

Innovation in der Bahninfrastruktur – Herausforderungen und Praxisbeispiele

Dr. Robert Wagner, 13.01.2025

Inhalt

Einführung

Herausforderungen

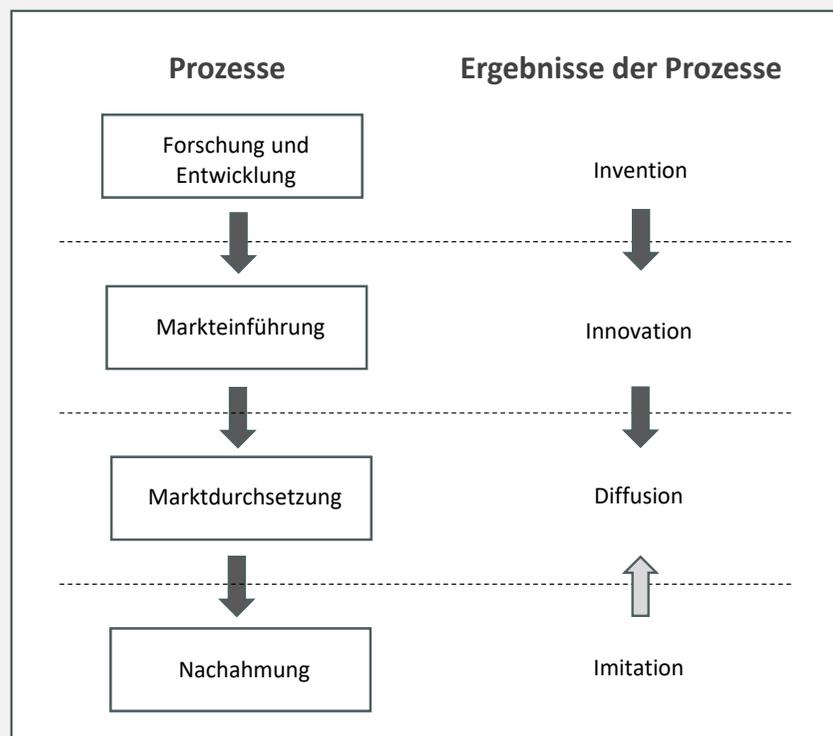
Praxisbeispiele

Zusammenfassung



Was ist Innovation?

Lineares Innovationsmodell der klassischen Innovationstheorie:



Aktivitäten und Ergebnisse in Innovationsprozessen nach [2]

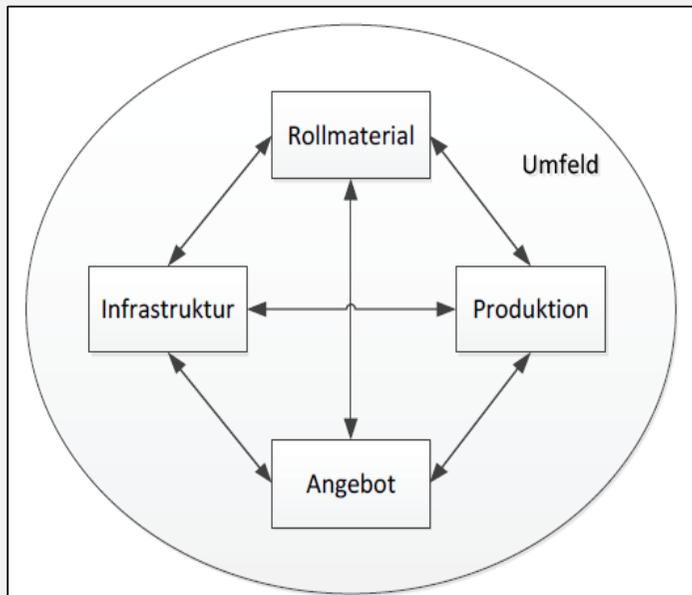
Grundprinzipien:

- Innovationskosten werden in der Regel durch Gewinne überkompensiert.
- Marktanwendung einer Erfindung oder eines Prozesses (z.B. Fließbandarbeit) mit wirtschaftlichem Nutzen. [2]
- Innovation dient als Sammelbegriff für alles Neue und Verbesserte unabhängig vom Änderungsgrad.



Innovation im System Bahn.

Fünf Teilbereiche des Systems Bahn.



Die Teilsysteme des Systems Bahn nach [1]

Besonderheiten:

- Zwischen den fünf verschiedenen Teilsystemen besteht eine gegenseitige Abhängigkeit.
- Unterscheidung in Einzel- oder Systeminnovation.
- Systeminnovationen betreffen mindestens zwei Bereiche des Gesamtsystems Bahn.

Inhalt

Einführung

Herausforderungen

Praxisbeispiele

Zusammenfassung

Besondere Herausforderungen / Aspekte im Bahnsektor.



Forschung und Entwicklung

Entstehen die Kosten der Innovation am gleichen Ort wie die Innovationsgewinne?

Markteinführung

Häufig kein unmittelbarer Mehrwert für die KundInnen.

Marktdurchsetzung

Marktvorteil durch die deutliche Unterscheidung von anderen Produkten im Bahnbereich kaum möglich.

Für den Erfolg in einer Innovation oftmals grosse Marktdurchdringung erforderlich.

Nachahmung

Nachahmung in der Privatwirtschaft in der Regel nicht erwünscht.

Im Bereich der Eisenbahn bei Systeminnovationen jedoch nötig, damit die Innovationen ihre volle Wirkung entfalten können.



Die Realisierung und Aneignung von Investitionsgewinnen kann für Bahninfrastrukturbetreiberinnen herausfordernd sein!

Chancen für Innovationen in der Bahninfrastruktur.



Darstellung von Effizienzwirkungen am Beispiel von zwei beteiligten Akteuren:

Effizienz Gesamtsystem 	Effizienz Akteur 1 	Effizienz Akteur 2 	Voraussetzungen / Randbedingungen
↑	↑	↑	Innovation ist ein Selbstläufer.
↑	↑	konstant	Innovation ist einfach.
↑	↑	↓	Kompensation erforderlich / Akteur 1 muss Umsetzungsmacht haben.
konstant	↑	↓	Kompensation erforderlich / Akteur 1 muss Umsetzungsmacht haben.
↓	↑	↓	Akteur 1 muss Umsetzung erzwingen können.

↑ steigt konstant ↓ sinkt

Effizienzwirkungen nach [1]

Möglichkeiten in der Bahninfrastruktur:

- Einzelinnovationen mit begrenzter Wechselwirkung zur Steigerung der Effizienz.
- Systeminnovationen mit Klärung der Abhängigkeiten im Gesamtsystem.

Inhalt

Einführung

Herausforderungen

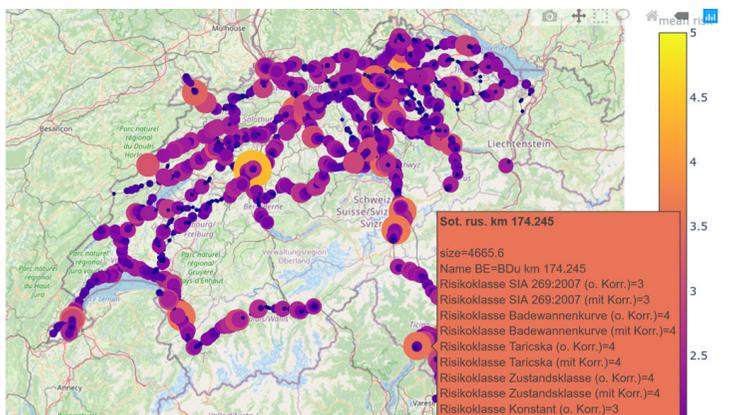
Praxisbeispiele

Zusammenfassung

Übersicht



Beispiel 1:
Risikobasiertes Anlagenmanagement der
Brücken der SBB.



Brückenübersicht im Livebetrieb [eigene Darstellung]

Beispiel 2:
Bioakustische Wildtierwarnanlage.



Flüchtender Rehbock aus [5]

Beispiel 1: Risikobasiertes Anlagenmanagement der Brücken der SBB.



Ausgangslage:

- Brückenbestand der SBB:
 - Anzahl: ca. 6'000
 - Wiederbeschaffungswert: ca. 12.6 Mrd CHF
 - Brückenalter: Mittelwert 68 Jahre, Median 61 Jahre, 1'300 Brücken > 100 Jahre
- Finanzielle Ressourcen für die Erhaltung begrenzt.
- Erhaltungsmanagement bislang hauptsächlich zustandsbasiert.

Zielsetzung:

- Priorisierung von Bauwerken.
- Zusätzliche Entscheidungshilfe für optimalen Einsatz von Ressourcen.

Projektpartner:



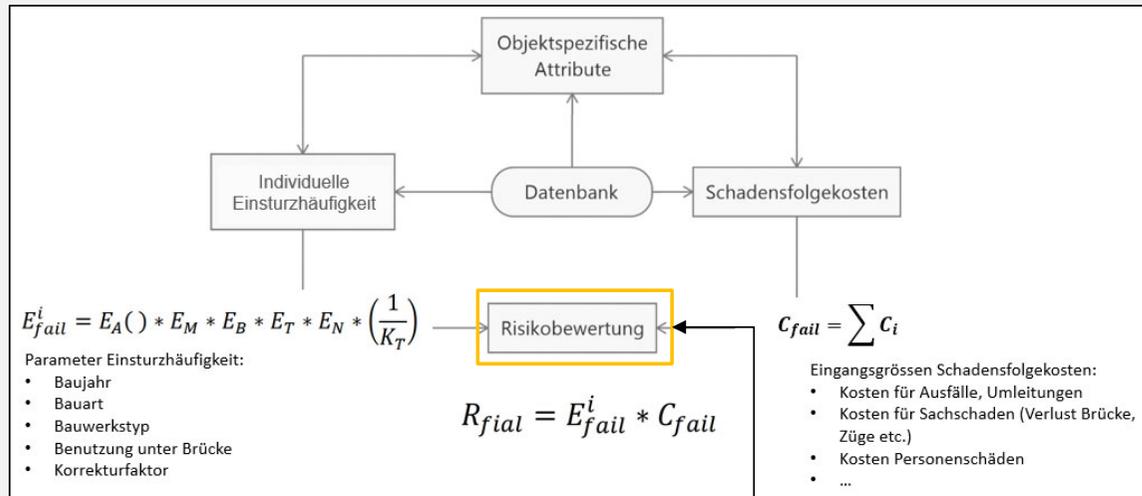


Beispiel 1: Risikobasiertes Anlagenmanagement der Brücken der SBB.

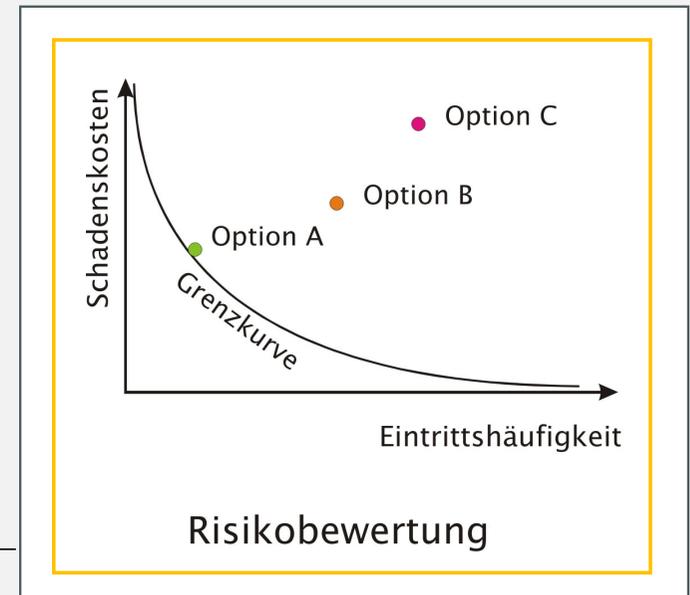
Methodik:

Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit ist normativ geregelt, individuelle Berechnung bei der vorliegenden grossen Anzahl an Bauwerke nicht umsetzbar.

Angewandtes Konzept:



Konzept aus [4]

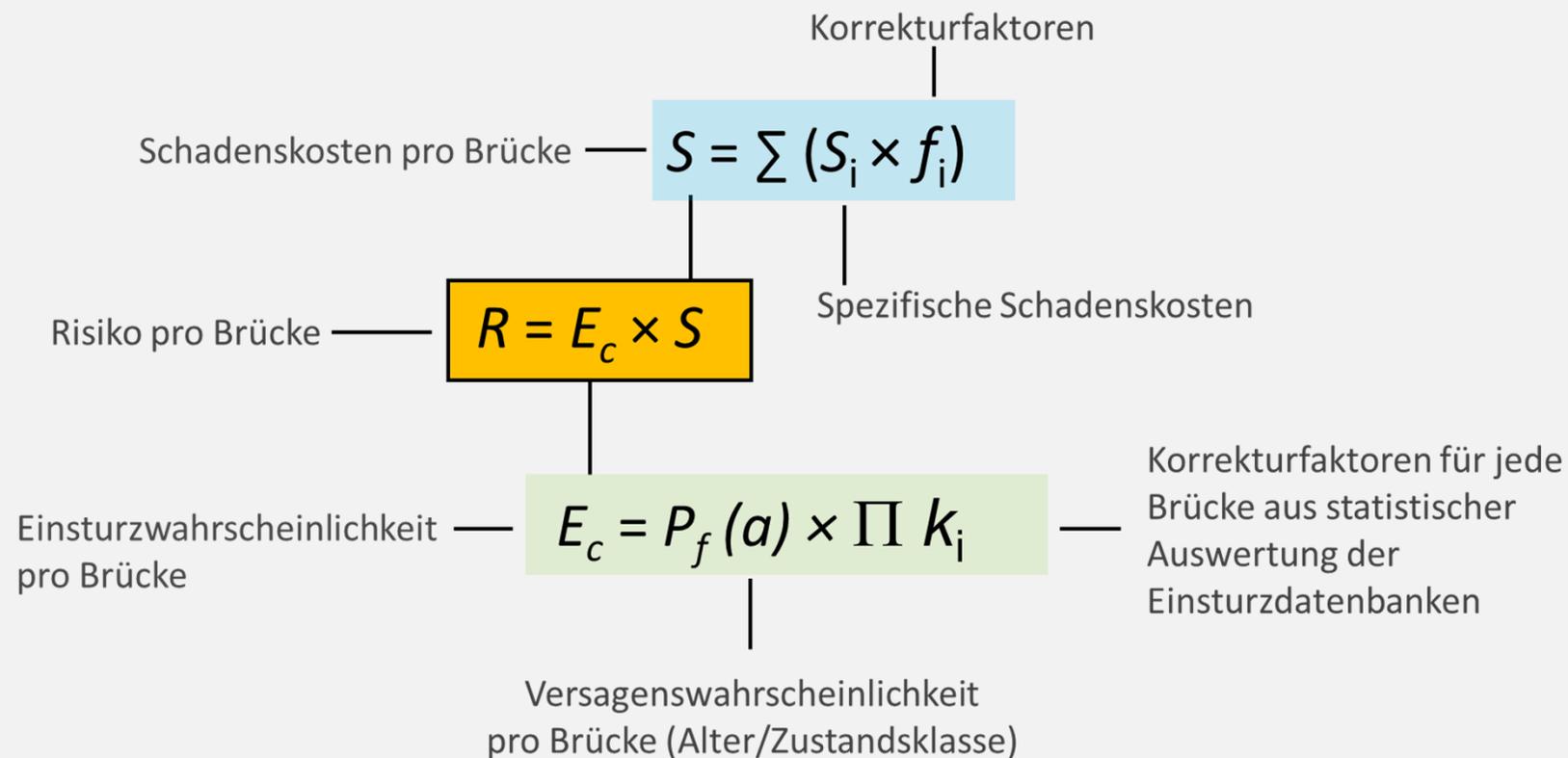


Darstellung Entscheidungstheorie aus [4]

Beispiel 1: Risikobasiertes Anlagenmanagement der Brücken der SBB.



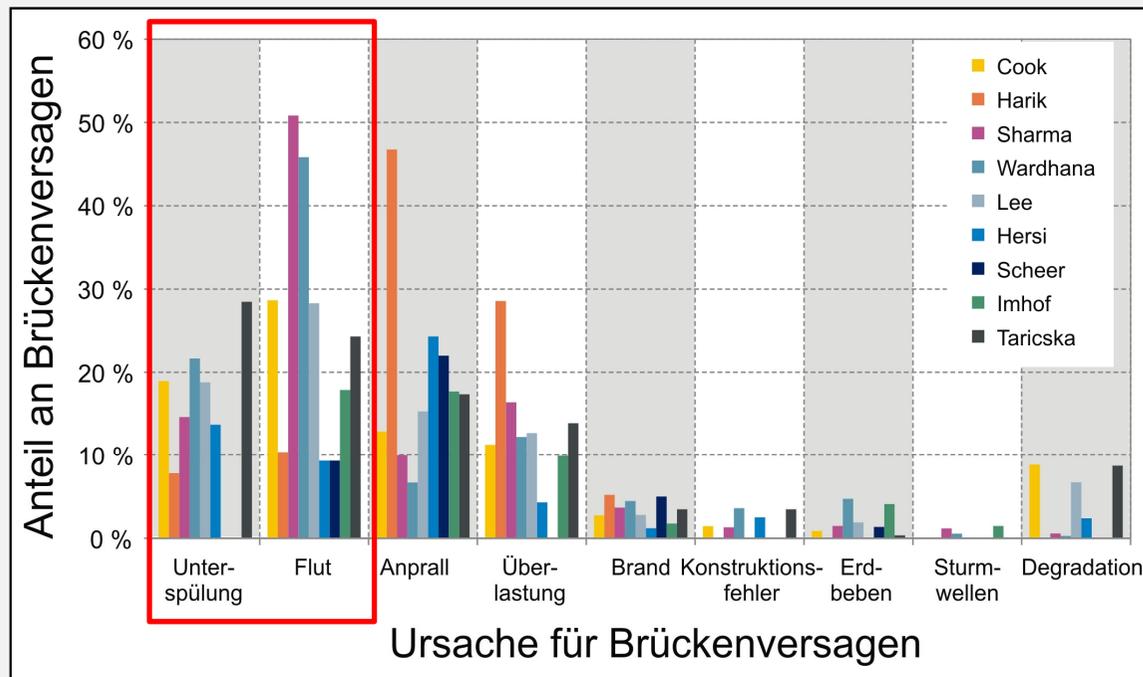
Definierte Vorgehensweise:



Beispiel 1: Risikobasiertes Anlagenmanagement der Brücken der SBB.



Herleitung der k-Faktoren aus statistischen Auswertungen der Einsturzdaten:



Brücke führt über	Korrekturfaktor
Verkehr	5.0
Wasser	9.0
Andere	1.0
Unbekannt	5.0

Umfang k_i -Korrektur-Faktoren:

- Menschliche Fehler
- Korrelation der Grenzzustände
- Statische Unbestimmtheit
- Frühe Vorankündigung
- Art der Überführung
- Qualität der statischen Berechnung
- Brückentyp
- Baustoff
- Bautechnologie
- Robustheit
- Gebrauchstauglichkeit

Einsturzdaten:

- IABSE Brückeneinsturzdatenbank (ca. 850)
- Naser (ca. 350)
- Peris-Sayol (ca. 150)
- Datensammlung (Proske) grossflächiger Ereignisse (ca. 10'000)

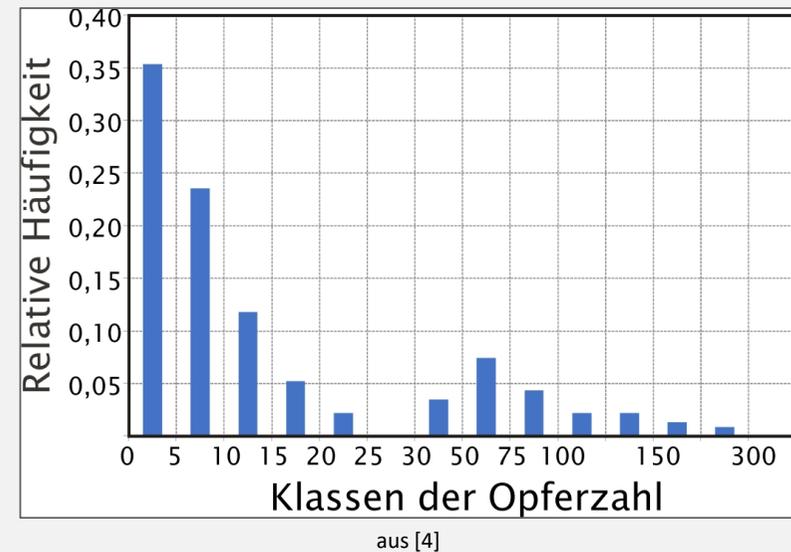
aus[3]

Beispiel 1: Risikobasiertes Anlagenmanagement der Brücken der SBB.



Schadenskostenanteile S_i :

- Wiederbeschaffungswert der Brücke
- Preis eines Güterzuges
- Preis eines Passagierzuges
- Mittlere Anzahl der Todesopfer und der Verletzten beim Brückeneinsturz
- Wert zur Vermeidung eines Todesopfers
- Verhältnis Passagier- zu Güterzügen
- Anzahl Züge pro Tag (Betriebsausfall)
- Einschränkungen auf der Ersatzstrecke (Betriebsausfall)
- Umleitungstrecke (Betriebsausfall)
- Dauer der Streckenausfallzeit (Betriebsausfall)





Beispiel 1: Risikobasiertes Anlagenmanagement der Brücken der SBB.

Implementierung:

The screenshot shows the QGIS interface with a map of bridge locations and a detailed attribute table for a specific bridge. The attribute table is highlighted with a red border and contains the following information:

Attribute	zusätzliche Attribute	Masse	Administration	Info-FW TP Infos	letzte Meldung	Meldungen	Positionen	Info-FW Massn.	PoMa Massn.	Fotos	Risk
Schadensausmass (CHF)		53696924.31									
Einsturzwahrscheinlichkeit		4.681195999999999e-08									
Rang (je tiefer desto schlechter)		3352									
exportiert im		November 2021									

Das Resultat des monetarisierten Risikos basiert auf einem empirischen Modell, dessen Grundlage Daten der Vergangenheit sind. Das Modell wurde gemeinsam von der SBB und der Berner Fach-Hochschule entwickelt und wird weiter verbessert.

Da die Qualität und Vollständigkeit der Ausgangsdaten für die Risikoberechnungen noch nicht wie gewünscht sind, müssen diese neuen Attribute mit **Vorsicht** verwendet werden.

Die Interpretation der Resultate ist mit Sorgfalt zu machen. Im Rang ist nicht nur die Zustandsklasse versteckt, sondern auch potenzielle Schadensausmasse aufgrund eines Einsturzes der Brücke. Der Rang ergibt die Position des Objekts gegenüber den anderen Objekten. Je grösser das monetarisierte Risiko desto kleiner der Rang und desto «heikler» ist das Objekt für das Gesamtsystem.

Der Rang kann als Entscheidungshilfe für die Priorisierung von Massnahmen und Inspektionen benutzt werden, muss aber im Kontext gesehen werden und darf nie den gesunden Menschenverstand überstimmen.

Darstellung der Ergebnisse im QGIS aus [4]

Beispiel 1: Risikobasiertes Anlagenmanagement der Brücken der SBB.



Ergebnisse:

- Änderung der Sichtweise vom Objekt zum System (Priorisierung).
- Kein Ersatz für Zustandsklassen, Fachleute und Einzelfallentscheidungen.
- Bestimmte Brückentypen und Konstellationen sind häufiger in TOP-Risikoliste (Einfeldträger, Stahlfachwerkbrücken über Gewässer, Passerelle, etc.).
- Sinnvolle Ergänzung der Alterungsmodelle zum optimalen Einsatz von Ressourcen.

Anwendungsgrenzen:

- Seit 1/2022 für Priorisierung verwendet - ersetzt jedoch keinen Sicherheitsnachweis, da Prüfbarkeit der Ergebnisse eingeschränkt.
- Anwendung berücksichtigt keine Mischung unterschiedlicher Normen und Baustoffe an Brücken und Schäden.

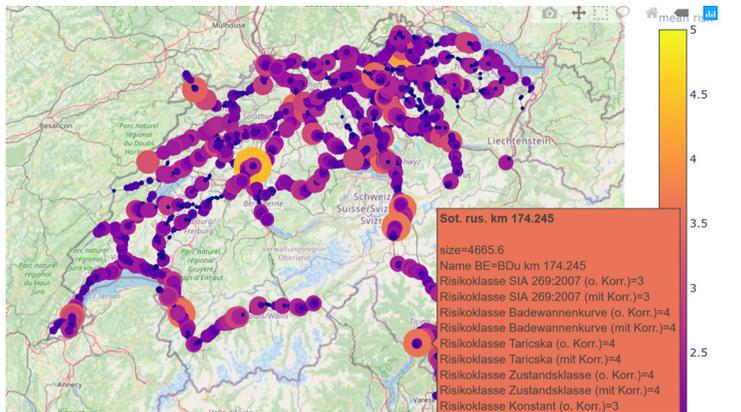
Investitionsgewinne:

- Investition führt zu Investitionsgewinn auf Seite Bahninfrastruktur.

Übersicht



Beispiel 1:
Risikobasiertes Anlagenmanagement der
Brücken der SBB.



Brückenübersicht im Livebetrieb [eigene Darstellung]

Beispiel 2:
Bioakustische Wildtierwarnanlage.



Flüchtender Rehbock aus [5]

Beispiel 2: Bioakustische Wildtierwarnanlage.



Ausgangslage:

Kollisionen mit Wildtieren führen zu

- Materialschäden,
- Verspätungen,
- Psychischen Belastungen für das Bahnpersonal,
- Bergungseinsätzen.

Zielsetzung:

- Nachhaltige Reduktion der Wildtierunfälle an den Bahnlinien.
- Gewährleistung der Durchlässigkeit für die Wildtiere ohne zusätzliche Bauwerke.
- Vermeidung eines Gewöhnungseffektes.

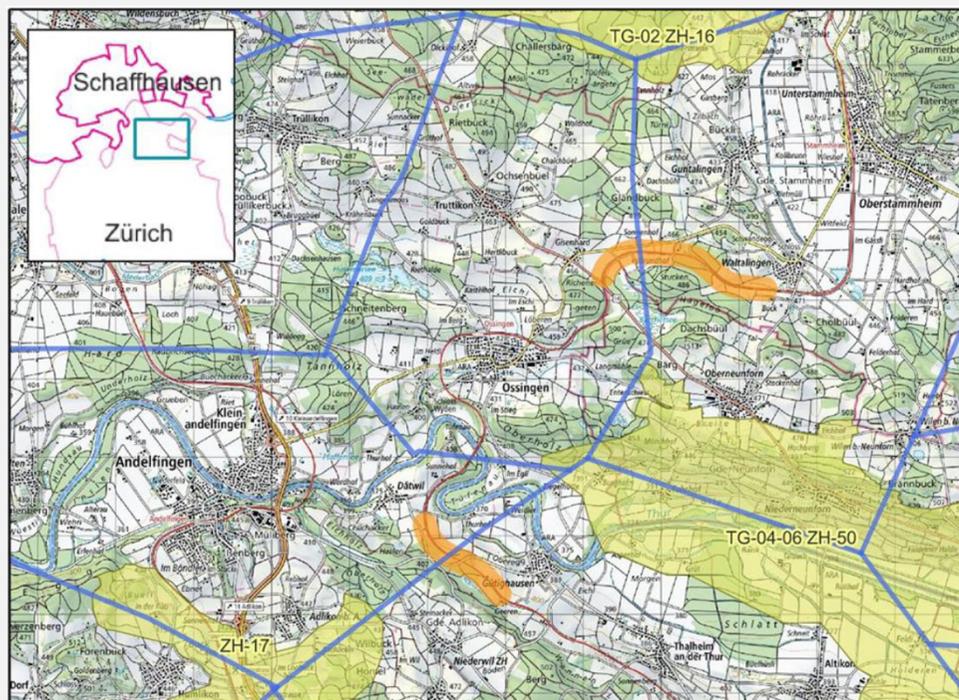
Projektpartner:





Beispiel 2: Bioakustische Wildtierwarnanlage.

Projektperimeter:

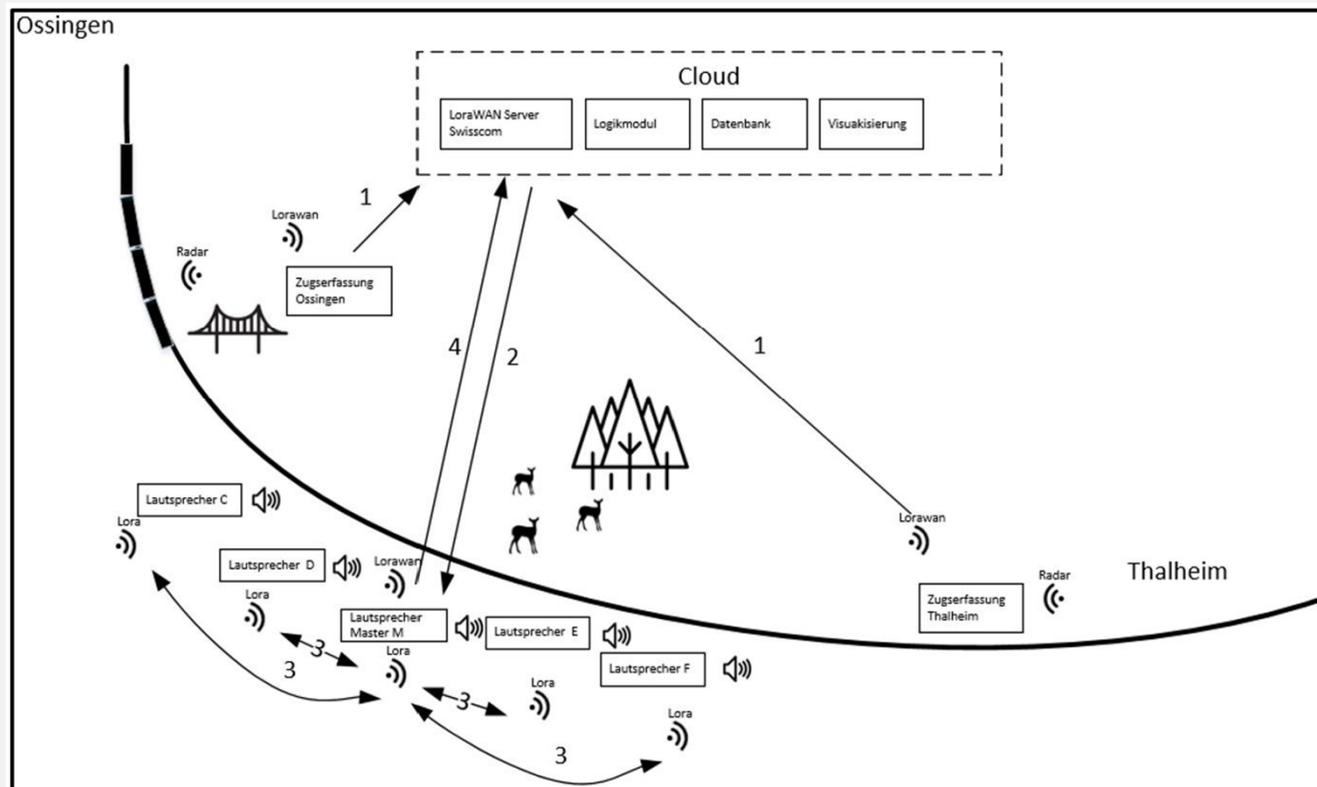


Übersichtskarte der geografischen Gegebenheiten und der Bahnlinie aus [5]



Beispiel 2: Bioakustische Wildtierwarnanlage.

System:



Schematische Übersicht zur Steuerung und Kommunikation innerhalb der Wildtierwarnanlage aus [5]



Beispiel 2: Bioakustische Wildtierwarnanlage.

Visualisierung der Installationen und Wechsel der Wildtiere:

- Installationen an den Versuchsstrecken mit
 - Radarsensoren (weiss),
 - Kameras (gelb),
 - bioakustische Lautsprecherboxen im Abstand von ca. 100 m (orange).
- Hauptwechsel der Wildtiere sind blau dargestellt.



Strecke Thalheim – Ossingen aus [5]



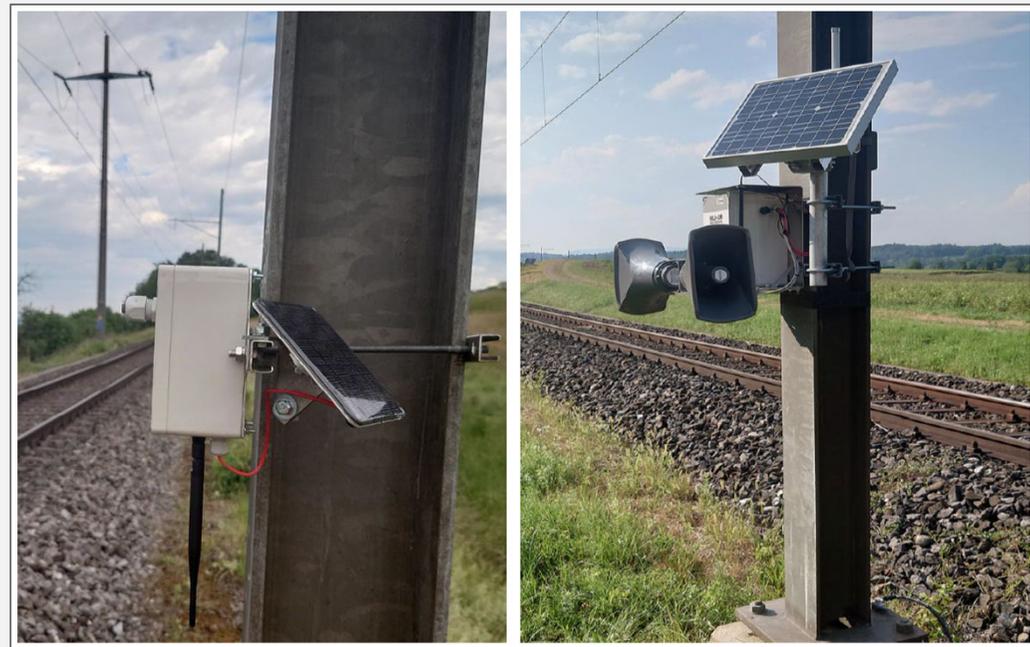
Strecke Ossingen - Stammheim aus [5]



Beispiel 2: Bioakustische Wildtierwarnanlage.

Zugfassung und Warnung

- Radarsensoren kommunizieren mit LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) Server.
- Lautsprecherboxen geben Warnlaute gestaffelt und zeitverzögert (4s) aus.
- Autonome Stromversorgung mittels Batterie und Solarpanel.



Radarsensor (links) und Lautsprecherboxen (rechts) an Leitungsmast montiert aus [5]



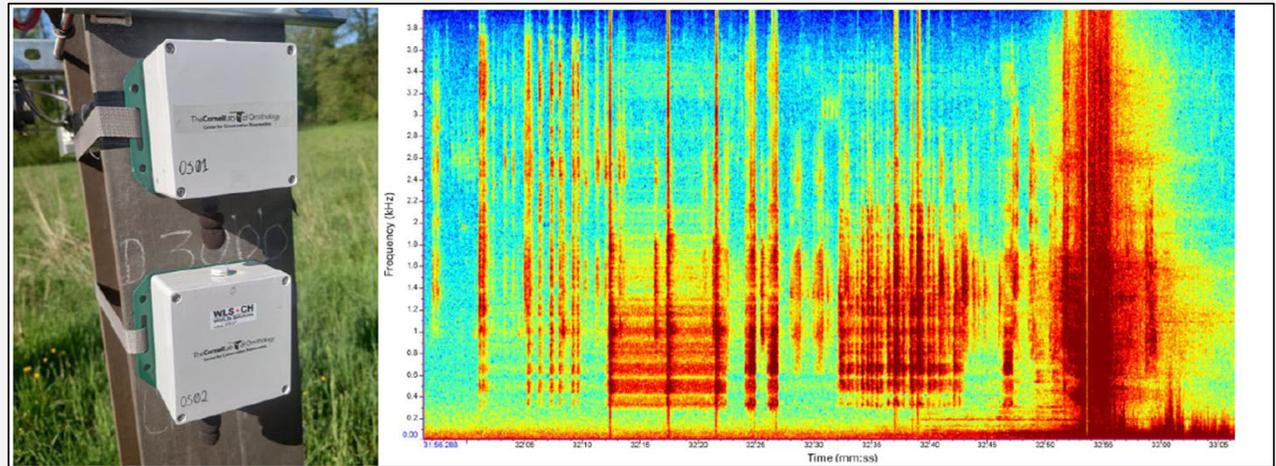
Beispiel 2: Bioakustische Wildtierwarnanlage.

Monitoring mittels

- Wärmebildkameras,
- Tonaufnahmegeräte (Auslösezuverlässigkeit, Datenauswertung).



Wärmebildkameras für die Überwachung der Streckenabschnitte aus [5]



Tonaufnahmegeräte zur Kontrolle der Auslösungen und der genauen Identifikation der Zugdurchfahrten aus [5]

Beispiel 2: Bioakustische Wildtierwarnanlage.



Einsatzvideo:

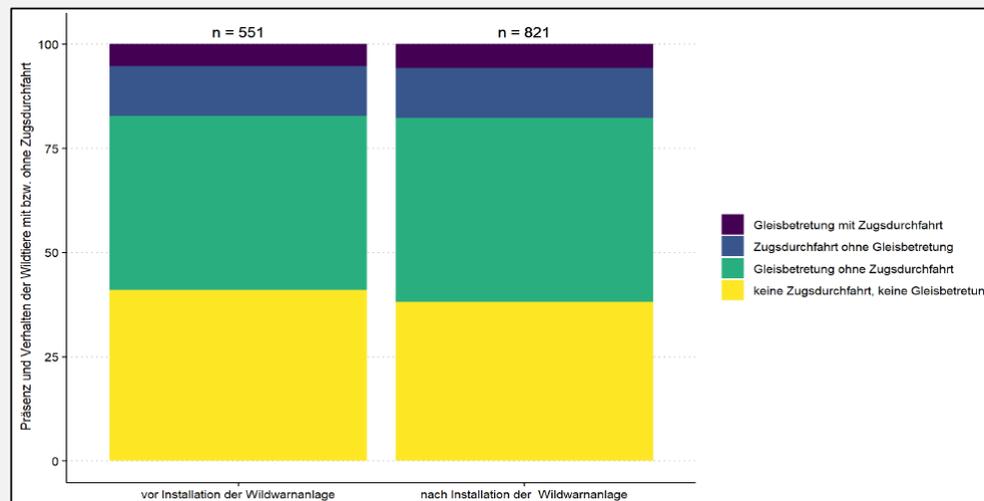




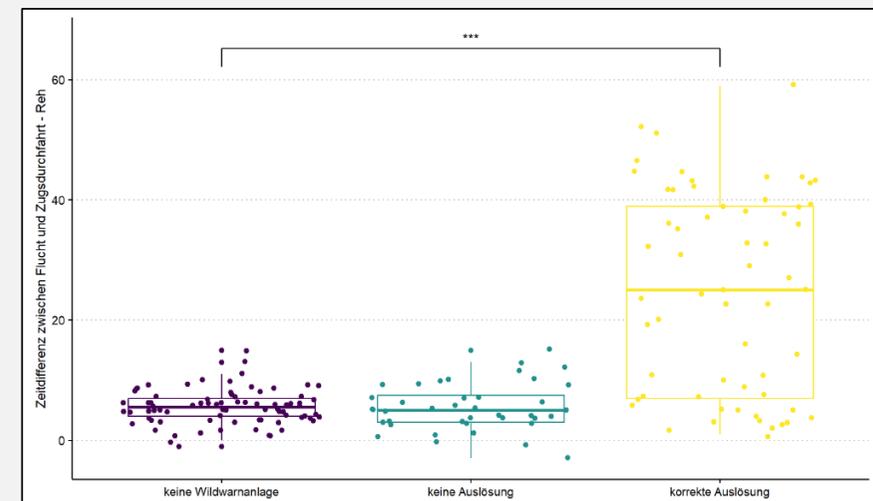
Beispiel 2: Bioakustische Wildtierwarnanlage.

Erkenntnisse hinsichtlich des Tierverhaltens:

- Verhalten der Tiere wird durch die Wildtierwarnanlage nicht beeinträchtigt.
- Tiere flüchten infolge der Warnlaute 11 – 25 Sekunden vor der Zugdurchfahrt (ohne Anlage 3 – 5 Sekunden).



Verhalten der Wildtiere vor und nach Installation der Wildtierwarnanlage aus [5]



Zeitdifferenz zwischen Fluchtreaktion und Zugdurchfahrt aus [5]

Beispiel 2: Bioakustische Wildtierwarnanlage.



Ergebnisse:

- Rehe und Wildschweine flüchten infolge ausgebrachter Warnlaute signifikant früher.
- Anzahl verunfallter Tiere konnte durch die Installation der Wildtierwarnanlage deutlich reduziert werden.
- Keine erhebliche Veränderung des Anteils an Bahnlinienquerungen nach Installation der Anlage.
- Zeitdifferenz zwischen Fluchtreaktion und Zugsdurchfahrt hat sich in den 25 Monaten Betrieb nicht verändert, d.h. keine Gewöhnung der Tiere.

Verbesserungspotenzial:

- Datenübertragung via LoRa-Netz – hierbei muss die Auslösegenauigkeit weiter verbessert werden.
- Mögliche Lösung mit Hilfe eines lokalen LoRa-Netzes: Diese Anlage kann unabhängig von bestehender Netzabdeckung betrieben werden.

Investitionsgewinne:

- Investition in die Infrastruktur führt in diesem Fall mehrheitlich zu Investitionsgewinnen auf Seite Rollmaterial und Betrieb.

Inhalt

Einführung

Herausforderungen

Praxisbeispiele

Zusammenfassung

Fazit



Erkenntnisse:

- Aufgrund der starken Abhängigkeiten der unterschiedlichen Teilbereiche des Gesamtsystems Bahn benötigen Innovationen in der Bahninfrastruktur eine sehr sorgfältige und umfassende Planung.
- Bereits in der frühen Planungsphase sollten die Wechselwirkungen der Teilsysteme berücksichtigt werden, um diese zu einem späteren Zeitpunkt monetarisieren zu können.

Potenzielle Handlungsfelder:

- Untersuchung von Ansätzen, an welcher Stelle in der Bahninfrastruktur sich welche Innovationsgewinne realisieren lassen und allenfalls eine Allokation erfolgen kann.
- Transparenz schaffen, um darzustellen, welche Massnahmen in den jeweiligen Teilsystemen für ein attraktives und bezahlbares Angebot notwendig sind.

Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit!

Quellenverzeichnis

- [1] – Weidman, U. et al.: Innovationen im Bahnsystem, ETH Zürich, 2015
- [2] – Brockhoff, K.: Forschung und Entwicklung: Planung und Kontrolle, 5. Auflage, R. Oldenbourg Verlag, München, 1999
- [3] – Proske, D. et al.: Risikobewertung von Brücken, Burgdorfer Brückenbautag 2024
- [4] – Proske, D. et al.: Risikobasiertes Anlagenmanagement der Brücken der SBB – Methode und erste Anwendungserfahrungen, Dresdner Brückenbausymposium 2022
- [5] – Suter, S. M.; Holden-Stephani, A.: Entwicklung und Evaluation bioakustischer Wildtierwarnanlagen an der SBB-Bahnlinie zwischen Thalheim und Stammheim. Wildlife Solutions GmbH WLS.CH, Rothenhausen, 2024