildungen frei genutzt, weitergegeben und weiterentwickelt werden. Korrespondenz: * thomas.fischer@ecoworks.tech

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1	5.5 Mapping, Datenflüsse und Human-in-the-loop	11
1.1 Ausgangslage und Problemstellung	1	5.6 Versionierung, Triggerpunkte und Validierungsgrenzen	12
1.2 Vorhaben und Untersuchungsgegenstand	2	6 Diskussion	12
1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen	2	6.1 Einordnung der Forschungsfragen	12
2 Methodik und Entwicklungskontext	3	6.2 Bilanz nach Ergebnisreife	13
2.1 Methodischer Ansatz und Fallstudiendesign	3	6.3 Übertragbarkeit der Architekturprinzipien	14
2.2 Arbeitsprogramm, Entwicklungsphasen und Reifegrade	3	6.4 Beitrag zu den Programmzielen	14
2.3 Bewertungskriterien, Evidenzgrenzen und Validität	3	6.5 Limitationen und alternative Erklärungen	15
3 Entwicklung von ecosoft	3	7 Fazit und Ausblick	15
3.1 Objekt- und Mengengrundlagen (AP 1)	3	7.1 Zentrale Erkenntnisse aus der Entwicklung von ecosoft	15
3.2 Komponenten-, Preis- und Regellogik (AP 2)	5	7.2 Offene technische Fragestellungen und Weiterentwicklung	15
3.3 Kalkulation, Projektverwaltung und Ausgaben (AP 3)	5	Angaben zur Veröffentlichung	16
3.4 Datenströme, Qualität und Vernetzung (AP 4)	7	Literatur	16
4 Herausforderungen und nicht weiterverfolgte Entwicklungsansätze	7	1. Einleitung	
4.1 Grenzen zentraler Regel- und Datenlogik	7	1.1. Ausgangslage und Problemstellung	
4.2 Grenzen der zentralisierten App- und End-to-End-Vorstellung	8	Die serielle Sanierung von Bestandsgebäuden verlangt frühe Entscheidungen unter unsicheren Bedingungen. Mengen, Bauteile, Leistungen, Preise und Ausführungsvarianten werden bereits für die Projektanbahnung benötigt, obwohl Geometrie und technischer Zustand des Gebäudes zu diesem Zeitpunkt oft nur ausschnitthaft bekannt sind. Die Literatur zur seriellen und industrialisierten Sanierung beschreibt diese enge Kopplung von energetischer Bestandstrans-	
4.3 API-Integration, Datenhoheit und semantische Übersetzung	8		
4.4 Scope-Bereinigung und Architekturentscheidung	9		
5 Ergebnisarchitektur und technische F&E-Ergebnisse	9		
5.1 Ergebnisinventur und Reifegrade	9		
5.2 Föderierte Ergebnisarchitektur und Systemrollen	9		
5.3 Datenmodell, Repositories und Qualitätskontrolle	10		
5.4 Vernetzung bautechnischer Fachmodelle	11		

formation, Standardisierung und industrieller Fertigungslogik (Hermann et al., 2021; Konstantinou und Heesbeen, 2022). Bestands-BIM löst das Informationsproblem nur teilweise: Laserscans, Punktwolken und As-is-Modelle können die Ausgangslage verbessern, müssen aber hinsichtlich Modellqualität, Semantik und fachlicher Verwendbarkeit geprüft werden (Volk et al., 2014). Der digitale Prozess hat somit zwei Aufgaben zugleich. Er muss aus begrenzten Eingangsdaten eine prüfbare Entscheidungsgrundlage erzeugen und diese für spätere Planungsstände offenhalten. Entscheidend ist nicht allein, ob Daten digital vorliegen, sondern ob Kalkulation, Ausschreibung, Planung und Vorfertigung sie gleich oder zumindest nachvollziehbar interpretieren können.

ecosoft ging aus einer tabellenbasierten Kalkulation und Angebotserstellung hervor. Mengen, Leistungspositionen und Preise waren dort bereits verknüpft, doch jedes neue Projekt und jede zusätzliche Variante erzeugte weitere Formeln, Kopien und manuelle Übertragungen.¹ Versionen ließen sich nur begrenzt vergleichen; Preis- und Kostendaten waren projektübergreifend schwer auswertbar. Gleichzeitig entstanden Gebäudeinformationen in Bestandserfassung und BIM-/CAD-Planung, Ausschreibungsdaten in AVA-nahen Werkzeugen sowie Prozessinformationen in Vertriebs- und Projektmanagementsystemen. Zwischen diesen Teilbeständen bestand keine durchgängige fachliche Verbindung. Daraus ergab sich ein Entwicklungsproblem mit drei aufeinander angewiesenen Aufgaben: Wenige frühe Gebäudeparameter mussten in Mengen- und Kalkulationsstrukturen überführt, Komponenten, Varianten, Leistungspositionen, Preise und Regeln versionierbar geordnet und die resultierenden Daten kontrolliert an spezialisierte Fachsysteme übergeben werden. Vorhandene BIM-, AVA-, Projektmanagement- und Kalkulationswerkzeuge deckten einzelne Teile dieser Kette ab. Nicht ausreichend abgedeckt war ihre projektspezifische Verbindung aus unvollständigen Bestandsinformationen, parametrischer Bauteillogik, früher Kostenbewertung und systemübergreifender Bedeutungszuordnung. In heterogenen AEC-Prozessen reicht der technische Austausch von Dateien oder Datensätzen hierfür nicht aus (Grilo und Jardim-Gonçalves, 2010).

Die Forschungslücke liegt damit nicht in einer weiteren isolierten Softwarefunktion. Sie betrifft das Zusammenspiel eines domänenspezifischen Kalkulationskerns mit einer heterogenen Fachsystemlandschaft: Annahmen, Datenstände, Prüfpunkte und Übergaben müssen auch dann nachvollziehbar bleiben, wenn Informationen ihren technischen und fachlichen Kontext wechseln.

1.2. Vorhaben und Untersuchungsgegenstand

Die hier ausgewerteten Entwicklungsarbeiten entstanden im Vorhaben SerSan-16244 innerhalb der Bundesförderung Serielles Sanieren, Modul II. Das Programm zielt darauf, serientaugliche, adaptier- und skalierbare Sanierungslösungen zu entwickeln, die sich auf weitere Maßnahmen übertragen lassen und damit zu einer marktgetriebenen Kostendegression beitragen. Für ein Softwarevorhaben innerhalb dieses Rahmens verschiebt sich die Aufgabe von der einzelnen Funktion zur Frage, wie der Digitalisierungsgrad der Prozesskette so erhöht werden kann, dass Wiederholbarkeit entsteht: Was in einem Projekt einmal erfasst, kalkuliert oder geprüft wurde, muss im nächsten Projekt ohne erneute manuelle Übertragung nutzbar sein. Abschnitt 6.4 ordnet die Ergebnisse dieses Beitrags entlang dieser Programmziele ein.

Das Vorhaben setzte nicht bei null an. Erste Teile der Tabellenlogik waren bereits in eine datenbankgestützte Webanwendung überführt worden; ein initiales Datenbankschema, ein Frontend-Layout und Schnittstellenanalysen zu BIM-/CAD- und AVA-nahen Anwendungen lagen vor. Eine konsistente Objekt- und Mengengrundlage fehlte jedoch ebenso wie ein pflegbares Produkt-, Preis- und Regelmodell. Auch die operative Verbindung dieser Daten in Kalkulation und Angebot sowie ihre belastbare Einbindung in die bestehende Systemlandschaft waren noch offen. Das Arbeitsprogramm gliederte diese Aufgabe in vier miteinander verbundene Gruppen. AP 1 entwickelte mit Typologisierung, Portfolioanalyse, Massenermittlung und Objektdatenbank die Objekt- und Datengrundlagen. AP 2 strukturierte Komponenten-, Angebots- und Logikdaten, also Produktvarianten, Leistungspositionen, Preise und fachliche Regeln. AP 3 machte beide Grundlagen in Konfiguration, Angebotserstellung, Projektverwaltung, Prozessvisualisierung, Berichten und Dashboards operativ nutzbar. AP 4 untersuchte Datenströme,

¹ Die Aussage richtet sich nicht gegen Tabellenkalkulationen als solche. Relevant war ihre Nutzung als zentrale, manuell gepflegte Struktur bei zunehmender Projekt-, Varianten- und Versionskomplexität.

Qualitätsprüfungen und die Vernetzung mit internen sowie spezialisierten Anwendungen. Die Abhängigkeiten waren unmittelbar: Objekt- und Mengendaten wurden erst durch Komponenten-, Preis- und Regelinformationen kalkulierbar; Integrationsprobleme wirkten umgekehrt auf Datenmodell und Anwendungsscope zurück. Die Systemgrenze von ecosoft stand daher nicht von Beginn an fest, sondern wurde im Entwicklungsverlauf an konkreten Funktionen und Übergaben erprobt.

Vor diesem Hintergrund rückte die Make-or-Integrate-Entscheidung in den Mittelpunkt. ecosoft sollte weder lediglich eine Tabelle in eine komfortablere Oberfläche überführen noch jedes vorhandene Fachsystem nachbauen. Zu klären war, welche Kalkulations- und Transformationsfunktionen einen eigenen domänenspezifischen Kern erforderten und welche Daten oder Prozesse in spezialisierten Systemrollen verbleiben sollten.² Im vorliegenden Beitrag bezeichnet ecosoft daher weder einen isolierten Klickdummy noch eine universelle Unternehmensplattform.³ Gemeint ist ein datenbankgestützter Kalkulations-, Konfigurations- und Transformationskern mit Integrationsfunktion innerhalb einer föderierten, rollenbasierten Fachsystemlandschaft. Abbildung 1 ordnet diesen Untersuchungsgegenstand in vier Betrachtungsebenen. Deren Gewicht veränderte sich: Zu Beginn wurden Datenmodell, Systemarchitektur, Nutzeranwendung und Prozesskette gemeinsam ausgebaut; später trat die fachlich kontrollierte Verbindung dieser Ebenen in den Vordergrund.

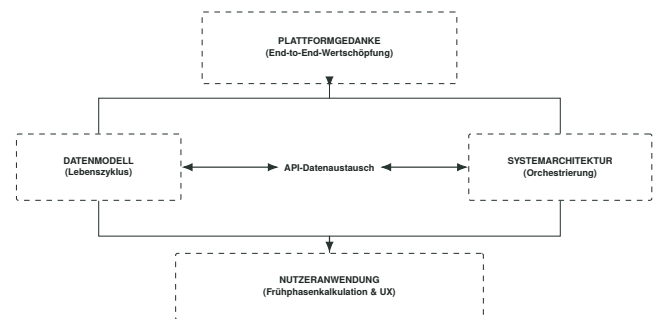


Abbildung 1. Vier Betrachtungsebenen des Untersuchungsgegenstands: Plattformgedanke, Datenmodell, Systemarchitektur und Nutzeranwendung.

1.3. Zielsetzung und Forschungsfragen

Der Beitrag verfolgt diesen Wandel vom Projektziel bis zur Architekturrentsecheidung. Ausgangspunkt war ein zentral gedachtes End-to-End-Zielbild.⁴ Im Projekt entstanden daraus Datenbanken, Konfigurations- und Kalkulationsfunktionen, Prototypen, MVPs sowie Schnittstellen- und Qualitätsartefakte. Erst ihre Anwendung in variantenreicheren Bestands- und Systemkontexten machte die Grenzen zentraler Regel-, Oberflächen- und Integrationsannahmen sichtbar. Die resultierende Architektur verbindet einen enger gefassten ecosoft-Kern mit spezialisierten Fachsystemen, semantischer Zuordnung, Versionierung und fachlichen Prüfpunkten.

Die Hauptforschungsfrage lautet: Wie lässt sich ecosoft so weiterentwickeln, dass reduzierte Bestandsinformationen in eine nachvollziehbare Mengen-, Kalkulations- und Konfigurationsstruktur überführt und die Ergebnisse fachlich kontrolliert an spezialisierte Planungs-, AVA- und Prozesssysteme übergeben werden können? Daraus folgen vier Teilfragen: **FF1:** Welche Objektinformationen, Attribute und Ableitungsregeln sind erforderlich, um heterogene Bestandsgebäude bereits in frühen Projektphasen kalkulatorisch bearbeitbar zu machen? **FF2:** Wie müssen Komponenten-, Leistungs-, Preis- und Regelinformationen mit BIM-/CAD-, AVA- und Prozessdaten verknüpft werden, damit Systemwechsel technisch und fachlich nachvollziehbar bleiben? **FF3:** Welche Funktionen sollten im ecosoft-Kern gebündelt werden, und welche Daten- oder Prozessverantwortung sollte in spezialisierten Fachsystemen verbleiben? **FF4:**

² Make-or-Integrate bezeichnet hier die technische Zuordnung von Funktionen und Datenverantwortung. Eine finanzielle ROI- oder Make-or-Buy-Rechnung wird damit nicht veröffentlicht.

³ Der Plattformbegriff umfasst hier vier Betrachtungsebenen: Datenmodell, Systemarchitektur, Nutzeranwendung und Anschluss an die Prozesskette. Er bezeichnet keine universelle Unternehmensplattform.

⁴ End-to-End bezeichnet die funktionale Unterstützung aufeinanderfolgender Prozessphasen. Daraus folgt weder, dass alle Funktionen in einem System liegen, noch dass sie gemeinsam deployt oder permanent synchronisiert werden.

Welche Grenzen zeigen sich bei zentralen Regel-, App- und Schnittstellenansätzen, und welche Entscheidungen folgen daraus für Integration, Qualitätskontrolle und Versionierung?

Untersucht wird also nicht nur ein Architekturstand, sondern die Verbindung von Projektziel, Umsetzung, beobachtetem Ergebnis und technischer Grenze. Übertragbar sind die daraus entwickelten Entscheidungs- und Architekturprinzipien. Interne Leistungskennzahlen, vertrauliche Projekt- und Preisdaten oder eine allgemeine Wirksamkeit für andere Organisationen werden daraus nicht abgeleitet.

2. Methodik und Entwicklungskontext

2.1. Methodischer Ansatz und Fallstudiendesign

Der Entwicklungsverlauf wird als industrielle Design-Science-Fallstudie ausgewertet.⁵ Untersuchungseinheiten sind die in Abschnitt 2.2 dargestellten Arbeitspakete und die aus ihnen hervorgegangenen Artefakte. Design Science liefert dafür die Abfolge von Problemidentifikation, Zielbestimmung, Entwurf, Demonstration, Evaluation und Kommunikation (Hevner et al., 2004; Peffers et al., 2007). Die Fallstudienlogik ergänzt Kontext, Datenquellen und Validitätsgrenzen, weil Reifegrad und Aussagekraft eines Softwareartefakts von Organisation, Datenlage, Systemumgebung und Nutzerrollen abhängen (Runeson und Höst, 2009). Konkret wird rekonstruiert, wie aus Projektproblemen technische Artefakte entstanden, wie diese im Arbeitskontext geprüft wurden und welche Folgeentscheidungen positive wie negative Ergebnisse auslösten. Grundlage sind Entwicklungsdokumentation, Prototypen- und Datenbankstände, projektbezogene Gebäude- und Kalkulationsdaten, Prozessbeschreibungen, Fehleranalysen und fachliches Nutzerfeedback. Anforderungen entstanden in der Zusammenarbeit von Akquisition, Kalkulation, Planung, BIM und operativer Projektbearbeitung. Diese methodische Rahmung ordnet eine reale Entwicklung; sie ersetzt nicht die Projektchronologie und erzeugt nachträglich keine kontrollierte Versuchsanordnung. Deshalb werden neben fertigen Funktionen auch begrenzte Machbarkeitsnachweise, eingefrorene Entwicklungsstränge und bewusst veränderte Systemgrenzen ausgewertet.

2.2. Arbeitsprogramm, Entwicklungsphasen und Reifegrade

Die Arbeitspaketstruktur bildet die historische Projektlogik. Tabelle 1 zeigt, welche Probleme parallel bearbeitet wurden und welche Ergebnisse voneinander abhingen. Sie dient zugleich als Bezugspunkt für die nachfolgende Phasen- und Reifegradanalyse. Kapitel 3 rekonstruiert anschließend die tatsächliche Umsetzung.

Die vier Gruppen bilden keine lineare Wasserfallfolge. Objekt- und Mengendaten aus AP 1 wurden gemeinsam mit dem Produkt-, Preis- und Regelwissen aus AP 2 in den Anwendungen aus AP 3 erprobt. Sobald Datenhoheit, Formate oder fachliche Bedeutungen an Systemgrenzen unklar wurden, wirkte die Schnittstellen- und Qualitätsarbeit aus AP 4 auf diese Module zurück. Diese Rückkopplung erklärt die unterschiedlichen Ergebnisreifegrade. Für die retrospektive Auswertung wird der arbeitspaketübergreifende Verlauf zusätzlich in drei Phasen gegliedert. Zunächst entstanden Daten- und Modellgrundlagen: Objekt-, Komponenten-, Angebots- und Logikdaten wurden abgegrenzt und in ersten Datenbankstrukturen zusammengeführt. Danach wurden diese Grundlagen in Portfolio-, Mengen-, Konfigurations-, Kalkulations-, Ausgabe- und Oberflächenfunktionen erprobt. In der dritten Phase verlagerte sich der Schwerpunkt auf Datenpipelines, Qualitätskontrolle, semantische Zuordnung und die Skalierbarkeit der Systemgrenzen. Arbeitspakete beschreiben somit das historische Arbeitsprogramm; die Phasen machen den Erkenntnisverlauf sichtbar.

Nicht jedes Artefakt durchlief diese Phasen bis zu demselben Endpunkt. Ein Mock-up prüft Oberflächen- und Prozesslogik. Ein technischer Prototyp oder Proof of Concept zeigt die lokale Funktionsfähigkeit eines begrenzten Mechanismus; ein Minimum Viable Product stellt einen nutzbaren, aber funktional noch begrenzten Mindestumfang bereit. Als produktiv genutzt gelten Artefakte,

⁵ Die Einordnung beschreibt eine retrospektiv strukturierte industrielle Entwicklung, keine kontrollierte Laborstudie. Entwicklungsentscheidungen, Projektanforderungen und Artefaktprüfungen wirkten im Fallkontext zusammen.

deren Einsatz im operativen Projektkontext dokumentiert ist. Daraus folgt keine unabhängige Wirksamkeitsbewertung. Implementierte Kernfunktionen, refokussierte Entwicklungsziele, nicht weiterverfolgte Ansätze und Roadmap-Elemente werden daher getrennt ausgewiesen. Auch Frontend, Backend, Datenbank und Schnittstelle desselben Entwicklungsstrangs können unterschiedliche Reifegrade besitzen.

2.3. Bewertungskriterien, Evidenzgrenzen und Validität

Die Bewertung folgt durchgängig derselben Logik: Ausgangsproblem, Ziel des Arbeitspakets, konkrete Umsetzung, Begründung der Entwurfswahl, Erprobung, Ergebnisstatus und Grenze. Technische Ausführbarkeit allein reicht nicht aus. Je nach Artefakt werden auch fachliche Plausibilität, Kalkulationsnähe, Datenkonsistenz, Nutzbarkeit, Wartbarkeit, Skalierbarkeit und Integrationsfähigkeit betrachtet. Modulbezogene Ziel- und Prüfkriterien fließen ein, soweit sie dokumentiert sind; eine einheitliche Definition of Done für alle Arbeitspakete wird daraus nicht konstruiert.⁶ Die Erprobung nutzte reale Projekt-, Gebäude-, Kalkulations- und Prozessdaten, historische Preisstände, BIM-/Geometriedaten, Prozesslandkarten und fachliches Nutzerfeedback.⁷ Praxisnahe Daten sind jedoch nicht mit einer vollständigen Realprojektevaluation gleichzusetzen. Ein Oberflächenentwurf, ein lokaler Proof of Concept, ein MVP im Nutzerkontext und ein produktiv eingesetztes Modul tragen unterschiedliche Aussagen; insbesondere belegt lokale Funktionsfähigkeit weder die Skalierbarkeit einer zentralen Regelbasis noch die Robustheit eines systemübergreifenden Datenflusses.

Quantitative und qualitative Evidenz werden getrennt behandelt.⁸ Vergleichswerte aus Portfolio- oder Quick-Configuration-Anwendungen sind nur so belastbar wie Stichprobe, Referenz, Berechnung und Ausreißerbehandlung. Fehlen diese Angaben, dienen sie der internen Plausibilisierung und nicht als unabhängige Genauigkeitsstudie. Qualitative Befunde zur Wartbarkeit von Regeln, zur Verständlichkeit von Eingaben oder zum Integrationsaufwand bleiben dagegen relevant, wenn Artefaktstand und Entscheidungskontext nachvollziehbar sind. Auch ein Feature-Freeze oder eine Refokussierung kann ein Ergebnis sein, sofern technische Ursachen von Ressourcen- und Priorisierungseffekten getrennt werden. Die Fallstudie erlaubt somit eine kontextgebundene Bewertung der Projektentwicklung, keine Marktstatistik und keinen allgemeinen Produktvergleich. Übertragbar sind vor allem das Bewertungsmuster, die Reifegradunterscheidung, die Trennung von technischem Datentransport und fachlicher Bedeutungszuordnung sowie die Einbindung von Human-in-the-loop-Prüfungen (Venable et al., 2016).

3. Entwicklung von ecosoft

Dieses Kapitel folgt dem Arbeitsprogramm aus Tabelle 1, nicht jedoch einer starren zeitlichen Abfolge. AP 1 bis AP 4 liefen teilweise parallel und wirkten aufeinander zurück. Entscheidend ist deshalb, wie aus einer Grundlage die nächste Funktion entstand und an welchem Punkt ihre jeweilige Grenze sichtbar wurde.

3.1. Objekt- und Mengengrundlagen (AP 1)

AP 1 sollte die heterogenen Bestandsinformationen so ordnen, dass sie bereits vor einer vollständigen Detailplanung für Auswahl, Mengenbildung und Kalkulation nutzbar werden. Diese Aufgabe war für alle späteren Module grundlegend. Bestands-BIM- und Scan-to-BIM-Forschung zeigt, dass Geometrie, Attributqualität und semantische Vollständigkeit bei bestehenden Gebäuden erheblich schwanken (Volk et al., 2014; Tang et al., 2010; Macher et al., 2017). ecosoft musste deshalb Unsicherheit nicht verdecken, sondern unterschiedliche Datenstände und prüfbedürftige Ableitungen handhabbar machen.

⁶ Die dokumentierten Ziel- und Prüfkriterien unterschieden sich nach Artefakt und Reifegrad. Eine einheitliche, formal freigegebene Definition of Done für alle Module ist nicht Bestandteil der Fallstudienevidenz.

⁷ Die Verwendung realer Daten belegt die Praxisnähe des Prüfmateri als. Sie belegt nicht automatisch einen durchgängigen Feldtest des gesamten Systems unter identischen Bedingungen.

⁸ Die projektbegleitenden Zwischenberichte verwendeten für einzelne Sachverhalte stärkere Begriffe als der vorliegende Beitrag – etwa *validiert*, *echtzeitfähig*, *Ontologie* oder *monolithisch*. Sie beschreiben denselben Entwicklungsgegenstand; die hier gewählten Formulierungen ordnen ihn nach dem jeweils öffentlich belegbaren Nachweisgrad ein und ersetzen die dortigen Darstellungen nicht.

Tabelle 1. Historisches Arbeitsprogramm und Funktion der Arbeitspaketgruppen für die Entwicklung von ecosoft.

Arbeitsblock	Unterarbeitspakete	Ursprüngliches Entwicklungsziel	Funktion im Entwicklungsprozess
AP 1: Objekt- und Datengrundlagen	Typologisierung; Portfolioanalyse; Massenermittlung; Objektdatenbank	Bestandsgebäude früh einordnen, fehlende Angaben strukturiert ergänzen und Objekt-/Mengendaten für die Kalkulation bereitstellen.	Liefert Gebäude-, Bestands-, Plan- und Mengenkontexte für Konfiguration, Vergleich und spätere Integration.
AP 2: Produkt-, Preis- und Regelwissen	Komponentendatenbank; Angebotsdatenbank; Logikdatenbank	Komponenten, Varianten, Leistungspositionen, Preise und fachliche Abhängigkeiten aus Tabellen in pflegbare Datenstrukturen überführen.	Verbindet Produkt- und Kalkulationswissen; macht zugleich die Grenzen einer universellen zentralen Regellogik sichtbar.
AP 3: Anwendungsfunktionen	Konfiguration/Angebot; Projektverwaltung; Prozessvisualisierung; Berichte; Dashboards	Daten aus AP 1 und AP 2 in Kalkulation, Projektbearbeitung, Ausgaben und Prozesssicht operativ nutzbar machen.	Prüft Nutzerabläufe und Anwendungsscope; trennt tragfähige Kernfunktionen von refokussierten App- und Portalideen.
AP 4: Integration und Qualität	Schnittstellen-/Datenstromanalyse; Vernetzung der Fachsysteme	Datenflüsse, Qualitätsbefunde und Systemübergaben analysieren und technisch sowie fachlich verbinden.	Überführt die Funktionsentwicklung in Mapping, Qualitätskontrolle, Triggerpunkte und rollenbasierte Systemintegration.

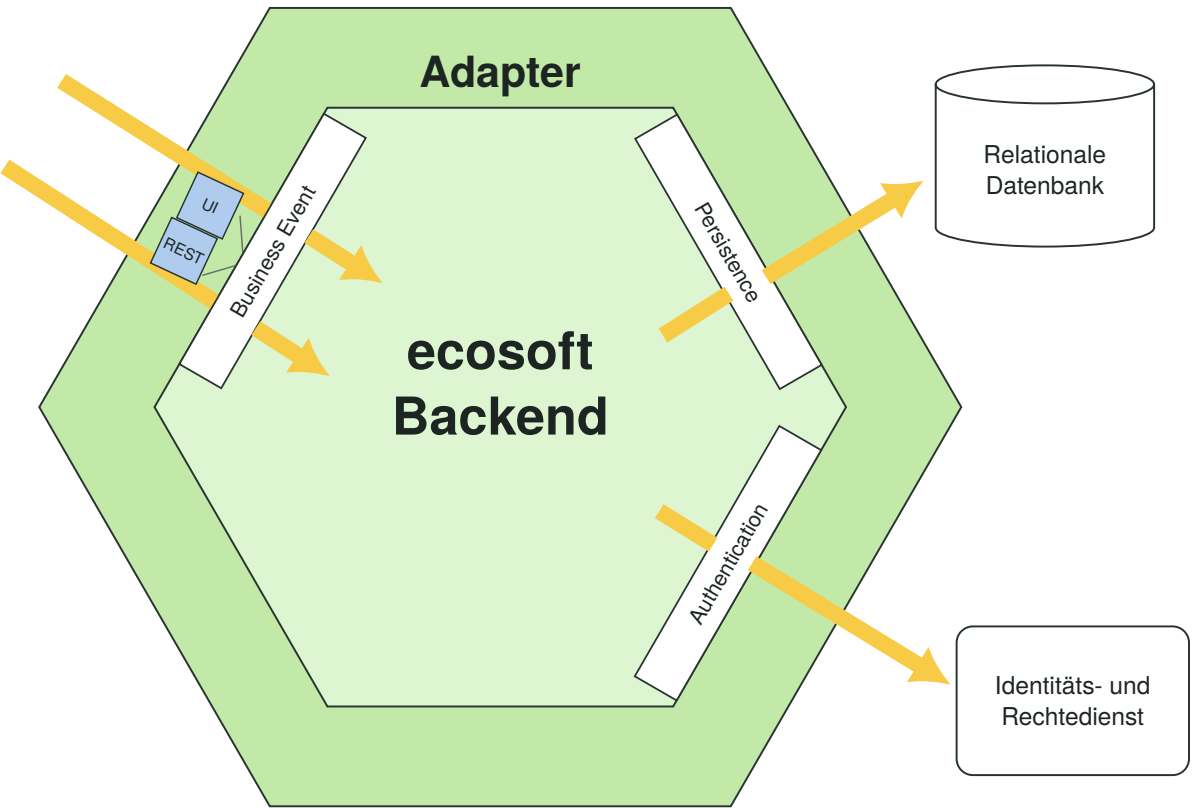


Abbildung 2. Hexagonale Architekturperspektive auf den ecosoft-Backend-Kern, Adapter und externe Systemanschlüsse.

Ausgangsziel von AP 1.1 Typologisierung war eine kriteriengestützte Einordnung geeigneter Gebäude- und Baukörperarten. Der vorhandene Kriterienkatalog wurde erweitert und neben technischen Merkmalen um wirtschaftliche Auswahlkriterien ergänzt; externe Gebäudeinformationen dienten als zusätzliche Datengrundlage. Im Projektverlauf zeigte sich allerdings, dass der größte Nutzen nicht in einer eigenständigen Typologisierungsanwendung lag. Kriterien und aufbereitete Daten gingen daher in Portfolioanalyse, Objektdatenbank und spätere Integrationsfunktionen ein. Die Typologisierung blieb damit Grundlage, wurde aber kein separates Endprodukt.

Mit AP 1.2 Portfolioanalyse erweiterte sich die Betrachtung vom Einzelgebäude auf Bestände. Ein früher Clusterprototyp verband Objekt- und Adressuche, Adressimport, die Anzeige bereits vorhandener Informationen, manuelle Ergänzungen und eine gewichtete Kriterienbewertung. Daraus entstand ein MVP mit geführter Datenerfassung, das Gebäudegruppen und frühe Sanierungskorridore strukturiert vergleichbar machte. Für diesen Entwicklungsstand wurden 28 Kunden mit insgesamt mehr als 2.000 erfassten Gebäuden dokumentiert.⁹ Der MVP wurde operativ genutzt, aber nicht unbegrenzt ausgebaut. Eine tiefere Einbindung weiterer externer Datenquellen und eine weitergehende Automatisierung des Adressimports wurden zugunsten der Integrationsarbeit in AP 4 eingefroren; die

⁹ Angaben zum Berichtsstand bis März 2025. Die Reichweite beschreibt den internen Anwendungskontext des Portfolio-MVP. Sie ist weder eine Marktkennzahl noch eine statistische Wirksamkeitsvaluation.

Verbindung zur Quick Configuration blieb bestehen.

AP 1.3 Massenermittlung adressierte die Lücke zwischen unvollständigen Bestandsangaben und einer frühen Kostenindikation. Gebäudeattribute wurden nach Bauteilen und fachlicher Priorität geordnet. Ob aus einem Modell überhaupt belastbare Mengen abgeleitet werden können, hängt dabei weniger vom Auswertewerkzeug als von den zugrunde liegenden Modellierungsregeln ab (Monteiro und Poças Martins, 2013). Neuere Arbeiten zeigen dasselbe an mehrschichtigen Bauteilen: Wie genau eine Menge wird, entscheidet sich daran, wie vollständig das Modell die einzelnen Schichten führt (Khosakitchaler et al., 2019). Bestandswerte konnten aus Plänen, groben Geodaten oder manueller Erfassung stammen; Planwerte und abhängige Mengen wurden stärker formelbasiert abgeleitet. Eine domänenspezifische Formellogik unterschied unter anderem Default-, allgemeine und Planwertformeln. Masseneintragung, Hinweise auf fehlende Werte und eine Ampellogik machten sichtbar, wo Standardannahmen ausreichten und wo eine fachliche Ergänzung erforderlich war. Die daraus entwickelte Quick Configuration verdichtete wenige frühe Eingaben in eine erste Mengen- und Kostenstruktur. Ein früher Stand arbeitete mit sieben allgemeinen Eingaben, während die Referenzkalkulation über 200 Attribute auswertete; ein universeller Mindestattributsatz wird daraus nicht abgeleitet.

Für diesen Strang liegen die einzigen quantitativen Vergleichswerte des Vorhabens vor. Tabelle 2 weist sie mit Stand, Referenz und Aussagegrenze aus.

Ein früher Entwicklungsstand erreichte etwa 80 bis 90 % Nähe zu einer deutlich detaillierteren Ausschreibungskalkulation. Ein späterer Stand wurde mit einer mittleren Abweichung unter 5 % und maximalen Abweichungen von etwa plus/minus 10 % gegenüber realen Projektdaten berichtet. Beide Werte stammen aus entwicklungsbegleitenden internen Vergleichen, nicht aus einer Messreihe mit einheitlichem Protokoll. Sie sind deshalb nicht als Zeitreihe zu lesen: Referenzgröße, Projektauswahl und Berechnungsweise unterscheiden sich zwischen den beiden Ständen, und die Stichprobe ist nicht durchgängig dokumentiert. Die Werte belegen damit eine im Projektverlauf zunehmende Kalkulationsnähe im untersuchten Einsatzkontext, keine extern reproduzierte Genauigkeit. Der methodische Beitrag liegt weniger in der Höhe der Abweichung als in der Erkenntnis, dass eine belastbare Frühphasenkalkulation nicht an der Zahl der Eingaben hängt, sondern an der Priorisierung weniger kalkulationsrelevanter Attribute und an der Sichtbarkeit ihres Prüfzustands.

Als letztes Kernfeature dieses Strangs wurden KfW-bezogene Förderkontexte in Templates abgebildet. Weitergehende Fenster-, Wandflächen- und Kundenpräferenzfunktionen wurden nicht mehr entwickelt; der erreichte Funktionsstand wurde zugunsten von AP 4 eingefroren.

In AP 1.4 Objektdatenbank sollten Typologisierung, Portfolio- und Mengendaten zugleich in einer durchsuchbaren Objekt- und Projektbasis zusammenlaufen. Hierzu wurden Bestandswerte, später ergänzte Messwerte und projektspezifische Planwerte getrennt geführt. Planwerte konnten variantenbezogen fortgeschrieben werden, ohne den dokumentierten Bestand zu überschreiben. Referenzprojekte und erhaltene Datenstände unterstützten Vergleiche zwischen Objekten und Konfigurationen. Die Objektdatenbank erreichte einen stabilen MVP-Stand und wurde im Arbeitskontext genutzt. Sie wurde jedoch weder als universelle Datenhoheit für sämtliche Projektinformationen noch als allgemeiner Rückkanal für alle späteren As-built-Daten ausgebaut. Mit AP 1 lagen damit strukturierte Objekt-, Bestands-, Plan- und Mengenkontexte vor; kalkulierbar wurden sie erst durch das Produkt-, Leistungs-, Preis- und Regelwissen aus AP 2.

3.2. Komponenten-, Preis- und Regellogik (AP 2)

AP 2 überführte Produkt-, Leistungs-, Preis- und Regelwissen aus verteilten Tabellen in pflegbare Datenstrukturen. Das ursprüngliche Zielbild unterschied Objekt-, Komponenten-, Angebots- und Logikdaten.¹⁰ Die Umsetzung war früh modular und in einer hexagonalen Architekturperspektive angelegt: fachliche Kernfunktionen, Persistenz und externe Anschlüsse sollten getrennt verändert und geprüft werden. Abbildung 2 visualisiert diese technische Denkrichtung; sie steht nicht für einen bereits vollständig integrierten Endzustand.

AP 2.1 Komponentendatenbank überführte die Tabellenbasis für Sanierungsprodukte in eine versionierbare Struktur aus Kategorien, Komponenten, Varianten, Leistungspositionen und Attributen. Im Projekt wurde sie als Hardware-Datenbank (HWDB) bezeichnet.¹¹ Leistungspositionen verknüpften Einheiten, Preise, Mengenbezüge, Berechnungsfaktoren und fachliche Zuordnungen; Varianten bündelten solche Positionen für bestimmte Standards oder Ausführungsfälle, Komponenten wiederum fassten Varianten zu kalkulierbaren Leistungspaketen zusammen. Der Umfang wuchs schrittweise. Zum Stand Q4 2023/Q1 2024 waren 1.066 Leistungspositionen dokumentiert und mit dem browserbasierten Kalkulator verbunden; der Umfang wuchs danach weiter. Später kamen gestaffelte Datenbankversionen, kurzfristige Korrekturstände und der direkte Vergleich verschiedener Stände hinzu, sodass sich Preis- oder Leistungsänderungen in bestehenden Kalkulationen nachvollziehen ließen. In der Abschlussphase verlagerte sich die Arbeit auf strukturierte Langtexte und Zuordnungsmatrizen für bautechnische Abhängigkeiten. Die Datenbasis wurde produktiv genutzt; die semantische Langtextzuordnung blieb hingegen ein justierungs- und prüfbedürftiger Transformationsschritt.

AP 2.2 Angebotsdatenbank sollte Angebote, Komponentenpreise und Rückmeldungen aus Ausschreibungs- und Vergabeprozessen mit der Konfiguration verbinden. Um parallele Pflege und steigende Datenbankkomplexität zu vermeiden,

wurden Angebots- und Preisinformationen teilweise in die Komponentenstruktur integriert. Markt- und Projektrückmeldungen konnten dadurch konkreten Leistungspositionen zugeordnet und bei späteren Preis- oder Datenbankständen berücksichtigt werden. Die Rückkopplung blieb ein fachlicher Pflege- und Plausibilisierungsprozess; sie erzeugte keine autonome Preislogik. Auf dieser Grundlage entstanden GAEB-nahe Ausgaben für AVA-Prozesse und Rohfassungen funktionaler Leistungsbeschreibungen. Der zunächst weiter gefasste Ansatz einer kundenbedienten Detailkonfiguration und Bemusterung wurde nicht fortgeführt. Kalkulationswissen, Preisvertraulichkeit und Freigabeverantwortung erforderten weiterhin interne Expertenrollen. Als tragfähige Kernfunktion blieb die regelgestützte Ableitung von FLB-nahen Inhalten aus internen Vorkonfigurationen erhalten; die eigentliche Dokument- und Vergabebearbeitung konnte dagegen in spezialisierten Anwendungen verbleiben.

Ziel von AP 2.3 Logikdatenbank war, konditionale Beziehungen zwischen Objektmerkmalen, Komponentenvarianten, Förderbedingungen und fachlichen Anforderungen formal abzubilden. Graphische Logikbäume und eine domänenspezifische Formellogik machten Default-Werte, allgemeine Berechnungen und Planwertformeln explizit. Ein Loggien-Proof-of-Concept zeigte, dass sich ein begrenzter Konfigurationsfall mit dieser Regelsprache technisch abbilden ließ. Dieser Stand war ein lokaler Machbarkeitsnachweis, kein produktiver systemweiter Regelbetrieb. Die Produktkonfigurationsliteratur stützt den Ansatz, Variantenwissen und Auswahlabhängigkeiten explizit zu modellieren (Zhang, 2014; Jahr und Borrmann, 2018); für das modulare Bauen ist dieser Ansatz ebenfalls beschrieben (Cao und Hall, 2020). Zugleich hängt die Tragfähigkeit solcher Regeln von stabilen Domänengrenzen, interpretierbaren Eingaben und beherrschbarer Pflege ab (Lee, J.-K. et al., 2015). Bei weiteren Bestands- und BIM-Kontexten nahm die Zahl projektspezifischer Bedingungen zu. Daraus entstand die Folgeentscheidung, die zentrale Kernlogik enger zu fassen und Sonderfälle als Projektspezifika oder in spezialisierten Fachlogiken zu behandeln. Kapitel 4 analysiert diese Skalierungsgrenze; an dieser Stelle ist entscheidend, dass AP 2.3 sowohl einen funktionierenden PoC als auch den Anlass für eine Refokussierung lieferte.

3.3. Kalkulation, Projektverwaltung und Ausgaben (AP 3)

AP 3 machte die Grundlagen aus AP 1 und AP 2 für konkrete Nutzerabläufe verfügbar. Der gemeinsame Entwurfsgrund war eine browserbasierte Bearbeitung, in der Projektkontext, Objektwerte, Mengen, Komponenten, Varianten, Leistungspositionen und Preise nicht erneut manuell zwischen Tabellen übertragen werden mussten. Die Anwendungsstränge erreichten unterschiedliche Reifegrade: Der Kalkulationskern wurde operativ genutzt, während Portal-, Prozess- und Dashboardfunktionen teilweise prototypisch oder refokussiert blieben.

Konstitutiv für diese Reifegradunterschiede war ein Schnitt, der bereits in der Umsetzung angelegt wurde. Bedienoberfläche und fachlicher Kern waren über eine definierte Schnittstelle getrennt, sodass Oberflächenentwürfe verworfen oder eingefroren werden konnten, ohne Kalkulationslogik, Datenhaltung oder Versionierung zu berühren. Abbildung 3 zeigt diesen Schnitt zwischen Bedienoberfläche, Kalkulations- und Transformationskern, Persistenz sowie externen Diensten und Zielsystemen; Produkt- und Anbieternamen sind darin bewusst abstrahiert. Dass der spätere Verzicht auf den Portalvollausbau die intern genutzten Kalkulations-, Projekt- und Ausgabefunktionen nicht entwertete, ist eine unmittelbare Folge dieses Schnitts.

In AP 3.1 Konfiguration und Angebotserstellung ersetzte der ecosoft-Kalkulator die vorherige Tabellenkalkulation als internen Kern für beide Aufgaben. Der Ablauf begann mit der Projektanlage und einer Quick Konfiguration auf Basis früher Objekt- und Mengendaten. Anschließend konnten detailliertere Bestands- und Planwerte, Sanierungsszenarien, Förderkontexte, Komponenten, Varianten und Projektspezifika ergänzt werden. Leistungspositionen ließen sich anpassen oder abwählen; Zuschläge, Preisstände und weitere Kostenanpassungen flossen in Kostenansichten und Angebotskalkulationen ein. Mit zunehmender Reife wurden Projekt- und Datenbankversionen vergleichbar, Preisveränderungen sichtbar und externe Markt- oder Materialpreise importierbar. Statusübergänge unterschieden bearbeitete Konfigurationen, Angebotsstände und bestätigte Angebots- oder Vertragsgrundlagen. Exporte und Kostenberichte unterstützten schließlich die Weitergabe an nachgelagerte Prozesse. Dieser Strang wurde zum stabilsten

¹⁰ Die vier Datenbereiche beschreiben den Planungsstand zu Projektbeginn. Angebots- und Preisinformationen wurden im Entwicklungsverlauf teilweise in die Komponentenstruktur integriert; ursprüngliche Arbeitsordnung und späteres Datenmodell sind daher nicht identisch.

¹¹ HWDB ist ein Projektbegriff für Komponenten-, Varianten-, Leistungs- und Preisdaten der seriellen Sanierung. Gemeint ist kein Inventar physischer IT-Hardware.

Tabelle 2. Entwicklungsbegleitende Kalkulationsvergleiche der Quick Configuration mit ausgewiesenen Aussagegrenzen.

Entwicklungsstand	Berichteter Kennwert	Eingangsgrößen	Vergleichsreferenz	Aussagegrenze
Früher Stand der Quick Configuration	etwa 80–90 % Nähe	sieben allgemeine Eingaben	Ausschreibungskalkulation mit über 200 Attributen	Einzelvergleich; Projektauswahl und Rechenweg nicht vollständig dokumentiert
Späterer Stand der Quick Configuration	mittlere Abweichung unter 5 %; Maximalabweichung etwa ± 10 %	priorisierte Objekt- und Planattribute, Default- und Planwertformeln	reale Projektdaten aus dem operativen Kalkulationskontext	Stichprobengröße, Ausreißerbehandlung und Referenzabgrenzung nicht durchgängig offengelegt

Gemeinsame Grenze: Beide Kennwerte entstammen entwicklungsbegleitenden internen Vergleichen ohne einheitliches Messprotokoll. Sie sind nicht direkt verrechenbar, bilden keine Zeitreihe und ersetzen keine unabhängige Genauigkeitsstudie. Belastbar ist die Richtungsaussage einer im Projektverlauf zunehmenden Kalkulationsnähe im untersuchten Einsatzkontext.

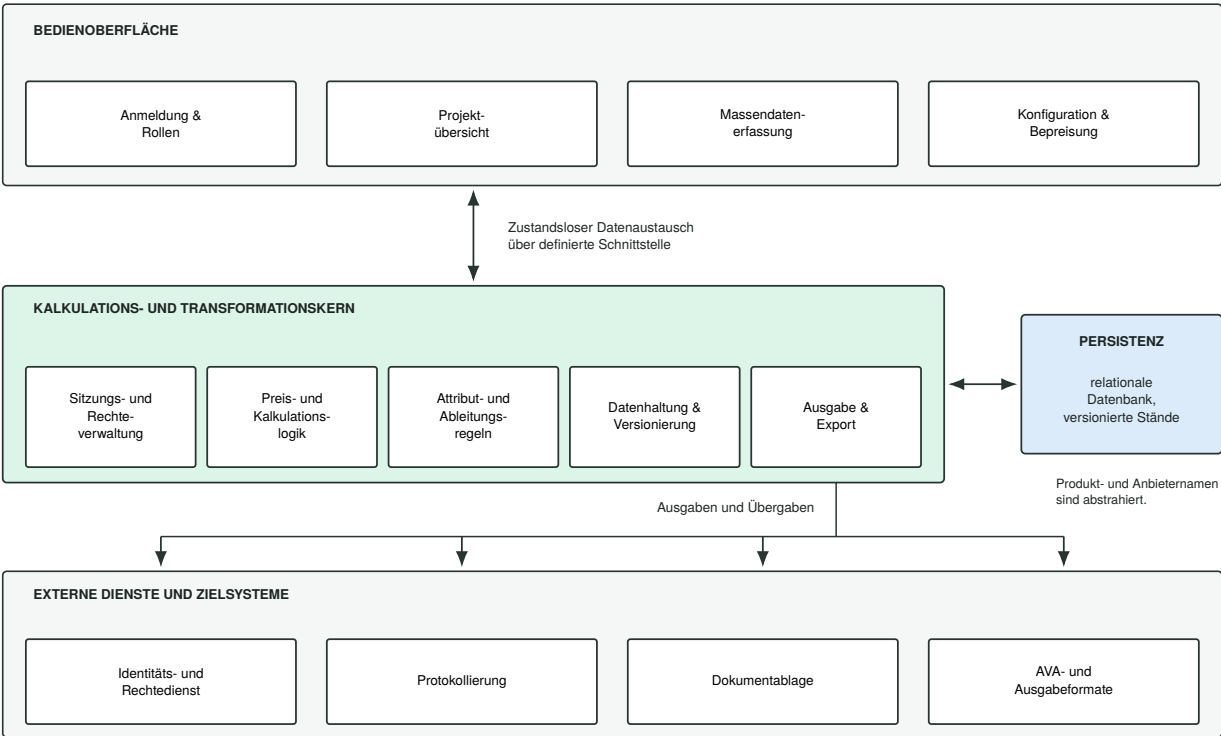


Abbildung 3. Anwendungs- und Persistenzschnitt: Bedienoberfläche und Kalkulations- sowie Transformationskern sind über eine definierte Schnittstelle getrennt; Datenhaltung, Versionierung und die Übergabe an externe Dienste und Zielsysteme sind eigenen Rollen zugeordnet.

ecosoftware-Funktionsbereich. Er bildet eine nachvollziehbare Kalkulations- und Konfigurationslogik ab, nicht jedoch eine global aktuelle oder unbeaufsichtigt ablaufende Gesamtkalkulation.

Der Funktionsumfang dieses Kerns wuchs in erkennbaren Stufen, die sich rückblickend unterscheiden lassen. Am Anfang standen die Basiskonfiguration der Sanierungsgebiete und die Aufnahme von Projektspezifika außerhalb des Standardportfolios. Darauf folgten regelgestützt ergänzte Massendaten mit sichtbar gekennzeichnete Herkunft und ein Abgleich von Bestands- und Planwerten. Anschließend kamen der Vergleich mehrerer Konfigurationen – in der praktischen Anwendung auf wenige, typischerweise bis zu drei Varianten begrenzt – sowie der Export in ausschreibungsfähige Strukturen hinzu, danach die Ableitung funktionaler Leistungsbeschreibungen und angebotsbezogener Ausgaben. Der zuletzt erreichte Stand umfasst die Kalkulation mehrerer Baukörper einer Liegenschaft in einer gemeinsamen Konfiguration, die gleichzeitige Bearbeitung durch mehrere Fachrollen sowie Prüfregeln, die auf fehlende Angaben und logische Widersprüche aktiv hinweisen.¹² Diese Stufung beschreibt den Funktionsaufbau, nicht eine unabhängig geprüfte Leistungsfähigkeit.

Die Projektverwaltung aus AP 3.2 bildete die Klammer um Konfigurationen und Kalkulationsstände. Projekte konnten mit stabilen Kennungen angelegt, bearbeitet, archiviert und mit Kunden-, Objekt- und Rolleninformationen verknüpft werden. Gespeicherte Konfigurationen, historische Preisstände, Dokumentverweise sowie rollenbasierte Zugriffsrechte unterstützten parallele Bearbeitung und nachvollziehbare Zustände. Eine Kanban- beziehungsweise Phasensicht

wurde prototypisch erprobt; Projektanlage, Bearbeitung, Archivierung und die Zuordnung von Konfigurationen gehörten dagegen zu den implementierten Kernfunktionen. Termin-, Dokument- und Gesamtprozesssteuerung verblieben teilweise in angebundenen Fachsystemen. AP 3.2 wurde daher nicht zu einem universellen Projektmanagementsystem ausgebaut.

AP 3.3 Prozessvisualisierung und -analyse begann damit, Prozess- und Datenflüsse zwischen Objekt- und Komponentendaten, Planung, Kalkulation und weiteren Anwendungen zu modellieren. Darauf aufbauend entstand ein Projekt-Dashboard-Prototyp für Status, Meilensteine und ausgewählte Projektinformationen. Dieser Prototyp wurde mit Projektmanagementrollen iterativ geprüft. Noch 2025 war eine mobile beziehungsweise browserbasierte App als ernsthafter Entwicklungsstrang vorgesehen. Der spätere Endstand darf deshalb nicht rückwirkend als fehlende App-Entwicklung beschrieben werden.¹³ Der zentrale App-Vollausbau wurde in der Abschlussphase nicht weitergeführt. Erhalten blieben eine mehrstufige Prozessdokumentation, definierte Projektmeilensteine, Statusdarstellungen und deren Verteilung auf geeignete Fachsysteme. AP 3.3 endete damit zweiseitig: Prozessmodelle und Dashboard-Prototyp wurden erprobt, Prozess- und Meilensteinlogik anschließend in der Fachsystemlandschaft weitergeführt. Abschnitt 4.2 trennt die technischen von den ressourcenbezogenen Ursachen dieser Refokussierung.

In AP 3.4 Berichterstellung konnten Kalkulationsvarianten und Kosten konsolidiert, verglichen und zunächst beispielsweise als CSV exportiert werden. Eine Marktanalyse führte zu einer funktionsbezogenen Make-or-Integrate-

¹² Weitergehende analytische Ausbaustufen, etwa datengetriebene Preis- oder Leistungsverzechnisanalysen, blieben Roadmap-Elemente. Sie sind nicht Gegenstand dieses Ergebnisberichts und werden hier nicht als Projektergebnis ausgewiesen.

¹³ Der Begriff App bezeichnete im Entwicklungsverlauf unterschiedliche Artefakte. Aussagen zum App-Status sind daher nur belastbar, wenn Oberflächenentwurf, Klickdummy, Dashboard, Frontend, Backend-Funktion und produktiver Einsatz getrennt werden.

Entscheidung: Die fachliche Zusammenstellung der Kalkulations- und Leistungsdaten blieb im ecosoft-Kern, während reine Dokumentausgabe bei Bedarf durch spezialisierte Werkzeuge ergänzt werden konnte. Bestehende Exportfunktionen wurden für FLB-nahe Ableitungen und einen pauschalen Angebotsbericht wiederverwendet. Der geplante Umfang allgemeiner Kunden-, PDF- oder Präsentationsberichte wurde nicht vollständig umgesetzt. GAEB-, FLB- und Angebotsausgaben blieben an Vorkonfiguration, Prüfung und Freigabe gebunden.¹⁴

Der Dashboard-Strang AP 3.5 begann mit klickbaren Ansichten für interne und externe Nutzer und wurde 2025 in Dashboard-Prototypen für Projektmanagement und Vertrieb weitergeführt. Nach der Refokussierung des App-Ziels verschob sich die Arbeit auf interne BI- und Validierungsauswertungen. Ausgewählte Mengen-, Kosten-, Status- und Prozessdaten konnten dadurch für Steuerung und Plausibilisierung konsolidiert werden. Die tragfähige Ergebnisfunktion war eine interne analytische Sicht, nicht der vollständige Ausbau eines Kundendashboards. Prozessbezogene Auswertungen und Validierungssichten entstanden dabei ausdrücklich; ob sie im engeren Sinne der Process-Mining-Literatur als Rekonstruktion aus strukturierten Event Logs einzuordnen sind, wird hier nicht behauptet, solange solche Logs und ein entsprechendes Analyseverfahren nicht offengelegt sind. AP 3 verband damit die bis dahin getrennten Datenstränge in konkreten Arbeitsabläufen. Gerade dadurch wurden die Systemgrenzen sichtbar: Projektstatus, BIM-Geometrien, Vergabeinformationen, Dokumente und Qualitätsbefunde ließen sich nicht sinnvoll allein im Kalkulationskern führen. Aus einem Funktionsprojekt wurde zunehmend ein Integrationsprojekt.

3.4. Datenströme, Qualität und Vernetzung (AP 4)

AP 4 verschob den Blick von einzelnen Modulen auf die Entstehung, Veränderung und Weitergabe von Daten zwischen Projektphasen und Fachsystemen. Im Ausgangsbild sollte ecosoft diese Kette möglichst weitgehend verbinden. Mit wachsender Modulreife wurde jedoch sichtbar, dass nicht nur technische Konnektivität, sondern auch Datenqualität, fachliche Bedeutung und Pflegeverantwortung gestaltet werden mussten. Diese Unterscheidung entspricht der Interoperabilitätsliteratur: Eine Schnittstelle kann Daten transportieren, ohne die Bedeutung der übertragenen Objekte, Attribute oder Status hinreichend zu sichern (Grilo und Jardim-Gonçalves, 2010; Pauwels et al., 2017).

AP 4.1 Schnittstellen- und Datenstromanalyse modellierte zunächst Anwendungen, Projektphasen sowie Input- und Outputdaten. Die Analyse hielt fest, wo Projekt-, Objekt-, Kalkulations-, Planungs- und Prozessinformationen erzeugt, verändert, gespeichert oder weitergegeben wurden. Daraus ließen sich nicht nur technische Schnittstellen, sondern auch Prüfbedarfe ableiten. Ein Datenfluss galt nicht allein dann als bearbeitet, wenn ein Format übertragen werden konnte; ebenso relevant war, ob Identität, Kontext und Qualitätszustand des Datums für den nächsten Arbeitsschritt erkennbar blieben. Aus dieser Analyse entstanden konkrete F&E-Artefakte. Ein QC-Monitor und eine dedizierte BIM-QC-Datenstruktur sammelten ausgewählte Modell- und Qualitätsbefunde. Ein spezialisiertes Wandöffnungsrepository erprobte die wiederverwendbare Ablage eines wiederkehrenden Koordinationsgegenstands; seine Eingangsdaten stammten aus dem Scan-to-BIM-Prozess der Bestandserfassung. Ein Ticket-Prototyp untersuchte, wie technische Abweichungen in bearbeitbare Aufgaben überführt werden können. In der weiteren Entwicklung wurden Kernattribute und ein semantisches Zwischenmodell ergänzt, um räumlich und fachlich reichhaltige BIM-QC-Befunde einer flacheren Ticket- und Prozessstruktur zuzuordnen. Der Ergebnisstatus ist gemischt: Datenstrukturen und QC-Funktionen wurden implementiert, einzelne Transformationspfade als Prototypen erprobt. Fehlerklassen, Automationsgrad und externe Validierung blieben begrenzt dokumentiert; fachliche Prüfung war weiterhin erforderlich.

In AP 4.2 Vernetzung interner und proprietärer Software verband ein früher, mit einem Workflow-Automationswerkzeug aufgebauter Prototyp ausgewählte Anwendungen und konnte beispielsweise eine Projektanlage oder Datenüber-

gabe aus einem vorgelagerten System anstoßen.¹⁵ Damit war die technische Machbarkeit eines begrenzten Ablaufs gezeigt. Der Prototyp belegte weder die Skalierbarkeit auf alle Prozesse noch eine permanente Gleichschaltung der beteiligten Datenbestände. Die spätere Vernetzung umfasste Datenpipelines, definierte Triggerpunkte sowie Projekt-, Status-, Preis-, Angebots-, BIM- und Qualitätsinformationen. Projektanlage und Statuswechsel, Preisimporte, exportierbare Angebotskalkulationen und Qualitätstickets bildeten unterschiedliche Übergabearten. Datenbank- und Konfigurationsversionen mussten dabei erhalten bleiben, damit Preis- und Leistungsänderungen gegen bestehende Kalkulationsstände verglichen werden konnten. Rückmeldungen aus AVA- und Marktkontexten flossen als Pflege- und Plausibilisierungsdaten zurück, nicht als selbstlernender Regelkreis. Ein belegter Nebenertrag dieser Pipelines war die Prüfung der informationstechnischen Widerspruchsfreiheit automatisiert erzeugter Systemkalkulationen: Abweichungen zwischen Konfigurations-, Mengen- und Preisständen wurden dadurch maschinell auffindbar statt nur Stichprobenhaft. Eine unabhängige externe Prüfung dieses Prüfschritts liegt nicht vor. Mit jedem weiteren Datenfluss gewann daher eine andere Frage an Gewicht: Welches System pflegt eine Information fachlich führend, welche Transformation nimmt ecosoft vor, wann wird die Übergabe ausgelöst und wo verbleibt die Freigabe? Standardisierte Programmierschnittstellen lösten den syntaktischen Transport, aber nicht automatisch dieses fachliche Kontext-Matching. Preise, Leistungspositionen und Kalkulationsregeln besitzen eine andere fachliche Heimat als BIM-Geometrien, Kundeninformationen, Projektstatus oder Qualitätsbefunde. Aus dieser Einsicht entwickelte sich die Integrate-Strategie: ecosoft konzentrierte sich auf Kalkulation, Konfiguration und Transformationslücken, während spezialisierte Systeme ihre operativen Fachaufgaben behielten. Am Ende stand deshalb kein einheitlicher Produktstatus. AP 1 lieferte integrierte Grundlagen, MVPs und produktiv genutzte Objektfunktionen; AP 2 eine tragfähige Komponenten- und Preisbasis sowie einen lokal funktionierenden, später refokussierten Regel-PoC. Aus AP 3 ging der produktiv genutzte Kalkulationskern hervor, während App-, Reporting- und Dashboardziele unterschiedlich weit umgesetzt wurden. AP 4 überführte die Datenstromanalyse in konkrete QC-, Mapping- und Integrationsartefakte. Die folgende Analyse setzt genau an diesen unterschiedlichen Endpunkten an.

4. Herausforderungen und nicht weiterverfolgte Entwicklungsansätze

Die in Kapitel 3 beschriebenen Artefakte erreichten bewusst nicht denselben Endpunkt. Einige wurden zum operativen Kern, andere blieben MVP oder PoC, wieder andere wurden nach der Erprobung refokussiert. Diese Unterschiede sind keine nachträglichen Abweichungen von einem idealen Produktbild, sondern technische F&E-Ergebnisse. Dieses Kapitel benennt sie deshalb ausdrücklich als Herausforderung, beobachtetes Problem und daraus abgeleiteten Lösungsansatz. Für die Architekturentscheidung waren vier solcher Ketten ausschlaggebend: die Skalierungsgrenze der Logikdatenbank in AP 2.3, der Fach- und Pflegebedarf des Kunden- und App-Ziels aus AP 2.2, AP 3.3 und AP 3.5, die semantische Integrationsgrenze aus AP 4.1 und AP 4.2 sowie die daraus folgenden Feature-Freezes in AP 1 und AP 3. Tabelle 3 stellt für jede Kette die Ausgangshypothese, das beobachtete Problem, den gewählten Lösungsansatz und die daraus folgende F&E-Erkenntnis gegenüber; die Abschnitte 4.1 bis 4.4 begründen sie anhand des Projektverlaufs.

4.1. Grenzen zentraler Regel- und Datenlogik

AP 2.3 verfolgte die Hypothese, Varianten-, Kalkulations- und Konfigurationswissen in einer zentralen Logikdatenbank formal zu bündeln. Grafische Logikbäume und eine domänenspezifische Formelsprache sollten Default-Werte, Planwertformeln, Auswahlbedingungen und Abhängigkeiten zwischen Objektmerkmalen, Komponenten und Leistungspositionen nachvollziehbar machen. Diese Zielsetzung ergänzte die Quick Configuration aus AP 1.3 und den Kalkulationsablauf aus AP 3.1: Wiederkehrende Regeln sollten nicht in einzelnen Tabellen oder Projektkopien verbleiben, sondern als pflegbare Grundlage für mehr-

¹⁴ Die erzeugten Strukturen unterstützten Ausgabe und Dokumentation. Eine vollständige Synchronität aller Positionen, Texte und Freigaben oder eine durchgehend unbeaufsichtigte Erzeugung wird nicht behauptet.

¹⁵ Der Prototyp demonstrierte einen konkreten systemübergreifenden Datenfluss. Er reduzierte manuelle Übertragungen, beseitigte aber weder alle manuellen Schritte noch sämtliche Fehler- und Freigabepunkte.

Tabelle 3. Herausforderungen, beobachtete Probleme und Lösungsansätze der vier refokussierten Entwicklungsannahmen.

Herausforderung (AP)	Ausgangshypothese	Beobachtetes Problem	Lösungsansatz	F&E-Erkenntnis
AP 2.3: zentrale Regellogik	Variantenwissen kann in einem Regelkern umfassend gebündelt werden.	Der Loggien-PoC funktionierte lokal; Ausnahme- und Pflegekomplexität stiegen im breiteren Kontext.	Kernlogik begrenzen, Projektspezifika und Fachlogiken kapseln.	Lokale Regelbarkeit belegt keine systemweite Skalierbarkeit.
AP 2.2, 3.3, 3.5: Selbstkonfiguration und App	Eine gemeinsame Oberfläche bündelt Konfiguration, Prozess und Kommunikation.	Fachwissen, Datenqualität, Preisstrategie und Freigaben blieben rollenabhängig.	Portalvollausbau refokussieren; interne Kern- und Analysefunktionen erhalten.	Zentrale UI ersetzt weder Fachverantwortung noch Integrationsarchitektur.
AP 4.1, 4.2: API-basierte Vernetzung	Technische Schnittstellen verbinden die Fachsysteme hinreichend.	Daten wurden transportiert, aber nicht automatisch fachlich zugeordnet.	Mapping, Trigger, Datenhoheit und Prüfpunkte als eigene Aufgaben behandeln.	Semantische Integration ist ein eigenständiges F&E-Ergebnis.
AP 1 und 3: Funktionsausbau	Zusätzliche Portfolio-, Portal- und Berichtsfunktionen verbreitern den Produktnutzen.	Reifegrad und Domänenbeitrag blieben je Strang unterschiedlich.	MVPs einfrieren und Aufwand auf Kalkulationskern, Qualität und Integration konzentrieren.	Feature-Freeze ist eine begründete Ergebnisentscheidung, kein fehlender Projektabschluss.

rere Konfigurationen zur Verfügung stehen.¹⁶ Der Loggien-Proof-of-Concept zeigte, dass dieser Ansatz für einen eingegrenzten Konfigurationsfall technisch tragfähig war. Variantenwissen ließ sich in Regeln überführen, Eingaben konnten mit Auswahlbedingungen verknüpft und die resultierende Entscheidung an eine Kalkulationsstruktur angeschlossen werden. Der PoC erreichte sein lokales Demonstrationsziel. Mehr belegte er nicht.¹⁷ Die Grenze trat bei der Übertragung auf variantenreichere Bestands- und BIM-Kontexte hervor. Zusätzliche Gebäudeeigenschaften, uneinheitliche Modellqualitäten, abweichende Mengengrundlagen, Sonderbauteile und projektspezifische Preis- oder Förderbedingungen vergrößerten nicht nur die Zahl der Regeln. Sie erhöhten vor allem deren Kopplung: Eine Änderung an Default-Werten konnte Mengen, Komponentenwahl und Leistungspositionen zugleich beeinflussen; lokale Ausnahmen mussten gegen allgemeine Regeln priorisiert und anschließend erneut fachlich geprüft werden. Klassifikationen regelbasierter Prüfansätze beschreiben eine vergleichbare Zunahme von Verarbeitung- und Pflegeaufwand mit steigender Regelklasse (Solihin und Eastman, 2015). Literatur zur regelbasierten BIM-Prüfung beschreibt eine vergleichbare Abhängigkeit von interpretierbaren Modelldaten, klaren Prüfbedingungen und beherrschbaren Ausnahmerräumen (Eastman et al., 2009; Lee, J.-K. et al., 2015; Lee, Y.-C. et al., 2016). Die Folgerung war deshalb keine Aufgabe regelgestützter Kalkulation. Die in AP 1.3 und AP 3.1 eingesetzten Kernformeln, Mengenbezüge und Basisschemata blieben tragfähig. Refokussiert wurde vielmehr der Anspruch, sämtliche Varianten- und Sonderfalllogik in einer universellen zentralen Regelbasis zu pflegen. Wiederkehrende Kernlogik verblieb im ecosoft-Kontext; projektspezifische Bedingungen wurden enger als Projektspezifika oder fachlich gekapselte Sonderfälle behandelt und blieben bei Bedarf prüfpflichtig. AP 2.3 ist damit zugleich ein funktionierender PoC und ein negatives Skalierungsergebnis: Lokale technische Machbarkeit erwies sich nicht automatisch als Beleg für systemweite Wartbarkeit.

4.2. Grenzen der zentralisierten App- und End-to-End-Vorstellung

Eine zweite Kausalkette verband die kundenbediente Detailkonfiguration aus AP 2.2 mit Prozessvisualisierung und Dashboards aus AP 3.3 und AP 3.5. Das ursprüngliche End-to-End-Zielbild sah vor, Konfiguration, Kalkulation, Projektstatus, Dokumente und Reporting in einer gemeinsamen Anwendung sichtbar und teilweise durch externe Rollen bedienbar zu machen. Dieser Strang blieb auch in einer späteren Projektphase ein ernsthaftes Entwicklungsziel: Prozess- und Datenflüsse wurden modelliert, klickbare Oberflächen entworfen und ein Dashboard-Prototyp mit Projektmanagementrollen erprobt. Der in Fußnote 13 definierte App-Begriff ist deshalb für die Einordnung wesentlich; der spätere Endstand darf nicht rückwirkend als fehlende App-Entwicklung beschrieben werden. Die Artefakte erreichten jedoch unterschiedliche Reifegrade. Prozessmodelle und die Dashboard-Erprobung aus AP 3.3 blieben prototypisch und wurden später in eine mehrstufige Prozessdokumentation, Projektmeilensteine und Statusdarstellungen in geeigneten Fachsystemen überführt. AP 3.5 entwickelte sich

¹⁶ Zentralisierung bezeichnet hier die funktionale Bündelung von Daten-, Regel-, Oberflächen- oder Orchestrierungsverantwortung. Sie ist nicht mit einem gemeinsam deployten Code-Monolithen gleichzusetzen; die technische Umsetzung wurde bereits früh modular und hexagonal beschrieben. Die projektbegleitenden Zwischenberichte bezeichnen diese funktionale Bündelung als *monolithischen Ansatz*; gemeint ist dort die Konzentration von Daten-, Regel- und Oberflächenverantwortung in einem System, nicht die Deployment-Form des Quellcodes.

¹⁷ Der Proof of Concept belegt die lokale Modellierbarkeit des Anwendungsfalls. Er belegt weder eine allgemeine Optimierungslogik noch die Skalierbarkeit, Wartbarkeit oder Wirtschaftlichkeit einer zentralen Regelbasis für weitere Gebäudekontexte.

von Mock-ups und internen Dashboard-Prototypen zu produktiv genutzten BI- und Validierungsauswertungen für ausgewählte Projekt-, Mengen-, Kosten- und Prozessdaten. Parallel wurde in AP 2.2 die kundenbediente Detailkonfiguration und Bemusterung nicht weiterverfolgt. Die intern tragfähigen Kalkulations-, Projekt- und Berichtsfunktionen aus AP 3.1, AP 3.2 und AP 3.4 blieben davon unberührt. Der technische Grund lag im Fach- und Pflegebedarf einer externen Bedienung. Varianten und Rohpreise sind nicht selbsterklärend; ihre Verwendung hängt von Gebäudezustand, Leistungsgrenzen, Kalkulationsannahmen, Preisvertraulichkeit und vertraglicher Freigabe ab. Eine zentrale Oberfläche hätte diese Abhängigkeiten zwar darstellen können, aber weder die Qualität der Eingaben noch die fachliche Verantwortung automatisch gesichert. Entsprechendes galt für Dokumentenmanagement, allgemeine Projektkommunikation sowie Asset- und Portfoliofunktionen, wenn spezialisierte Systeme bereits geeignete Pflege- und Prozessrollen besaßen. Die Oberfläche blieb damit ein wichtiges Artefakt, war aber nicht die Integrationsarchitektur. Der externe App- und Portalvollausbau wurde daher refokussiert, während interne Backend-, Kalkulations- und Analysefunktionen weitergenutzt wurden. Ressourcenknappheit beeinflusste Zeitpunkt und Umfang dieser Priorisierung, erklärt die technische Entscheidung aber nicht allein.¹⁸ Die eigenständige Projekterkenntnis lautet: Eine zentrale Benutzeroberfläche ersetzt weder domänenspezifische Datenhoheit noch fachliche Freigaben und semantische Integration. Der verbleibende ecosoft-Beitrag lag dort, wo Kalkulation, Konfiguration, Leistungspositionenbezug und fachliche Transformation tatsächlich gemeinsam benötigt wurden.

4.3. API-Integration, Datenhoheit und semantische Übersetzung

AP 4.1 begann mit der systematischen Frage, welche Anwendungen in welcher Projektphase Daten erzeugen, verändern, speichern oder weitergeben. Die Analyse umfasste Projekt- und Objektinformationen, BIM-/CAD-Daten, Kalkulations- und Preisdaten, Angebotsausgaben, Statusinformationen sowie Qualitätsbefunde. Ein früher Workflow-Prototyp in AP 4.2 demonstrierte dazu einen begrenzten systemübergreifenden Ablauf, beispielsweise die Anlage oder Weitergabe von Projektinformationen nach einem definierten Auslöser. Technische API-Aufrufe konnten also manuelle Übertragungen reduzieren. Der Prototyp belegte jedoch weder die Skalierbarkeit auf alle Projektprozesse noch eine permanente Gleichschaltung der beteiligten Datenbestände. Für jeden Datenstrom blieben Identität, Zustand, fachlicher Kontext, Qualitätsstatus und Pflegeverantwortung zu klären. Mit zunehmender Zahl der Übergaben verschob sich das Problem vom syntaktischen Transport zur fachlichen Bedeutungszuordnung. Diese Grenze zeigte sich an konkreten Datenobjekten. BIM-Geometrien und Qualitätsbefunde mussten für Kalkulation oder Bearbeitung in Mengen, Komponenten, Abweichungsklassen oder Tickets übersetzt werden. GAEB-nahe Leistungspositionen besaßen eine andere Struktur als Varianten und Komponenten in einer Konfiguration. Kunden- und Projektinformationen trugen Rollen- und Statusbedeutungen, die nicht ohne weiteres in technische Modellobjekte übergingen. Standardisierte Schnittstellen konnten solche Informationen transportieren; ob Quell- und Zielsystem denselben fachlichen Sachverhalt bezeichneten, blieb eine Mapping- und Prüfaufgabe. Dies entspricht der in der AEC-Literatur beschriebenen Trennung zwischen technischer Interoperabilität und semantischer Anschlussfähigkeit (Grilo und Jardim-Gonçalves, 2010; Pauwels et al., 2017; Bloch, 2022). AP 4.1 überführte

¹⁸ Ein paralleler Rückgang der Entwicklungskapazität erhöhte den Priorisierungsdruck. Personen-, Stunden- und Budgetangaben werden nicht veröffentlicht; der Kapazitätsfaktor wird zudem nicht als technische Ursache des Architekturwechsels verwendet.

diese Erkenntnis in erste Qualitäts- und Transformationsartefakte: QC-Monitor und BIM-QC-Datenstruktur dienten der Sammlung ausgewählter Befunde; ein Wandöffnungsrepository erprobte die wiederverwendbare Ablage eines wiederkehrenden Koordinationsgegenstands; ein Ticket-Prototyp untersuchte die Überführung technischer Abweichungen in bearbeitbare Prozessaufgaben. Kernattribute und ein semantisches Zwischenmodell sollten den räumlichen und fachlichen Kontext zwischen Modellbefund und Ticketstruktur erhalten. Diese Artefakte waren teils implementierte Kernfunktion, teils PoC; Fehlerklassen, Automatisierungsgrad und externe Validierung blieben begrenzt dokumentiert. Für AP 4.2 folgte daraus eine Integrationsentscheidung. Nicht jede Information sollte in ecosoft entstehen oder dort operativ führend sein. Kalkulationsregeln, Preise und Leistungspositionen besitzen eine andere fachliche Heimat als BIM-Geometrien, Kundeninformationen, Dokumente, Projektstatus oder Qualitätstickets. BI kann ausgewählte Daten analytisch konsolidieren, ohne die operative Pflege der Fachsysteme zu übernehmen.¹⁹ Die Vernetzung wurde deshalb auf definierte Datenpipelines, Triggerpunkte, Status- und Preisübergaben, Mapping-Regeln sowie manuelle Prüf- und Freigabepunkte ausgerichtet. Human-in-the-loop war dabei kein Restfehler einer unvollständigen Automatisierung, sondern Teil der Qualitätssicherung bei unsicheren Bestandsdaten und rechtlich relevanten Kalkulations- und Angebotsinformationen.

4.4. Scope-Bereinigung und Architekturentscheidung

Die vier Kausalketten führten zu einer gemeinsamen Scope-Bereinigung. AP 1.2 und AP 1.3 wurden nach nutzbaren MVP- beziehungsweise Kernfunktionsständen eingefroren, anstatt Portfolio-, Fenster-, Wandflächen- oder Kundenpräferenzfunktionen unbegrenzt auszubauen. AP 2.2 behielt Preis-, Leistungs- und Ausgabezusammenhänge, während die externe Selbstkonfiguration entfiel. AP 3.3 und AP 3.5 trennten Prozessdokumentation und interne Analyse vom nicht weitergeführten Portalvollausbau. AP 4.1 und AP 4.2 übernahmen den wachsenden Integrations-, Mapping- und Qualitätsschwerpunkt. Nicht mehr Funktionsbreite, sondern ein klarerer Systemzuschnitt wurde zum Entwicklungsziel. Die Statusdifferenzierung ist für die Bewertung entscheidend. Lokal funktionierten insbesondere der Loggien-PoC aus AP 2.3 und einzelne Transformations- und Workflow-Prototypen aus AP 4. Als MVPs trugen Portfolioanalyse, Quick Configuration und Objektdatenbank einen begrenzten, nutzbaren Funktionsumfang. Produktiv genutzt oder als klar abgegrenzte Kernfunktion implementiert wurden vor allem Komponenten- und Preisbasis, Kalkulator, Projekt- und Konfigurationsstände, Angebots- und Exportfunktionen sowie interne BI-Auswertungen. Nicht weiterverfolgt wurden dagegen der universelle zentrale Regelanspruch, die kundenbediente Detailkonfiguration und der externe App-/Portalvollausbau. Diese Kategorien dürfen nicht zu einer einheitlichen Erfolgsaussage zusammengezogen werden.

ecosoft wurde durch diese Entscheidungen nicht aufgegeben, sondern fachlich enger bestimmt. Der stabilste Projektbeitrag aus AP 3.1 blieb der Kalkulations- und Konfigurationskern; AP 1 und AP 2 stellten Objekt-, Mengen-, Komponenten-, Leistungs- und Preisgrundlagen bereit. AP 4 ergänzte die Fähigkeit, ausgewählte Informationen zwischen Fachsystemen zu übertragen, semantisch zuzuordnen und qualitativ zu prüfen. Funktionen ohne spezifischen kalkulatorischen oder transformatorischen Mehrwert konnten in spezialisierten Systemen verbleiben.²⁰ Ressourcenfaktoren beschleunigten die Priorisierung, werden aber erst nach dieser technischen Bewertung herangezogen. Die Richtung der Refokussierung folgt aus den beobachteten Grenzen selbst: zentrale Regeln wurden bei wachsender Variantenbreite schwer wartbar, externe Bedienung verlangte dauerhaft fachliche Kontrolle, und API-Verbindungen sicherten keine semantische Gleichheit. Damit ist die Integrationsentscheidung nicht bloß eine Reaktion auf verringerte Kapazität, sondern das Ergebnis der in AP 2 bis AP 4 gewonnenen Erkenntnisse. Aus dieser Entscheidung folgen die in Kapitel 5 beschriebenen Artefakte und Systemrollen. Datenmodell, Qualitätskontrolle, spezielle Repositories, Mapping, Versionierung und kontrollierte Datenflüsse sind keine nachträglich entworfene Zielarchitektur. Sie beantworten konkrete Grenzen des Projektverlaufs: ecosoft sollte den Kalkulationskern tragen und jene Lücken schließen, an denen Objekt-,

Modell-, Preis-, Leistungs- und Prozessinformationen fachlich verbunden werden müssen, ohne dafür jede Fachaufgabe selbst zu übernehmen.

5. Ergebnisarchitektur und technische F&E-Ergebnisse

Der Entwicklungsweg endete nicht in einer universellen End-to-End-Anwendung. Sein Ergebnis ist ein Verbund unterschiedlich reifer Artefakte: ein Kalkulations-, Konfigurations- und Transformationskern, umgeben von Qualitäts-, Mapping- und Integrationsfunktionen. Dieses Kapitel beschreibt den Verbund vom Ergebnisbestand bis zu seinen Validierungsgrenzen.

5.1. Ergebnisinventur und Reifegrade

Tabelle 4 ordnet die zentralen Artefakte nach Arbeitspaket, Reifegrad, Funktion und verbleibender Grenze. AP 1 und AP 2 lieferten die Objekt-, Mengen-, Komponenten-, Leistungs-, Preis- und Regelgrundlagen; AP 3 machte sie in Kalkulation, Projektkontext, Ausgaben und analytischen Sichten nutzbar. AP 4 ergänzte Qualitätskontrolle, semantische Zuordnung und definierte Systemübergaben. Die Architektur ist damit weder ein einzelnes Softwaremodul noch ein einheitlich reifes Produkt.

Die Abhängigkeiten sind wichtiger als die Zahl der Artefakte. Der Kalkulator aus AP 3.1 benötigt die Objekt- und Mengengrundlagen aus AP 1 sowie die Komponenten-, Leistungs- und Preisbasis aus AP 2. Ausgaben aus AP 3.4 und Analysen aus AP 3.5 besitzen ohne diese Datenstände keine belastbare Referenz. AP 4 erweitert den Kern nicht um beliebige Funktionen, sondern verbindet ihn kontrolliert mit Modell-, Prozess-, Vergabe- und Qualitätskontexten. Die Ergebnisarchitektur entstand somit aus dem Projektverlauf, nicht aus einer nachträglich gesetzten Idealform.

5.2. Föderierte Ergebnisarchitektur und Systemrollen

Die in Abschnitt 4.4 begründete Architektur verteilt fachliche Pflege, Kalkulation, Transformation und Analyse auf unterschiedliche Rollen. ecosoft bildet darin einen datenbankgestützten Kalkulations-, Konfigurations- und Transformationskern mit Integrationsfunktion. Projekt- und Konfigurationsfunktionen aus AP 3.1 und AP 3.2 stellen seinen Arbeitskontext bereit; Modellinformationen werden über die in AP 4.1 untersuchten Datenobjekte und Prüfbedarfe angeschlossen. Vergabe- und Marktpreiserückmeldungen aus AP 2.2 und AP 3.4 fließen in Pflege- und Plausibilisierungsprozesse ein. AP 3.5 konsolidiert ausgewählte Daten analytisch, während AP 4.2 die systemübergreifenden Übergaben und Triggerpunkte strukturiert. Auf diese Weise macht ecosoft frühe Gebäude- und Varianteninformationen kalkulatorisch nutzbar, verbindet Leistungspositionen mit Preisen und bereitet ausgewählte Ausgaben für Ausschreibung, Angebot und Qualitätssicherung vor. Operative Fachprozesse verbleiben dort, wo ihre Daten entstehen und fachlich verantwortet werden. Es gilt die Zentralisierungsabgrenzung aus Fußnote 16; eine bestimmte verteilte Softwarearchitektur wird nicht behauptet. Die Systemrollen werden bewusst generisch benannt. Ein CRM-nahes System stellt Kunden-, Projekt- und Initialkontexte bereit. BIM-/CAD-nahe Werkzeuge liefern geometrische und bautechnische Informationen. Ein AVA-nahes System führt Ausschreibung, Vergabe und Marktpreiserückmeldungen. Projekt-, Ticket- und Qualitätswerkzeuge strukturieren operative Aufgaben, Abweichungen und Bearbeitungsstände. BI- und Reporting-Werkzeuge konsolidieren ausgewählte Daten analytisch. ecosoft liegt zwischen diesen Rollen nicht als universelle Datenhoheit, sondern als domänenspezifischer Kern für Kalkulation, Konfiguration, Mapping und prüfpflichtige Ableitungen. Welche Datendomäne dabei in welcher Systemrolle führend gepflegt wird und an welcher Stelle die Qualitätsprüfung ansetzt, zeigt Abbildung 4: Die Validierung findet im jeweiligen Quellsystem statt, nicht nachgelagert in einem gemeinsamen Datentopf.²¹ Analytische Prozesssicht und operative Datenpflege sind ebenfalls zu trennen.²² Dashboards können ausgewählte Zustände und Kennzahlen zusammenführen, ohne selbst die operative Quelle der dargestellten Daten zu werden.

²¹ Datenhoheit bezeichnet die fachlich führende Pflege je Datendomäne. Kundenstammdaten, Geometrien, Preise, Leistungspositionen, Qualitätsbefunde und Projektstatus müssen daher nicht in demselben System führend sein.

²² Process Mining rekonstruiert Abläufe aus strukturierten Event Logs und ist nicht mit allgemeinen BI-Dashboards gleichzusetzen (Pan und Zhang, 2021). Für ecosoft werden deshalb nur die jeweils belegten BI-, Monitoring- oder Prozessdatenfunktionen benannt.

¹⁹ BI wird hier als analytische Konsolidierung ausgewählter Daten verstanden. Es ist weder die operative Quelle jeder Datendomäne noch eine universelle Single Source of Truth.

²⁰ Scope-Bereinigung bedeutet hier Refokussierung, nicht Totalabbruch: Kalkulation, Projektspezifika, GAEB-/FLB-nahe Ausgaben, Status- und Versionierungslogik sowie Qualitäts- und Schnittstellenthemen blieben Teil des technischen Kerns.

Tabelle 4. AP-bezogene Inventur der zentralen Ergebnisartefakte.

Ergebnisartefakt	AP	Reifegrad	Funktion	Belegte Stärke	Verbleibende Grenze
Objektdaten und Quick Configuration	1.3, 1.4, 3.1	MVP / Kernfunktion	Bestands- und Planwerte in frühe Mengen- und Kostenstrukturen überführen.	Nutzbarer Einstieg aus reduziertem, prüfbarem Input.	Vergleichsmethodik und universeller Mindestattributsatz sind nicht belegt.
Komponenten-, Leistungs- und Preisbasis	2.1, 2.2	produktiv / Kernfunktion	Komponenten, Varianten, Positionen, Preise und Langtexte versionierbar verbinden.	Wiederverwendbare Grundlage für Kalkulation und Ausgaben.	Semantische Langtext- und Zuordnungslogik bleibt justierungsbedürftig.
Kalkulator, Konfiguration und Angebot	3.1	produktiv / Kernfunktion	Varianten, Datenstände, Preise, Zuschläge und Angebotszustände gemeinsam bearbeiten.	Stabiler ecosoft-Funktionsbereich und Ablösung der Tabellenkalkulation.	Keine unbeaufsichtigte Gesamtkalkulation oder globale Synchronität.
Projekt-, Status- und Versionsfunktionen	3.1, 3.2	Kernfunktion	Projekte, Konfigurationen, Rechte, Status und historische Preisstände zuordnen.	Nachvollziehbare Projekt- und Kalkulationszustände.	Operatives Gesamtprojektmanagement bleibt auf Fachsysteme verteilt.
GAEB-/FLB-nahe Ausgaben und Berichte	2.2, 3.4	Kernfunktion	Kalkulationsdaten in strukturierte Leistungs- und Angebotsausgaben überführen.	Wiederverwendung vorhandener Konfigurations- und Exportdaten.	Vorkonfiguration, fachliche Prüfung und Freigabe bleiben erforderlich.
BI- und Validierungsauswertungen	3.5	produktiv / refokussiert	Ausgewählte Mengen-, Kosten-, Status- und Prozessdaten analytisch konsolidieren.	Interne Projekt- und Validierungssicht.	Kein vollständiges Kundenportal; keine im Sinne der Process-Mining-Literatur dokumentierte Event-Log-Analyse.
QC-Monitor, BIM-QC-Datenstruktur und Repository	4.1	Kernfunktion / PoC	Qualitätsbefunde sammeln, zuordnen und wiederkehrende Koordinationsdaten ablegen.	Konkrete Qualitäts- und Repository-Artefakte.	Fehlerklassen, Attribute, Prüfmetriken und externer Nachweis bleiben offen.
Mapping- und Ticket-Transformation	4.1, 4.2	PoC / Kernfunktion	Modell-, Kalkulations- und Qualitätsobjekte in bearbeitbare Prozesskontexte übersetzen.	Bedeutungswechsel werden explizit und prüfbar.	Formalisierungsgrad und Validierung je Transformationspfad sind begrenzt dokumentiert.
Datenpipelines und Triggerpunkte	4.2	refokussiert / Kernfunktion	Projekt-, Status-, Preis-, Angebots-, BIM- und QC-Informationen definiert übergeben.	Abgegrenzte systemübergreifende Datenflüsse.	Richtung, Latenz, Fehlerbehandlung und Produktivstatus sind je Schnittstelle zu prüfen.

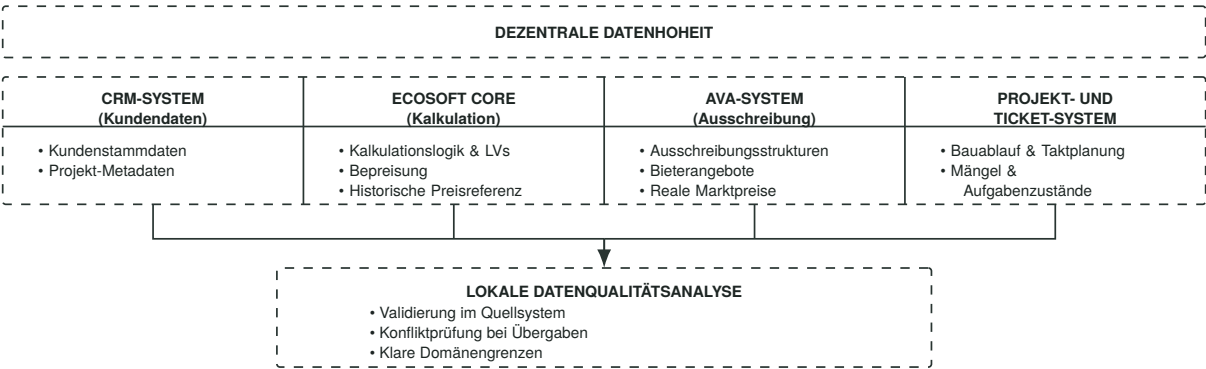


Abbildung 4. Datenhoheit in dezentralen Systemrollen und lokale Datenqualitätsanalyse als Integrationsprinzip.

5.3. Datenmodell, Repositories und Qualitätskontrolle

Ein wesentliches Ergebnis des Vorhabens ist die Implementierung einer dedizierten, fachlich zugeschnittenen Datenbankstruktur. Sie ist keine allgemeine Projektdatenbank, sondern auf Kalkulation, Konfiguration und Transformation ausgelegt und verbindet dazu Ergebnisse aus AP 1.4, AP 2.1, AP 2.2, AP 3.1 und AP 4.1. Im Zentrum stehen Projekt, Gebäude, Bauteil, Komponente, Variante, Leistung, Preis und Qualitätsabweichung. Ein Projekt bildet den kaufmännischen und organisatorischen Rahmen und bindet Konfigurationen an einen nachvollziehbaren Zustand. Gebäude und Baukörper liefern die physische Bezugsstruktur; Bestands- und Planwerte bleiben unterscheidbar. Komponenten beschreiben standardisierte oder projektspezifische Sanierungslösungen. Varianten bündeln Leistungspositionen und fachliche Auswahlbedingungen. Preise verknüpfen Leistungen mit Kalkulationsannahmen und späteren Vergleichswerten. Qualitätsabweichungen verbinden Modell-, Bau- oder Prozessbefunde mit bearbeitbaren Aufgaben. Den Kern dieser Datenbankstruktur bilden die Komponentendatenbank aus AP 2.1 und die integrierten Angebots- und Preisinformationen aus AP 2.2; gemeinsam ergeben sie die wiederverwendbare Produkt- und Kalkulationsbasis. Kategorien und Unterkategorien strukturieren den Suchraum; Attribute beschreiben technische oder kalkulatorische Eigenschaften; Leistungspositionen stellen den Bezug zu Mengen, Preisen und Ausgaben her. Abbildung 5 zeigt die Staffellung dieser Struktur: Kategorien und Unterkategorien gliedern den Suchraum für die Anzeige, Komponenten und Varianten tragen die Auswahl der Bauleistung, Leistungspositionen die Bepreisung, und Attribute stellen den Bezug zu den Objektdaten her. Zwischen Variante und Leistungsposition besteht dabei eine 1:n-Beziehung; eine Variante bündelt also mehrere Positionen. Gestaffelte Datenbankstände und direkte Vergleiche erlauben, Veränderungen an Positionen oder Preisen gegen bestehende Kalkulationen zu betrachten. Die Langtext- und Zuordnungsmatrizen bleiben jedoch semantisch justierungs- und prüfbedürftig.

Diese Struktur ist keine Veröffentlichung eines detaillierten Datenbankschemas. Sie zeigt die fachlichen Beziehungen, die für die Ergebnisarchitektur relevant sind. BIM- und Kostenschätzungsliteratur weist darauf hin, dass Mengen, Kosten und Modellinformationen erst durch semantisch interpretierbare Beziehungen fachlich

nutzbar werden (Lee, S.-K. et al., 2014). ecosoft operationalisiert diese Einsicht in einer domänenspezifischen Kalkulations- und Transformationsstruktur. AP 4.1 ergänzte das Kalkulationsdatenmodell um Qualitätskontrolle und spezialisierte Repositories. Der QC-Monitor dient als Prüf- und Übersetzungsartefakt: Modell- oder Prozessbefunde werden nicht nur angezeigt, sondern einer Kategorie, einem Bauteil, einem Ort und einem Bearbeitungszusammenhang zugeordnet. Eine BIM-QC-Datenstruktur speichert ausgewählte qualitätsbezogene Informationen. Das Wandöffnungsrepository bündelt wiederkehrende Informationen für Koordination, Fertigung, Montage oder Qualitätsprüfung.²³ Die Ticket-Transformation untersucht, wie ausgewählte Abweichungen in eine prozessnah bearbeitbare Form überführt werden können. Diese Artefakte werden nicht als extern abschließend geprüftes Prüfmodell beschrieben. Fehlerklassen, Attribute, Schreibrechte und Prüfmetriken bleiben offen. Die Definition belastbarer Abweichungsklassen ist auch in der Literatur zur modellbasierten Abweichungsanalyse ein eigenständiges Problem (Anil et al., 2011). Das entspricht einer grundsätzlichen Anforderung regel- und datenabhängiger BIM-Prüfung: Syntaktisch vorhandene Modelldaten reichen nicht aus; benötigt werden interpretierbare Informationen und klar definierte Anforderungen (Lee, Y.-C. et al., 2021). Auch der Begriff Ontologie wird deshalb eng gefasst. Belegt ist eine semantische Zuordnungslogik beziehungsweise ein Zwischenmodell.²⁴ Dieses Zwischenmodell ordnet Modellobjekte, Kalkulationsstrukturen, Leistungspositionen, Qualitätsbefunde und Prozessaufgaben einander zu. Die Literatur zu semantischen Technologien und BIM-Anreicherung stützt die allgemeine Relevanz solcher Mapping-Ansätze, ersetzt aber kein projektspezifisches Schema (Pauwels et al., 2017; Bloch, 2022; Palihakkara et al., 2025).

²³ Das Wandöffnungsrepository wird als spezialisierte Koordinations- und Qualitätsartefakt beschrieben. Geometrische und semantische Detailattribute, Schreibrechte und konkrete Fertigungsregeln bleiben abstrahiert.

²⁴ Das im Projekt als Zwischenontologie bezeichnete Artefakt wird hier als Mapping- oder Zwischenmodell eingeordnet. Eine formale Implementierung mit OWL, RDF oder einem vollständigen IFC-Ontologiemodell ist nicht belegt.

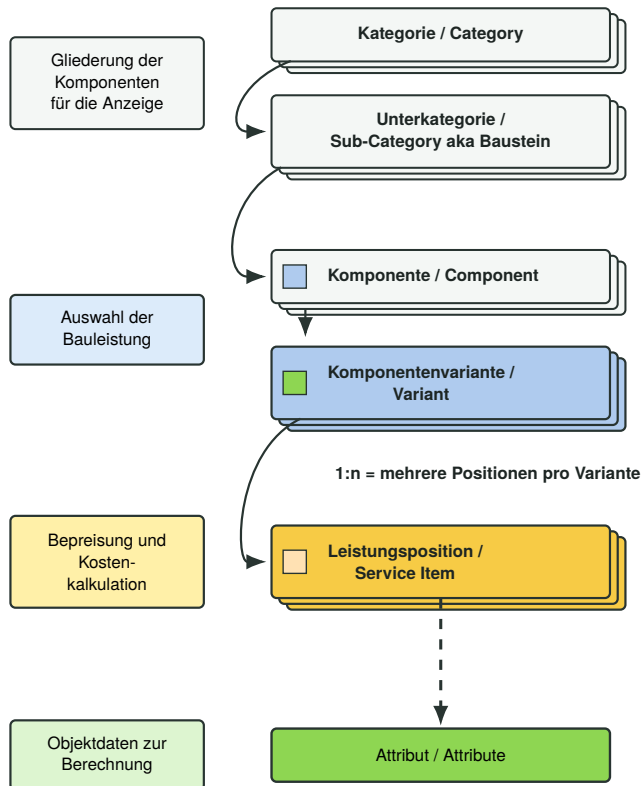


Abbildung 5. Datenmodellstruktur von Kategorien, Komponenten, Varianten, Leistungspositionen und Attributen.

5.4. Vernetzung bautechnischer Fachmodelle

Die bisher beschriebenen Datenstrukturen lösen ein Problem, das in der seriellen Sanierung vor der Kalkulation liegt. Ein Bestandsgebäude wird nicht in einem Modell beschrieben, sondern in mehreren fachlich getrennten. Ein Architektur- und Bestandsmodell führt Gebäudegeometrie, Bauteilgeometrie und Öffnungen. Ein Tragwerksmodell hält fest, welche Bauteile tragend sind, welche Lastannahmen gelten und welche Eingriffe zulässig sind. Ein Modell der technischen Gebäudeausrüstung beschreibt Leitungsführung, Durchdringungen und Anschlusspunkte. Für die serielle Sanierung tritt ein Fassaden- beziehungsweise Modulmodell hinzu, das Modulraster, Fügepunkte und Toleranzen der vorgefertigten Elemente bestimmt. Diese Modelle entstehen in unterschiedlichen Werkzeugen, zu unterschiedlichen Zeitpunkten und in unterschiedlicher Qualität.

Für die Kalkulation ist keines dieser Modelle allein hinreichend. Eine Wandöffnung für ein vorgefertigtes Fassadenmodul ist gleichzeitig ein geometrischer Sachverhalt, eine tragwerksseitige Zulässigkeitsfrage, ein Konflikt- oder Anschlusspunkt der Anlagentechnik und eine Fertigungs- sowie Montagevorgabe. Sie ist damit genau der Gegenstand, an dem die Trennung der Fachmodelle praktisch spürbar wird. Wird sie nur im Architekturmodell geführt, fehlt die Zulässigkeitsaussage; wird sie nur in der Fertigung geführt, fehlt der Modellbezug für die Qualitätsprüfung.

Genau an dieser Stelle setzt das in AP 4.1 entwickelte semantische Zwischenmodell an. Es führt nicht die Fachmodelle selbst zusammen, sondern eine reduzierte Menge gemeinsamer Merkmale: Kernattribute, eine belastbare Bauteilidentität, einen Ortsbezug und einen Qualitätszustand. Über diese vier Merkmale lassen sich Aussagen verschiedener Fachmodelle auf denselben Sachverhalt beziehen, ohne die Modelle zu vereinheitlichen oder ein gemeinsames Gesamtmodell zu erzwingen. Dieses Prinzip eines bewusst minimalen, durch Fachbereiche erweiterbaren Merkmalskerns entspricht dem Entwurfsgedanken domänenübergreifender Kernontologien im Bauwesen (Rasmussen et al., 2021). Abbildung 6 ordnet die beteiligten Fachmodelle ihren Beiträgen zu und zeigt, an welcher Stelle daraus der Koordinationsgegenstand Wandöffnung und der zugehörige Qualitätsbefund entstehen.

Aus dem Zwischenmodell gehen zwei unterschiedlich reife Artefakte hervor. Das

Wandöffnungsrepository hält Lage und Abmessung, die beteiligten Gewerke, den Fertigungs- und Montagebezug sowie den Änderungsstand einer Öffnung an einer Stelle zusammen. Es ist damit weniger eine Geometriedatenbank als ein Koordinationsgegenstand mit Versionsbezug. Der QC-Monitor nimmt umgekehrt Befunde auf, die beim Abgleich der Modelle entstehen, und ordnet sie einer Abweichungsklasse, einem Bauteil- und Ortsbezug sowie einem Bearbeitungskontext zu. Beide Artefakte enden nicht in einer automatischen Entscheidung. Sie enden in einer fachlichen Prüfung, weil die Zulässigkeit eines Eingriffs in ein tragendes Bauteil keine Datenfrage ist.²⁵

Der Befund dieses Arbeitsstrangs ist damit präziser als die Ausgangsannahme aus AP 4.2. Fachmodelle werden nicht dadurch vernetzt, dass ihre Dateien ausgetauscht werden können. Sie werden dadurch vernetzbar, dass ein gemeinsamer, bewusst kleiner Merkmalskern definiert wird, an dem sich ihre Aussagen begegnen, und dass für den Konfliktfall eine zuständige Rolle benannt ist. Der Aufwand liegt nicht im Transport, sondern in der Definition dieses Kerns und in der Pflege seiner Zuordnungen.

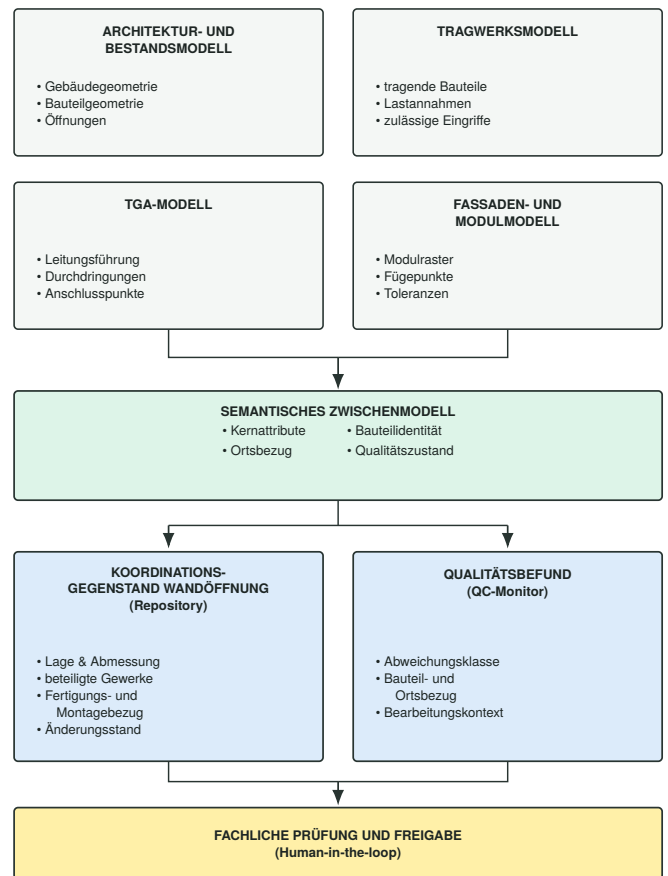


Abbildung 6. Vernetzung bautechnischer Fachmodelle: Architektur- und Bestandsmodell, Tragwerksmodell, TGA-Modell sowie Fassaden- und Modulmodell werden über ein semantisches Zwischenmodell zusammengeführt; daraus entstehen der Koordinationsgegenstand Wandöffnung und der zugehörige Qualitätsbefund, die vor der Weiterverwendung fachlich geprüft und freigegeben werden.

5.5. Mapping, Datenflüsse und Human-in-the-loop

Die Ergebnisarchitektur enthält mehrere Mapping- und Transformationspfade. BIM-/CAD-nahe Informationen müssen in Mengen, Bauteile, Komponenten oder Qualitätsbefunde übersetzt werden.²⁶ ecosoft-Konfigurationen müssen in Leistungspositionen, Preisstrukturen und angebotsnahe Dokumente überführt werden. GAEB-nahe Ausgaben benötigen eine strukturierte Übertragung inter-

²⁵ Fehlerklassen, Attributumfang, Schreibrechte und Prüfmetriken der beiden Artefakte sind nach Pfad unterschiedlich weit dokumentiert. Eine unabhängige externe Prüfung der Modellabgleiche liegt nicht vor.

²⁶ Der betrachtete BIM-/CAD-Pfad war im Wesentlichen ein Import- und Weiterverarbeitungspfad. Ein allgemeines Rückschreiben in das Modellierungswerkzeug oder eine pauschal bidirektionale Synchronisation wird nicht behauptet.

ner Leistungs- und Preislogiken in ausschreibungsfähige Positionsstrukturen. FLB-nahe Ausgaben verdichten kalkulatorische und technische Informationen zu funktional verständlichen Leistungsbeschreibungen. Diese beiden Ausgabepfade zweigen von derselben internen Kalkulationsstruktur ab und bedienen unterschiedliche Vergabeformen: das GAEB-Mapping die klassische Ausschreibung, die FLB-Transformation die Vergabe an industrielle Generalunternehmer und Modulvorfertiger (Abbildung 7). Prozess- und Ticketstrukturen wiederum machen technische Abweichungen operativ bearbeitbar.

Ein projektbezogener Kalkulationsablauf verdeutlicht das Zusammenspiel. Ein initialer Projektkontext wird einer eindeutigen Projekt- und Objektstruktur aus AP 1.4 und AP 3.2 zugeordnet. Bestands- und Planattribute werden getrennt erfasst; AP 1.3 ergänzt fehlende Angaben soweit fachlich vertretbar durch Regeln, Default-Werte und eine sichtbare Prüfsteuerung. AP 2.1 und AP 2.2 stellen dazu Komponenten, Varianten, Leistungspositionen und Preisstände bereit. AP 3.1 erzeugt aus diesen Grundlagen eine Quick- oder Detailkonfiguration, vergleicht Varianten und bindet das Ergebnis an einen Datenbank- und Preisstand. AP 3.4 leitet daraus Kostenansichten sowie GAEB-/FLB-nahe oder angebotsbezogene Ausgaben ab. An definierten Triggerpunkten kann AP 4.2 Projekt-, Status-, Preis- oder Angebotsinformationen an zuständige Fachrollen übergeben; Markt- und Vergaberückmeldungen werden als Pflege- und Plausibilisierungsdaten zurückgeführt. Parallel können AP-4.1-Artefakte Qualitätsbefunde aufnehmen und in bearbeitbare Aufgaben übersetzen. Abbildung 9 fasst diesen Ablauf für den Kernpfad zusammen: Projekt- und Kundendaten werden importiert, im ecosoft-Kern kalkuliert und als Leistungspositionen an das AVA-System übergeben, von wo reale Marktpreise und Vergabeergebnisse in die Pflege der Preisbasis zurückfließen. Dieser Ablauf ist keine Behauptung eines durchgängig unbeaufsichtigten Prozesses. Zwischen den Schritten liegen fachliche Entscheidungen: Welche Bestandswerte sind hinreichend, welche Variante ist freigegeben, welcher Preisstand gilt, welche Position darf ausgegeben werden und welcher Qualitätsbefund ist einem Bearbeitungskontext zuzuordnen? Die Architektur macht diese Übergänge durch Datenstände, Mapping-Regeln und Prüfpunkte sichtbar. Eine Transformation wählt aus, verdichtet, ordnet zu und begrenzt Bedeutung; sie ersetzt nicht die fachliche Bewertung der Quell- und Zielobjekte. Für fehlende oder uneindeutige Werte ist das Human-in-the-loop-Prinzip zentral. Aus einer begrenzten Zahl von Kernattributen können weitere Werte regelgestützt abgeleitet oder vorgeschlagen werden.²⁷ Solche Werte werden nicht als sichere Wahrheit behandelt. Eine Ampellogik unterscheidet stattdessen drei Prüfstände je Attribut, und dieser Zustand wird gemeinsam mit dem Wert geführt und angezeigt.²⁸ Ein bestätigter Bestandswert ist belegt und ohne weitere Prüfung verwendbar. Ein gelb markierter Wert ist regelgestützt abgeleitet und fachlich zu prüfen, bevor er in eine Angebotsgrundlage eingeht. Ein rot markierter Wert kennzeichnet eine Lücke, die nicht tragfähig abgeleitet werden kann und eine manuelle Eingabe erfordert. Abbildung 8 zeigt diese Zustandsführung am schematischen Aufbau der frühen Objektauswertung; Werte und Preise sind darin durch Platzhalter ersetzt. Der Beitrag dieser Struktur liegt nicht in der Ableitung selbst, sondern darin, dass eine abgeleitete Angabe im weiteren Prozess von einer belegten unterscheidbar bleibt. Erst diese Unterscheidbarkeit erlaubt es, eine Kalkulation aus lückenhaften Bestandsdaten zu erzeugen, ohne die Lücken zu verdecken. Ergänzend weist die Auswertung aus, welche Unterlagen für eine belastbare Aussage fehlen, und macht damit den Klärungsbedarf zu einer sichtbaren Aufgabe statt zu einer stillen Annahme.

Damit reagiert ecosoft auf die Lückenhaftigkeit von Bestandsdaten, ohne die Unsicherheit zu verdecken. Automatisierung wird als Unterstützung verstanden, nicht als Ersatz fachlicher Verantwortung. Auch Rückkopplungen aus Ausschreibung und Markt werden so eingeordnet: Rückmeldungen zu Preisen, Leistungspositionen oder Vergabefähigkeit unterstützen Pflege- und Plausibilisierungsprozesse. Ihr Wert liegt in der Nachjustierung durch zuständige Rollen, nicht in einer unbeaufsichtigten Optimierungslogik.

²⁷ Ein Arbeitsstand ging von rund zehn Kernattributen für eine frühe Konfiguration aus. Umfang und Auswahl waren jedoch szenarienabhängig; daraus wird keine universelle Mindestmenge für alle Gebäude- und Maßnahmenarten abgeleitet.

²⁸ Der Prüfstand wird je Attributwert geführt, nicht je Bauteil, Gebäude oder Projekt. Eine aggregierte Gesamtbewertung einer Kalkulation oder eines Objekts wird daraus nicht abgeleitet.

5.6. Versionierung, Triggerpunkte und Validierungsgrenzen

Versionierung verbindet Ergebnisse aus AP 2.1, AP 3.1, AP 3.2 und AP 4.2. Sie wurde notwendig, weil sich Preise, Ausführungsvarianten, Datenbankstände und Projektannahmen im Verlauf einer Sanierung verändern.²⁹ Die Versionierung erlaubt, eine Konfiguration auf einen bestimmten Objekt-, Komponenten-, Leistungs- und Preisstand zu beziehen. Sie macht sichtbar, ob Preisänderungen, geänderte Leistungspositionen oder neue Projektspezifika eine Kalkulation beeinflussen. Sie unterstützt Vergleiche zwischen Varianten und Datenbankständen und verhindert, dass spätere Marktinformationen stillschweigend mit früheren Annahmen vermischt werden. Statusübergänge aus AP 3.1 und AP 3.2 kennzeichnen zugleich, ob eine Konfiguration bearbeitet, zur Angebotsgrundlage fortgeschrieben oder für einen nachgelagerten Prozess bereitgestellt wird. Der F&E-Beitrag liegt darin, Version und Status als Teil der Kalkulationsarchitektur zu behandeln, nicht als nachträgliche Dokumentationspflicht.

Auch bei Datenflüssen wird zwischen technischer und fachlicher Synchronität unterschieden. Ein API-Aufruf kann technisch synchron sein, weil ein System unmittelbar eine Rückmeldung auf eine Anfrage erhält. Der fachliche Prozess bleibt dennoch asynchron, wenn Daten nur an definierten Triggerpunkten übertragen, geprüft oder aktualisiert werden.³⁰ Solche Triggerpunkte können Projektanlage, Konfigurationsfreigabe, Angebotsausgabe, Vergaberückmeldung, Qualitätsbefund oder Statusänderung sein. Richtung, Latenz, Wiederholungslogik und Fehlerbehandlung sind nicht für jede Schnittstelle gleich belastbar dokumentiert und werden deshalb nicht pauschalisiert. Die Validierung der Ergebnisarchitektur bleibt begrenzt. Vorhanden sind Artefaktprüfungen, fachliche Plausibilisierungen, Kalkulations- und Prozessvergleiche sowie Nutzer- und Projektfeedback. Nicht vorhanden ist eine unabhängige externe Evaluation aller Datenflüsse, Schnittstellen, Fehlerklassen, Latenzen, Rollenrechte und Ausfallmechanismen. Die Ergebnisarchitektur formuliert daher konkrete Architektur- und Artefaktergebnisse mit ausgewiesenen Reifegraden, aber keine abschließende Produktzertifizierung. Diese Grenze wird in Abschnitt 6.5 diskutiert.

6. Diskussion

6.1. Einordnung der Forschungsfragen

Die Forschungsfragen lassen sich nicht mit einem einheitlichen Reifegrad beantworten. Wie Tabelle 4 zeigt, stehen produktiv genutzte Daten- und Kalkulationsfunktionen neben MVPs, lokalen PoCs, refokussierten Integrationsartefakten und nicht weiterverfolgten Ausbauten. Maßgeblich ist daher nicht ein pauschales Erfolgsurteil, sondern die Reichweite des jeweiligen Nachweises (Runeson und Höst, 2009). Für den untersuchten Projektkontext lautet die Antwort auf die Hauptforschungsfrage: Reduzierte Bestandsinformationen werden kalkulatorisch nutzbar, wenn getrennte Bestands- und Planwerte, prüfbare Ableitungsregeln sowie versionierte Komponenten-, Leistungs- und Preisstände in einer Konfiguration zusammenkommen. AP 1 schuf hierfür die Objekt- und Mengengrundlagen, AP 2 die wiederverwendbare Produkt-, Preis- und Regelbasis, AP 3 den Kalkulations-, Projekt- und Ausgabekontext. AP 4 ergänzte Mapping, Qualitätsprüfung und kontrollierte Übergaben an spezialisierte Systeme. Der zentrale Befund ist keine universelle Plattformarchitektur. Er besteht in einer nachvollziehbaren Kette von Datenständen, Transformationen, Freigabepunkten und Pflegeverantwortung. Erst diese Verbindung macht technische Schnittstellen fachlich anschlussfähig (Grilo und Jardim-Gonçalves, 2010; Pauwels et al., 2017). **FF1: frühe kalkulatorische Bearbeitbarkeit.** AP 1.1 und AP 1.2 strukturierten Gebäudeauswahl und Portfoliosicht; AP 1.3 und AP 1.4 stellten die für eine Konfiguration benötigten Objektwerte bereit. Tragend waren priorisierte Attribute, die Trennung von Bestand und Plan, formelbasierte Ableitungen, Default-Werte, Masseneintragung und sichtbare Prüfstände. AP 3.1 verband diese Eingaben mit Varianten, Mengen, Preisen und einem konkreten Datenbankstand. Reduzierte Eingangsdaten können damit im untersuchten Einsatzkontext eine frühe Kalkulations- und Variantenarbeit unterstützen. Nicht belegt sind dagegen ein universeller Minde-

²⁹ Historisierung unterstützt die Rekonstruktion von Datenständen und Kalkulationsannahmen. Ohne vollständig belegte Protokollierung, Rechte-, Ausnahme- und Aufbewahrungsregeln wird daraus kein garantierter oder lückenloser Audit Trail abgeleitet.

³⁰ Technische Synchronität beschreibt das Antwortverhalten eines einzelnen Aufrufs; fachliche Synchronität betrifft den abgestimmten Datenstand im Gesamtprozess. Ein synchroner Aufruf begründet daher weder globale Gleichzeitigkeit noch eine gemessene Echtzeitleistung.

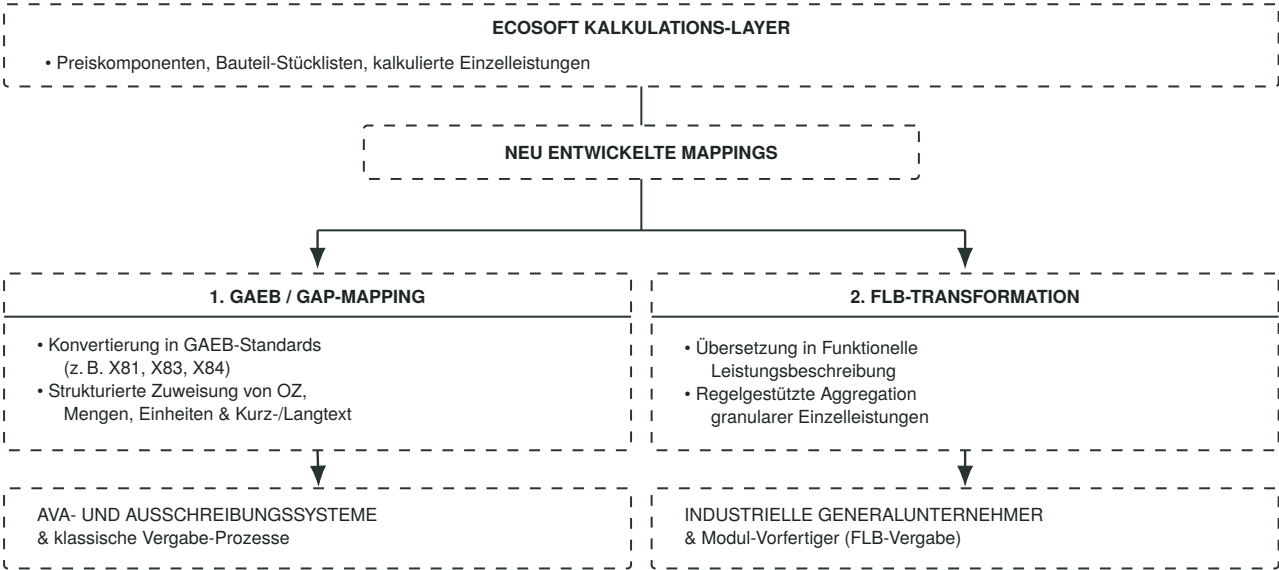


Abbildung 7. Mapping- und Transformationslogik zwischen ecosoft-Kalkulationslayer, GAEB-/GAP-Strukturen und FLB-nahen Ausgabeprozessen.

OBJEKTAUSWERTUNG — Eignungsbewertung serielle Sanierung			Score (Kriterienbewertung)
BESTANDSINFORMATIONEN	ANFORDERUNGEN / MASSNAHMEN	FEHLENDE UNTERLAGEN	NÄCHSTE SCHRITTE
Zu dämmende Fläche ●	Fördersystematik ●	Energieausweis — ○	• Konfiguration & Kalkulation
Wohnfläche ●	Dachaufstockung ●	Brandschutznachweis — ○	• Energie- und Förderkonzept
Fensterflächen ●	Anlagentechnik ●	Statik — ○	• Wirtschaftlichkeitsbetrachtung
Dachform ●	Sonnenschutz — ○	Grundrisse — ○	• Terminplan
Anzahl Geschosse ●			

LEGENDE: PRÜFZUSTAND DER ATTRIBUTWERTE

● bestätigter Bestandswert ● regelgestützt abgeleitet — fachlich zu prüfen ○ nicht ableitbar — Eingabe erforderlich

Abbildung 8. Schematischer Aufbau der frühen Objektauswertung: bestätigte Bestandswerte, regelgestützt abgeleitete Werte und nicht ableitbare Angaben werden je Attribut getrennt ausgewiesen; Werte und Preise sind in der Darstellung durch Platzhalter ersetzt.

stattributsatz oder eine extern reproduzierte Genauigkeit für beliebige Gebäude- und Maßnahmenarten. Übertragbar ist das Prinzip, abgeleitete, bestätigte und fehlende Werte unterscheidbar zu halten.

FF2: Verknüpfung von Produkt-, Kalkulations- und Fachdaten. AP 2.1 und AP 2.2 überführten Komponenten, Varianten, Leistungspositionen, Preise und Langtexte in eine versionierbare Struktur; AP 3.4 leitete daraus Kosten-, Angebots- und GAEB-/FLB-nahe Ausgaben ab. AP 4.1 und AP 4.2 erweiterten diese Kette um Modellobjekte, Qualitätsbefunde, Tickets, Status und Rückmeldungen. Ein Feld, eine Position oder ein Status bleibt jedoch nicht allein deshalb fachlich gleich, weil er technisch übertragen wurde. Quellobjekt, Zielobjekt, Zuordnungsregel, Datenstand und Prüfschritt müssen gemeinsam definiert werden. Wie weit dies gelang, unterscheidet sich je Transformationspfad. **FF3: Verteilung von Funktionen und Verantwortung.** Der stabilste ecosoft-Beitrag entstand dort, wo AP 2 und AP 3 domänenspezifisches Kalkulationswissen zusammenführten: in Komponenten- und Preisbasis, Konfiguration, Kalkulator, Projekt- und Versionszuständen sowie angebotsnahen Ausgaben. Kundenstammdaten, Geometrien, Vergabevorgänge, Aufgaben oder analytische Sichten besitzen dagegen eigene Fachkontexte. AP 3.2, AP 3.5 und AP 4.2 zeigen, dass ecosoft diese Rollen verbinden kann, ohne ihre operative Pflege zu übernehmen. Die tragfähige Arbeitsteilung lautet daher: Funktionen bündeln, wenn ein gemeinsamer Kalkulations- oder Transformationskontext benötigt wird; Daten dort belassen, wo ein Fachsystem sie erzeugt, verantwortet und operativ nutzt. Für einzelne Datendomänen und Schnittstellen bleibt die endgültige führende Systemrolle offen.

FF4: Grenzen zentraler Ansätze. Der Loggien-PoC aus AP 2.3 belegte lokale Regelbarkeit, aber keine skalierbare Universallogik für variantenreiche Bestands-

kontexte. Kunden-Selbstkonfiguration, App und Dashboard aus AP 2.2, AP 3.3 und AP 3.5 ersetzten weder fachliche Prüfung noch Prozessverantwortung. AP 4.1 und AP 4.2 zeigten schließlich, dass API-Verbindungen Daten transportieren, ihre Bedeutung aber nicht selbst klären. Daraus folgte die Refokussierung auf einen begrenzten Kalkulationskern, spezialisierte Systemrollen, Mapping, Versionierung, Triggerpunkte und Human-in-the-loop-Prüfung. Lokale Machbarkeit, eine nutzbare Oberfläche und technische Konnektivität sind folglich noch keine belastbare Gesamtarchitektur.

6.2. Bilanz nach Ergebnisreife

Die Projektbilanz wird klarer, wenn zwischen tragfähigen, eingeschränkt belegten und nicht weiterverfolgten Ergebnissen unterschieden wird. Diese Abstufung folgt der Reifegradlogik aus Abschnitt 2.2 und verhindert, dass PoC, MVP und produktiv genutzte Kernfunktion zu einer pauschalen Erfolgsaussage verschmelzen. **Tragfähig im untersuchten Arbeitskontext** waren vor allem die versionierbare Komponenten-, Leistungs- und Preisbasis aus AP 2.1 und AP 2.2, der Kalkulations- und Konfigurationskern aus AP 3.1 sowie abgegrenzte Projekt-, Status- und Ausgabefunktionen aus AP 3.2 und AP 3.4. Sie lösten konkrete Aufgaben der zuvor tabellenbasierten Kalkulation und schufen wiederverwendbare Datenstände. Auch die Objektdatenbasis aus AP 1.4 und interne BI-Auswertungen aus AP 3.5 wurden in dokumentierten Arbeitskontexten genutzt. Ihre Stärke liegt in einer klar begrenzten Funktion, nicht im Nachweis einer durchgängigen Gesamtanwendung.

Eingeschränkt tragfähig waren die Portfolioanalyse aus AP 1.2 und die Quick Configuration aus AP 1.3: Beide erreichten einen nutzbaren MVP- beziehungs-

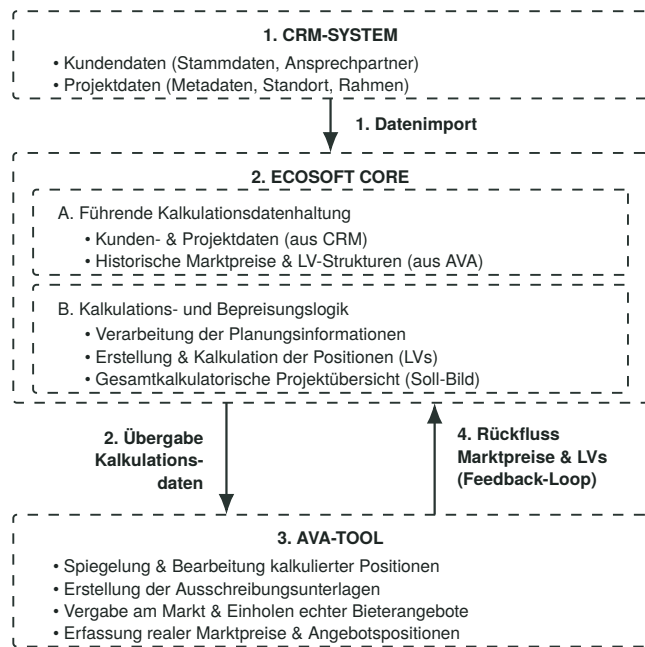


Abbildung 9. Prozess- und Datenflusslogik zwischen CRM-System, ecosoft Core und AVA-Tool mit Datenimport, Übergabe kalkulatorischer Daten sowie Rückfluss von Marktpreisen und Leistungspositionen.

weise Kernfunktionsstand, ihre projektübergreifende Skalierung und quantitative Vergleichsmethodik bleiben jedoch begrenzt dokumentiert. Dasselbe gilt für QC-Monitor, BIM-QC-Datenstruktur, Wandöffnungsrepository, Mapping- und Ticket-Transformation sowie Datenpipelines aus AP 4.1 und AP 4.2. Diese Artefakte konkretisieren Qualitäts- und Integrationsprobleme, besitzen aber je nach Pfad unterschiedliche Reifegrade. Fehlerklassen, Automatisierungsanteil, Latenz, Wiederholungslogik und externe Evaluation sind offen. **Nicht ausreichend tragfähig als Endarchitektur** waren die universelle zentrale Regellogik aus AP 2.3, die kundenbediente Detailkonfiguration aus AP 2.2, der externe App-/Portalvollausbau aus AP 3.3 und AP 3.5 sowie eine reine API-Integration ohne semantische Zuordnung. Auch eine permanente Gleichschaltung aller Fachsysteme wurde nicht als sinnvolles Ziel bestätigt. Diese Befunde sind keine Leerstelle im Projektergebnis. Sie begründen den Feature-Freeze einzelner Stränge und die Verlagerung auf Kalkulationskern, Qualität, Mapping und kontrollierte Datenflüsse.

6.3. Übertragbarkeit der Architekturprinzipien

Übertragbar sind die im Projekt beobachteten Entscheidungsprinzipien, nicht seine Reichweiten- oder Abweichungswerte.³¹ Serielle Sanierung verbindet Bestandsunsicherheit, Standardisierung, industrielle Fertigungslogik und frühe Wirtschaftlichkeitsentscheidungen (Hermann et al., 2021; Konstantinou und Heesbeen, 2022). Vergleichbare Vorhaben können vor allem aus der Verbindung von Datenstruktur, Artefaktreife und Scope-Entscheidung lernen. Der Portfolio-MVP, die Quick Configuration, der Loggien-PoC, der produktiv genutzte Kalkulationskern und die AP-4-Integrationsartefakte beantworten jeweils andere Fragen: Ein PoC zeigt Modellierbarkeit, ein MVP einen nutzbaren Mindestumfang, produktive Nutzung die Einbettung in einen Arbeitsprozess. Keine dieser Evidenzformen ersetzt einen Skalierungs-, Qualitäts- oder Wirksamkeitsnachweis. Diese Trennung richtet Ausbauentscheidungen an beobachteten Grenzen statt an einer allgemeinen Produktvision aus. Ein zweites Prinzip ist die Trennung von Datenübertragung, semantischer Zuordnung und fachlicher Freigabe. APIs, Exporte und Triggerpunkte schaffen technische Verbindungen. Erst Mapping-Regeln, Datenstände, Qualitätskennzeichen und verantwortliche Rollen machen die Informationen im Zielkontext nutzbar. Für unsichere Bestandsdaten kommt hinzu, dass Ableitungen sichtbar bleiben und geprüft werden müssen. Human-in-the-loop ist in diesem Zusammenhang keine bloße Übergangslösung,

sondern eine Architekturentscheidung für fachlich oder wirtschaftlich relevante Angaben.

Ein drittes Prinzip betrifft den Zuschnitt des Systemkerns. ecosoft gewann an technischer Klarheit, als Funktionen ohne spezifischen Kalkulations-, Konfigurations- oder Transformationsbeitrag nicht weiter zentralisiert wurden. Eine zentrale Benutzeroberfläche, eine analytische Sicht und eine zentrale operative Datenhaltung sind verschiedene Architekturentscheidungen. Diese Differenzierung erlaubt es, spezialisierte Systeme beizubehalten und dennoch gemeinsame Kalkulations- und Übergaberegeln zu entwickeln. Auch negative Ergebnisse sind übertragbar, sofern Ausgangshypothese, Beobachtung und Folgeentscheidung getrennt dokumentiert werden. Genau diese Trennung ist die Dokumentationslogik expliziter Architekturentscheidungen (Tyree und Akerman, 2005; Kruchten et al., 2006). Die Begrenzung der Regellogik, der nicht weitergeführte Portalvollausbau und die Abkehr von einer API-only-Annahme schärfen den resultierenden Systemzuschnitt. In einer formativen Design-Science-Evaluation tragen solche Befunde zur Artefaktentwicklung bei, weil sie Anforderungen, Reifegrade und Geltungsgrenzen sichtbar machen (Venable et al., 2016).

6.4. Beitrag zu den Programmzielen

Das Vorhaben war Teil eines Förderprogramms, dessen Ziel serientaugliche, übertragbare Lösungen und eine daraus folgende marktgetriebene Kostendegression sind. Die Ergebnisse lassen sich diesen Zielen zuordnen, allerdings mit deutlich unterschiedlicher Nachweisstärke.

Digitalisierungsgrad der Kalkulationskette. Der belastbarste Beitrag betrifft den Übergang von einer manuell gepflegten Tabellenkalkulation zu versionierten Datenbeständen. Vor dem Vorhaben lagen Mengen, Leistungspositionen und Preise in Dateien, die je Projekt und je Variante kopiert und fortgeschrieben wurden; projektübergreifende Auswertungen und der Vergleich zweier Kalkulationsstände waren dadurch nur mit erheblichem manuellem Aufwand möglich. Nach dem Vorhaben beziehen Konfiguration und Angebot auf einen benannten Objekt-, Komponenten-, Leistungs- und Preisstand, und Änderungen an diesen Ständen sind gegen bestehende Kalkulationen sichtbar. Das ist ein Struktur-, kein Geschwindigkeitsnachweis: Eine kontrollierte Messung der Bearbeitungsdauer je Kalkulation gegenüber dem konventionellen Vorgehen wurde nicht durchgeführt und wird hier nicht behauptet.

Frühe Kostenindikation und Wiederholbarkeit. Die Quick Configuration adressiert die Programmlogik unmittelbar: Sie erlaubt eine Kostenindikation aus wenigen priorisierten Eingaben zu einem Zeitpunkt, an dem eine konventionelle Ausschreibungskalkulation noch nicht möglich ist. Die in Tabelle 2 ausgewiesenen Vergleichswerte sind interne Plausibilisierungen mit offener Methodik. Als Programmbeitrag tragfähig ist deshalb nicht die Höhe der Abweichung, sondern die Wiederverwendbarkeit der zugrunde liegenden Struktur: Typologisierung, Attributpriorisierung und Formellogik sind nicht projektgebunden und lassen sich auf weitere Bestände anwenden.

Kostendegression. Eine Degression setzt voraus, dass Wissen zwischen Projekten wandert. Genau dafür entstanden die versionierbare Komponenten- und Preisbasis, die Rückführung von Vergabe- und Marktrückmeldungen an konkrete Leistungspositionen sowie die Wiederverwendung von Varianten und Vorkonfigurationen. Das Vorhaben schafft damit die datenseitige Voraussetzung einer Kostendegression. Es weist sie nicht nach. Eine Aussage über die tatsächliche Kostenentwicklung im Vergleich zu konventionellen Sanierungen wäre nur mit einer offengelegten Projektstichprobe, vergleichbaren Leistungsumfängen und einer Trennung von Markt-, Skalen- und Softwareeffekten möglich; diese Trennung leistet die vorliegende Evidenzbasis nicht.

Serientauglichkeit und Übertragbarkeit. Der Beitrag mit der größten Reichweite über das Vorhaben hinaus ist der Befund zur Fachmodellvernetzung aus Abschnitt 5.4. Serielle Sanierung koppelt Bestandsunsicherheit an industrielle Vorfertigung mit engen Toleranzen. Wo diese Kopplung besteht, ist der begrenzende Faktor nicht die Verfügbarkeit von Schnittstellen, sondern die Frage, ob Architektur-, Tragwerks-, Anlagen- und Modulmodell dieselben Sachverhalte bezeichnen und wer im Konfliktfall entscheidet. Dieser Befund ist übertragbar, weil er von der konkreten Werkzeugwahl unabhängig ist.

Nicht adressiert. Zu Sanierungsdauer, Energie- und Emissionswirkung sowie

³¹ Projektbezogene Reichweiten- und Abweichungswerte charakterisieren die untersuchten Entwicklungsstände. Sie sind ohne vergleichbare Stichprobe, Datenqualität und Berechnungsmethode weder Marktbenchmark noch unmittelbar auf andere Organisationen übertragbar.

zu Lebenszyklus- und Recyclingaspekten leistet dieser Beitrag keine Aussage. Diese Größen entstehen in der baulichen Umsetzung und in den zugehörigen Pilotberichten, nicht in der hier untersuchten Softwareentwicklung.

6.5. Limitationen und alternative Erklärungen

Die Fallstudie ist auf einen industriellen Entwicklungskontext begrenzt. Ihre Evidenz besteht aus Entwicklungsartefakten, Prototypen- und Produktständen, Projekt- und Gebäudedaten, Kalkulationsvergleichen, Prozessdokumentation sowie Nutzer- und Projektfeedback. Eine unabhängige externe Evaluation mit offengelegter Stichprobe, definierten Fehlerklassen und wiederholbaren Messprotokollen liegt nicht vor. Die Ergebnisse belegen daher eine rekonstruierte Entwicklungs- und Entscheidungslogik, keinen Marktvergleich. Die unterschiedliche Artefaktreife begrenzt auch Vergleiche innerhalb des Projekts. Für die Quick Configuration fehlen eine einheitlich dokumentierte Stichprobe und Berechnungsmethode. Für QC-Monitor, Zwischenmodell, Repository und Ticket-Transformation sind Fehlerklassen, Attribute und Prüfroutinen nur teilweise öffentlich belastbar. Für Schnittstellen und Triggerpunkte fehlen je Pfad konsistente Angaben zu Richtung, Latenz, Wiederholungslogik, Fehlerbehandlung und Produktivstatus. Auch GAEB-/FLB-nahe Ausgaben und Historisierung enthalten weiterhin fachliche Prüf- und Freibegrenzen.

Die Ursachen des Architekturwechsels lassen sich nicht monokausal bestimmen. Variantenkomplexität, lückenhafte Bestandsdaten, Pflegeaufwand, Reife angebundener Fachsysteme und unklare Datenverantwortung liefern technische beziehungsweise organisatorische Erklärungen. Zugleich beeinflussen Ressourcen, Prioritäten und verfügbare Kapazität, welche Stränge weiter ausgebaut wurden. Die zeitliche Parallelität erlaubt nicht, jeden Feature-Freeze eindeutig einer einzelnen Ursache zuzuordnen. Belastbar ist die Kombination der Befunde: Technische Grenzen erklärten die Richtung der Refokussierung, Kapazitätsfaktoren beeinflussten Tempo und Umfang. Schließlich bleibt die öffentliche Darstellung bewusst abstrahiert. Konkrete Kundendaten, Preislogiken, Quellcode, interne Systemdetails und nicht freigegebene Prüfstrukturen werden nicht offengelegt. Dadurch sind einzelne Implementierungsentscheidungen nicht unabhängig reproduzierbar. Die Übertragbarkeit liegt folglich in den beschriebenen Architektur- und Entscheidungsprinzipien: Datenunsicherheit sichtbar machen, Reifegrade trennen, fachliche Datenhoheit zuordnen, semantische Übergänge prüfen und den Systemkern anhand seines domänenspezifischen Beitrags begrenzen. Das Fazit kann diese Lernkurve verdichten, darf daraus aber keine abgeschlossene Lösung für jede serielle Sanierungsorganisation ableiten.

7. Fazit und Ausblick

7.1. Zentrale Erkenntnisse aus der Entwicklung von ecosoft

Ausgangspunkt des Projekts war eine fragmentierte Kalkulations- und Datenkette in der seriellen Sanierung. Tabellenbasierte Berechnungen unterstützten frühe Kosten- und Variantenentscheidungen, stießen aber bei heterogenen Bestandsdaten, wiederverwendbaren Produktstrukturen und fachlich nachvollziehbaren Systemübergaben an Grenzen. ecosoft verband deshalb vier Arbeitsbereiche: Gebäude- und Mengendaten, Komponenten-/Preis-/Regelwissen, Kalkulations- und Ausgabefunktionen sowie Qualitäts- und Integrationsaufgaben. AP 1 schuf die Grundlage für die frühe Bearbeitung von Bestandsgebäuden. Die Typologisierung ging in Portfolio-, Objekt- und Integrationsfunktionen ein, ohne als eigenständiges Endprodukt fortgeführt zu werden. Die Portfolioanalyse erreichte einen nutzbaren MVP; ihr weitergehender Daten- und Funktionsausbau wurde eingefroren. Quick Configuration und Objektdatenbank verbanden anschließend priorisierte Attribute, getrennte Bestands- und Planwerte, Formeln, Default-Werte und sichtbare Prüfzustände. Der Projektbeitrag liegt damit in einer belastbaren Frühphasengrundlage, nicht in einem universellen Gebäude- oder Portfoliomodell. AP 2 überführte Produkt-, Leistungs-, Preis- und Regelwissen aus Tabellen in pflegbare und versionierbare Datenstrukturen. Komponenten, Leistungspositionen sowie integrierte Preis- und Angebotsinformationen wurden zu einer wiederverwendbaren Grundlage für Varianten, Kalkulation und Ausgaben. Zwei weitergehende Annahmen trugen dagegen nicht: Die kundenbediente Detailkonfiguration wurde nicht fortgeführt, und die zentrale Regellogik erwies sich nach einem lokalen Machbarkeitsnachweis nicht als hinreichend wartbar

für die gesamte Varianten- und Ausnahmebreite. Die Regelbasis wurde auf beherrschbare Kernlogik und Projektspezifika begrenzt.

Auf dieser Grundlage wurde AP 3 zum operativen Schwerpunkt. Kalkulator, Konfigurations- und Angebotsfunktionen bildeten den stabilsten ecosoft-Kern; hinzu kamen Projekt-, Rollen-, Status- und Versionszustände sowie Kostenansichten und GAEB-/FLB-nahe Ausgaben. Prozessvisualisierung und Dashboards lieferten interne Status-, Dokumentations- und Analysesichten, der geplante externe App-/Portalvollausbau wurde jedoch nicht Teil der Endarchitektur. AP 4 veränderte schließlich den Systemzuschnitt. QC-Monitor, BIM-QC-Datenstruktur, Wandöffnungsrepository und Ticket-Transformation machten Qualitäts- und Zuordnungsprobleme zu eigenen technischen Aufgaben. Der ursprüngliche Vernetzungsanspruch wurde in Datenpipelines, Triggerpunkte, Mapping-Regeln und rollenbezogene Übergaben überführt. Eine Schnittstelle transportiert Informationen, stellt deren fachliche Bedeutung aber nicht allein her; Datenstand, Zuordnungsregel, Qualitätskennzeichen und verantwortliche Rolle müssen gemeinsam betrachtet werden. Damit entstand kein einheitlich ausgereiftes Gesamtprodukt. Umgesetzt wurden ein nutzbarer Kalkulationskern, versionierte Objekt-, Komponenten-, Leistungs- und Preisstrukturen, Projekt- und Ausgabefunktionen sowie konkrete Qualitäts- und Integrationsartefakte. Andere Stränge wurden refokussiert oder nicht weiterverfolgt. Der technische Hauptbeitrag ist folglich keine universelle Plattform, sondern ein domänenspezifischer Kalkulations-, Konfigurations- und Transformationskern, der Datenstände, fachliche Zuordnungen und Prüfentscheidungen zwischen spezialisierten Systemrollen strukturiert.

7.2. Offene technische Fragestellungen und Weiterentwicklung

Die nächsten Schritte ergeben sich aus den noch offenen Nachweisen. Für die Quick Configuration sind Kernattribute, Gebäudetypen, Vergleichsbasis und Berechnungsmethode genauer zu dokumentieren; Default- und Ableitungsregeln benötigen nachvollziehbare Prüfzustände und fachliche Zuständigkeiten. Bei Komponenten-, Leistungs-, Preis- und Langtextdaten sind Pflegeprozess, Versionierung und semantische Zuordnung weiter abzusichern. Entscheidend ist, welchen Datenstand eine Kalkulation oder Ausgabe referenziert und welche Änderung eine erneute Prüfung auslöst. Für AP 3 ist der Status der Ausgabe- und Übergabepfade weiter zu differenzieren. GAEB-/FLB-nahe Artefakte, Richtpreis- und Angebotsunterstützung sowie Projekt- und Statusfunktionen sollten jeweils nach Kernfunktion, manueller Prüfung und Freibegrenze beschrieben werden. Die Rollen interner Dashboards und analytischer Sichten bleiben von operativer Datenpflege zu trennen. Eine weitere Oberflächenentwicklung ist nur dann sinnvoll, wenn sie einen belegten Fachprozess vereinfacht und keine ungeklärte Daten- oder Freibeverantwortung verdeckt. Für AP 4 liegen die wichtigsten offenen Aufgaben in der Validierung der Qualitäts- und Integrationsartefakte. Dazu gehören definierte Fehlerklassen für den QC-Monitor, dokumentierte Attribute und Rechte des Wandöffnungsrepositorys sowie prüfbare Regeln für Mapping- und Ticket-Transformationen. Schnittstellen benötigen je Datenfluss Angaben zu Quell- und Zielsystem, Richtung, Trigger, Fehlerbehandlung und verantwortlicher Fachrolle. Ebenso ist zu klären, welches System eine Datendomäne führend pflegt und welche Informationen nur analytisch zusammengeführt werden.

Eine externe Evaluation sollte diese offenen Punkte mit nachvollziehbaren Testfällen, Stichproben und Messprotokollen prüfen. Erst dann lassen sich Aussagen zu Robustheit, Wartbarkeit und Übertragbarkeit über den untersuchten Projektkontext hinaus stärken. Eine mögliche spätere regel- oder datenbasierte Lückenprüfung kann fehlende oder widersprüchliche Eingaben markieren und Vorschläge priorisieren. Sie bleibt jedoch eine Roadmap-Aufgabe und ersetzt weder dokumentierte Regeln noch fachliche Freigabe. ecosoft löst die digitale Prozesskette der seriellen Sanierung nicht abschließend. Die Fallstudie dokumentiert aber einen nachvollziehbaren Entwicklungsweg: von einer zentralen End-to-End-Annahme über Datenbanken, PoCs, MVPs und Kernfunktionen hin zu einem fokussierten Kalkulationskern mit Qualitäts- und Integrationsartefakten. Ihr wissenschaftlicher Beitrag liegt in der Verbindung von Projektziel, Umsetzung, Reifegrad, Grenze und Folgeentscheidung. Für vergleichbare Vorhaben folgt daraus ein nüchterner Maßstab: Funktionen gezielt bündeln, Datenunsicherheit sichtbar halten, Übergaben semantisch prüfen und den Systemumfang anhand belegter Fachaufgaben begrenzen.

Angaben zur Veröffentlichung

Förderhinweis

Die dieser Veröffentlichung zugrunde liegenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten wurden im Rahmen des Vorhabens SerSan-16244 innerhalb der Bundesförderung Serielles Sanieren – Modul II gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Interessenkonflikt

Die Autoren sind bei der ecoworks GmbH beschäftigt und waren in unterschiedlicher Funktion an Entwicklung, fachlicher Einordnung und Publikationsaufbereitung von ecosoft beteiligt.

Lizenz und Weiterverwendung

Dieser Beitrag wird unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0) veröffentlicht. Text, Tabellen und sämtliche Abbildungen dürfen bei Nennung der Urheberschaft frei genutzt, vervielfältigt, weitergegeben, verändert und für eigene Zwecke weiterentwickelt werden, auch kommerziell. Lizenztext: creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de.

Ausdrücklich zur Weiterverwendung bestimmt sind insbesondere die in Abschnitt 5.3 beschriebene Entitätsstruktur des fachlichen Datenmodells, der in Abschnitt 5.4 beschriebene gemeinsame Merkmalskern zur Verbindung bautechnischer Fachmodelle, die in Abschnitt 5.5 beschriebenen Mapping- und Transformationspfade, die in Abschnitt 2.2 verwendete Reifegradsystematik sowie die in Abschnitt 6.3 formulierten Architektur- und Entscheidungsprinzipien. Sie sind so beschrieben, dass sie in vergleichbaren Vorhaben ohne Rückgriff auf ecoworks nachgebaut und angepasst werden können.

Daten- und Softwareverfügbarkeit

Der Beitrag selbst ist das veröffentlichte Ergebnis: Er beschreibt Problemstellungen, Entwurfsentscheidungen, technische Artefakte, negative Befunde und Architekturprinzipien auf einem Abstraktionsniveau, das eine Nachnutzung durch Dritte erlaubt. Diese Fassung ist zusammen mit ihren Abbildungen unter 10.5281/zenodo.21930534 in einem öffentlich zugänglichen, dauerhaften Repositorium hinterlegt und dort ohne Zugangsbeschränkung, Registrierung oder Entgelt abrufbar.

Nicht veröffentlicht werden Quellcode, Kunden- und Projektdaten, personenbezogene Angaben, interne Kosten- und Kapazitätsdaten sowie vertrauliche Preis- und Angebotslogiken. Diese Zurückhaltung betrifft die Implementierung, nicht die Erkenntnis: Die beschriebenen Strukturen, Verfahren und Entscheidungsregeln sind so gefasst, dass sie unabhängig von der konkreten Implementierung übernommen werden können. Einzelne Implementierungsentscheidungen sind dadurch nicht unabhängig reproduzierbar; darauf weist Abschnitt 6.5 hin.

Literatur

- Anil, E. B., Tang, P., Akinci, B., Huber, D., Assessment of quality of as-is building information models generated from point clouds using deviation analysis, in: Three-Dimensional Imaging, Interaction, and Measurement, Proceedings of SPIE 7864, 2011, 78640F, doi:10.1117/12.876554.
- Bloch, T., Connecting research on semantic enrichment of BIM – review of approaches, methods and possible applications, Journal of Information Technology in Construction 27 (2022) 416–440, doi:10.36680/j.itcon.2022.020.
- Cao, J., Hall, D., Ontology-based product configuration for modular buildings, in: Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020), IAARC, 2020, doi:10.22260/ISARC2020/0026.
- Eastman, C., Lee, J.-M., Jeong, Y.-S., Lee, J.-K., Automatic rule-based checking of building designs, Automation in Construction 18 (2009) 1011–1033, doi:10.1016/j.autcon.2009.07.002.
- Grilo, A., Jardim-Gonçalves, R., Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments, Automation in Construction 19 (2010) 522–530, doi:10.1016/j.autcon.2009.11.003.
- Hermann, L., Metzger, S., Reher, C., Steuwer, S., Boll, J. R., Broer, R., Volt, J., Serielle Sanierung in Europa und Deutschland, Umweltbundesamt, Texte 114/2021, Dessau-Roßlau, 2021, <https://www.uba.de/n89069de>.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., Ram, S., Design science in information systems research, MIS Quarterly 28 (2004) 75–105.
- Jahr, K., Borrmann, A., Semi-automated site equipment selection and configuration through formal knowledge representation and inference, Advanced Engineering Informatics 38 (2018) 488–500,

doi:10.1016/j.aei.2018.08.015.

- Khosakitchalart, C., Yabuki, N., Fukuda, T., Improving the accuracy of BIM-based quantity takeoff for compound elements, Automation in Construction 106 (2019) 102891, doi:10.1016/j.autcon.2019.102891.
- Konstantinou, T., Heesbeen, C., Industrialized renovation of the building envelope: realizing the potential to decarbonize the European building stock, in: Gasparri, E., Brambilla, A., Lobaccaro, G., Goia, F., Andaloro, A., Sangiorgio, A. (Eds.), Rethinking Building Skins: Transformative Technologies and Research Trajectories, Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Woodhead Publishing, 2022, pp. 257–283, doi:10.1016/B978-0-12-822477-9.00008-5.
- Kruchten, P., Lago, P., van Vliet, H., Building up and reasoning about architectural knowledge, in: Hofmeister, C., Crnkovic, I., Reussner, R. (Eds.), Quality of Software Architectures, Lecture Notes in Computer Science 4214, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, pp. 43–58, doi:10.1007/11921998_8.
- Lee, J.-K., Eastman, C. M., Lee, Y. C., Implementation of a BIM domain-specific language for the building environment rule and analysis, Journal of Intelligent & Robotic Systems 79 (2015) 507–522, doi:10.1007/s10846-014-0117-7.
- Lee, S.-K., Kim, K.-R., Yu, J.-H., BIM and ontology-based approach for building cost estimation, Automation in Construction 41 (2014) 96–105, doi:10.1016/j.autcon.2013.10.020.
- Lee, Y.-C., Eastman, C. M., Solihin, W., See, R., Modularized rule-based validation of a BIM model pertaining to model views, Automation in Construction 63 (2016) 1–11, doi:10.1016/j.autcon.2015.11.006.
- Lee, Y.-C., Eastman, C. M., Solihin, W., Rules and validation processes for interoperable BIM data exchange, Journal of Computational Design and Engineering 8 (2021) 97–114, doi:10.1093/jcde/qwaa064.
- Macher, H., Landes, T., Grussenmeyer, P., From point clouds to Building Information Models: 3D semi-automatic reconstruction of indoors of existing buildings, Applied Sciences 7 (2017) 1030, doi:10.3390/app7101030.
- Monteiro, A., Poças Martins, J., A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design, Automation in Construction 35 (2013) 238–253, doi:10.1016/j.autcon.2013.05.005.
- Palihakkara, A. D., Osorio-Sandoval, C. A., Tizani, W., A review of the application of ontologies and semantic web for Building Information Modelling and digital twins based construction management, Journal of Information Technology in Construction 30 (2025) 1208–1243, doi:10.36680/j.itcon.2025.049.
- Pan, Y., Zhang, L., Automated process discovery from event logs in BIM construction projects, Automation in Construction 127 (2021) 103713, doi:10.1016/j.autcon.2021.103713.
- Pauwels, P., Zhang, S., Lee, Y.-C., Semantic web technologies in AEC industry: A literature overview, Automation in Construction 73 (2017) 145–165, doi:10.1016/j.autcon.2016.10.003.
- Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., Chatterjee, S., A design science research methodology for information systems research, Journal of Management Information Systems 24 (2007) 45–77.
- Rasmussen, M. H., Lefrançois, M., Schneider, G. F., Pauwels, P., BOT: The building topology ontology of the W3C linked building data group, Semantic Web 12 (2021) 143–161, doi:10.3233/SW-200385.
- Runeson, P., Höst, M., Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering, Empirical Software Engineering 14 (2009) 131–164.
- Solihin, W., Eastman, C., Classification of rules for automated BIM rule checking development, Automation in Construction 53 (2015) 69–82, doi:10.1016/j.autcon.2015.03.003.
- Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R., Lytle, A., Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques, Automation in Construction 19 (2010) 829–843, doi:10.1016/j.autcon.2010.06.007.
- Tyree, J., Akerman, A., Architecture decisions: Demystifying architecture, IEEE Software 22 (2005) 19–27, doi:10.1109/MS.2005.27.
- Venable, J., Pries-Heje, J., Baskerville, R., FEDS: a framework for evaluation in design science research, European Journal of Information Systems 25 (2016) 77–89.
- Volk, R., Stengel, J., Schultmann, F., Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs, Automation in Construction 38 (2014) 109–127, doi:10.1016/j.autcon.2013.10.023.
- Zhang, L. L., Product configuration: a review of the state-of-the-art and future research, International Journal of Production Research 52 (2014) 6381–6398, doi:10.1080/00207543.2014.942012.