

Sensorbasierte Brückenüberwachung

Datenerfassung und Vorhersagen für den Infrastrukturunterhalt

Der zunehmende Verkehr und der alternde Bestand erhöhen den Aufwand für die Überwachung und Wartung von Brücken. In der Innovation-Sandbox für KI testeten die Schweizerische Südostbahn AG und irmos technologies, ob eine datenbasierte Überwachung bessere Entscheidungsgrundlagen schaffen kann. An der Eisenbahnbrücke Reidholz in Wädenswil (ZH) erfassten Sensoren den Zugverkehr und lieferten ein präziseres Bild der Belastungen und des strukturellen Zustands. Auf dieser Basis entstanden Szenarien zur Restlebensdauer, die Unterhalts- und Investitionsentscheide unterstützten. Parallel klärte das Sandbox-Team rechtliche Fragen zu Haftung, Datenschutz und Betrieb. Das Pilotprojekt zeigt, wie datenbasierte Ansätze die Infrastrukturwartung im Metropolitanraum Zürich sicherer, effizienter und nachhaltiger gestalten können.

01.

Ausgangslage:
*Infrastruktur
im Wandel*

Seite 4

03.

Sandbox-Projekt:
*SOB und irmos
technologies*

Seite 8

05.

Fazit: *Empfehlungen
und Ausblick*

Seite 16

02.

Monitoring: vom
*Schätzen zum
Messen*

Seite 6

04.

Rechtliche Fragen:
*Haftung und
Datenschutz*

Seite 13

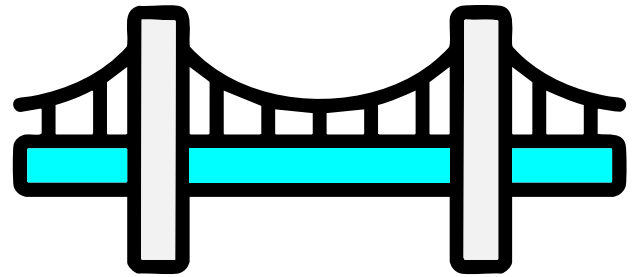
06.

Glossar

Seite 18

01.

Ausgangslage: *Infrastruktur im Wandel*



Die Schweiz ist ein Land der Brücken. Rund 40'000 Bauwerke verbinden Auto-, Bahn- und Fussverkehrswege und sichern den täglichen Betrieb der Infrastruktur.¹ Viele davon altern jedoch zunehmend. Ihr Unterhalt wird kostspieliger und anspruchsvoller, während zugleich die Anforderungen steigen.

Zunehmende Belastung von Brücken

Die Beanspruchung von Brücken nimmt seit Jahrzehnten kontinuierlich zu und wird mit wachsendem Verkehr und grösseren Transportmengen weiter ansteigen. Auf der Schiene verkehren bereits heute mehr und schwerere Züge mit dichteren Fahrplänen, als es bei der Planung vieler älterer Bauwerke vorgesehen war.² Auch auf den Strassen nimmt der Schwerverkehr seit den 1980er-Jahren mit dem Güter-, Liefer- und Logistikverkehr kontinuierlich zu und wird weiter wachsen. Für die Tragwerke bedeutet dies, dass die **Ermüdung*** des Materials und Schädigungsprozesse schneller voranschreiten und der Bedarf an Überwachung, **Nachrechnung**, Verstärkung und Erneuerung steigt.³

Alternder Brückenbestand

Die zunehmende Beanspruchung trifft auf einen alternden Bestand. Viele Brücken stammen aus den 1950er- bis 1980er-Jahren und nähern sich dem Ende ihrer rechnerischen Lebensdauer. Werden Schäden nicht rechtzeitig erkannt, kann dies gravierende Folgen haben. Einstürze gefährden Menschenleben, verursachen enorme Sachschäden und unterbrechen zentrale Verkehrsachsen. Besonders eindrücklich gezeigt hat dies der Einsturz der Morandi-Brücke in Genua im Jahr 2018, bei dem 43 Menschen starben und ein zentraler Verkehrsknoten über Jahre beeinträchtigt blieb.⁴ Ein weiteres Beispiel ist die Carolabrücke in Dresden, die 2024 wegen eines Teileinsturzes kurzfristig für den Verkehr gesperrt werden musste.⁵ Die beiden Vorfälle aus dem nahen Ausland machen deutlich, wie schnell sicherheitsrelevante Defizite auftreten können.

* Die blau markierten Begriffe sind auf [Seite 18](#) im Glossar erklärt

¹ ETHZ: Über Flüsse und Schluchten: [Die Schweiz und ihre Brückenbauer](#)

² SBB: [Ausbauschnitt 2035](#)

³ ASTRA: [Überprüfung bestehender Strassenbrücken mit einem aktualisierten Verkehrslastmodell](#)

⁴ Ministero delle infrastrutture e dei trasporti: [Ponte Morandi: online la relazione della Commissione Ispettiva Mit](#)

⁵ Landeshauptstadt Dresden: [Einsturz und Einsturzsache](#)

⁶ National Centre for Climate Services: [Schweizer Klimaszenarien CH2018](#)

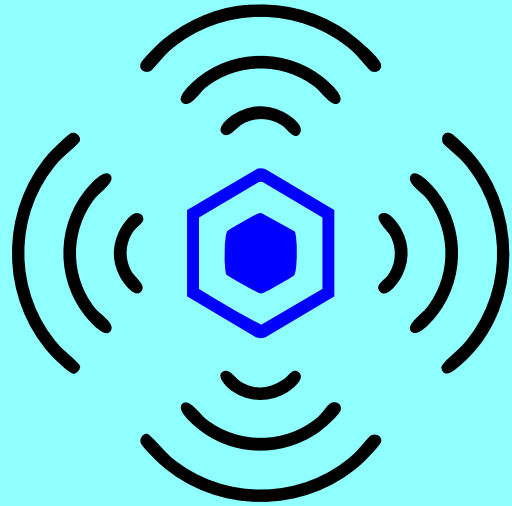
01. Ausgangslage: Infrastruktur im Wandel

Der Klimawandel verstärkt diese Herausforderungen zusätzlich. Extreme Wetterereignisse wie Starkregen, Hochwasser, Hitzeperioden oder Frost-Tau-Wechsel treten häufiger auf und setzen Brücken stärker unter Druck.⁶ Diese Sonderbelastungen beschleunigen die Alterung und erhöhen die Unsicherheiten bei der Bewertung der strukturellen Sicherheit.

Die Ausgangslage ist klar: Der Bedarf an präzisen Überwachungsmethoden, um Risiken früh zu erkennen und die Infrastruktur sicher, effizient und nachhaltig zu bewirtschaften, wächst.

02.

Monitoring: *vom Schätzen zum Messen*



Heute überwachen Infrastrukturbetreiber Brücken vor allem durch visuelle Inspektionen und normbasierte Nachrechnungen zur Führung der erforderlichen Nachweise.⁷ Fachpersonen beurteilen Schäden anhand definierter Zustandsklassen, wiederkehrender Inspektionszyklen und punktueller Messungen. Diese Praxis ist etabliert, stösst jedoch zunehmend an ihre Grenzen: Sie liefert keine Echtzeitdaten, ist teilweise subjektiv und basiert auf konservativen Sicherheitsannahmen. Dadurch entstehen oft hohe Kosten, weil Brücken vorsorglich verstärkt oder ersetzt werden, obwohl ihre tatsächliche *Restlebensdauer* höher wäre. Seltene Inspektionsintervalle, heterogene Bauweisen und begrenzte Kapazitäten verschärfen diese Herausforderungen weiter.

Potenzial datenbasierter Brückenüberwachung

Vor diesem Hintergrund gewinnt datenbasiertes Monitoring an Bedeutung. Die Instandhaltung von Brücken wird in den kommenden Jahren teurer. Damit Betreiber ihre knappen Ressourcen gezielt einsetzen können, brauchen sie ein genaues Bild vom Zustand ihrer Bauwerke. Datenbasierte Überwachung und entsprechende Vorhersagen schaffen dafür die Grundlage und liefern zentrale Mehrwerte:

- **Sicherheit:** Datenbasiertes Monitoring ermöglicht es, Schäden und Gefährdungen frühzeitig zu erkennen und damit die Sicherheit deutlich zu erhöhen.
- **Lebensdauer:** Kontinuierliche Messdaten zeigen, wie lange eine Brücke tatsächlich sicher betrieben werden kann, wodurch unnötige Eingriffe vermieden und Bauemissionen reduziert werden.
- **Wirtschaftlichkeit:** Präzise Zustandsdaten helfen, Investitionen zielgerichtet zu planen und Kosten zu sparen, indem übertriebene Verstärkungen oder Ersatzneubauten vermieden werden.
- **Portfoliosteuerung:** Betreiber können Brücken objektiv vergleichen, Prioritäten besser setzen und den gesamten Bestand effizienter und strategischer bewirtschaften.

Neue technologische Entwicklungen ermöglichen es, diese Mehrwerte systematisch zu realisieren. Moderne Sensoren messen Schwingungen, Verformungen, Dehnungen und daraus abgeleitete Spannungen im Betrieb und erfassen gleichzeitig relevante Verkehrsdaten wie Anzahl, Gewicht, Ge-

⁷ Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA): Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken

02. Monitoring: vom Schätzen zum Messen

schwindigkeit und Typ von durchfahrenden Zügen. Damit lassen sich Belastungsprofile und Ermüdungsprozesse einer Brücke realistisch und kontinuierlich bestimmen. KI-gestützte Verfahren unterstützen die Mustererkennung, identifizieren Anomalien und passen ingenieurtechnische Modelle an die tatsächlichen Daten an.

Voraussetzungen datenbasierter Monitoringsysteme

Datenbasierte Monitoringansätze stellen Infrastrukturbetreiber aber auch vor neue technische und organisatorische Anforderungen:

- **Datenmanagement:** Infrastrukturbetreiber müssen grosse Datenmengen zuverlässig erfassen, speichern und verarbeiten, damit keine Informationslücken oder Fehlinterpretationen entstehen.
- **Datenqualität und Kalibrierung:** Sensoren müssen regelmässig kalibriert und Umwelteinflüsse korrekt berücksichtigt werden, damit die gewonnenen Messdaten aussagekräftig und belastbar bleiben.
- **Kompetenzaufbau:** Infrastrukturbetreiber und Ingenieurbüros benötigen neue Fähigkeiten im Umgang mit daten- und KI-basierten Modellen, um Messergebnisse richtig zu interpretieren und in Entscheidungen zu überführen.
- **Systembetrieb:** Sensorik, Energieversorgung und Datenübertragung müssen dauerhaft stabil funktionieren, da Störungen oder Ausfälle den Nutzen des Monitorings deutlich einschränken können.

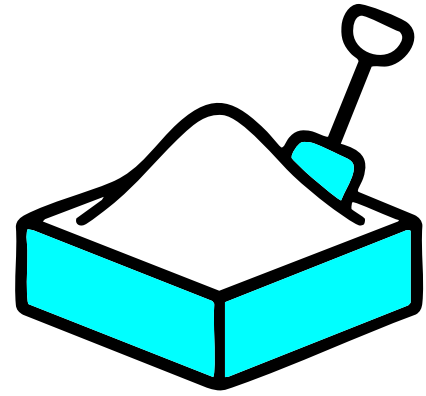
Diese Punkte zeigen, dass datenbasiertes Monitoring ein grosses Potenzial eröffnet, dessen Wirkung jedoch erst dann voll zur Geltung kommt, wenn Infrastrukturbetreiber über die notwendigen technischen Systeme, Prozesse und Kompetenzen verfügen. Dauerhaftes Monitoring ermöglicht damit einen Paradigmenwechsel: weg von konservativen Annahmen, hin zu präzisen, kontinuierlich erhobenen Zustandsdaten. Für Infrastrukturbetreiber bedeutet dies nicht nur eine höhere Sicherheit und eine bessere Planung, sondern auch eine verlässliche Grundlage für strategische Entscheidungen über Erhalt, Verstärkung oder Ersatz einzelner Brücken. So lässt sich langfristig ein robusteres, kosteneffizienteres und nachhaltigeres Portfolio aufbauen.

«Datenbasiertes Monitoring ersetzt bestehende Nachweise nicht, sondern ergänzt sie mit Messdaten aus dem Betrieb.»

*Raphael von Thiessen,
Programmleiter KI-Sandbox, Kanton Zürich*

03.

Sandbox-Projekt: *SOB und irmos technologies*



Um das Potenzial eines datenbasierten Monitorings in der Praxis zu überprüfen, hat die Schweizerische Südostbahn AG (SOB) im Rahmen der Innovation-Sandbox für KI bei einer Brücke im Kanton Zürich ein Pilotprojekt durchgeführt. Dabei arbeitete sie mit irmos technologies zusammen, einem Unternehmen, das auf datenbasiertes Infrastrukturmonitoring und KI-gestützte Dateninterpretation spezialisiert ist. Die fünf Meter lange Brücke Reidholz auf der SOB-Strecke Wädenswil–Einsiedeln stammt aus dem Jahr 1910. 1953 wurde ihre Stahlplatte durch eine Betonplatte ersetzt, wobei die ursprünglichen Widerlager erhalten blieben. Gemäss der verfügbaren Dokumentation wurden sowohl die Widerlager als auch die Betonplatte 1990 mit Spritzbeton verstärkt.



Abbildung 1: Die Brücke Reidholz auf der SOB-Strecke Wädenswil–Einsiedeln (Baujahr 1910, Umbau 1953)

Die SOB betreibt auf diesem Streckenabschnitt Regionalverkehrszüge und bewirtschaftet auf ihrem Gesamtnetz einen grossen Bestand an Brücken. Die Brücke Reidholz zeigt erste Ermüdungsanzeichen. Gleichzeitig ist unklar, welchen tatsächlichen Verkehrslasten sie ausgesetzt ist. Frühere Nachweise beruhen auf konservativen Annahmen zu Lastmodellen und *dynamischen Amplifikationsbeiwerten*, weshalb die Tragsicherheit rechnerisch nur mit Umlagerungsmassnahmen gewährleistet werden konnte. Die Kombination aus Alter, Unsicherheiten und konservativen Annahmen machte die Brücke zu einem geeigneten Pilotobjekt.

«Mit den gewonnenen Daten und dem historischen Wissen über die bisherigen Belastungen wird das Berechnungsmodell kalibriert und die Restnutzungsdauer genauer abgeschätzt.»

Stephan Zürcher,

Technologie-Manager Infrastruktur SOB

03. Sandbox-Projekt: SOB und irmos technologies

Restlebensdauer datenbasiert bestimmen

Im Zentrum des Projekts stand die Frage, ob sich die Restlebensdauer der Brücke datenbasiert präziser bestimmen lässt als durch normative Verfahren, die äusserst konservative Annahmen treffen. Die SOB, die immer wieder neue technische Ansätze testet und die Weiterentwicklung ihrer Instandhaltungsprozesse fördert, wollte klären, ob eine Nutzungsverlängerung von zehn auf zwanzig Jahre technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar wäre. Ausserdem prüfte sie, ob die Methodik auch auf vergleichbare Brücken im Portfolio übertragen werden kann.



Abbildung 2: Kameraaufnahme eines Zuges zur Erfassung des Typs, der Geschwindigkeit und der Komposition

Messstrategie mit schlankem Sensornetz

Neben Algorithmen entwickelt irmos technologies einfach installierbare Sensoren, die speziell auf die Anforderungen der Brückenüberwachung zugeschnitten sind. Für die Datenerhebung installierte das Unternehmen ein schlankes Sensornetzwerk: Beschleunigungssensoren zur Erfassung der dynamischen Reaktion, Dehnmessstreifen zur Messung von Spannungswechseln und einen Temperatursensor zur Bereinigung saisonaler Einflüsse. Eine Datenerfassungsbox sammelte die Messwerte. Ergänzend wurden Kameras eingesetzt, um Zugtypen, Geschwindigkeiten und Kompositionen zu dokumentieren und die modellierten Verkehrslasten zu validieren. Die mehrmonatige Testphase lieferte Daten aus dem Realbetrieb für aussagekräftige Analysen.

03. Sandbox-Projekt: SOB und irmos technologies

Digitale Auswertung mit cloudbasierter Plattform

Auf einem cloudbasierten Dashboard konnten die SOB und das Sandbox-Team sämtliche Metriken in Echtzeit verfolgen. Die Plattform stellte unter anderem die Anzahl der Züge nach Typ, Geschwindigkeit und Durchfahrtszahl dar. Aus den Messwerten liessen sich zudem das Zuggewicht und die Achslasten pro Drehgestell ableiten – ein zentraler Faktor für die Beurteilung der Ermüdung. Darüber hinaus zeigte das Dashboard für jeden Tag die maximale **Durchbiegung** und die aktuelle Steifigkeit der Brücke sowie die Entwicklung dieser Werte über den gesamten Messzeitraum. Die erfassten Dehnungen ermöglichten es, Ausreisser zu identifizieren und die Spannungen zu berechnen, die durch einzelne Zugdurchfahrten verursacht wurden. All dies ergab ein transparentes, datenbasiertes Bild des strukturellen Verhaltens der Brücke.

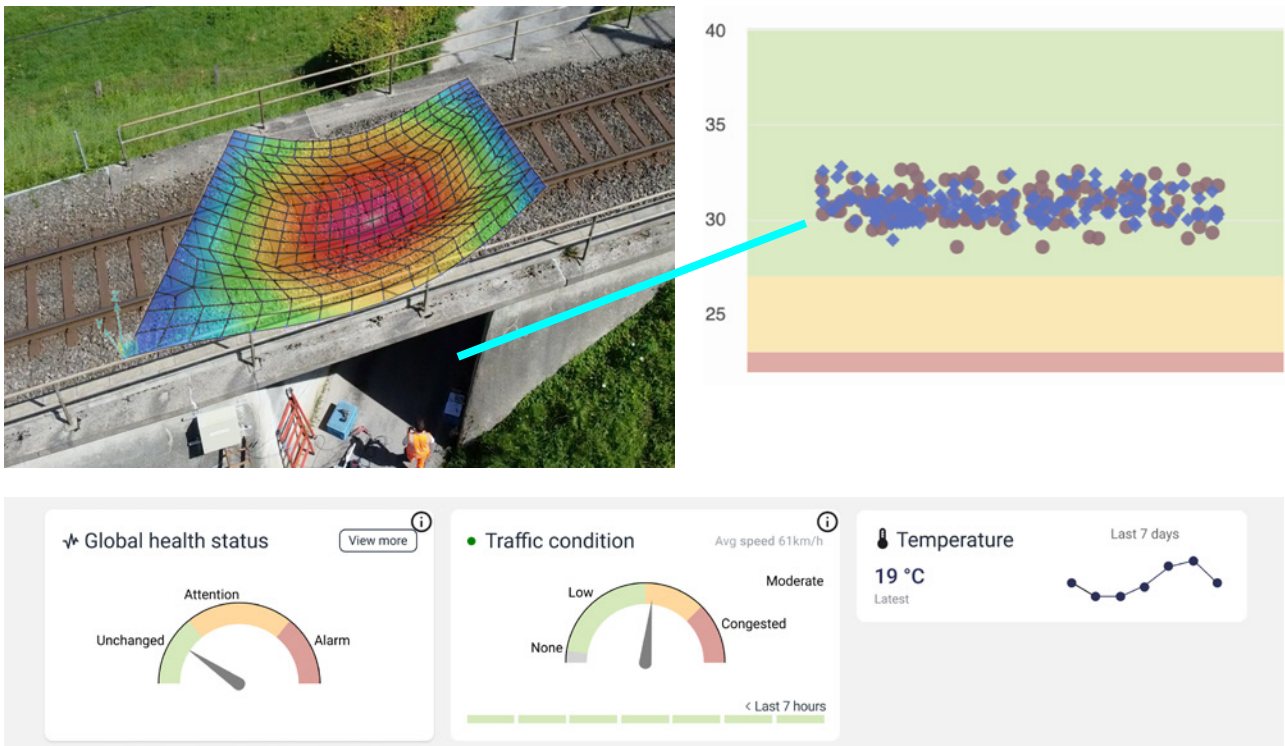


Abbildung 3: Ansicht des Dashboards zur kontinuierlichen Überwachung des Zustands der Brücke basierend auf den Verkehrsbelastungen

03. Sandbox-Projekt: SOB und irmos technologies

Modellkalibrierung und Szenarienentwicklung

Die Messdaten dienen dazu, reale Belastungsprofile abzuleiten und die bestehenden ingenieurtechnischen Modelle zu kalibrieren. Mit KI-gestützten Verfahren wurden Temperatureinflüsse bereinigt und charakteristische Muster identifiziert. Dadurch liessen sich die bisherigen, eher vorsichtigen Annahmen zum Verhalten der Brücke überprüfen (z.B. bei den dynamischen Amplifikationsbeiwerten und der *Steifigkeit*). Zudem entstand eine Funktion, mit der sich Szenarien zur Restlebensdauer berechnen lassen. Sie kombiniert historische Daten mit Annahmen über künftige Zugtypen, Anzahl der durchfahrenden Züge und Lasten. Mithilfe der gemessenen Belastungsdaten können Betreiber simulieren, wie sich unterschiedliche Betriebsbedingungen auf die Lebensdauer der Brücke auswirken.

Szenarioanalysen

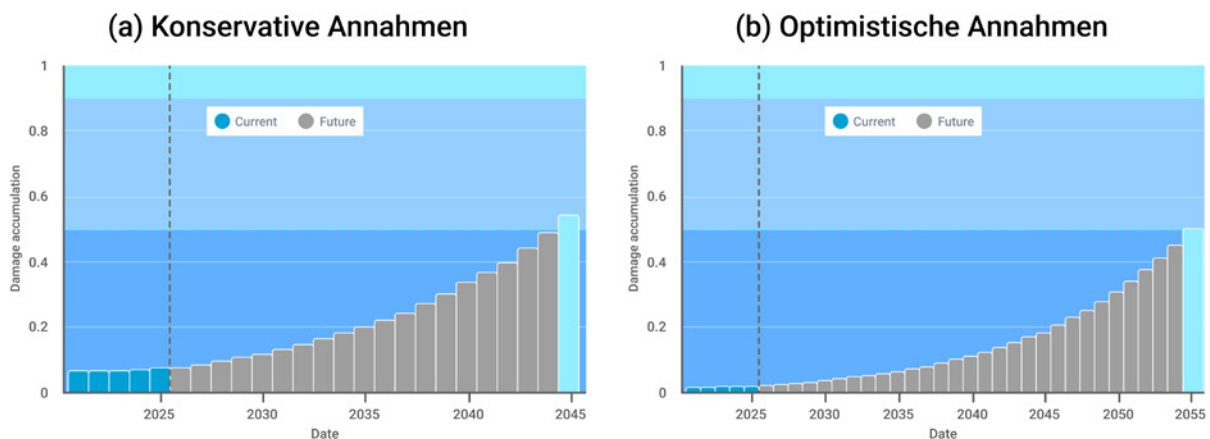


Abbildung 4: Ansicht einer Szenarioanalyse zur Restlebensdauer basierend auf konservativen bzw. optimistischen Annahmen über die Verkehrsbelastung

03. Sandbox-Projekt: SOB und irmos technologies

Erkenntnisse und Mehrwert für Betreiber

Die Ergebnisse zeigen, dass selbst kurze Messperioden robuste Aussagen zur Ermüdung und Steifigkeit ermöglichen. Für das einzelne Objekt ergibt sich ein klarer Nutzen: Infrastrukturbetreiber können die Brücke datenbasiert bewerten, selbst wenn normative Modelle das Ende der Lebensdauer nahelegen. Das verbessert die Entscheidungsgrundlagen für eine mögliche Nutzungsverlängerung oder einen Ersatzbau. Auf Portfolioebene bietet die Methode ebenfalls einen deutlichen Mehrwert. Viele Bestandsbrücken weisen ein ähnliches Alter und vergleichbare Bauweisen auf, sodass das Vorgehen skalierbar ist und zur Priorisierung und zur gezielten Überwachung ganzer Brückenportfolios eingesetzt werden kann. Gleichzeitig ist zu berücksichtigen, dass die Aussagen auf einer zeitlich begrenzten Messperiode ohne vollständige saisonale Abdeckung und ohne langfristige historische Belastungsdaten basieren. Daher sind die Ergebnisse mit angemessenen Sicherheitsreserven zu interpretieren.

«Auf Basis von Sensordaten unterstützt das System Infrastrukturbetreiber dabei, Risiken frühzeitig zu erkennen und Unterhaltsmassnahmen gezielt zu planen.»

*Dr. Panagiotis Martakis,
Founder und CEO irmos technologies*

04.

Rechtliche Fragen: *Haftung und Datenschutz*



Die Innovation-Sandbox testet neue Technologien nicht nur technisch, sondern auch auf ihre rechtlichen Rahmenbedingungen. Beim Monitoring von Brücken mit Sensoren, Kameras und cloudbasierten Auswertungssystemen stellen sich zahlreiche Fragen hinsichtlich Haftung, Verfügbarkeit, Datenschutz und Betriebsorganisation. Das Pilotprojekt zeigt exemplarisch, welche Rahmenbedingungen Infrastrukturbetreiber und Technologieanbieter berücksichtigen müssen, wenn sie datenbasierte Methoden in sicherheitsrelevanten Bereichen einsetzen.

Haftung bei Beschädigung von Sensoren oder Kameras

Sensoren und Kameras können durch unsachgemäße Bedienung, bauliche Eingriffe oder Vandalismus beschädigt werden. In solchen Fällen haftet grundsätzlich jene Partei, die den Schaden verursacht hat. Wird die Beschädigung durch eine fehlerhafte Installation oder unzureichende Sicherung begünstigt, kann der technische Anbieter verantwortlich sein. Schäden durch Naturereignisse wie Sturm, Schneelast oder Hochwasser gelten hingegen als höhere Gewalt und lösen in der Regel keine Haftung aus. In der Praxis empfiehlt sich eine klare Rollenverteilung: Betreiber verantworten den Zugang zum Bauwerk, während technische Anbieter eine sichere Montage und eine regelmässige Wartung gewährleisten.

Haftung bei fehlerhaften Messwerten

Falsche oder unvollständige Daten können entstehen, wenn Sensoren nicht richtig kalibriert sind, externe Einflüsse nicht korrekt bereinigt werden oder technische Fehler auftreten. Eine Haftung setzt in jedem Fall ein Verschulden oder eine Pflichtverletzung voraus. Vertraglich haftet ein Anbieter beispielsweise, wenn Installationsfehler, mangelhafte Datenverarbeitung oder fehlende Überwachungsmechanismen ursächlich sind. Gegenüber Dritten entsteht eine ausservertragliche Haftung nur dann, wenn fehlerhafte Daten zu einem Schaden führen und erkennbar gewesen wäre, dass die Messwerte nicht korrekt waren. Für Personenschäden kann zusätzlich das Produkthaftpflichtrecht greifen. Für betriebliche Sachschäden gelten die Bestimmungen des Obligationenrechts.

Haftung bei Interpretationsfehlern

Datenbasierte Systeme liefern Indikatoren, ersetzen jedoch nicht die ingenieurtechnische Bewertung. Betreiber müssen die Messwerte in den betrieblichen Kontext einordnen und sicherheitsrelevante Entscheidungen selbst treffen. Eine Haftung des technischen Anbieters kommt daher nur infrage, wenn dieser grobfahrlässig fehlerhafte Analysen abgibt oder vertraglich geregelte Pflichten verletzt. Ein Beispiel ist die Nichtbeachtung offenkundiger Anomalien in den Daten, die zu falschen Empfehlungen führen. Für Betreiber entsteht ein Risiko, wenn Daten falsch interpretiert oder ausserhalb des vorgesehenen Einsatz-

04. Rechtliche Fragen: Haftung und Datenschutz

«Datenbasierte Monitoringsysteme unterstützen den Betrieb, verlagern aber die Verantwortung für sicherheitsrelevante Entscheidungen nicht vom Betreiber auf die Technologie.»

Stephanie Volz, Geschäftsführerin Center for Information Technology, Society, and Law (ITS�), Universität Zürich

bereichs verwendet werden. Klare Zuständigkeiten und Schulungen helfen, Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Verfügbarkeit und Systemausfälle

Cloudbasierte Plattformen sind für den Betrieb zentral. Fällt die Plattform aus oder unterschreitet sie die garantierte Mindestverfügbarkeit, kann der Anbieter im Rahmen des Vertrags haftbar gemacht werden. Typische Massnahmen zur Minimierung des Risikos sind redundante Systeme, automatische Alarmierung bei Ausfällen oder lokale Zwischenspeicher, um Messwerte auch bei Verbindungsproblemen zu sichern.

Datenschutz und Kameranutzung

Datenschutzrechtliche Anforderungen hängen davon ab, ob Personendaten verarbeitet werden. Sensoren, die rein technische Messwerte wie Temperatur, Dehnung oder Beschleunigung erfassen, fallen nicht unter das Datenschutzrecht. Kameraaufnahmen hingegen können identifizierbare Merkmale enthalten – etwa Gesichter, Kennzeichen oder Kleidung von Mitarbeitenden. In solchen Fällen müssen Betreiber geeignete Massnahmen treffen. Dazu gehören:

- Hinweisschilder vor Ort, die über den Zweck der Aufnahmen, die Verantwortlichen und die Aufbewahrungsdauer informieren
- Einschränkung des Bildausschnitts und des Kamerawinkels, sodass nur die relevanten Infrastrukturbereiche erfasst werden
- Verpixelung oder automatische Unkenntlichmachung von Personen oder Kennzeichen im Auswertesystem
- Kurzfristige Löschung der Rohaufnahmen nach erfolgter Validierung

Diese Massnahmen reduzieren das Risiko, dass unbeabsichtigt Personendaten verarbeitet werden.

Sicherer Umgang mit Daten

Für alle Daten (z.B. Messwerte oder Kamerabilder) gelten technische und organisatorische Schutzanforderungen. Dazu gehören verschlüsselte Speicherung, Zugriffsbeschränkungen, regelmässige Sicherheitstests und definierte Löschfristen. Zudem müssen Mitarbeitende, die mit den Daten arbeiten,

04. Rechtliche Fragen: Haftung und Datenschutz

entsprechend geschult werden. Ziel ist es, sicherzustellen, dass nur die für den vorgesehenen Zweck erforderlichen Informationen verarbeitet und verantwortungsvoll genutzt werden.

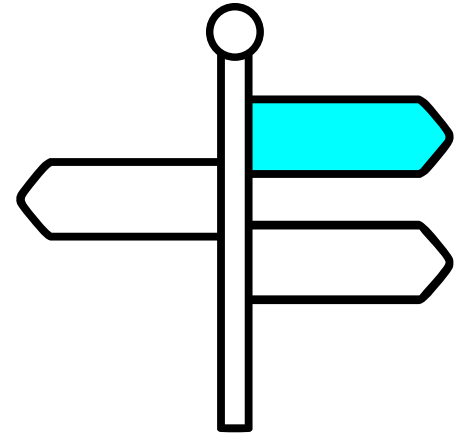
Vertragliche Gestaltung zur Risikoabsicherung

Eine sorgfältige vertragliche Ausgestaltung hilft, Haftungsrisiken und Verantwortlichkeiten klar zu regeln. Dazu gehören Haftungsbegrenzungen pro Ereignis, präzise Rollenbeschreibungen, definierte Systemverfügbarkeiten sowie Regelungen zur Datenverarbeitung und zur Datensicherheit. Die Haftung für vorsätzliches oder grobfahrlässiges Verhalten bleibt gesetzlich immer zwingend bestehen.

Insgesamt zeigt der Anwendungsfall, dass datenbasiertes Monitoring rechtlich und organisatorisch gut beherrschbar ist – vorausgesetzt, Betreiber definieren klare Verantwortlichkeiten, treffen angemessene Schutzmassnahmen und verankern den Betrieb der Systeme in robusten Prozessen.

05.

Fazit: *Empfehlungen und Ausblick*



Datenbasierte Monitoringansätze sind in der Brückeninfrastruktur noch wenig etabliert, bieten aber grosses Potenzial. Kontinuierliche Messdaten ermöglichen es, den Zustand von Brücken präziser einzuschätzen, Risiken früher zu erkennen und die Instandhaltung gezielter zu planen. Damit können Betreiber ihre Infrastruktur sicherer, kostengünstiger und nachhaltiger bewirtschaften. Entscheidend ist, dass datenbasierte Methoden ein konkretes betriebsrelevantes Problem lösen – etwa die Frage beantworten, wie lange eine Brücke realistisch nutzbar bleibt oder wann welche Investitionen erforderlich sind. Die folgenden Punkte fassen die zentralen Erkenntnisse zusammen:

Daten nur erheben, wenn sie einen klaren Mehrwert schaffen

Datengewinnung ist kein Selbstzweck. Betreiber benötigen Informationen, die klare operative Entscheidungen unterstützen:

- Wie lange hält die Brücke im Vergleich zu normbasierten Schätzungen tatsächlich?
- Welche Investitionen müssen in welchem Zeitraum erfolgen (z.B. im Kontext von Leistungsvereinbarungen zwischen den Infrastrukturbetreibern und dem Bundesamt für Verkehr)⁸?
- Gibt es Hinweise auf akute Schäden, die sofortiges Handeln erfordern?

Datenbasierte Verfahren liefern eine objektive Entscheidungsgrundlage, insbesondere dort, wo konservative Modelle zu unnötigen Eingriffen oder vorschnellen Ersatzbauten führen.

Vom Einzelobjekt zum Portfolio: Skalierung als Schlüssel

Der Einsatz datenbasierter Methoden entfaltet seinen grössten Mehrwert, wenn er über Einzelobjekte hinausgeht. Die Überwachung ganzer Brückenportfolios ermöglicht Vergleiche, Priorisierungen und langfristige Investitionsstrategien. Programme wie die nationale Mobilitätsdateninfrastruktur (MODI) des Bundes zeigen darüber hinaus, dass ein nationaler Rahmen für datengestützte Infrastrukturpolitik entsteht.⁹ Gleichzeitig müssen Betreiber abwägen,

⁸ Bundesamt für Verkehr: Leistungsvereinbarungen: [Ziele und Kennzahlen](#)

⁹ Bundesamt für Verkehr: [Daten für ein effizientes Mobilitätssystem](#)

05. Fazit: Empfehlungen und Ausblick

wie viele Daten sie erheben wollen und wie sensibel diese sind. Infrastrukturdaten sind in geopolitisch angespannten Zeiten kritisch, weshalb Schutz- und Governance-Massnahmen zwingend notwendig bleiben.

Kompetenzen gezielt aufbauen und Zusammenarbeit stärken

Damit datenbasierte Monitoringlösungen wirksam sind, müssen Ingenieurbüros und Betreiber mit neuen Methoden umgehen können. Sie brauchen Kompetenzen in Dateninterpretation, Modellvalidierung und digitaler Infrastruktur. Technologieoffene Plattformen mit hoher Interoperabilität sind ebenfalls wichtig, um das Datenpotenzial nutzbar zu machen. Der kulturelle Wandel ist ebenso relevant wie der technologische: Offenheit für neue Ansätze sowie die Bereitschaft zur Zusammenarbeit mit spezialisierten Partnern sind zentrale Erfolgsfaktoren.

Innovation im Spannungsfeld von Kosten, Sicherheit und etablierten Verfahren

Im schweizerischen Infrastrukturbereich steht die Sicherheit an erster Stelle. Dies führt dazu, dass konservative Methoden weiterhin dominieren und der Kostendruck begrenzt bleibt. Das kann Innovation verlangsamen. Gleichzeitig stellt sich die Frage, wann ein kontinuierliches Monitoring sinnvoll ist. Bei einer Brücke, die voraussichtlich noch Jahrzehnte hält, wäre es eher unverhältnismässig. Kurz vor dem Ende der Lebensdauer hingegen hilft es, bedeutende Unsicherheiten zu reduzieren und hohe Investitionen zu begründen. Auf Portfolioebene ermöglichen datenbasierte Monitoringansätze eine bessere Planung und eine Priorisierung.

Verzahnung statt Doppelstrukturen

Datenbasierte Monitoringansätze stehen erst am Anfang und sind heute noch kein fester Bestandteil der etablierten, normbasierten Zustandsbeurteilung. Ohne eine frühzeitige Integration besteht jedoch

das Risiko, dass parallele Strukturen und damit zusätzliche Kosten entstehen. Langfristig müssen die beiden Verfahren sinnvoll verzahnt werden, sodass die Messdaten die bestehenden Modelle präzisieren, ergänzen oder – wo sie einen höheren Erkenntniswert liefern – schrittweise ersetzen können.

Daten schaffen Handlungsspielräume

Der wesentliche Erkenntnisgewinn aus dem Sandbox-Projekt lautet: Daten schaffen neue Handlungsspielräume. Sie ermöglichen differenziertere Entscheidungen, reduzieren Unsicherheiten und erlauben es Betreibern, ihre Infrastruktur nicht nur zu warten, sondern aktiv zu steuern. Der Ausblick ist klar: Mit wachsender Erfahrung und mehr Kompetenzen, besseren Modellen und interoperablen Systemen wird datenbasiertes Monitoring zu einem wichtigen Bestandteil einer modernen, resilienten und vorausschauenden Infrastrukturwartung.

«Datenbasiertes Monitoring liefert verlässliche Entscheidungsgrundlagen und wird künftig die Planung und Wartung von Infrastrukturen gezielt ergänzen.»

Raphael von Thiessen,

Programmleiter KI-Sandbox, Kanton Zürich

Glossar

Durchbiegung

Die vertikale Verformung einer Brücke, wenn sie belastet wird. Veränderungen oder zunehmende Durchbiegungen können Hinweise auf strukturelle Probleme sein.

Dynamischer Amplifikationsbeiwert

Ein Faktor, der berücksichtigt, dass bewegte Lasten wie Züge eine Brücke stärker beanspruchen als ruhende Lasten. Er bestimmt, wie viel höher die tatsächliche Belastung im Betrieb ist.

Ermüdung

Langsame Schädigung des Materials durch wiederholte Belastungswechsel über viele Jahre. Ermüdung kann zu Rissen und einer reduzierten Lebensdauer führen.

Nachrechnung

Ingenieurtechnische Neubewertung eines bestehenden Bauwerks anhand aktueller Normen und Annahmen. Sie ersetzt nicht die Realität, sondern bildet sie mit konservativen Modellen ab.

Restlebensdauer

Die Zeitspanne, in der eine Brücke voraussichtlich noch sicher betrieben werden kann. Sie basiert entweder auf Normannahmen oder – präziser – auf gemessenen Belastungen und Spannungswechseln.

Steifigkeit

Beschreibt, wie stark sich eine Brücke unter Last verformt. Eine geringe Steifigkeit oder ein unerwarteter Rückgang kann auf strukturelle Veränderungen oder Schäden hinweisen.

Autoren



Stephanie Volz

Geschäftsführerin ITSL,
Universität Zürich



Raphael von Thiessen

Programmleiter KI-Sandbox,
Kanton Zürich

Projektpartner/innen

Dr. Panagiotis Martakis

Founder & CEO, irmos technologies AG

Andrea Luca Hauenstein

Project Manager, irmos technologies AG

Stephan Zürcher

Technologie Manager Ingenieurbau, Schweizerische Südostbahn AG

Fallbeispiele aus der Innovation-Sandbox für Künstliche Intelligenz (KI)

Als Fallbeispiel innerhalb der Innovation-Sandbox für KI diente das Unternehmen irmos technologies. Dieses hat im Sommer 2024 einen Projektvorschlag eingereicht. In Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Südostbahn AG hat das Projektteam bis Ende 2025 die sensorbasierte Brückenüberwachung getestet. Die Inhalte des vorliegenden Reports wurden basierend auf diesem konkreten Fallbeispiel erarbeitet.

Impressum

Herausgeber

Standortförderung, Kanton Zürich
Verein Metropolitanraum Zürich
Innovation Zurich

Projektkonzeption und -koordination

Raphael von Thiessen
Standortförderung Kanton Zürich
8090 Zürich
raphael.vonthiessen@vd.zh.ch

Autoren

Raphael von Thiessen
Stephanie Volz

Projektpartner/innen

Dr. Panagiotis Martakis
Andrea Luca Hauenstein
Stephan Zürcher

Gestaltung

here we are gmbh, here-we-are.ch

Publikation

Dieser Report erscheint ausschliesslich digital
und in den Sprachen Deutsch und Englisch.

Copyright

Alle Inhalte dieser Publikation, insbesondere
Texte und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt.
Das Urheberrecht liegt bei der Standortförderung
Kanton Zürich. Die Publikation darf mit den Urheber-
angaben weitergegeben werden und es darf daraus
mit vollständiger Quellenangabe zitiert werden.

Projekt-Steering

- Amt für Wirtschaft, Kanton Zürich
- Statistisches Amt, Kanton Zürich
- Staatskanzlei Kanton Zürich
- Amt für Wirtschaft, Kanton Schwyz
- Metropolitanraum Zürich
- ETH AI Center
- Center for Information Technology,
Society, and Law (ITSL), Universität Zürich
- swissICT
- ZHAW entrepreneurship