

Ursache-Wirkungs-Zusammenhang zwischen Mitteleinsatz und erzielbarer Anlagenqualität am Beispiel von Verkehrsstationen

Heckmann, Mark¹, Elfert, Lea¹, Höhn, Steffen¹, Schubert, Christopher¹,
Aktas, Hakan¹, Dittberner, Friederike¹, Grob, Felix¹, Lampe, Felix²,
Nießen, Nils²

¹DB Station&Service AG

²Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen (VIA)

Zusammenfassung

Die DB Station&Service AG ist als Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) im Rahmen der Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung III (LuFV III) dazu aufgefordert, auf wissenschaftlicher Basis einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang (UWZ) zwischen den zur Verfügung stehenden Instandhaltungs- und Investitionsmitteln und der davon beeinflussten erzielbaren Anlagenqualität herzustellen. Hierzu wird ein integriertes Modell vorgeschlagen, welches den statistischen Zusammenhang zwischen dem Instandhaltungs- und Ersatzinvestitionsbudget sowie der Qualitätsnote bidirektional simulieren kann.

Keywords: Eisenbahninfrastruktur; Modellierung; Regression; Anlagenqualität; Prognosemodell; Zustandsentwicklung; Instandhaltung; Instandhaltungskosten

1 Einleitung

Die DB Station&Service AG ist neben der DB Netz AG und der DB Energie GmbH als eines von drei Eisenbahninfrastrukturunternehmen verantwortlich für den Betrieb und den Erhalt der Verkehrsstationen in Deutschland. Im Rahmen der Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung III sind die EIU verpflichtet, die Eisenbahninfrastruktur in

einem „qualitativ hochwertigen Zustand zu erhalten bzw. zu verbessern“ [1, S. 6]. Gemessen wird dieser Zustand anhand verschiedener Qualitätskennzahlen (Qkz), für die jährliche Sollwerte vereinbart sind. Das erklärte Ziel dabei ist „durch unternehmerisches Handeln eine hohe Effizienz beim Einsatz der Bundes- sowie der Eigenmittel der EIU zu gewährleisten“ [1, S. 6]. Bisher gibt es keinen nachgewiesenen Zusammenhang zwischen Mitteleinsatz und dessen Qualitätswirkung. Daher sind die Vertragsparteien der LuFV aufgefordert, einen Zusammenhang zwischen den zur Verfügung stehenden Mitteln und der Qualität herzustellen.

Die eingesetzten Mittel bestimmen sich aus der integrierten Investitions- und Instandhaltungsstrategie der DB Station&Service AG. Dieser liegen Lebenszyklusmodelle für die wesentlichen Anlagenklassen zugrunde. Sie umfassen u. a. durchschnittliche Kosten für Ersatzinvestitionen (EIS), durchschnittliche technische Nutzungsdauern (tND) sowie den durchschnittlichen Instandhaltungsbedarf anhand von bepreisten Instandhaltungsroutinen [2]. Die Qualität wird innerhalb der LuFV durch Qualitätskennzahlen definiert. Es werden pönalisierte sowie nicht-pönalisierte Qualitätskennzahlen unterschieden, wobei im Folgenden ausschließlich pönalisierte Kennzahlen betrachtet werden. Im Sinne einer Output-Steuerung wird dabei nach Verfehlen der vereinbarten Soll- bzw. Zielwerte Pönale für die EIU fällig.

Im Fokus der bisherigen Untersuchung steht die Qualitätskennzahl „Bewertung Anlagenqualität“ (BAQ), die den Zustand der baulichen und technischen Anlagen an den Stationen und Empfangsgebäuden anhand von definierten Schadensbildern beschreibt. Die Anlagen, die innerhalb einer Station betrieben werden, können durch sogenannte Anlagenklassen kategorisiert werden. Jede einzelne Anlage besteht aus sogenannten Elementen. Bei der Bewertung der Elemente werden einzelne Schadensbilder untersucht und mithilfe der Kriterien Schadensqualität und Schadensmenge beurteilt. Das Ergebnis wird konsolidiert in Form einer Schulnote von 1 bis 6 ausgedrückt, wobei Note 1,00 den bestmöglichen Zustand und Note 6,00 den schlechtesten Zustand beschreibt. Die Kennzahl wird für jedes Equipment ermittelt und kann aggregiert für Stationen, Regionalbereiche und als bundesweite Gesamtnote ausgegeben werden.



Abbildung 1: Schematische Darstellung des UWZ-Modells

Im Rahmen des UWZ wird ein Modell erstellt, das die Wechselwirkung zwischen Mitteleinsatz und Qualität herstellt. Neben der Höhe der Instandhaltungs- und Ersatzinvestitionsmittel und der Qualitätswirkung soll in diesem auch der altersbedingte Verschleiß der Anlagen modelliert werden. In Abbildung 1 wird schematisch dargestellt, welche zwei Hauptfunktionen das UWZ-Modell erfüllen muss: 1) Zum einen soll es mithilfe des Modells möglich sein, zu berechnen, welche Qualität in Form der bundesweiten Qkz BAQ bei gegebenem Budget erzielbar ist („Vorwärtsrechnung“, oberer roter Pfad). 2) Zum anderen soll es erlauben, bei vorgegebenem Qualitätsziel in Form der Qkz BAQ und unter Berücksichtigung der strategischen Rahmenbedingungen die dafür notwendigen Investitions- und Instandhaltungsmittel zu errechnen („Rückwärtsrechnung“, unterer blauer Pfad).

2 Modellierung

Im Folgenden wird der Modellierungsansatz, der im Kern der UWZ-Systematik steht, im Detail ausgeführt.

2.1 Literatur

Für die Modellierung eines Wirkungszusammenhangs zwischen Instandhaltung (IH), altersbedingtem Verschleiß und dem Anlagenzustand werden in der Literatur unterschiedliche Modellklassen diskutiert [3]. Der Großteil der Literatur konzentriert sich hierbei auf technische Anlagenklassen (z. B. Turbinen), für die viele Messdaten vorliegen, z. B. [4]. Aber auch Anlagen der öffentlichen baulichen Infrastruktur, wie z. B. Autobahnen, Brücken, Straßen und Gehwege wurden untersucht [3], [5]. Für die

überwiegende Anzahl der im Kontext des UWZ relevanten Anlagenklassen (u. a. Bahnsteige, Personenunterführungen, Wetterschutzhäuser; siehe Tabelle 1) liegen jedoch keine direkt nutzbaren Erkenntnisse vor. Modelle für vieler dieser Klassen werden im Folgenden somit erstmalig dargestellt. Zurückgegriffen werden kann jedoch auf Erkenntnisse aus einem Parallelprojekt bei der DB Netz AG, das eine ähnliche Zielstellung jedoch für überwiegend andere Anlagenklassen (z. B. Gleise) und andere Qualitätskennzahlen verfolgt [6].

2.2 Vorgehen und Datenlage

Um der Zielsetzung des UWZ Rechnung zu tragen, muss es möglich sein, den Einfluss der altersbedingten Anlagenverschlechterung und die Verbesserung durch Instandhaltungsmaßnahmen (IH-Maßnahmen) innerhalb des Modells zu trennen. Denn nur so kann die Frage beantwortet werden, welchen Einfluss z. B. eine Erhöhung oder Absenkung des IH-Budgets auf die BAQ-Note hat. Der im Folgenden vorgestellte Modellansatz fällt in der Taxonomie der Degenerationsmodelle unter den „deterministisch-empirischen“ Ansatz [3]. Dies bedeutet, dass die Herleitung datenbasiert erfolgt und das Modell keine probabilistischen Elemente bei der Erstellung des Outputs enthält.

Als Datenbasis für die Modellierung kann auf historische Zeitreihen von Zustandsbewertungen der Anlagen zurückgegriffen werden. Die DB Station&Service AG erhebt seit ca. 2010 in regelmäßigen Abständen an ca. 60 Tsd. Anlagen eine sogenannte technische Zustandsnote (TZN). Für jede der 21 BAQ-relevanten Anlagenklassen (z. B. Bahnsteige, siehe Tabelle 1) sind hierzu Bewertungselemente (z. B. Bahnsteigkante, Blindenleitstreifen) definiert, deren Zustand anhand eines Kriterienkatalogs und eines Punkteschemas bewertet wird (z. B. stellen kleine Risse auf dem Bahnsteig bei niedriger Schadensmenge einen „geringen Mangel“ mit 5 Schadenspunkten dar). Die Summe der Schadenspunkte pro Anlage (0 = sehr gut, > 120 = schlecht) wird als Zustandskennzahl (ZuKz) bezeichnet. Zusätzlich wird die ZuKz mittels einer nichtlinearen Umrechnungsfunktion in das Schulnotenschema (1 = sehr gut, 6 = schlecht) übertragen und als TZN bezeichnet. Jede BAQ-relevante Anlage verfügt somit stets über eine ZuKz und eine TZN. Im Zeitraum von 2010 bis 2020 wurden ca. 280 Tsd. Zustandsbewertungen vorgenommen. Die BAQ-Gesamtnote ist das gewichtete Mittel aller TZN. Mit welchem Gewicht eine Anlage in die Gesamtnote eingeht, hängt zum einen von ihrer Klasse (Bahnsteige haben z. B. ein höheres Gewicht als Aufzüge, siehe Tabelle 1) und zum

anderen von der Anzahl an Reisenden an der Station ab, an der sich die Anlage befindet (Stationen mit mehr Reisenden haben ein höheres Gewicht) [1]. Da sich die Anlagenklassen in Bezug auf ihre Charakteristika stark unterscheiden (u. a. technisch vs. baulich, Größe, Baumaterialien, angesetzte nominelle Lebensdauer), ist es zweckmäßig, die Wirkung des Mitteleinsatzes auf die BAQ-Note nicht direkt zu modellieren, sondern für jede Anlagenklasse ein separateres Wirkmodell zu erstellen und erst die Ergebnisse der Einzelmodelle zur Gesamt-BAQ zu aggregieren. Im Nachfolgenden wird der hierbei verfolgte Ansatz beispielhaft anhand der Anlagenklasse Personenunterführung entwickelt.

Tabelle 1: Die 21 BAQ-relevanten Anlagenklassen, BAQ-Gewicht (gerundet auf erste Nachkommastelle) und technische Nutzungsdauer (tND)

Nr.	Anlagenklasse	BAQ-Gewicht	tND
1	Bahnsteige	30,0 %	70
2	Bahnsteighallen	15,0 %	80
3	Personenunterführungen	14,0 %	100
4	Bahnsteigdächer	9,0 %	80
5	unterirdische Personenverkehrsanlagen	9,0 %	100
6	Beleuchtungsmaste	5,0 %	40
7	Personenaufzüge	2,0 %	15
8	Fahrtreppen	1,8 %	13
9	Rampen	1,5 %	80
10	Treppen	1,5 %	90
11	Wetterschutzhäuser	1,5 %	40
12	Empfangsgebäude Flachdächer	1,4 %	104
13	Empfangsgebäude Steildächer	1,4 %	117
14	Fassadenverkleidungen	1,4 %	63
15	Fahrgastinformationsanlagen	1,3 %	12
16	Fenster	1,1 %	32
17	Personenüberführungen	1,0 %	95
18	Böden und Treppen öffentl. Bereich	0,7 %	50
19	Wände öffentl. Bereich	0,7 %	67
20	Windschutzsysteme	0,4 %	40
21	Eingangstüren öffentl. Bereich	0,4 %	23

2.3 Aufbau des Modells

Datenbasis für die Modellierung bilden wie beschrieben die Anlagenbewertungen (d. h. die Messung der ZuKz/TZN). Grundsätzlich kann eine Anlagenbewertung aus unterschiedlichen Gründen erfolgen. So existieren regelmäßige anlassunabhängige

Messungen (alle 2 - 4 Jahre) sowie anlassbezogene Messungen (z. B. nach einer IH-Maßnahme). Der nachfolgende schrittweise skizzierte Modellansatz setzt anlassunabhängige und anlassabhängige Messungen sowie die protokollierten IH-Zeitpunkte in Bezug, um das Alterungsverhalten und die IH-Wirkung zu separieren.

Lässt man zunächst die Gründe für die Messung außer Acht und trägt die durchschnittliche ZuKz über das Anlagenalter ab, so ergibt sich für jede der 21 Klassen ein tendenziell logarithmischer Verlauf. In Abbildung 2 ist beispielhaft der Verlauf für die Klasse Personenunterführung dargestellt. Die blaue Linie ist die auf Basis der Daten geschätzte Regressionsfunktion und markiert den geglätteten durchschnittlichen ZuKz-Verlauf mit zunehmendem Alter. In dem Verlauf (inkl. IH-Maßnahmen) ist eine abnehmende, aber stetige Verschlechterung des Zustands über das Anlagenalter erkennbar. Auffällig dabei ist, dass die Anlagen nach Ende der technischen Nutzungsdauer (tND) von 100 Jahren trotz hohen Alters eine vergleichsweise gute Bewertung aufweisen. Dieses Phänomen der sogenannten „Gutlieger“ wird auf die vorherrschende Investitionsstrategie zurückgeführt. Diese sorgt dafür, dass ab Erreichen der tND vorzugsweise Anlagen mit schlechter Note zuerst ersetzt werden und jene mit gutem Zustand weiter im Bestand bleiben. Für die Datenqualität der Anlagenbewertungen bedeutet dies, dass ab der tND Anlagen mit schlechter Bewertung systematisch ausgedünnt und somit unterrepräsentiert sind. Diese Überlebenden-Verzerrung in den Daten nach Ende der tND ist bei der Modellbildung entsprechend zu berücksichtigen.

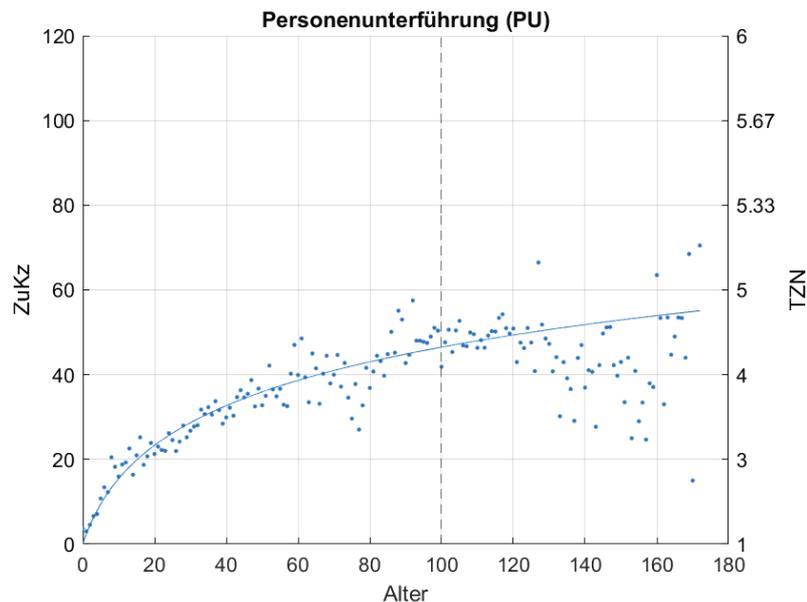


Abbildung 2: Verlauf der durchschnittlichen ZuKz und TZN für die Klasse Personenunterführung mit einer tND von 100 Jahren über den Lebenszyklus einer Anlage

Da Zustandsbewertungen in der Vergangenheit stets nach, nicht jedoch direkt vor einer größeren IH-Maßnahme erfolgt sind, kann die Wirkung von IH-Maßnahmen auf die Anlagenqualität nicht direkt als Vorher-Nachher-Differenz berechnet werden. Um die Wirkung von IH-Maßnahmen dennoch modellhaft zu isolieren, wird der Gesamtverlauf in Abbildung 3 in a) die durchschnittliche Bewertung pro Anlagenalter *ohne* eine IH-Maßnahme in jüngster Zeit vor der Messung (obere rote Linie) und b) die durchschnittliche Bewertung pro Anlagenalter aufgrund einer Messung direkt nach einer IH-Maßnahme (untere grüne Linie) getrennt. Für beide Datenreihen werden jeweils Regressionsfunktionen ermittelt, die den jeweils durchschnittlichen Verlauf schätzen. Aufgrund des bereits beschriebenen Überlebens-Bias werden Datenpunkte nach Ende der tND nicht in die Modellierung der Regression einbezogen und sind aus diesem Grund in Abbildung 3 nicht enthalten. Es wird angenommen, dass sich das geschätzte Modell auch für das Verhalten von Anlagen mit einem Alter über der tND extrapolieren lässt.

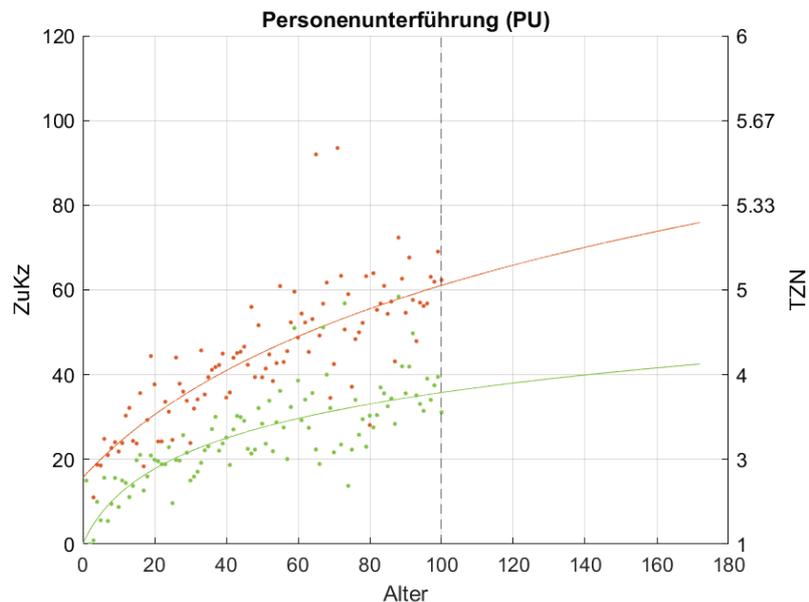


Abbildung 3: Durchschnittlicher Verlauf der Zustandsbewertung ohne eine IH-Maßnahme in jüngster Zeit (rote obere Linie) und direkt nach einer IH-Maßnahme (grüne untere Linie)

Die Differenz der beiden Verläufe markiert somit die durchschnittliche Wirkung von Instandhaltungsmaßnahmen pro Anlagenalter. Sie enthält jedoch keine Information darüber, wie häufig IH-Maßnahmen erfolgen. Diese Information, d. h. der durchschnittliche Rhythmus für IH-Maßnahmen über das Anlagenalter kann zusätzlich aus den historischen Messdaten abgeleitet werden. Abbildung 4 stellt die kumulierte Häufigkeit von IH-Maßnahmen geteilt durch die Anzahl an Anlagen der Klasse (Personenunterführungen) über das Anlagenalter dar. So lässt sich z. B. ablesen, dass im Durchschnitt jede Personenunterführung im Alter von ca. 19 Jahren einmal und im Alter von 31 Jahren zweimal eine IH-Maßnahme erhalten hat.

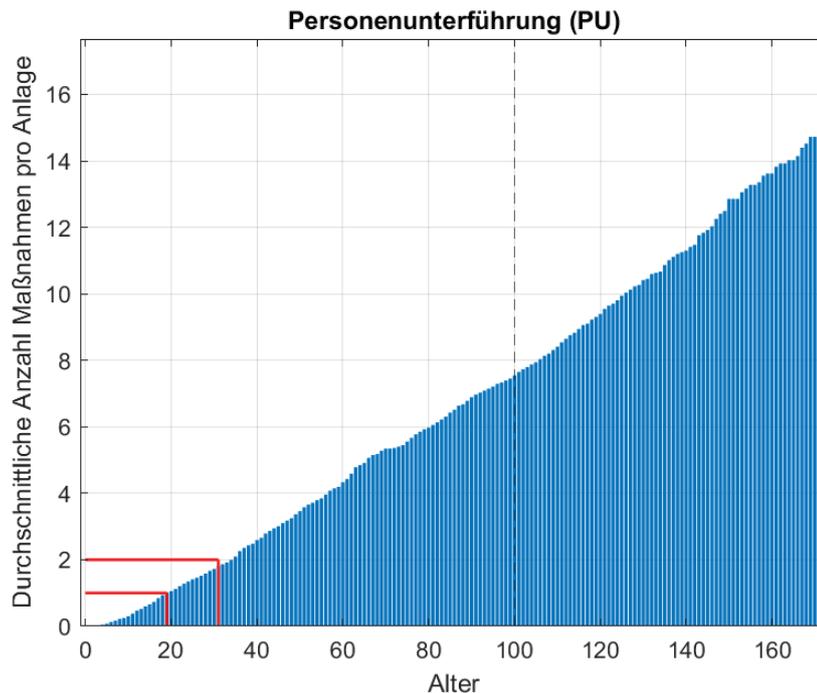


Abbildung 4: Kumulierte Häufigkeit von IH-Maßnahmen über das Anlagenalter für Personenunterführungen

Führt man die Informationen aus Abbildung 3 (Verläufe ohne und nach IH) und Abbildung 4 (IH-Zeitpunkte) zusammen, so lässt sich ein integriertes IH- und Alterungsmodell erstellen (siehe Abbildung 5). Hierzu wird in dem Modell vereinfachend angenommen, dass genau in dem Alter, in dem im Durchschnitt jede Anlage der Klasse im Lebenszyklus eine, zwei oder mehr IH-Maßnahmen erhalten hat (z. B. im Alter von 19, 31, ... Jahren), eine IH-Maßnahme im Modell erfolgt. Die Zeitpunkte der Maßnahmen werden in Abbildung 5 durch senkrechte graue Linien dargestellt. Die durchschnittliche Zustandsverbesserung der Anlage aufgrund der IH-Maßnahmen entspricht dann dem sich ergebenden ZuKz-Betrag zwischen dem durchschnittlichen Zustand vor einer IH-Maßnahme (obere rote Linie) und dem durchschnittlichen Zustand nach einer IH-Maßnahme (untere grüne Linie) im entsprechenden Alter. Weiterhin wird angenommen, dass die Anlagen zwischen den IH-Zeitpunkten linear altern. Die Alterungsfunktion wird durch die ansteigenden sogenannten Sägezähne zwischen den IH-Zeitpunkten dargestellt. In Abbildung 6 wird das Alterungsverhalten gemäß Modell beispielhaft skizziert. Der blaue Punkt stellt eine Anlage mit Alter 55 und einer ZuKz von 17 dar. In den Folgejahren würde sich die Anlage, sofern sie keine IH-Maßnahme erhält, entlang der Steigung des

jeweiligen Sägezahns verschlechtern (siehe Abbildung 6 Punkt ①). Erhält die Anlage jedoch eine IH-Maßnahme, so verbessert sich ihre ZuKz um den im Modell vorgesehenen Hub einer durchschnittlichen altersspezifischen IH-Maßnahme (siehe Abbildung 6 Punkt ②).

Der Modellansatz erlaubt es, über die Kombination der Informationen aus Abbildung 3 und Abbildung 4, indirekt eine Ableitung des Alterungsverhaltens und der durchschnittlichen IH-Wirkung vorzunehmen und diese auf einzelne Anlagen anzuwenden. Diese Trennung kann im Folgeschritt dazu genutzt werden, eine Systematik aufzubauen, um die Wirkung einer Änderung im IH-Budget zu simulieren. Weiterhin ist der vorgestellte Modellierungsansatz generisch und kann für alle der BAQ-relevanten 21 Anlagenklassen umgesetzt werden.

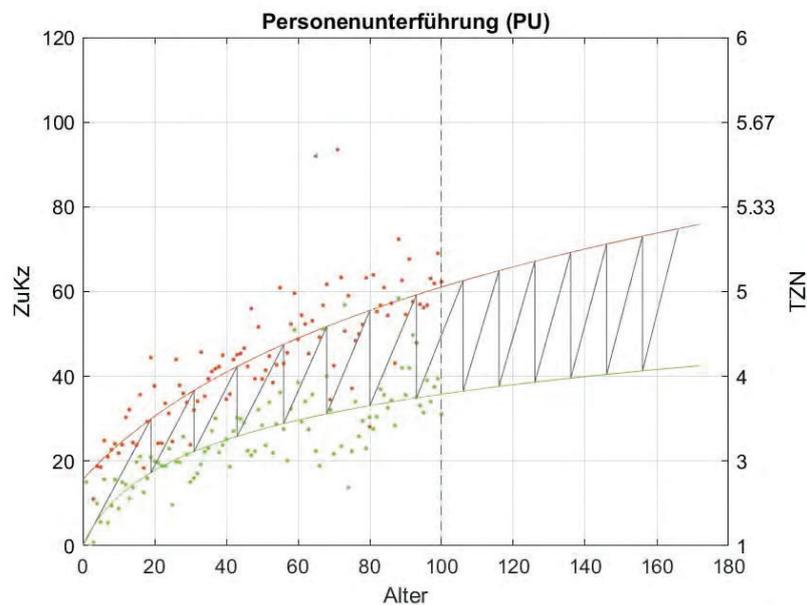


Abbildung 5: Integriertes Modell der Alterung und IH-Wirkung

3 Integration in ein Gesamtmodell

Um die einzelnen pro Klasse abgeleiteten Modelle in ein Gesamtmodell für den UWZ zu überführen, müssen mehrere zusätzliche Rahmenparameter gesetzt werden. So muss im Gesamtmodell definiert werden, a) nach welcher Systematik eine Anlage bei festgelegtem Budget für eine IH-Maßnahme ausgewählt bzw. priorisiert wird, b) welche konkrete ZuKz-Wirkung durch eine Maßnahme erzeugt wird, c) welche Kosten eine IH-Maßnahme verursacht und d) wie der Ersatz von Anlagen bei festgelegten EIS-Mitteln

priorisiert wird. Hierbei soll das Gesamtmodellverhalten das tatsächliche IH- und Ersatzinvestitionsgeschehen (EIS) möglichst realitätsnah abbilden.

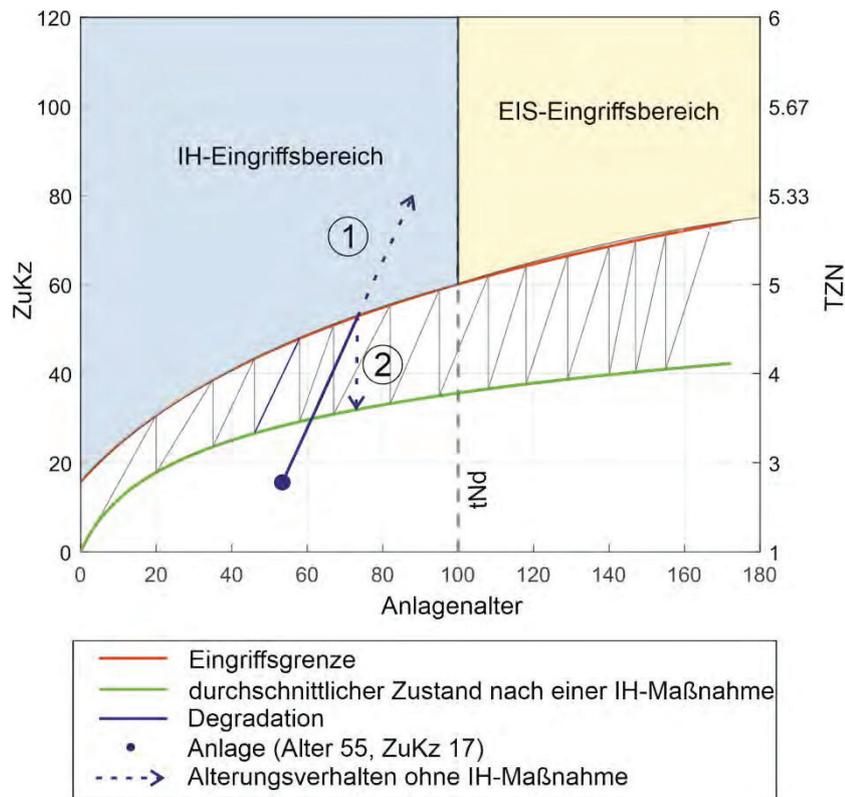


Abbildung 6: Modellbasierte Allokation von IH- und Ersatzinvestitionsmitteln

Das Modell aus Abbildung 5 bzw. Abbildung 6 bildet auch hier den Dreh- und Angelpunkt für die Entscheidung über die Allokation sowohl des IH- als auch des EIS-Budgets: a) Generell erhalten Anlagen erst dann eine IH-Maßnahme, wenn ihr Zustand ausreichend schlecht geworden ist. Auf Basis des Modells lässt sich eine Eingriffsschwelle definieren, oberhalb derer sich Anlagen grundsätzlich für eine IH-Maßnahme qualifizieren. Der entsprechende Bereich, in dem Anlagen eine schlechtere als den für ihr Alter durchschnittlichen Zustand aufweisen, ist in Abbildung 6 als „IH-Eingriffsbereich“ markiert. In der Simulation werden Anlagen mit dem schlechtesten Zustand prioritär mit IH-Maßnahmen versorgt. b) Die angesetzten IH-Maßnahmen werden hierbei als Einheitsmaßnahmen verstanden, d. h. sie entfalten unabhängig vom aktuellen Zustand der Anlage jeweils die für ihre Alter spezifische, aus Vergangenheitsdaten abgeleitete ZuKz-Wirkung (Distanz zwischen roter und grüner Linie in Abbildung 6). c) Die historischen Kosten von IH-Maßnahmen liegen zusammen mit den einhergehenden Zustandsbewertungen größtenteils im Datenbestand der DB

Station&Service AG vor. Aus ihnen wurden pro Klasse die durchschnittlichen Kosten für eine Einheit ZuKz-Hub abgeleitet. Aus der Multiplikation des modellbasierten altersspezifischen ZuKz-Hubs und den Einheitskosten lassen sich die Gesamtkosten einer IH-Maßnahme ermitteln. Bei Kenntnis der Kosten und Höhe des verfügbaren IH-Budgets pro Jahr und Anlagenklasse (Vorwärtsrechnung aus Abbildung 1) lassen sich zum einen die daraus resultierende Menge an IH-Maßnahmen und zum anderen die Wirkung auf die Anlagen direkt aus dem Gesamtmodell ableiten. d) Letzter maßgeblicher Einflussfaktor auf die BAQ ist die Ersatzinvestitionstätigkeit (EIS). Auch hier werden analog zu den IH-Maßnahmen Anlagen, die älter als die tND sind und einen ausreichend schlechten Zustand haben, prioritär ersetzt. Der „EIS-Eingriffsbereich“ ist in Abbildung 6 ebenfalls farblich markiert. Der detaillierte Algorithmus zur Priorisierung der sich grundsätzlich für EIS qualifizierenden Anlagen wird durch die Abteilung Investitionsplanung vorgegeben, um das Investitionsgeschehen möglichst realitätsnah abzubilden. Die Details werden hier nicht weiter dargestellt und sind stark von den Rahmenbedingungen und Zielen der DB Station&Service AG abhängig. Ähnlich zu den IH-Kosten können auf Basis von Einheitspreisen für sogenannte preistreibende Merkmale (z. B. Fläche bzw. Anzahl Quadratmeter eines zu ersetzenden Bahnsteigs) die EIS-Kosten einer Anlage berechnet und die Anzahl möglicher Ersatzinvestitionen bei festgelegtem Budget simuliert werden.

In Abhängigkeit von den Budgets (IH und EIS), den definierten IH-Eingriffsgrenzen sowie einer unternehmerischen Zielsetzung erlaubt das Modell somit insgesamt eine Priorisierung der IH- und EIS-Maßnahmen und in Folge die Modellierung der BAQ als abhängige Größe (Vorwärtsrechnung). Die Rückwärtsrechnung wird in analoger Weise über das Modell abgebildet, wobei die Zielgröße BAQ gesetzt und die dazu notwendigen Budgets bestimmt werden.

4 Fazit und Ausblick

Das in diesem Paper vorgestellte Wirkmodell bildet die Kernkomponente für die Simulation des IH- und EIS-Geschehens und somit den UWZ. Aus den anlagentypischen Degenerationsfunktionen der 21 relevanten Anlagenklassen entsteht ein Gesamt-Wirkmodell, das die Simulation der Qkz BAQ bzw. des Investitions- und Instandhaltungsbudgets ermöglicht. Die Voraussetzungen werden hierbei durch einen Modelltyp geschaffen, der in der Lage ist, die Effekte von altersbedingtem Verschleiß und von betrieblicher Instandsetzung zu trennen. In Folge kann sowohl das IH- als auch das EIS-Budget als unabhängiger Input-Parameter im Modell variiert werden. Somit kann

bei Einhaltung unternehmerischer Prämissen unter Angabe von Höhe und Zweck von Instandhaltungsmitteln und von Ersatzinvestitionsmitteln über einen Mittelfrist- und Langfristzeitraum die Entwicklung der Qkz BAQ ermittelt werden. Da das Modell bidirektional verwendet werden kann, können auch bei Eingabe eines Qualitätsziel die benötigten Instandhaltungs- und Ersatzinvestitionsmittel bestimmt werden.

Zur Validierung des Modells werden die IH-Budgets und das Investitionsgeschehen von 2014 bis 2020 und die daraus resultierende BAQ-Note zugrunde gelegt. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Papers dauert die Validierungsphase noch an. Die bisherigen Ergebnisse lassen darauf schließen, dass sich der Zusammenhang mittels des vorgestellten Modellierungsansatzes simulieren lässt. Im weiteren Verlauf erfolgt die Feinjustierung des Modells, um zusätzliche operationale, organisationale und fachliche Randbedingungen zu integrieren. Parallel dazu wird die Qualitätsdefinition der Qkz BAQ überprüft und weiterentwickelt. Außerdem steht die Integration einer weiteren pönanalisierten Kennzahl in das Modell als Input- sowie Output-Faktor aus.

Literatur

- [1] Eisenbahnbundesamt (EBA): *Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung (LuFV) III*. Eisenbahnbundesamt, Bonn, 2019. Zugegriffen: Apr. 07, 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.eba.bund.de/DE/Themen/Finanzierung/LuFV/lufv_node.html.
- [2] Schubert, Christopher, Heckmann, Mark, Höhn, Steffen, von Pappritz, Julien und Elfert, Lea: *Investitions- und Instandhaltungsstrategie von Personenbahnhöfen: Fortschreibung und strategische Neuausrichtung des amp-Modells für die Verkehrsstationen und die Empfangsgebäude der DB Station&Service AG*. Eisenbahningenieur, Bd. 71, Nr. 10, S. 35-39, 2020.
- [3] Karimzadeh, A. und Shoghli, O.: *Predictive Analytics for Roadway Maintenance: A Review of Current Models, Challenges, and Opportunities*. Civ. Eng. J., Bd. 6, Nr. 3, Art. Nr. 3, März 2020, doi: 10.28991/cej-2020-03091495.
- [4] Allen, C. W., Holcomb, C. M. und de Oliveira, M.: *Estimating Recoverable Performance Degradation Rates and Optimizing Maintenance Scheduling*. gehalten auf der ASME Turbo Expo 2018: Turbomachinery Technical Conference and Exposition, Aug. 2018, doi: 10.1115/GT2018-75267.
- [5] Tsunokawa, K. und Schofer, J. L.: *Trend curve optimal control model for highway pavement maintenance: Case study and evaluation*. Transp. Res. Part Policy Pract., Bd. 28, Nr. 2, S. 151–166, März 1994, doi: 10.1016/0965-8564(94)90035-3.
- [6] Jacke, Tobias, Dickenbrok, Björn, Friesen, Nadine, Grub, Alexandra und Nießen, Niels: *Ursache-Wirkung-Zusammenhang: Zusammenhang zwischen Mitteleinsatz und Infrastrukturqualität abbilden*. Eisenbahntechnische Rundsch., Bd. 68, 2019.

Autoren



Heckmann, Mark

Dr. Mark Heckmann promovierte an der Universität Bremen im Fachgebiet Psychometrie und arbeitet seit 2018 als Senior Data Scientist bei der DB Station&Service AG. Mehr unter: www.markheckmann.de



Elfert, Lea

Lea Elfert studierte Facility Management an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin und der Beuth Hochschule für Technik Berlin. Seit 2018 arbeitet sie bei der DB Station&Service AG, aktuell als Projektleiterin des Projektes UWZ gemeinsam mit Steffen Höhn.



Höhn, Steffen

Steffen Höhn studierte Betriebswirtschaftslehre an der Berufsakademie Stuttgart sowie International Relations an der Donau-Universität Krems. Seit 2017 arbeitet er bei der DB Station&Service AG als Leiter “Grundsätze FM” und nimmt auch die Projektleitung des Projektes UWZ zusammen mit Lea Elfert wahr.



Schubert, Christopher

Christopher Schubert studierte Bauingenieurwesen an der TU Berlin und an der Beuth Hochschule für Technik und arbeitet seit 2016 als Referent für Konstruktiven Ingenieurbau im Baumanagement der DB Station&Service AG.



Aktas, Hakan

Hakan Aktas studierte bis 2020 Wirtschaftsingenieurwesen an der Technischen Universität Berlin. Er ist als Projektmitglied im UWZ-Projekt seit 2020 bei der DB.



Dittberner, Friederike

Dr. Friederike Dittberner promovierte an der Freien Universität Berlin im Fachgebiet Mathematik. Seit 2019 arbeitet sie als Softwareentwicklerin und Data Scientist. Sie unterstützt das UWZ-Projekt als Bahn-Externe.



Grob, Felix

Felix Grob studiert Wirtschaftsingenieurwesen an der Technischen Universität Berlin. Er unterstützt das UWZ-Projekt seit 2020 als Werkstudent bei der DB Station&Service AG.



Lampe, Felix

Felix Lampe studierte bis 2018 Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen und arbeitet seitdem als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen im Bereich der Eisenbahnbetriebswissenschaft.



Nießen, Nils

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen leitet seit 2013 das Verkehrswissenschaftliche Institut der RWTH Aachen. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens und der Wirtschaftsgeographie an der RWTH Aachen promovierte er dort 2008. Anschließend war er Projektingenieur bei HaCon in Hannover und Geschäftsführer der VIA Consulting & Development GmbH.