

Substring - The Data Company

Deep Learning Lösungen für kosteneffiziente Tunnelwartung
Dataholics #14 Webinar-Reihe

14. Januar 2025



Joël Zbinden

Data Scientist & Machine Learning Engineer

j.zbinden@substring.ch

Teilnehmen unter
attend.sl/4xyp





GSP 5000 System with Amberg Profiler 6012

KI in Tunnels



KI in Kanalisationen



KI an Brücken





Tunnelinspektion, Prozess und Amberg Plattform



Methodik zur erfolgreichen «Vision» ML-Entwicklung



Qualitätsaspekte und Resultate



Zusammenfassung und Fazit

Agenda



Tunnelinspektion, Prozess und Amberg Plattform



Methodik zur erfolgreichen
«Vision» ML-Entwicklung



Qualitätsaspekte und Resultate



Zusammenfassung und Fazit

Agenda

A perspective view of a large, circular tunnel under construction. The walls are made of concrete with visible joints. A worker in a high-visibility vest and hard hat is walking away from the camera in the distance. In the foreground, a small, four-wheeled robot with a camera and sensors is positioned on the floor. The tunnel is illuminated by a series of lights along the walls, creating a strong sense of depth.

57 km

Welt längster Bahntunnel

7%

des globalen
Infrastrukturbau-Marktes

5'000 km

Tunnels pro Jahr gebaut

7%

Jährliches Wachstum

10Mia €

Europäischer
Tunnelmarkt pro Jahr

Alte Löttschberg Linie, ca. Mitternacht



Objekte des Interesses



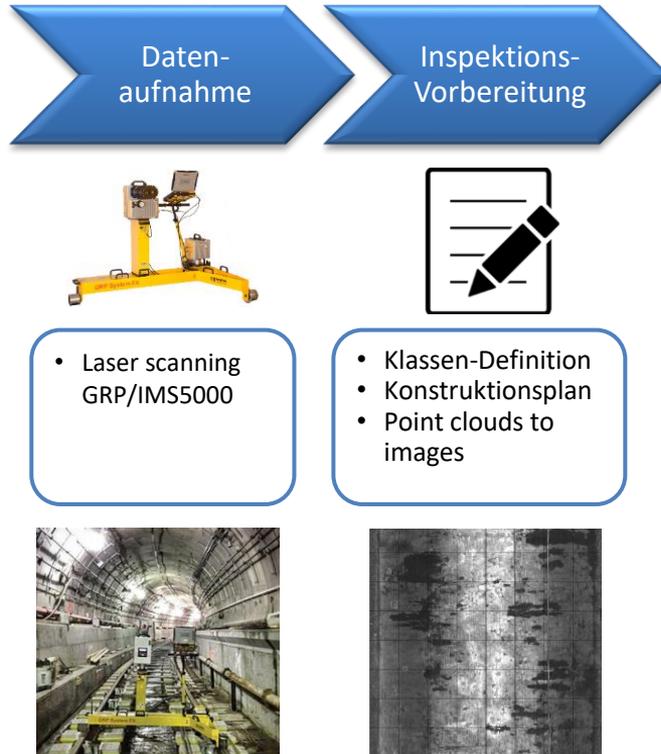
Tunnel Inspektionsprozess



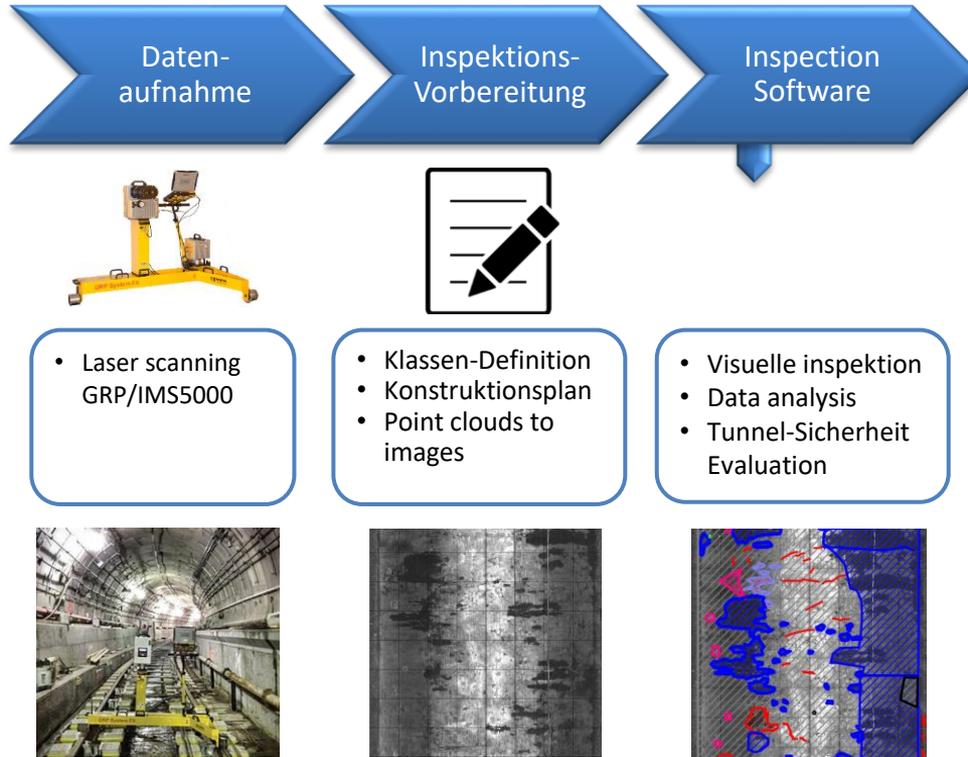
- Laser scanning
GRP/IMS5000



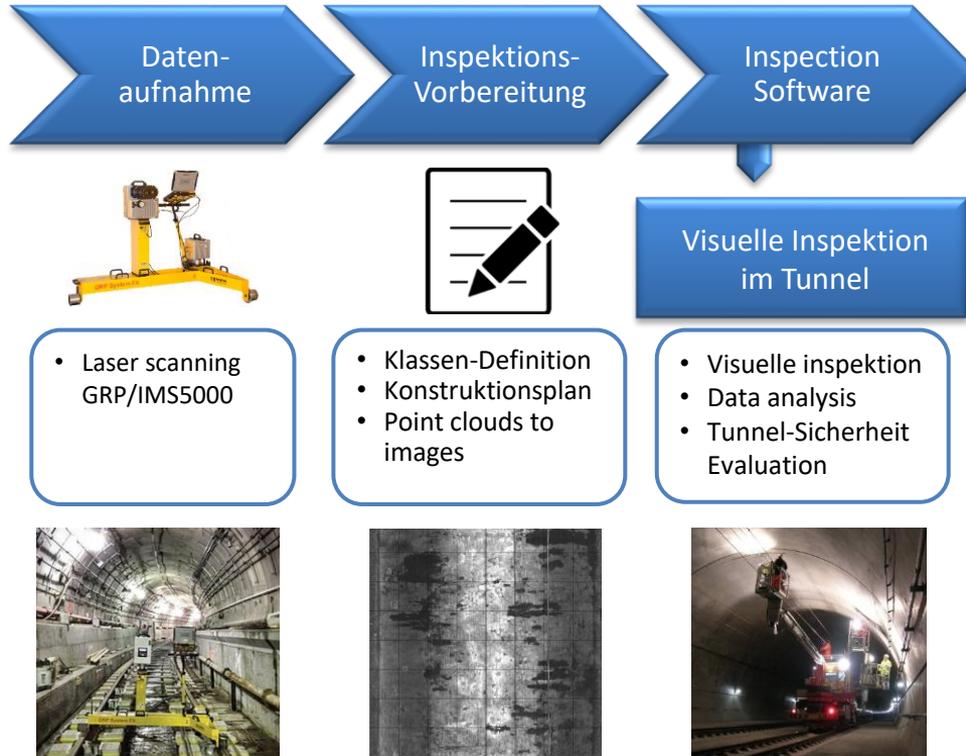
Tunnel Inspektionsprozess



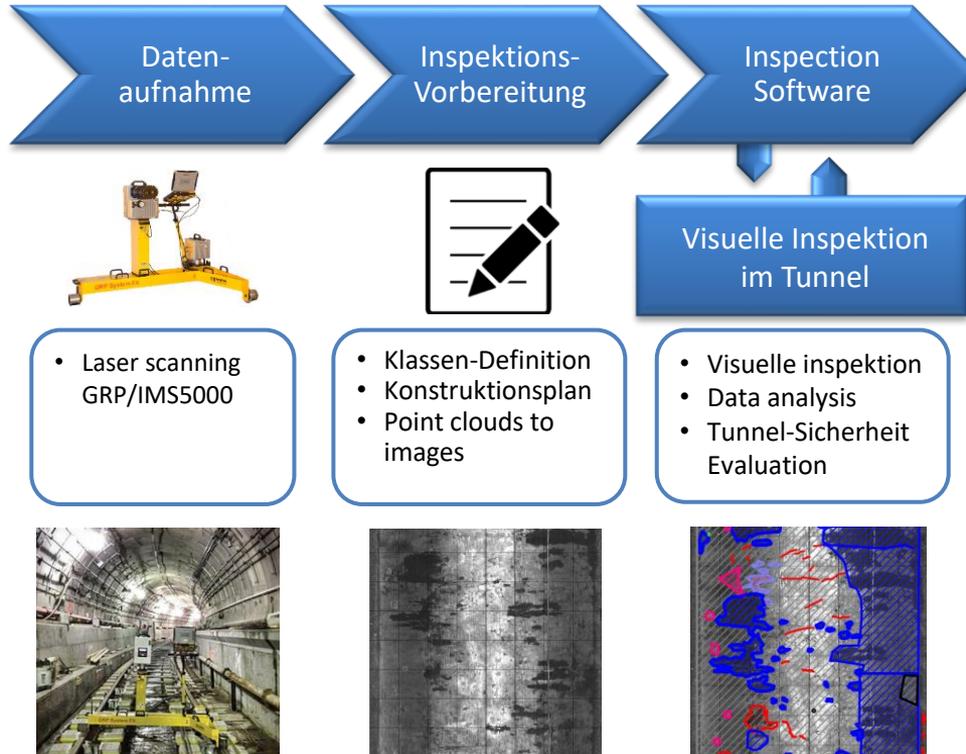
Tunnel Inspektionsprozess



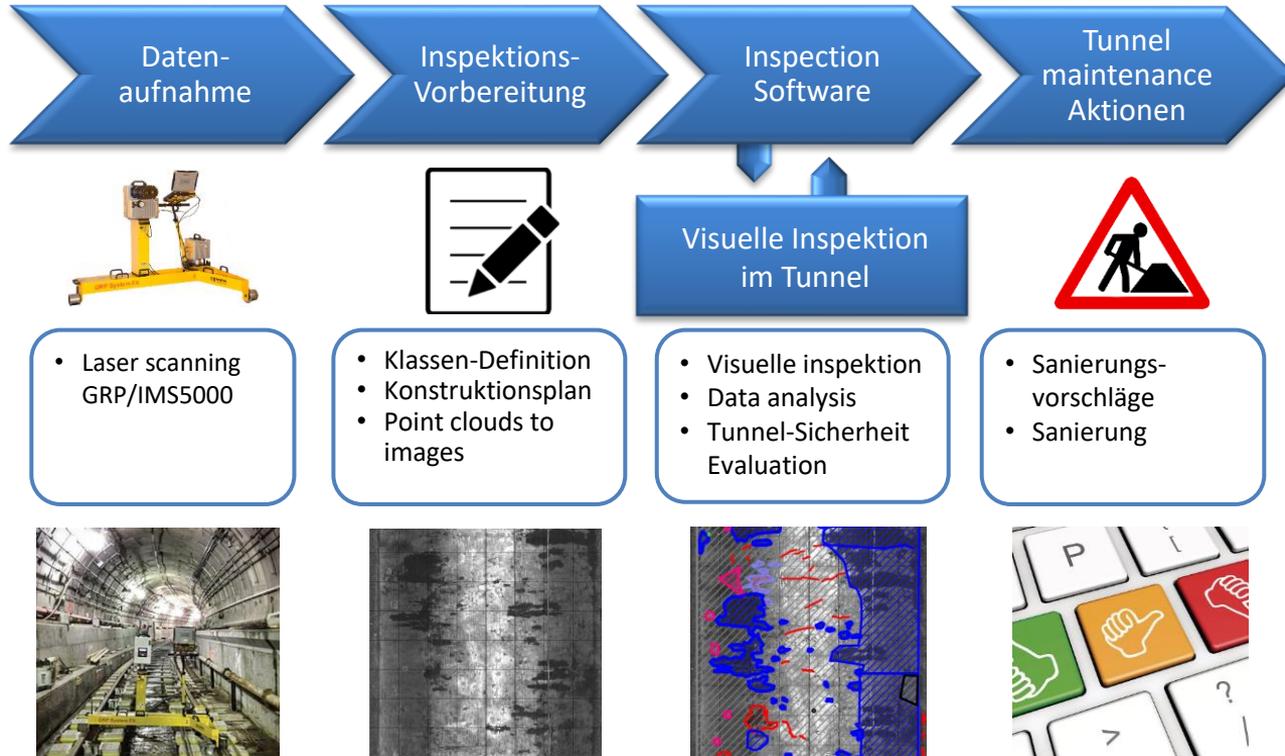
Tunnel Inspektionsprozess



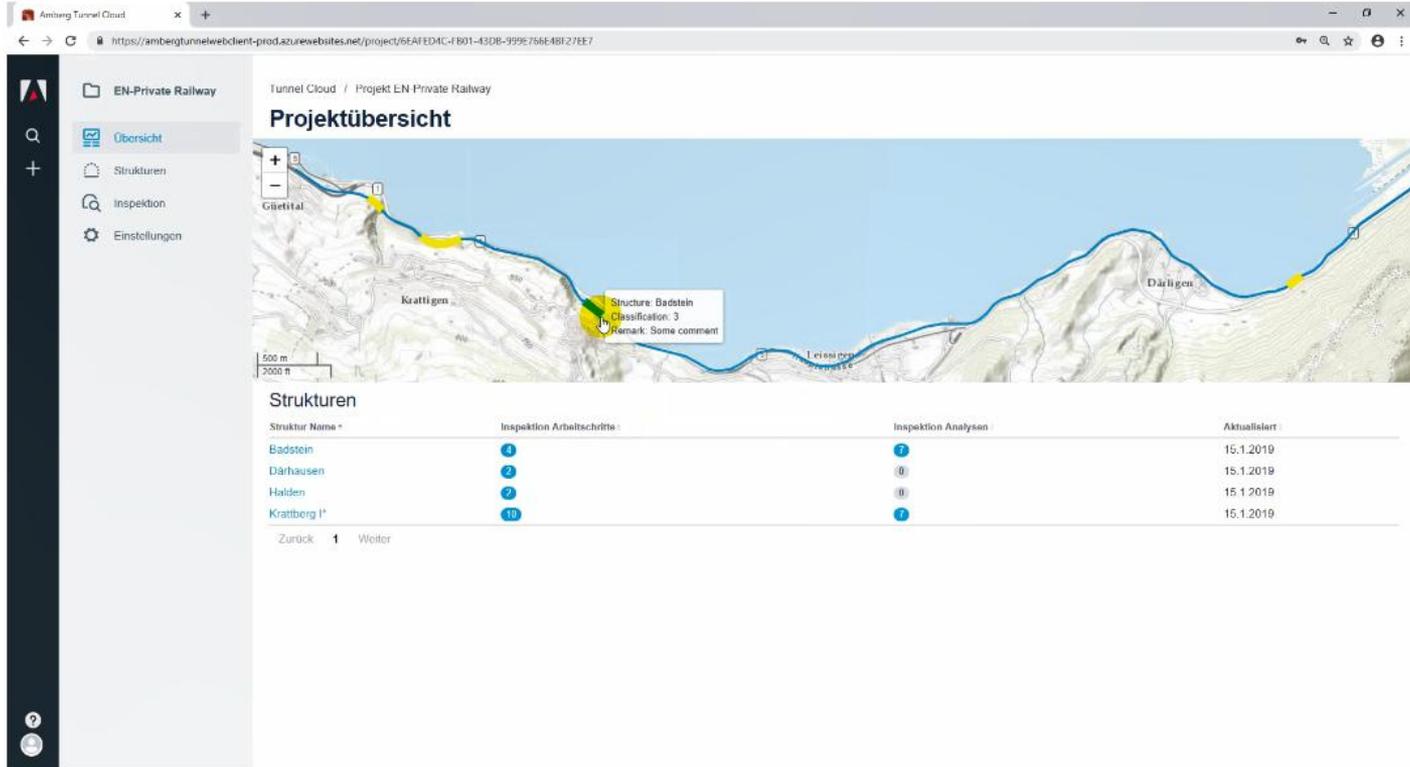
Tunnel Inspektionsprozess



Tunnel Inspektionsprozess



Amberg Inspektionsplattform



The screenshot displays the 'Amberg Tunnel Cloud' web application. The browser address bar shows the URL: <https://ambergtunnelwebclient-prod.azurewebsites.net/project/6FAFED4C-1B01-43DB-999E-766E4BF27EE7>. The page title is 'Tunnel Cloud / Projekt EN Private Railway'.

The main content area is titled 'Projektübersicht' and features a topographic map of a railway route. The route is highlighted in blue, with several yellow circular markers indicating inspection points. A tooltip for the 'Badstein' structure is visible, showing 'Classification: 3' and 'Remark: Some comment'. The map includes a scale bar for 500m and 2000ft, and labels for locations like Gießtal, Krattigen, Teissee, and Dählgraben.

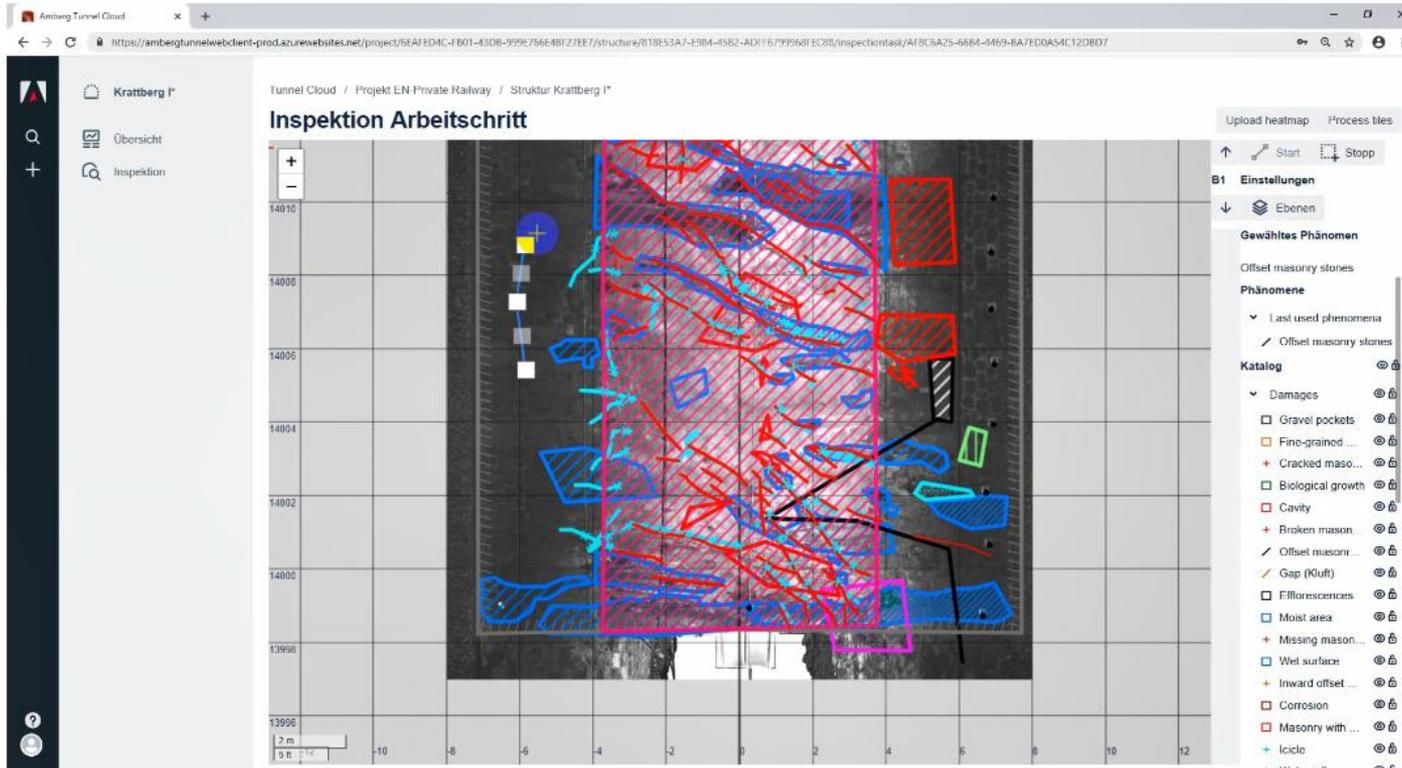
On the left side, there is a navigation menu with the following items: 'EN-Private Railway', 'Übersicht', 'Strukturen', 'Inspektion', and 'Einstellungen'. The 'Übersicht' item is currently selected.

Below the map, there is a table titled 'Strukturen' with the following data:

Struktur Name	Inspektion Arbeitsschritte	Inspektion Analysen	Aktualisiert
Badstein	1	7	15.1.2019
Dählgraben	2	0	15.1.2019
Halden	2	0	15.1.2019
Krattberg I*	10	7	15.1.2019

At the bottom of the table, there are navigation links: 'Zurück' and 'Weiter'.

Amberg Inspektionsplattform



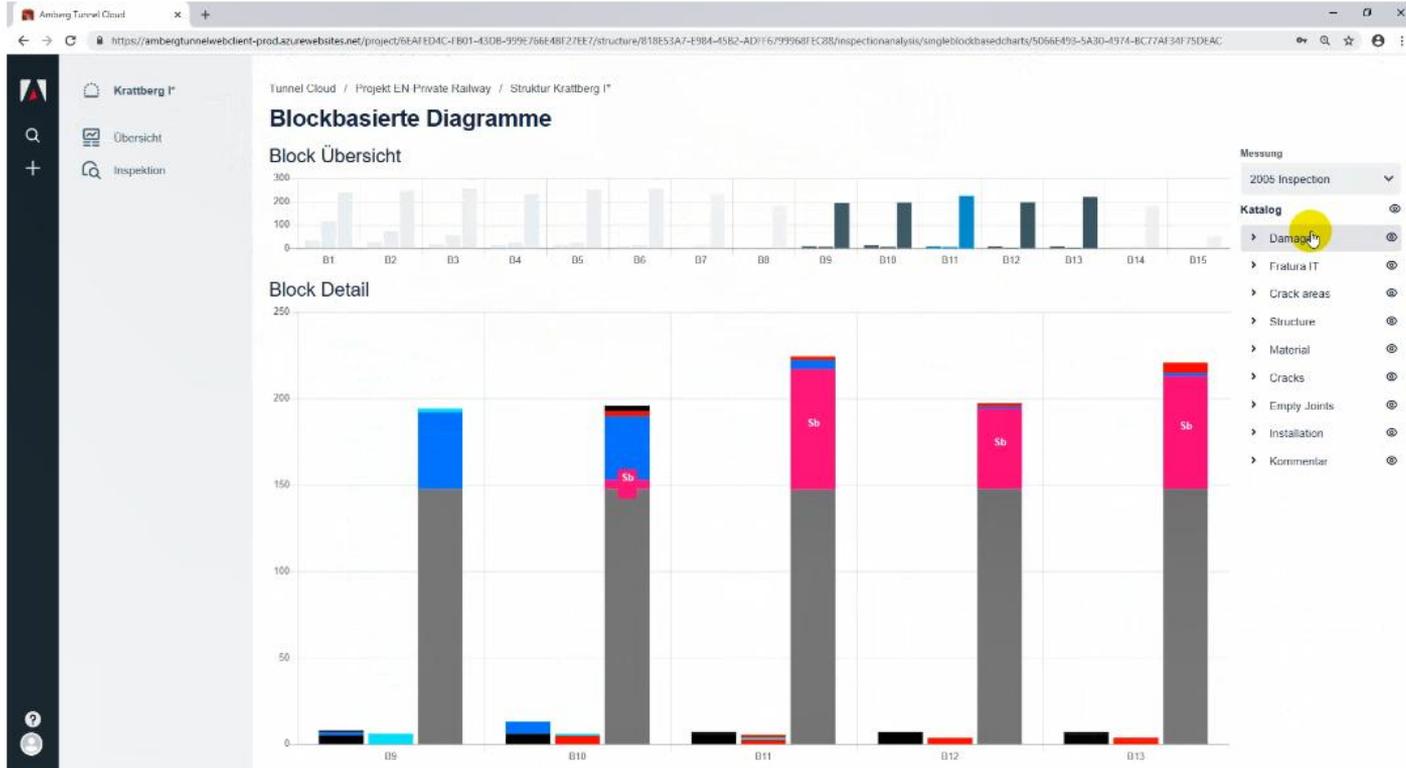
The screenshot displays the Amberg Inspektionsplattform web interface. The browser address bar shows the URL: <https://ambergtunnelwebclient-prod.azurewebsites.net/project/6FA1ED4C-F801-43DB-999E766E-8B727EE7/structure/818E53A7-E964-45B2-AD1F6799568F-EC28/inspectiontask/418C6A25-6684-M69-BA7FDDA54C12D8D7>

The main content area is titled "Inspektion Arbeitsschritt" and displays a grid-based map of a tunnel section. The map shows a central area with a red hatched pattern, overlaid with various colored annotations: red lines, blue lines, and blue shaded regions. A yellow square and a blue circle are also visible on the left side of the map. The map is overlaid on a grid with vertical coordinates ranging from 13996 to 14010 and horizontal coordinates ranging from -10 to 12. A scale bar at the bottom left indicates 2 m and 5 ft.

The interface includes a left sidebar with navigation options: "Kratberg I*", "Übersicht", and "Inspektion". The right sidebar contains a legend titled "Gewähltes Phänomen" (Selected Phenomenon) and "Phänomene" (Phenomena). The legend lists various damage types with corresponding icons and colors:

- Offset masonry stones
- Phänomene
 - Last used phenomena
 - Offset masonry stones
- Katalog
 - Damages
 - Gravel pockets
 - Fine-grained ...
 - Cracked maso...
 - Biological growth
 - Cavity
 - Broken mason...
 - Offset masonr...
 - Gap (Kluft)
 - Fluorescences
 - Moist area
 - Missing mason...
 - Wet surface
 - Inward offset ...
 - Corrosion
 - Masonry with ...
 - Icicle
 - Water inflow

Amberg Inspektionsplattform





Tunnelinspektion, Prozess und Amberg Plattform



**Methodik zur erfolgreichen
«Vision» ML-Entwicklung**



Qualitätsaspekte und Resultate

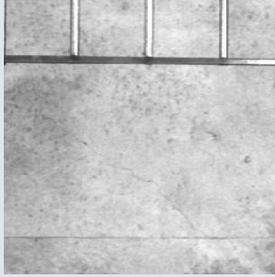


Zusammenfassung und Fazit

Agenda

Welcher Deep Learning Typ?

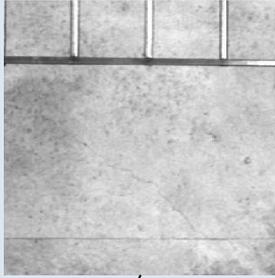
Input



Potential Output

Welcher Deep Learning Typ?

Input



Classification

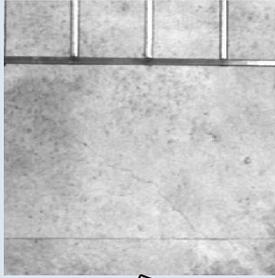
“There is a
crack!”

Potential Output

“There is no
crack!”

Welcher Deep Learning Typ?

Input



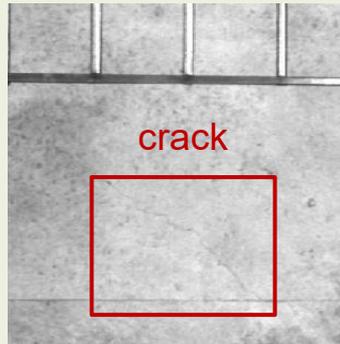
Potential Output

Classification

“There is a crack!”

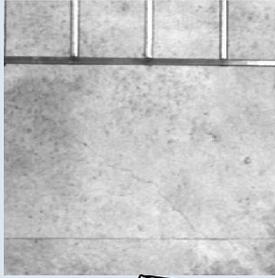
“There is no crack!”

Detection



Welcher Deep Learning Typ?

Input



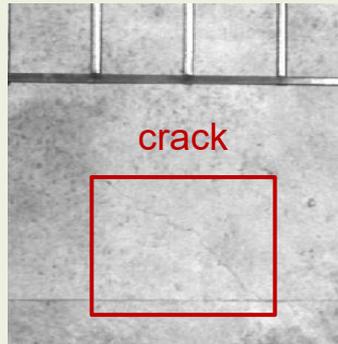
Potential Output

Classification

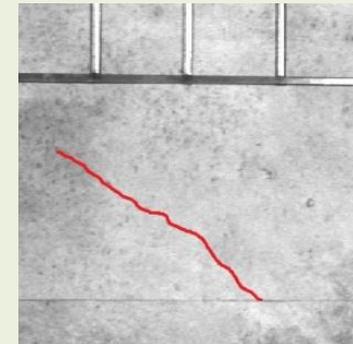
“There is a crack!”

“There is no crack!”

Detection

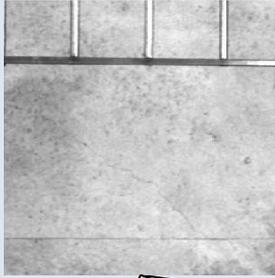


Segmentation



Welcher Deep Learning Typ?

Input



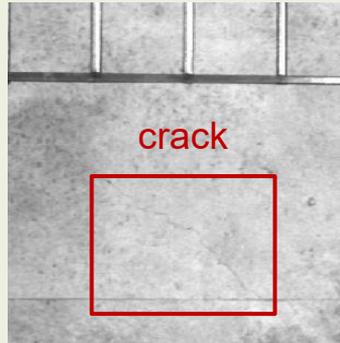
Potential Output

Classification

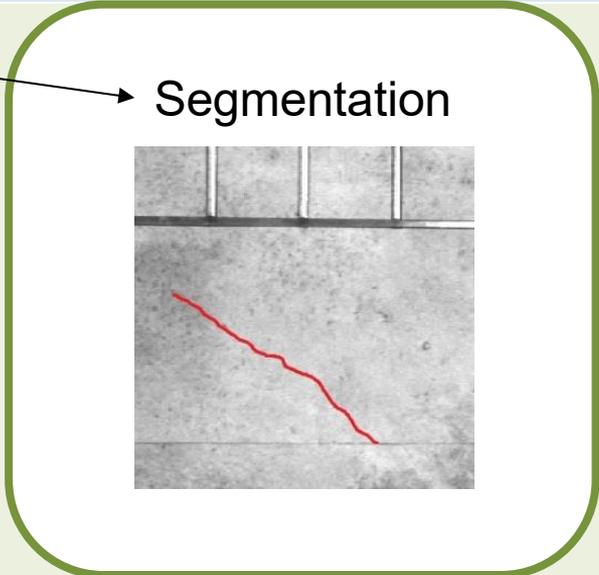
“There is a crack!”

“There is no crack!”

Detection



Segmentation



Wie sehen die Daten aus?

Daten Quantität: Tunneltypen kombinieren?

	Tunnel type	Length	# cracks
Tunnel 1	Concrete	1,000 m	41
Tunnel 2	Brick	800 m	153
Tunnel 3	Brick	2,500 m	478
Tunnel 4	Concrete	3,200 m	83
Tunnel 5	Segmented	2,100 m	68
Tunnel 6	Brick	1,300 m	326
...

Daten Quantität: Tunneltypen kombinieren?

	Tunnel type	Length	# cracks
Tunnel 1	Concrete	1,000 m	41
Tunnel 2	Brick	800 m	153
Tunnel 3	Brick	2,500 m	478
Tunnel 4	Concrete	3,200 m	83
Tunnel 5	Segmented	2,100 m	68
Tunnel 6	Brick	1,300 m	326
...



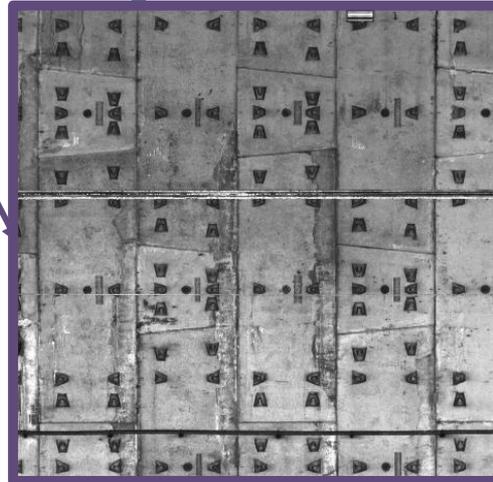
Daten Quantität: Tunneltypen kombinieren?

	Tunnel type	Length	# cracks
Tunnel 1	Concrete	1,000 m	41
Tunnel 2	Brick	800 m	153
Tunnel 3	Brick	2,500 m	478
Tunnel 4	Concrete	3,200 m	83
Tunnel 5	Segmented	2,100 m	68
Tunnel 6	Brick	1,300 m	326
...



Daten Quantität: Tunneltypen kombinieren?

	Tunnel type	Length	# cracks
Tunnel 1	Concrete	1,000 m	41
Tunnel 2	Brick	800 m	153
Tunnel 3	Brick	2,500 m	478
Tunnel 4	Concrete	3,200 m	83
Tunnel 5	Segmented	2,100 m	68
Tunnel 6	Brick	1,300 m	326
...

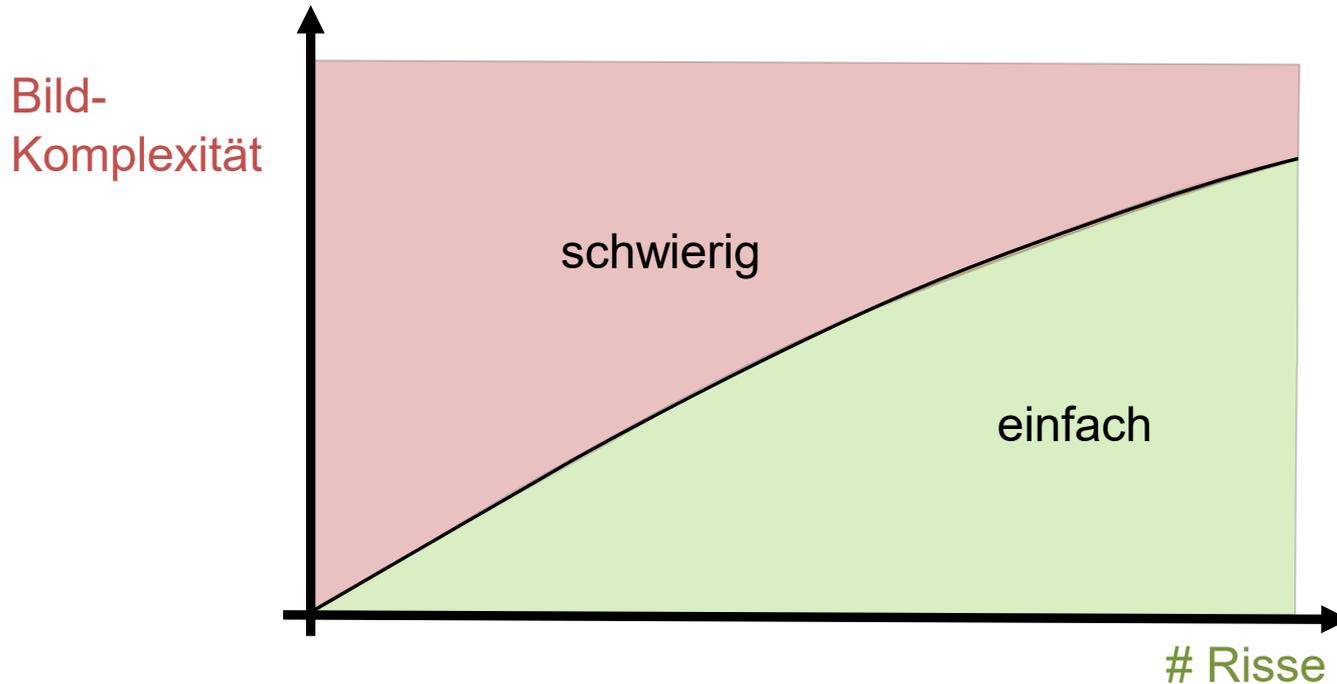


Daten Quantität: Tunneltypen kombinieren?

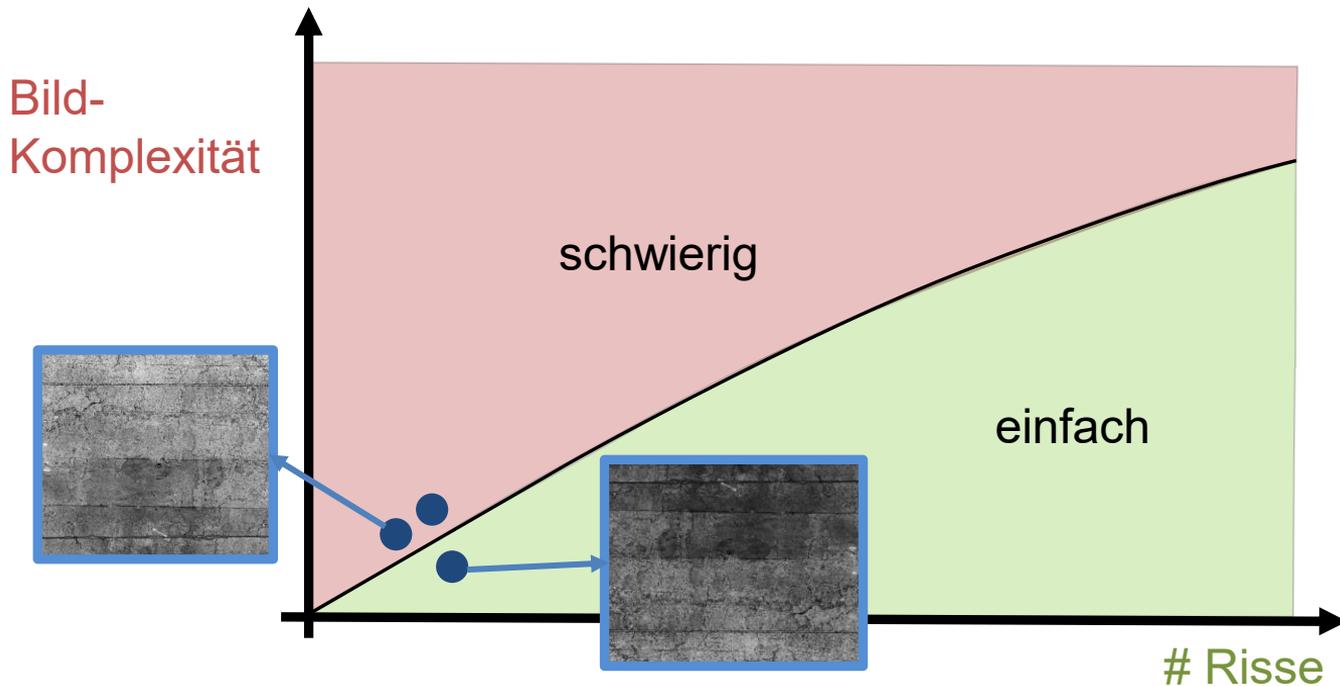
	Tunnel type	Length	# cracks
Tunnel 1	Concrete	1,000 m	41
Tunnel 2	Brick	800 m	153
Tunnel 3	Brick	2,500 m	478
Tunnel 4	Concrete	3,200 m	83
Tunnel 5	Segmented	2,100 m	68
Tunnel 6	Brick	1,300 m	326
...

Wie kann man die Datenquantität erhöhen?

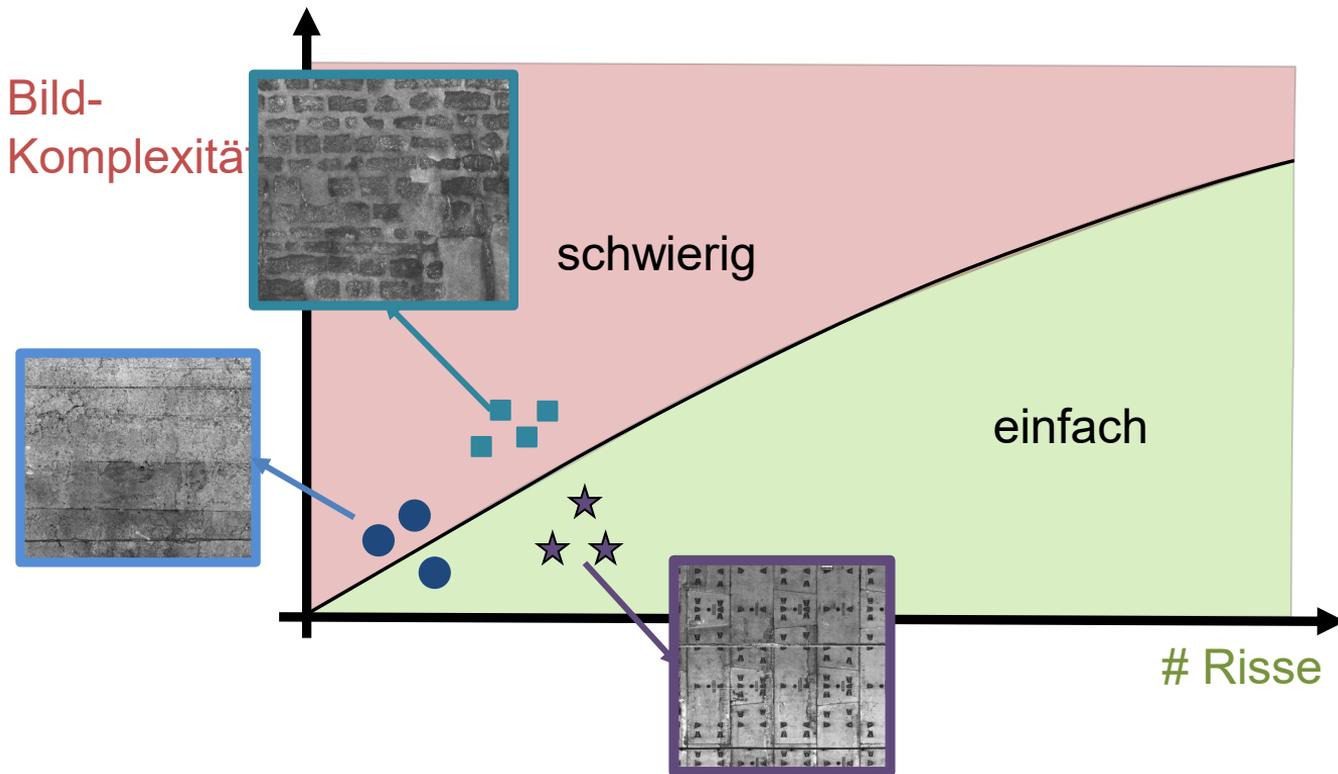
Daten Quantität: Tunneltypen kombinieren?



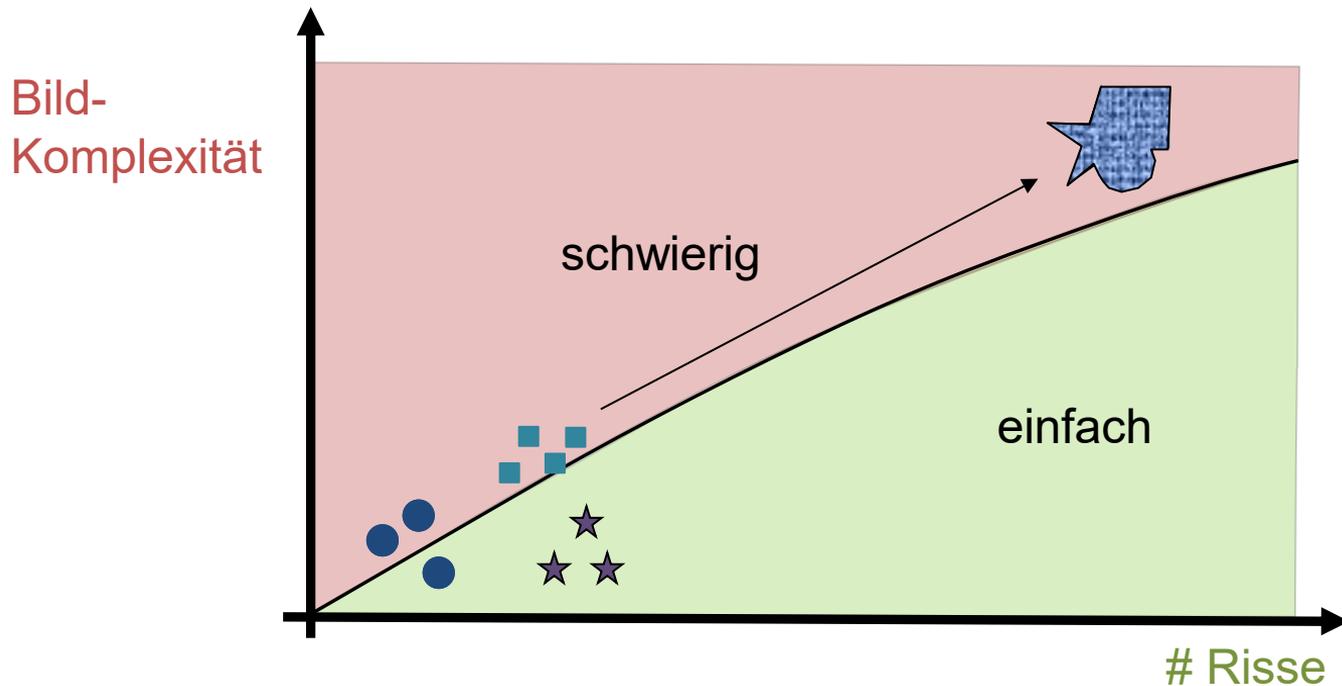
Daten Quantität: Tunneltypen kombinieren?



Daten Quantität: Tunneltypen kombinieren?



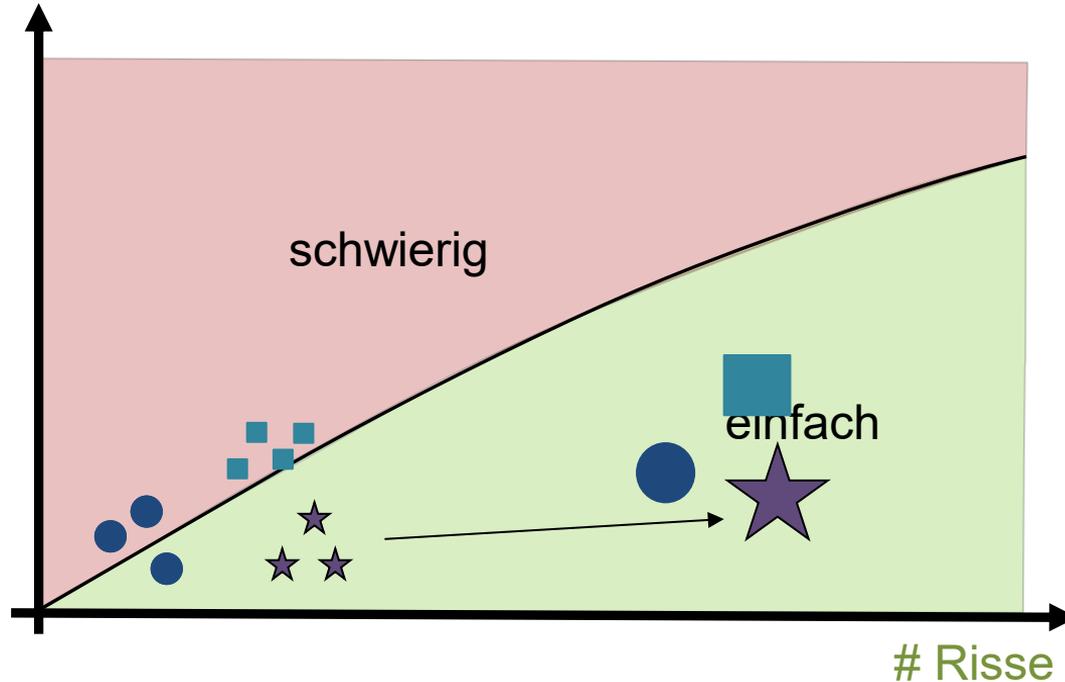
Daten Quantität: Tunneltypen kombinieren?



Daten Quantität: Tunneltypen kombinieren?

Training separater Modelle ist einfacher

Bild-Komplexität



Risse

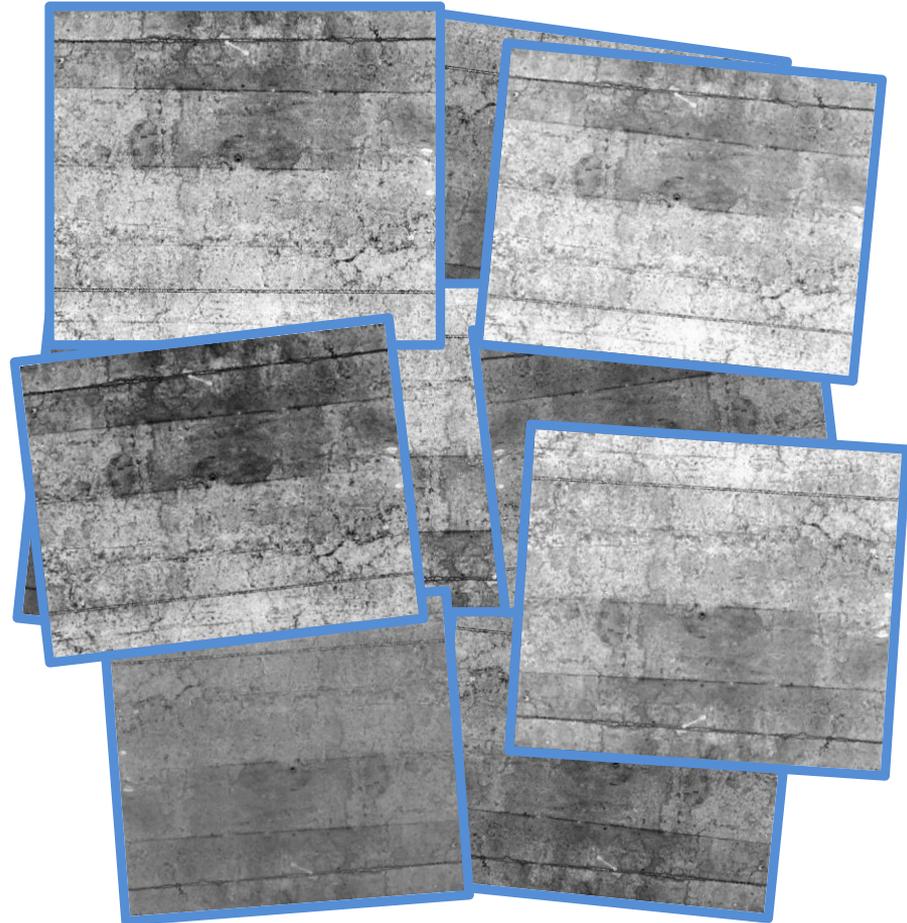
Data augmentation



Data augmentation



- Drehung
- Zoom
- Spiegelung vertikal
- Spiegelung horizontal
- Helligkeit ändern
- Kontrast ändern
- ...





Tunnelinspektion, Prozess und Amberg Plattform



Methodik zur erfolgreichen «Vision» ML-Entwicklung



Qualitätsaspekte und Resultate

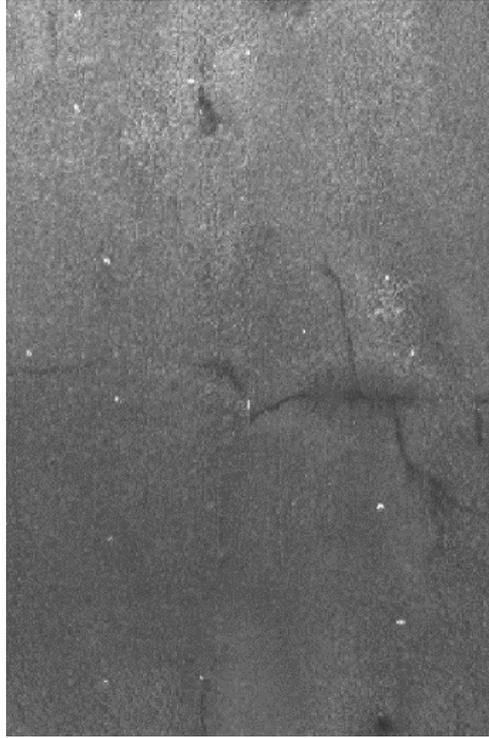


Zusammenfassung und Fazit

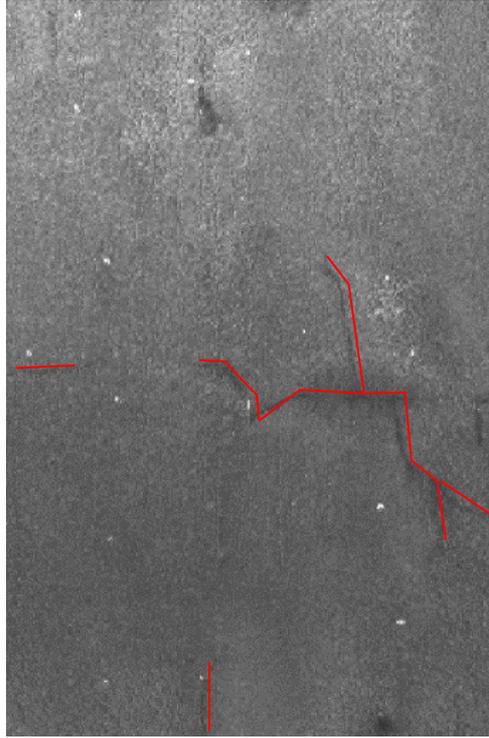
Agenda

Und die Datenqualität?

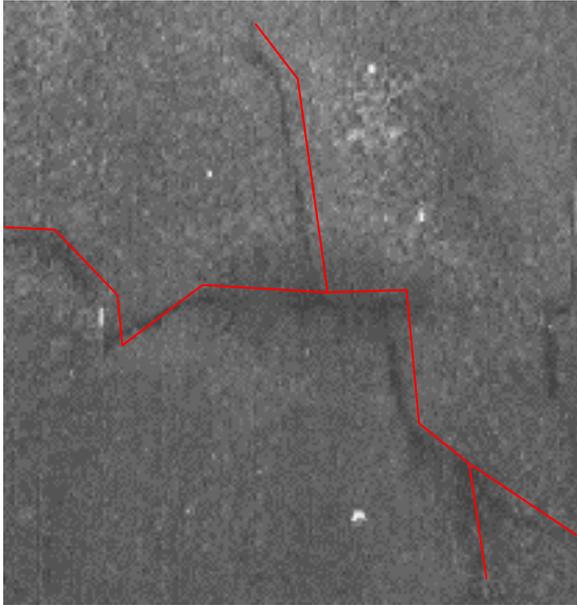
Datenqualität



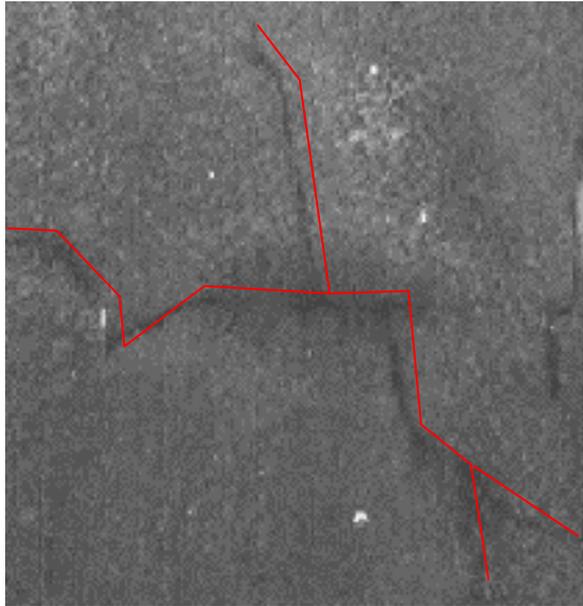
Datenqualität der Annotierungen



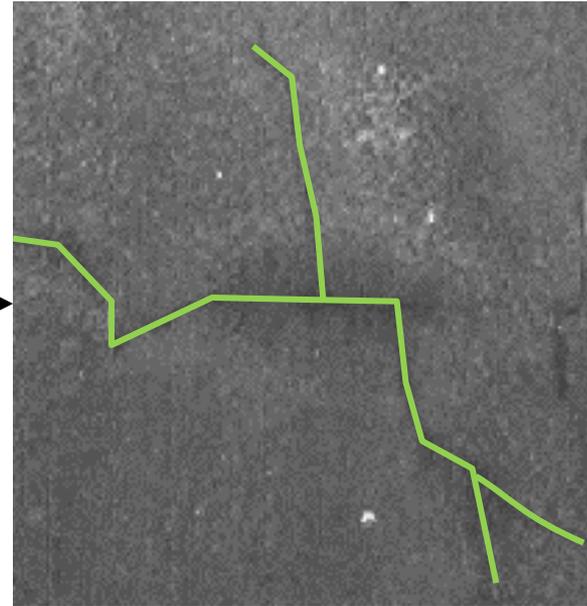
Datenqualität der Annotierungen



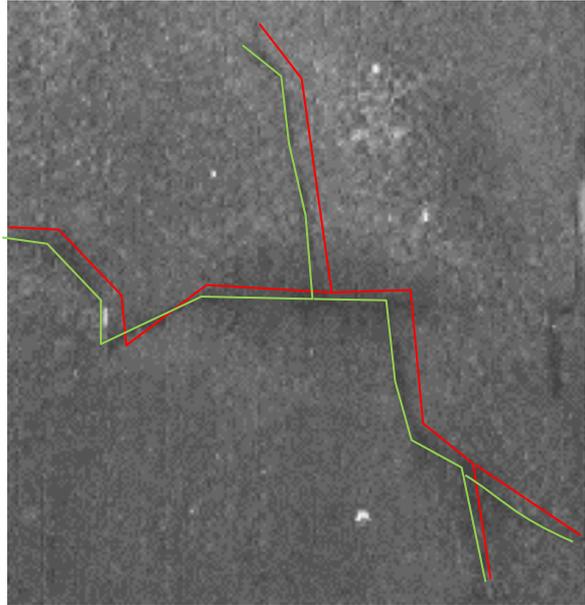
Datenqualität der Annotierungen



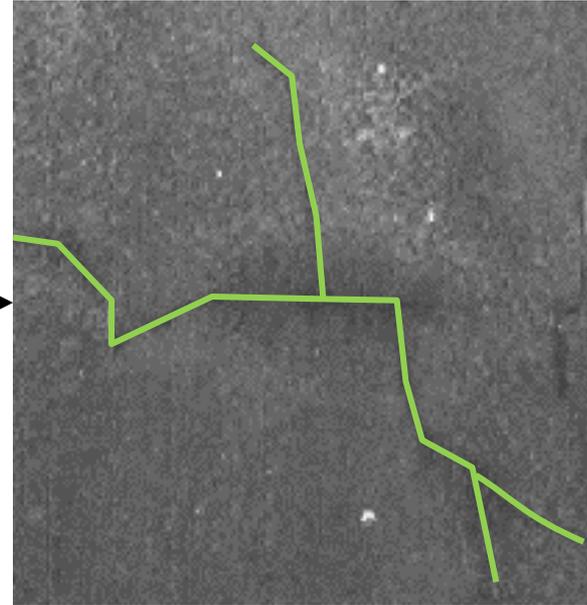
Korrekte
labels



Datenqualität: Verbesserung training «labels»



Korrekte
labels

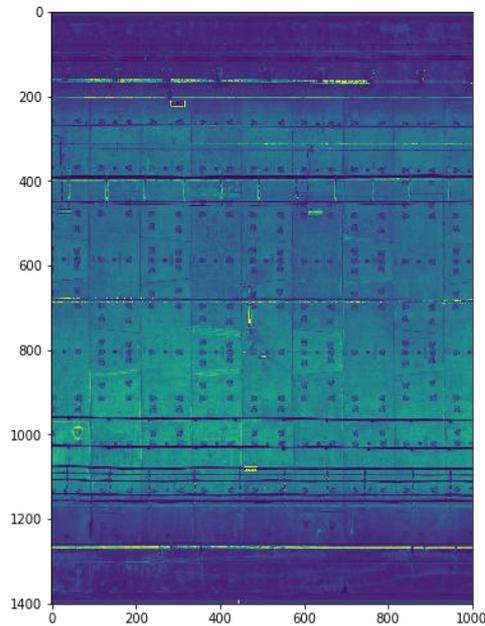


+50% mehr richtig erkannte Schäden
dank korrigierten Trainingslabels!

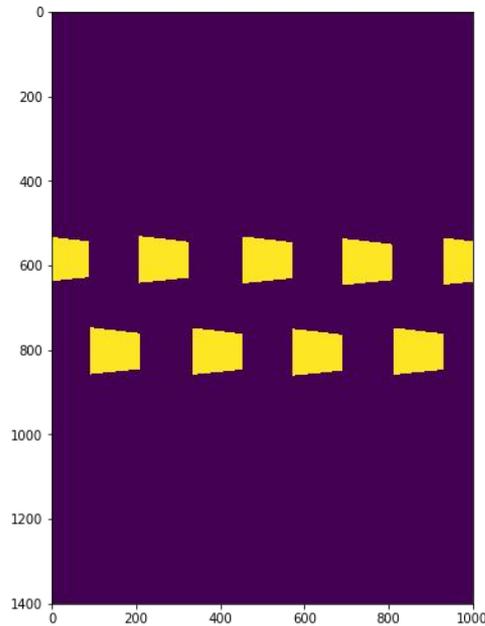
Resultate

Verstärkungen - "Keystones"

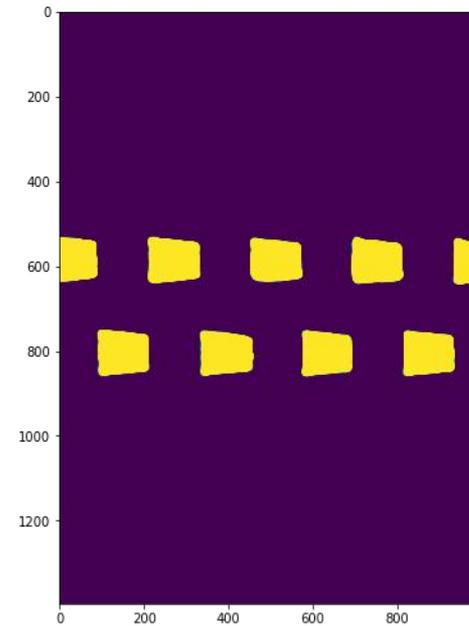
Quellbild



Manuelle Inspektion

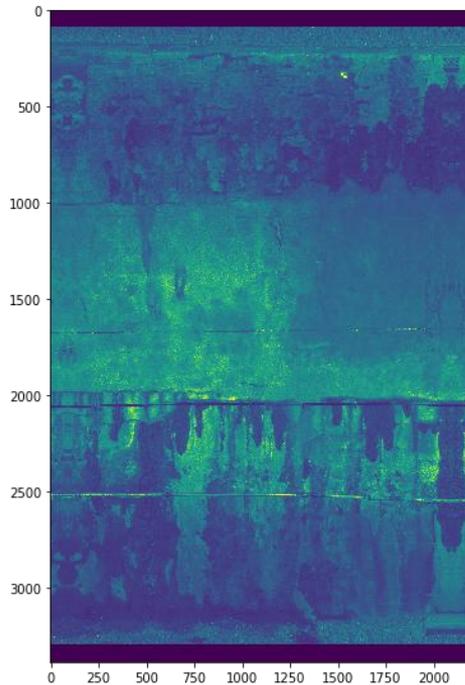


Automatische Inspektion
(deep learning)

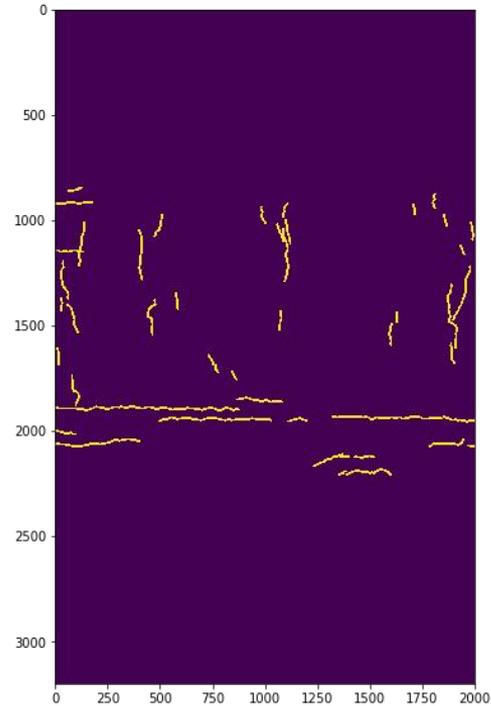


Risse

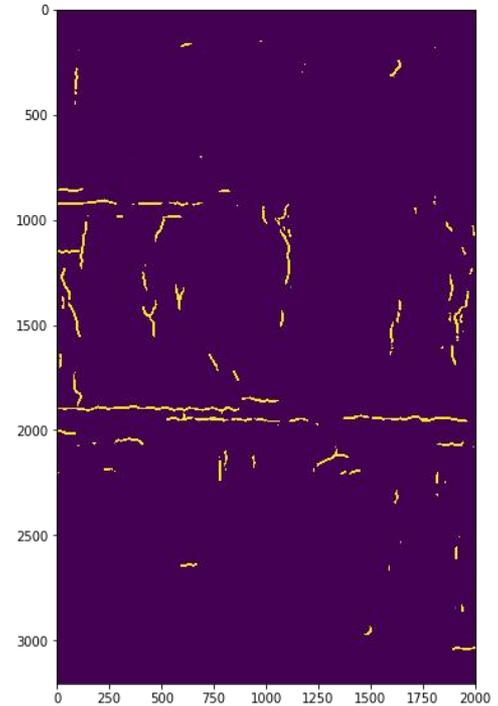
Quellbild



Manuelle Inspektion

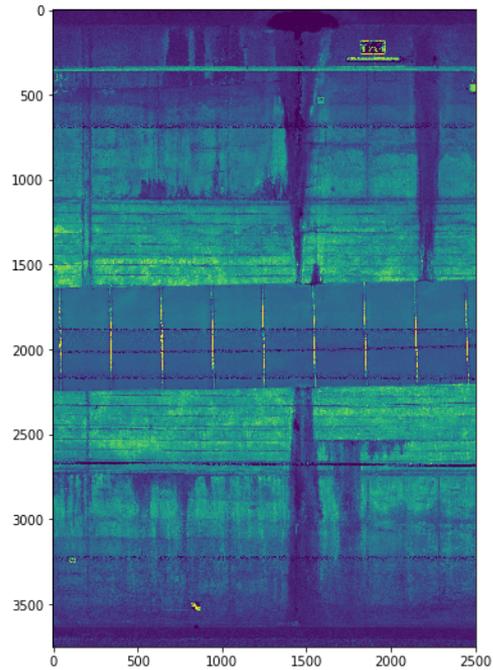


Automatische Inspektion
(deep learning)

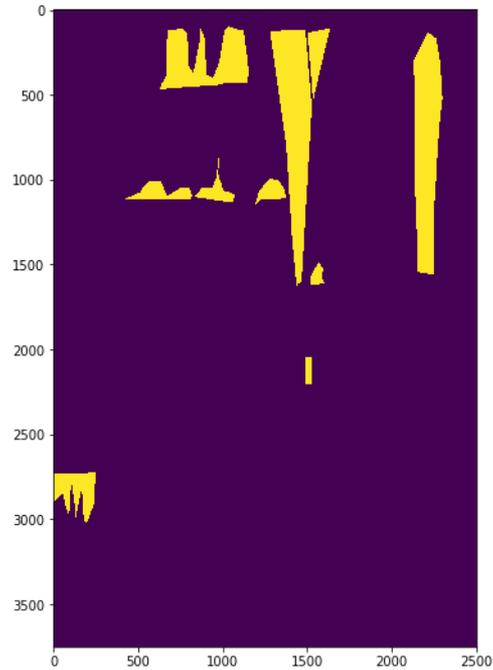


Nassstellen

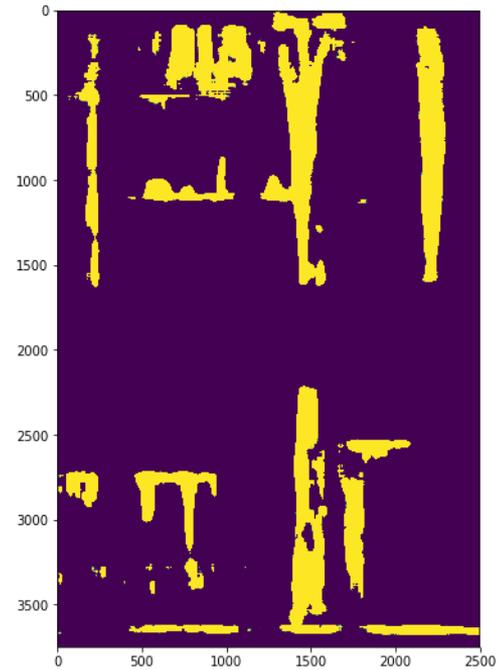
Quellbild



Manuelle Inspektion

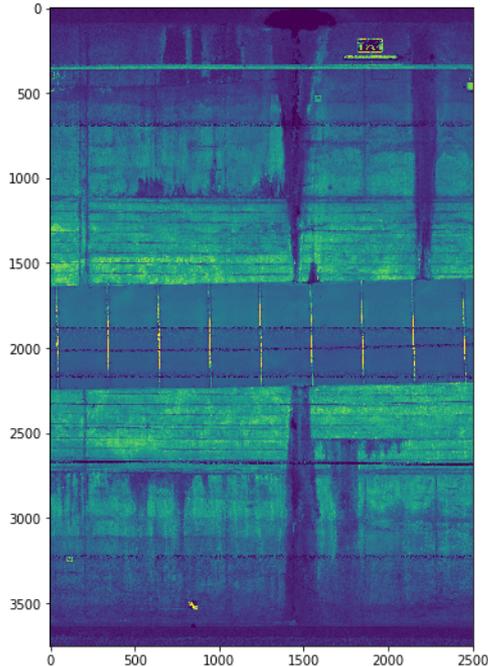


Automatische Inspektion
(deep learning)

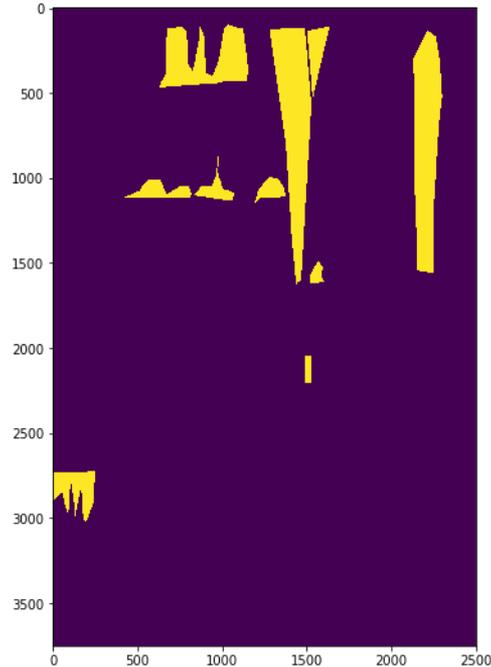


Nassstellen

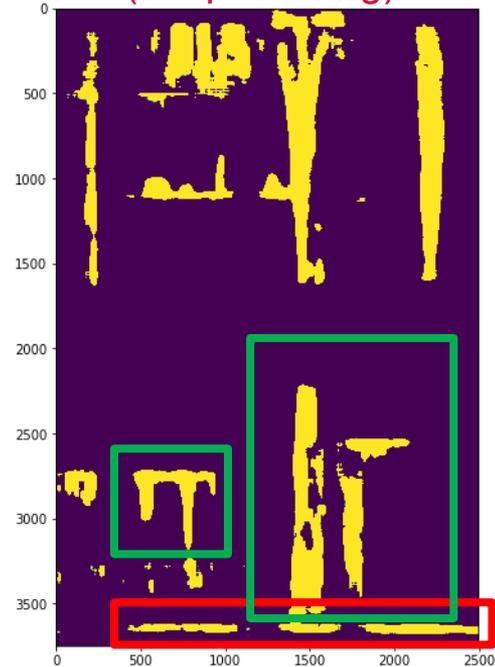
Quellbild



Manuelle Inspektion



Automatische Inspektion
(deep learning)

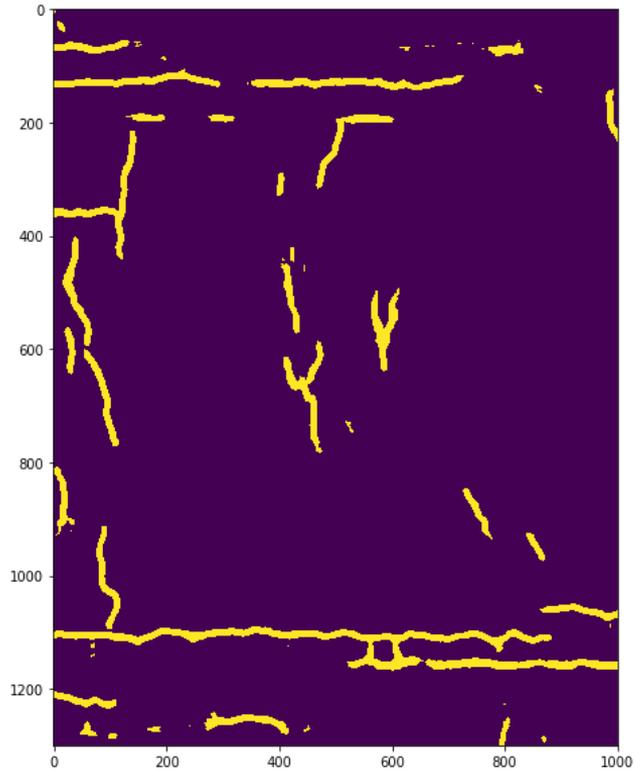


Wurde durch
Mensch
vergessen

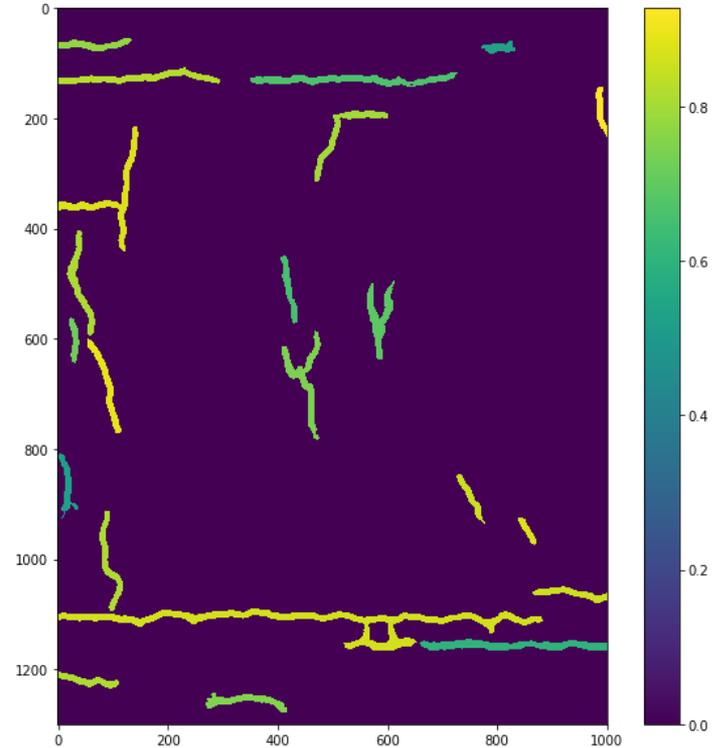
Fehler: keine Nassstelle

Verbesserungen: Unsicherheiten quantifizieren

Post-processing

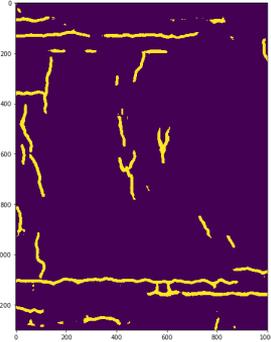


Post-processing mit
Wahrscheinlichkeiten



Nutzen messen!

Raw

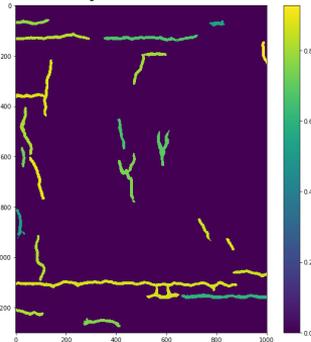


62 Risse gefunden!
38% precision



Aufwandreduktion: 5x

Postprocessed



22 Risse gefunden!
86% precision



Aufwandreduktion: 10x



Tunnelinspektion, Prozess und Amberg Plattform



Methodik zur erfolgreichen «Vision» ML-Entwicklung



Qualitätsaspekte und Resultate



Zusammenfassung und Fazit

Agenda

Zusammenfassung Resultate

1. Reduzieren Sie die Zeit vor dem Bildschirm um 90% + oder vollständig eliminieren
2. Qualität so gut wie beim Menschen oder besser + nicht abhängig von menschlicher / mentaler Ermüdung => Konsistent durch den Tunnel
3. Bekannte Unsicherheit

Fazit technisch

1. Den richtigen Modelltyp finden → dann ändern
2. Datenqualität > Quantität
3. Postprocessing > Rohmodellausgabe
4. Erfolg in menschlichen Metriken messen (+ geschäftliche Auswirkungen!)

Fazit overall

1. KI-Technologie bringt eine massive Effizienzsteigerung bei Inspektionen von Ingenieurbauwerken und CO₂-Ausstoss wird stark reduziert.
2. KI-Technologie für die Schadenserkennung ist vorhanden und praktisch einsetzbar. Bildqualität und Annotationen treiben die KI.
3. Auch wenn die Technologie da ist, wird der Wandel hin zu KI unterschiedlich lange dauern (Change Management). Service-Plattformen mit KI werden helfen, den Wandel zu beschleunigen.

Substring

Ihr Data Partner



**Langjährige
Erfahrung und
breites Know-
How**



**Ganzheitliche,
langfristige
und
partnerschaftl
iche
Zusammenar
beit**



**Vielseitige
Kompetenzen**



**Offenheit,
Transparenz und
Ehrlichkeit**



**Nachhaltige
Verbesserung
von in Richtung
Data-Driven**



**Agil,
kundenorientiert
& flexibel**

Substring

Nächster Dataholics Termin

Erfahrungsbericht: Erfahrungen aus Data Maturity Analysen & Datenlandkarten und Ableitungen für die Data-Driven Transformation

Wann: Dienstag, 18. März 2025

Uhrzeit: 11:15 Uhr - 12:00 Uhr

Anmeldung: https://share.hsforms.com/1NVSKJK6STMW2D__RvOCVew5mdeq





substring - the data company

This wasn't very data-driven of you!