

Session 15

*Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen,
Tobias Hausberg, Nils Nießen*

Herstellen des Ursache-Wirkung-Zusammenhangs zwischen Mitteleinsatz und Netzzustandsnote

Wink, Christopher¹, Dr.-Ing. Dickenbrok, Björn², Lampe, Felix¹,
Dr. Lempp, Martin², Meinerzhagen, Leonie¹, Hausberg, Tobias¹,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nießen, Nils¹

¹Verkehrswissenschaftliches Institut (VIA) – RWTH Aachen

²DB Netz AG, Planung und Segmentsteuerung (I.NAP), Frankfurt (Main)

Zusammenfassung

Um die zukünftige Qualitätsentwicklung der Eisenbahninfrastruktur in Abhängigkeit vom Mitteleinsatz prognostizieren zu können, werden die Modelle zur Abbildung des Ursache-Wirkung-Zusammenhangs (UWZ) der RWTH Aachen mit der Netzzustandsnotenlogik der DB Netz AG gekoppelt. Dazu werden die Merkmale der Netzzustandsnote mit den Abnutzungsfunktionen sowie den Instandhaltungs- und Erneuerungsmaßnahmen und deren Wirkung aus den UWZ-Modellen abgebildet und dadurch eine realitätsnahe Prognose der Netzzustandsnote erreicht.

Keywords: Infrastrukturmanagement; Infrastrukturzustand; Infrastrukturqualität; Zustandsnote; Netzzustandsnote; Prognose

1 Einleitung

Für Eisenbahninfrastrukturunternehmen wie die DB Netz AG besteht die Herausforderung darin, die Infrastruktur mit den zur Verfügung stehenden Finanzmitteln für Ersatzinvestition und Instandhaltung in einem möglichst guten Zustand zu halten und damit den Kundinnen und Kunden eine möglichst hohe Beförderungsqualität zu bieten.

Session 15

*Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen,
Tobias Hausberg, Nils Nießen*

Dazu ist es zum einen erforderlich, ein möglichst objektives und umfassendes Bild des Infrastrukturzustands im Status quo zu haben und zum anderen die weitere Entwicklung des Infrastrukturzustands in Abhängigkeit von der Abnutzung durch Zugfahrten und den durchgeführten Instandhaltungs- und Ersatzinvestitionsmaßnahmen prognostizieren zu können. Für beide Anforderungen sind modelltechnische Lösungen erforderlich, um Bewirtschaftungsstrategien in Kontext der weiteren Infrastrukturzustandsentwicklung ableiten zu können.

Um die Entwicklung des Infrastrukturzustands prognostizieren zu können, wurde das Verkehrswissenschaftliche Institut der RWTH Aachen (VIA) von der DB Netz AG beauftragt, wissenschaftliche Modelle zur Abbildung eines Ursache-Wirkung-Zusammenhangs (UWZ) zwischen Finanzmitteln und spezifischen Zustandsmerkmalen der Infrastruktur zu entwickeln und umzusetzen [1]. Damit ist bei Vorgabe von Budgets für Ersatzinvestitions- und Instandhaltungsmaßnahmen eine Prognose der zukünftigen Entwicklung der Zustandsmerkmale, sowie bei Vorgabe eines Qualitätsziels die Prognose der benötigten Finanzmittel möglich.

Darüber hinaus wurde bei der DB Netz AG die sogenannte Netzzustandsnotenlogik entwickelt, um den technischen Zustand der Infrastruktur umfassend und intuitiv verständlich mittels einer Schulnotenlogik zu bewerten. Damit ist es möglich, die unterschiedlichen Anlagentypen und deren spezifische Zustandsmerkmale in eine Note zu übersetzen und vergleichbar zu machen.

Durch eine Kombination der Netzzustandsnotenlogik und des UWZ kann der Ursache-Wirkung-Zusammenhang zwischen Mitteleinsatz und Netzzustandsnote hergestellt werden. Dabei werden die UWZ-Modelle genutzt, um die Entwicklung der zur Ermittlung der Netzzustandsnote verwendeten Zustandsmerkmale in Abhängigkeit der verfügbaren Finanzierungsmitteln zu prognostizieren. Mittels der Netzzustandsnotenlogik werden die prognostizierten Zustandsmerkmale in die Zustandsnote übersetzt. Der Fokus liegt mit Blick auf die Finanzierungszeiträume auf Prognosehorizonten von zehn bis zwanzig Jahren, theoretisch sind mit dem gewählten Ansatz auch längere Prognosezeiträume möglich. Im Folgenden werden zunächst die beiden modelltechnischen Lösungen vorgestellt und anhand eines Beispiels die Verknüpfung beider Ansätze beschrieben.

2 Die Netzzustandsnotenlogik

Um den technischen Zustand der Infrastruktur mittels der Netzzustandsnotenlogik zu beschreiben, wird jede Infrastrukturanlage einzeln anhand ihrer spezifischen

Session 15

Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen, Tobias Hausberg, Nils Nießen

Zustandsmerkmale mit einer Note zwischen eins und fünf bewertet, wobei die Note eins eine neuwertige Anlage in einwandfreiem Zustand und die Note fünf eine dringend erneuerungsbedürftige Anlage beschreibt (siehe Abbildung 2-1). Zusätzlich wird noch eine sechste Notenstufe definiert, um kurzfristigen Handlungsbedarf abbilden zu können.



Abbildung 2-1: Notenskala und Bedeutung der Notenstufen.

Dazu wird jedes Zustandsmerkmal über definierte Notenmetriken und einen festgelegten Gewichtungsalgorithmus zu einer Zustandsnote je Einzelanlage verrechnet. Für die einzelnen Anlagentypen werden die relevanten Zustandsmerkmale in den Qualitätsdimensionen Inspektion, Verfügbarkeit, Lebenszyklus und besondere Sachverhalte berücksichtigt. Dabei werden unter anderem Messergebnisse für die Gleislage oder die Zustandskategorie von Brücken in der Qualitätsdimension „Inspektion“, die Störungshäufigkeit oder Langsamfahrstellen in der Qualitätsdimension „Verfügbarkeit“ sowie die Restnutzungsdauer in der Qualitätsdimension „Lebenszyklus“ verwendet.

Über einen Aggregierungsalgorithmus können die Zustandsnoten einer beliebigen Auswahl an Einzelanlagen auch gewerkeübergreifend zu einer durchschnittlichen Gesamtnote verrechnet werden (siehe Abbildung 2-2). Damit ist es möglich, den Zustand der Infrastruktur von der Einzelanlage über beliebige Netzausschnitte bis zum Gesamtnetz mittels einer einheitlichen Notenlogik darzustellen [2].

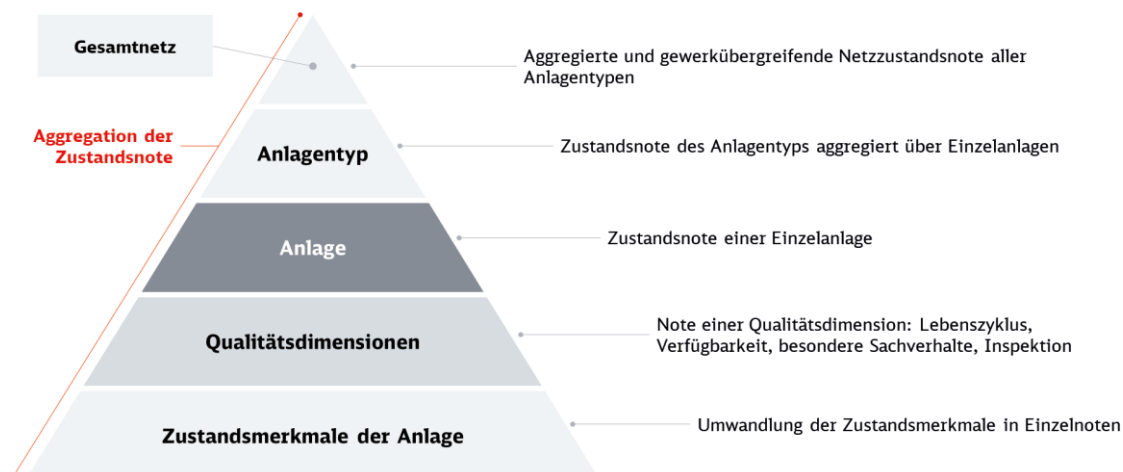


Abbildung 2-2: Aggregationsstufenebenen der Notenlogik.

Session 15

*Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen,
Tobias Hausberg, Nils Nießen*

3 Die Modelle des Ursache-Wirkung-Zusammenhangs

Die bisher entwickelten UWZ-Modelle umfassen die Anlagentypen der Gleise [3], Weichen & Kreuzungen, Stellwerke [4], Bahnübergänge, Brücken, Tunnel und Stützbauwerke jeweils mit ihren führenden Merkmalen zur Beschreibung und Prognose des Anlagenzustands. Zusätzlich sind entsprechende Maßnahmen mit ihren spezifischen Wirkungen auf die Anlagenmerkmale definiert. Die Prognose berechnet damit bei Vorgabe von Budgets für Ersatzinvestition und Instandhaltung die zukünftige Entwicklung der Zustandsmerkmale; bei Vorgabe eines Qualitätsziels berechnet sie die dafür benötigten Finanzmittel. Die entwickelten Algorithmen wurden wissenschaftlich erarbeitet und validiert, sodass sie zur Berechnung zukünftiger Netzzustandsnoten verwendet werden können.

Für die vorhandenen Modelle der Anlagentypen Stellwerke, Weichen & Kreuzungen sowie Bahnübergänge können die Vorarbeiten aus der Modellerstellungsphase, die mit Machine-Learning-Algorithmen durchgeführt wurde, sehr gut adaptiert werden. Die Modelle zur Prognose der Längshöhenfehler und Risstiefen der Gleise können ebenso mit geringen Anpassungen mit der Netzzustandsnote verknüpft werden.

Für die Modellierung von Anlagen des konstruktiven Ingenieurbaus wird das gemeinsame Verweildauermodell genutzt, was bei den Brücken auch die Wirkung von Instandhaltungsmaßnahmen abbilden kann. In den folgenden Kapiteln werden deshalb am Beispiel von Brücken das Verweildauermodell und die Maßnahmenwirkung für die Prognose der Zustandsentwicklung vorgestellt.

3.1 Verweildauermodell für den konstruktiven Ingenieurbau

Im Zuge der Kopplung des UWZ mit der Netzzustandsnote wurden die Modelle der Anlagentypen des konstruktiven Ingenieurbaus – Brücken, Tunnel und Stützbauwerke – mit dem gemeinsamen Verweildauermodell vereinheitlicht.

Ziel des Verweildauermodells ist die Modellierung der Anlagenzustände in Bezug auf ihre jeweilige Zustandskategorie (ZK). Die ZK bildet ein maßgebliches Zustandsmerkmal, welches in die Netzzustandsnote einfließt. Das Bewertungsspektrum der Zustandskategorie beinhaltet ganzzahlige Ergebnisse von 1 (Neuzustand) bis 4 (Erneuerungsbedarf). Die Definitionen der einzelnen Zustandskategorien können Tabelle 3-1 entnommen werden.

Session 15

Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen, Tobias Hausberg, Nils Nießen

Jedes Bauwerk wird in vorgeschriebenen Abständen – bei Brücken beispielsweise alle 6 Jahre – inspiziert und auf Schäden untersucht. Aus diesen Bewertungen wird die ZK für jedes Bauwerk abgeleitet.

Tabelle 3-1: Definition der Zustandskategorien [5].

Zustandskategorie (ZK)	Definition
ZK 1	Keine Schäden oder geringfügige Schäden am Bauwerksteil / Bauwerk, die sich auf den technischen Erhaltungszustand auswirken. Für einen Zustandserhalt sind bei Bedarf kleinere Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich.
ZK 2	Schäden begrenzten Umfangs am Bauwerksteil / Bauwerk, die sich auf den technischen Erhaltungszustand auswirken. Für einen Zustandserhalt bzw. eine Zustandsverbesserung sind Instandsetzungsmaßnahmen zur Behebung einzelner Schäden erforderlich.
ZK 3	Umfangreiche Schäden am Bauwerksteil / Bauwerk, die sich auf den technischen Erhaltungszustand auswirken. Für einen Zustandserhalt bzw. eine Zustandsverbesserung sind umfangreiche Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich.
ZK 4	Gravierende Schäden am Bauwerksteil / Bauwerk, die sich auf den technischen Erhaltungszustand auswirken. Eine Instandsetzung ist aufgrund des Umfangs nicht mehr sinnvoll bzw. möglich. Sicherheits- und/oder bestandserhaltende Maßnahmen bis zur Teilerneuerung bzw. Ersatzneubau sind teilweise erforderlich.

Für das Verweildauermodell werden die Zeitspannen, die eine Anlage in einer Zustandskategorie verweilt, datenbasiert ausgewertet. Dabei wird bewusst auf die Berücksichtigung des realen Alters eines Bauwerks verzichtet, da dies aus mehreren Gründen bei Betrachtung eines Bauwerks im Gesamten nur einen sehr schwachen Zusammenhang zum technischen Zustand aufweist. Vielmehr soll der aktuelle Zustand der Anlagen Einfluss auf die zukünftige Abnutzung haben. Daher ist es erforderlich, eine Degradation ohne Berücksichtigung des tatsächlichen Alters zu modellieren.

Bei den Brücken stehen hierfür die Zustandsbewertungen aus den Jahren von 1994 bis 2021 zur Verfügung. Hierin sind den einzelnen Brücken jeweils Bewertungen – insgesamt ca. 126.000 Bewertungen – und das entsprechende Jahr der Bewertung zugeordnet. Dabei erfolgt die eindeutige Identifizierung der Brücke über den sogenannten technischen Platz (TP 3). Neben diesen Daten liegen weitere Informationen über die durchgeführten Erneuerungen von Brücken aus den Jahren 1994 bis 2021 vor.

Session 15

Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen, Tobias Hausberg, Nils Nießen

Aus diesen beiden Datensätzen wird für jede Brücke ein Sequenzdatensatz erstellt. Dieser beinhaltet den Zustand der Brücke für jedes einzelne Jahr, wobei die Zustände der Brücke zwischen zwei vorliegenden Bewertungen als gleichbleibend angesetzt werden. Die Erstellung des Sequenzdatensatz ist für eine Beispielbrücke in Abbildung 3-1 dargestellt.

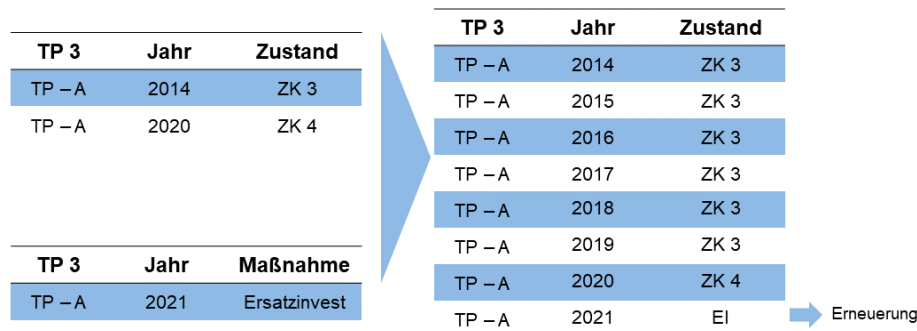


Abbildung 3-1: Erstellung des Sequenzdatensatzes.

Diese Sequenzdatensätze werden im Hinblick auf die Verweildauern in den unterschiedlichen Zustandskategorien analysiert. Brücken, und auch die anderen Gewerke des konstruktiven Ingenieurbaus, haben eine vergleichsweise lange technische Nutzungsdauer mit teilweise über 100 Jahren. Es liegen jedoch nur Daten mit den Zustandsbewertungen für einen Zeitraum von 27 Jahren für die Brücken vor. Der Zustand der Brücken vor 1994 ist unbekannt und somit auch die Verweildauer in der Zustandskategorie der ersten vorliegenden Bewertung der Brücken. Daher wird in den Sequenzdaten nach einem ersten Wechsel der Zustandskategorie gesucht. Dieser ist dann der Startwert für die Verweildauer in der nächsten Zustandskategorie. Anschließend wird der Sequenzdatensatz auf weitere Wechsel der Zustandskategorien analysiert. Eine Erneuerung einer Brücke wird dabei ebenfalls als Wechsel der Zustandskategorie (von der ZK 4) gewertet. Diese Auswertung wird für jede Bauform der Brücken und für jede Zustandskategorie durchgeführt.

Somit können verschiedene Verweildauern in den jeweiligen Zustandskategorien für jede Bauform ermittelt werden. Aus den ermittelten Zeiträumen wird ein kumuliertes Risiko für einen Wechsel der Zustandskategorie über die Verweildauer für alle Brücken einer Bauform bestimmt. Das kumulierte Risiko wird mittels einer Funktion gefittet und anhand dieser Funktion werden Verweildauern für verschiedene Risiken abgeleitet. Dabei wird für jede Zustandskategorie individuell der beste Fit aus der Weibull-, der Lognormal-, der Loglogistic und der Exponentialfunktion gewählt. Für die Bestimmung der Verweildauern wird im Modell ein Risiko von 0,5 bzw. 50 % gewählt, da ab diesem Risiko ein Wechsel der Zustandskategorie wahrscheinlicher als ein Verbleib in der

Session 15

Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen, Tobias Hausberg, Nils Nießen

bisherigen Zustandskategorie ist (vgl. Abbildung 3-2). Zudem wird durch die Festlegung des Risikos von 50 % berücksichtigt, dass bei vielen Brücken im Betrachtungszeitraum (1994-2021) kein Wechsel der Zustandskategorie in den Daten erfasst worden ist und diese daher Verweildauern besitzen, die größer sind als der betrachtete Zeitraum.

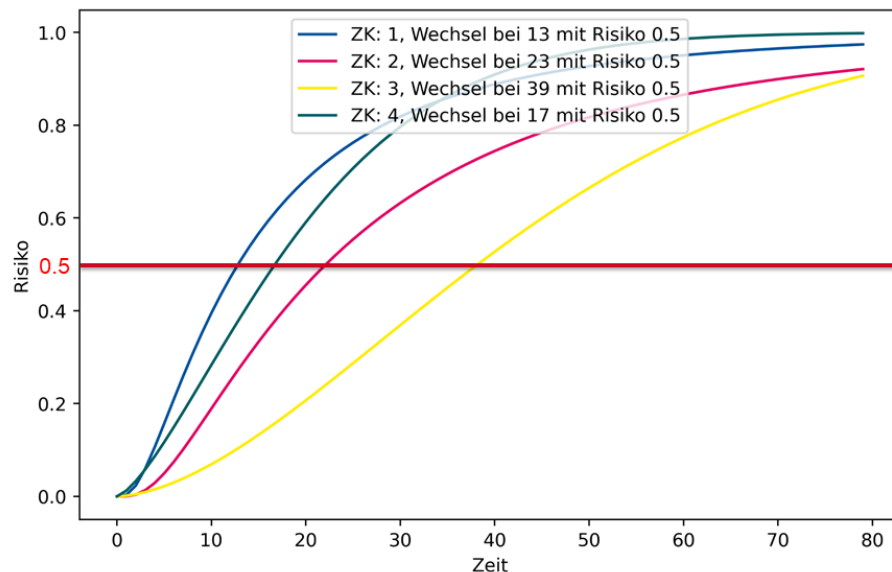


Abbildung 3-2: Auswertung der Verweildauern.

Anhand dieser Auswertungen ist für jede Bauform eine Verweildauer in den Zustandskategorien 1 bis 4 ableitbar. Diese Verweildauern werden angesetzt, um die Degradation der Brücken zu prognostizieren. Die Anlagenqualität der Brücken, Tunnel und Stützbauwerke werden somit unabhängig vom tatsächlichen Anlagenalter und aufbauend auf dem tatsächlichen Zustand der Anlagen prognostiziert. Dabei kann die Prognosegüte des Verweildauermodells durch Datenerweiterungen mit den Zustandsbewertungen aus den kommenden Jahren stetig verbessert werden.

3.2 Maßnahmenwirkung am Beispiel von Brücken

Der Zustand eines Bauwerks kann sich durch verschiedene Maßnahmen verbessern. Hierfür gibt es im UWZ bereits bewährte Modell, die im Zuge der Kopplung in die Netzzustandsnote übernommen und adaptiert werden.

In den UWZ-Modellen wird grundsätzlich zwischen zwei Budgetarten unterschieden, dem Ersatzinvestitions- und dem Instandhaltungsbudget. Maßnahmen, die eine Erneuerung der Infrastruktur beschreiben, werden durch Mittel im Ersatzinvestitionsbudget gedeckt, während die finanziellen Mittel für Maßnahmen der

Session 15

Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen, Tobias Hausberg, Nils Nießen

Wartung und Instandhaltung aus dem Instandhaltungsbudget finanziert werden. Beide Maßnahmenarten mit ihren jeweiligen Wirkungen sind im UWZ modelliert und wurden für die Netzzustandsnotenprognose adaptiert.

Bei einer Ersatzinvestition handelt es sich um den Ersatz einer Anlage, was einem Neubau der Anlage entspricht. Dementsprechend weisen Brücken nach einer Ersatzinvestition einen neuwertigen Zustand auf und werden so modelliert, dass sie mit einem Alter von null Jahren und einer Zustandskategorie von eins in die Berechnung der Netzzustandsnote einfließen. Ersatzinvestitionen sorgen folglich für eine Verjüngung und eine Verbesserung des Anlagenbestands.

Auch eine Instandhaltungsmaßnahme verbessert den Zustand einer Anlage, jedoch in geringerem Maße. Hierbei wird zwischen einer kleinen und einer großen Instandhaltungsmaßnahme unterschieden. Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, wird jede Brücke alle sechs Jahre begutachtet und daraus ihre Zustandskategorie abgeleitet. Neben der aktuellen Zustandskategorie wird auch eine Prognose für die Brücke in 6 und in 18 Jahren erstellt. Daraus ergibt sich ein sogenanntes ZK-Tripel aus dem jeweiligen aktuellen Zustand einer Anlage und dem prognostizierten Zustand.

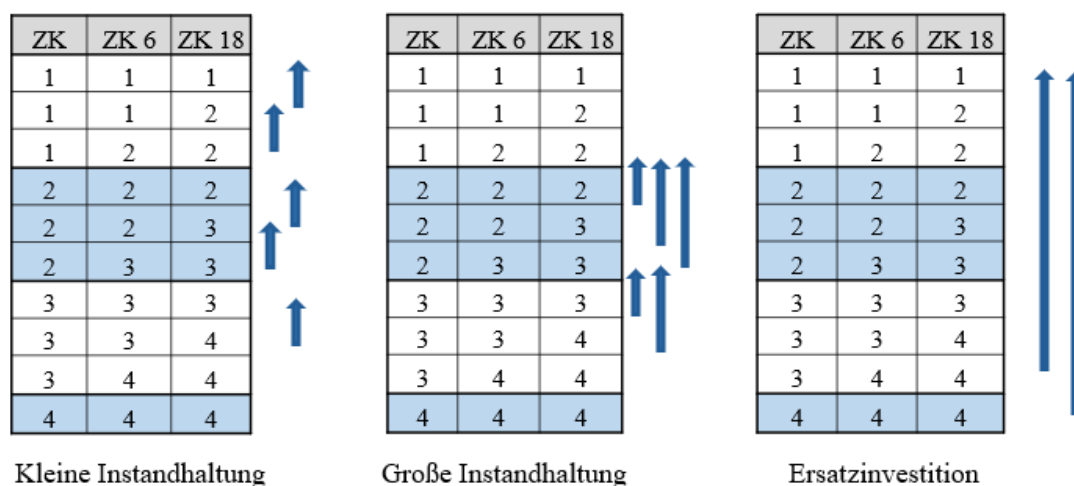


Abbildung 3-3: Beispielhafte Maßnahmenwirkungen bei Brücken.

Modellhaft wird die Wirkung der Instandhaltungsmaßnahmen [6] wie folgt abgebildet: Eine kleine Instandhaltungsmaßnahme verbessert eine Anlage um eine Stufe im ZK-Tripel, jedoch nicht auf eine bessere, aktuelle Zustandskategorie. Das heißt, dass eine Anlage in der ZK 2-3-3 auf eine ZK 2-2-3 verbessert werden kann. Eine Anlage in der ZK 2-2-2 bleibt hingegen in dieser ZK 2-2-2. Lediglich die Verweildauer in dieser Zustandskategorie wird auf 0 gesetzt. Eine große Instandhaltungsmaßnahme verbessert

Session 15

*Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen,
Tobias Hausberg, Nils Nießen*

eine Anlage um eine Zustandskategorie in das entsprechende letzte ZK-Tripel. Also können Anlagen der ZK 3-3-4 oder 3-3-3 auf eine ZK 2-3-3 verbessert werden. Dieser Zusammenhang und die Wirkung der jeweiligen Maßnahmen ist beispielhaft in Abbildung 3-3 dargestellt. Je nach aktuellem Zustand einer Brücke kann eine Maßnahme im Modell auch ohne Wirkung sein, sodass diese im Anschluss auch nicht ausgewählt wird.

Für das Verweildauermodell wird die Maßnahmenwirkung auf das ZK-Tripel durch eine Anpassung der aktuellen ZK – wenn relevant – sowie der Berechnung eines neuen, fiktiven Starts der Anlage in der jeweiligen ZK abgebildet. Damit kann also die Anlage eine längere Verweildauer als ohne Maßnahme aufweisen, was der Maßnahmenwirkung entspricht.

4 Die Kopplung der Ansätze am Beispiel von Brücken

Für die Bewertung des Zustands von Brücken mittels der Netzzustandsnotenlogik werden die maßgeblichen Zustandsmerkmale von Brücken in die Notenlogik übersetzt. Dabei stellt das wesentliche Zustandsmerkmal die bei der Inspektion erfasste Zustandskategorie dar. Zusätzlich werden in der Qualitätsdimension „Inspektion“ Befundmeldungen, mit denen Instandhaltungsmaßnahmen ausgelöst werden, sowie Last einschränkungen und auffällige Befunde, die auf das Risiko einer Nutzungseinschränkung hindeuten können, berücksichtigt. In der Qualitätsdimension „Verfügbarkeit“ wird die Störungshäufigkeit, sowie das Vorliegen von anlagenbedingten Langsamfahrstellen und langfristigen Geschwindigkeitseinschränkungen verwendet. Die Qualitätsdimension „Lebenszyklus“ wird mittels der Restnutzungsdauer bewertet, die entweder auf Basis statischer Nachrechnungen der Brückenbauwerke, oder über die mittlere technische Nutzungsdauer gemäß definierter Lebenszyklusmodelle ermittelt wird.

Das maßgebliche Zustandsmerkmal für Brücken stellt die Zustandskategorie dar, welche mit einer Gewichtung von ca. 80% in die Gesamtnote einer Anlage eingeht, gefolgt von der Restlebensdauer mit einer Gewichtung von ca. 10%. Das Störverhalten spielt bei Brücken eine untergeordnete Rolle, weshalb diese mit einer Gewichtung von ca. 5% in die Gesamtnote eingehen. Geschwindigkeits-, Last einschränkungen und auffällige Bauwerke stellen in der Regel singuläre, aber „fatale“ Ereignisse dar, weshalb diese sich bei Auftreten in der jeweiligen Qualitätsdimension mit einer schlechten Bewertung durchsetzen.

Session 15

Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen,
Tobias Hausberg, Nils Nießen



Abbildung 4-1: Zustandsmerkmale von Brücken.

Um die Zustandsmerkmale in die Notenlogik zu übersetzen, wurden entsprechende Metriken definiert. Je nach Ausprägung des Zustandsmerkmals ergibt sich über die Metrik die Zustandsnote. Bei der Zustandskategorie werden über die sogenannten Tripel, bestehend aus aktuellem Zustand und erwartetem Zustand in sechs und achtzehn Jahren, die sich daraus ergebenden Noten definiert (siehe Abbildung 4-2).

Zustands- note	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,5	3	4	5
Zustands- kategorie	1-1-1	1-1-2	1-2-2	2-2-2	2-2-3	2-3-3	3-3-3	3-3-4	3-4-4	4-4-4

Abbildung 4-2: Notenmetrik für die Zustandskategorie.

Wie in Kapitel 3.1 dargestellt, kann die Entwicklung der Zustandskategorie mittels der UWZ-Modelle prognostiziert werden. Darüber kann die Restnutzungsdauer fortgeschrieben werden. Damit kann die Entwicklung der Zustandsmerkmale prognostiziert werden, die zusammen mit einem Gewicht von mehr als 90% in die Gesamtnote eingehen.

Somit kann bereits mit den vorliegenden Ansätzen eine aussagekräftige Prognose für die Zustandsentwicklung von Brücken unter Berücksichtigung von Maßnahmenoptionen für Erneuerung und Instandhaltung vorgenommen werden. Nachfolgende Abbildung 4-3 zeigt verschiedene Szenarien für die Zustandsentwicklung einer fiktiven Brücke.

Session 15

Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen, Tobias Hausberg, Nils Nießen

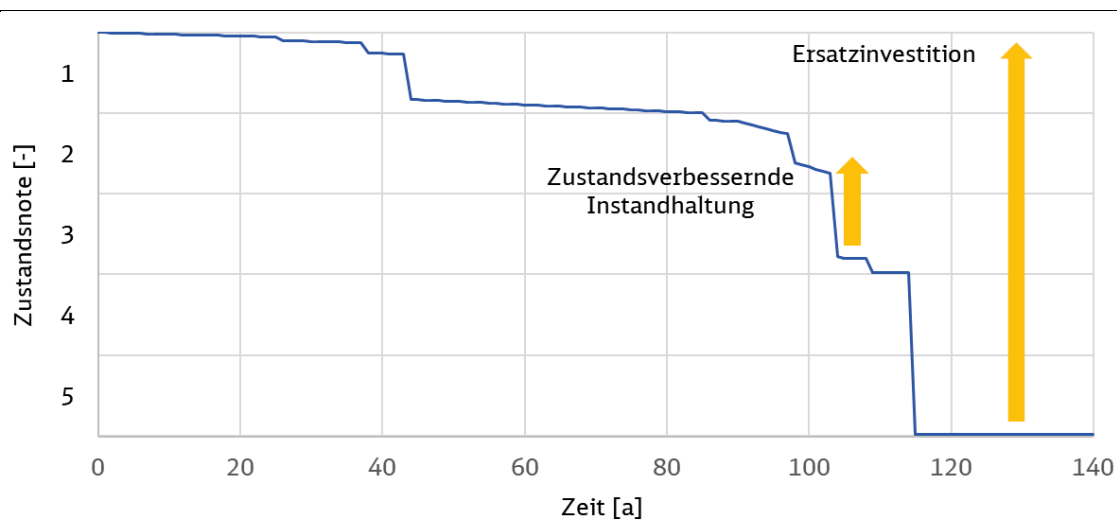


Abbildung 4-3: Zustandsentwicklung für eine Brücke.

5 Fazit

Mit der Netzzustandsnote steht eine transparente und intuitiv verständliche Bewertungsmethodik für einen Großteil der Eisenbahninfrastruktur zu Verfügung. Diese bildet auf Basis zahlreicher Merkmale ein umfassendes Bild des Anlagenzustandes ab. Die unterschiedlichen Gewerke werden durch die entwickelten Algorithmen zur Aggregation und Verrechnung untereinander vergleichbar, sodass auch eine Gesamtnote über die Qualität der Infrastruktur angegeben werden kann. Durch die gewählte Systematik können Auswertungen auf einer Vielzahl möglicher Filterkriterien durchgeführt werden, beispielsweise nach Regionen, Netzsegmenten oder Gewerken.

Die in den letzten Jahren entwickelten und validierten UWZ-Modelle der wichtigsten Zustandsmerkmale wurden zielführend mit der Netzzustandsnotenlogik verknüpft, sodass mit diesen als Kernelement auch eine realitätsnahe Prognose der zukünftigen Zustandsentwicklung möglich ist. Auf Basis hinterlegter Maßnahmen mit deren Wirkungen und Kosten ist das Modell in der Lage, eine Auswahl und Priorisierung vorzunehmen, die einen effizienten Mitteleinsatz gewährleistet.

Damit ist es nun möglich, die Auswirkungen unterschiedlicher Finanzierungsszenarien auf die Qualität der Eisenbahninfrastruktur und damit die Entwicklung der Netzzustandsnote für die kommenden Jahre zu berechnen und darzustellen.

Session 15

Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen,
Tobias Hausberg, Nils Nießen

Literatur

- [1] T. Jacke, B. Dickenbrok, N. Friesen, A. Grub und N. Nießen, „Ursache-Wirkung-Zusammenhang: Zusammenhang zwischen Mitteleinsatz und Infrastrukturqualität abbilden,“ *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, pp. 37-41, 9 2019.
- [2] S. Bluhm, C. Wink, B. Dickenbrok, A. Helfenstein und N. Nießen, „Qualität der Eisenbahninfrastruktur - Eine methodische Herangehensweise zur umfassenden Bestimmung des Infrastrukturzustands,“ in *IRSA 2021 : Tagungsband, Proceedings : 3rd International Railway Symposium Aachen, 21.11.2021-23.11.2021*, Aachen, Deutschland.
- [3] C. Wink, S. Bluhm, T. Emunds, B. Dickenbrok und N. Nießen, „Modellierung der Gleislage am Beispiel der Längshöhe für den Ursache-Wirkung-Zusammenhang,“ *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, pp. 43-47, 12 2021.
- [4] T. Emunds, C. Wink, M. Lempp, K. Monem, B. Dickenbrok und N. Nießen, „Predicting interlocking malfunctions for the railway network in Germany,“ in *Transport Research Arena Conference, TRA 2022, 14.11.-17.11.2022*, Lissabon, Portugal.
- [5] DB Netz AG, *Richtlinie 804.8001: Inspektion von Ingenieurbauwerke. Allgemeine Grundsätze*, 2020.
- [6] T. Jacke, B. Dickenbrok, N. Friesen, A. Liebhold und N. Nießen, „Ursache-Wirkung-Zusammenhang zwischen Mitteleinsatz und erzielter Infrastrukturqualität am Beispiel von Brücken,“ in *IRSA 2019: Tagungsband, Proceedings: 2nd International Railway Symposium Aachen, 26.11.2019-28.11.2019*, Aachen, Deutschland.

Session 15

Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen, Tobias Hausberg, Nils Nießen

Autoren



Wink, Christopher

Christopher Wink studierte bis 2019 Mobilität und Verkehr an der RWTH Aachen und arbeitet seitdem als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen im Bereich Eisenbahnbetriebswissenschaft, welchen er seit 2021 als Gruppenleiter vertritt.



Dickenbrok, Björn

Dr.-Ing. Björn Dickenbrok studierte bis 2004 Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen und promovierte anschließend am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen. Seit 2010 arbeitet er bei der DB Netz AG und ist aktuell in der Planung und Segmentsteuerung als Leiter des Projekts „Weiterentwicklung des Ursache-Wirkung-Zusammenhangs für die LuFV III“ tätig.



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.



Lempp, Martin

Dr. Martin Lempp studierte bis 2016 Biotechnologie an der Universität des Saarlandes und promovierte anschließend am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie in Marburg. Von 2020 bis 2023 war er als Data Scientist bei der DB Netz AG im Projekt „Weiterentwicklung des Ursache-Wirkung-Zusammenhangs für die LuFV III“ tätig.



Meinerzhagen, Leonie

Leonie Meinerzhagen studierte bis 2013 Wirtschaftsingenieurwesen mit dem Schwerpunkt Fahrzeugtechnik und Transport an der RWTH Aachen. Nach mehreren Berufsjahren als Vertriebsingenieurin bei der Knorr Bremse AG und Projektleiterin bei der Scheidt und Bachmann GmbH arbeitet sie seit 2023 als Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen im Bereich der Eisenbahnbetriebswissenschaft.

Session 15

*Christopher Wink, Björn Dickenbrok, Felix Lampe, Martin Lempp, Leonie Meinerzhagen,
Tobias Hausberg, Nils Nießen*



Hausberg, Tobias

Tobias Hausberg studierte bis 2016 Mathematik an der RWTH Aachen und arbeitete darauf als Unternehmensberater an der Digitalisierung von Geschäftsprozessen. Seit 2022 arbeitet er 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.