

Qualität der Eisenbahninfrastruktur - Eine methodische Herangehensweise zur umfassenden Bestimmung des Infrastrukturzustands

Bluhm, Saskia¹, Wink, Christopher¹, Dr.-Ing. Dickenbrok, Björn²,
Helfenstein, Andreas², Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nießen, Nils¹

¹Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen (VIA)

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

Zusammenfassung

Eisenbahninfrastrukturunternehmen stehen vor der Herausforderung, den Zustand verschiedenartiger Infrastrukturanlagen in ihrem Netz zu beschreiben, um Aussagen über ihre Netzqualität zu treffen und daraus Handlungsbedarfe abzuleiten. Dabei stellt sich die Frage, wie diese Netzqualität zu definieren ist und anhand welcher Merkmale sie gemessen werden kann. Daher wird hier eine Methodik vorgestellt, wie die Netzqualität bei einem Eisenbahninfrastrukturunternehmen anlagenübergreifend definiert und messbar gemacht werden kann.

Keywords: Infrastrukturmanagement, Infrastrukturqualität, Infrastrukturzustand, Qualitätsmerkmale

1 Einleitung

Für Deutschland ist im Zuge der Daseinsvorsorge im Grundgesetz (Artikel 87e Absatz 3) verankert, dass der Bund zum Wohl der allgemeinen Verkehrsbedürfnisse den „Ausbau und Erhalt des Schienennetzes der Eisenbahnen des Bundes“ zu gewährleisten hat. In der Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung (LuFV) halten der Bund und die Deutsche

Bahn AG mit deren Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) in diesem Zusammenhang gegenseitige Verpflichtungen fest. In diesem Zuge sind die EIU u. a. dazu verpflichtet, einen qualitativ hochwertigen Zustand der Eisenbahninfrastruktur zu erhalten sowie diesen zu verbessern. Hierbei muss jedoch zunächst festgelegt werden, was einen qualitativ hochwertigen Zustand ausmacht und anhand welcher Merkmale die Infrastrukturqualität abgebildet werden kann. Die EIU stehen allgemein vor der Herausforderung, den Zustand verschiedenartiger Anlagenklassen ihres Netzes zu beschreiben, um eine umfassende Aussage über die Qualität ihrer Infrastruktur treffen und Handlungsbedarfe ableiten zu können. Da die aktuell bestehenden Qualitätskennzahlen der LuFV dies nicht vollumfänglich leisten können [1], wird in diesem Beitrag eine Methodik vorgestellt, wie Qualitätsmerkmale bei einem EIU anlagenklassenübergreifend identifiziert, gemessen und vergleichbar gemacht werden können.

2 Definition des Qualitätsbegriffs für Eisenbahninfrastruktur

Der Qualitätsbegriff lässt sich etymologisch auf das bereits seit Jahrtausenden in der Gemeinsprache verwendete lateinische Wort „qualitas“ zurückführen, das mit „Beschaffenheit“, „Eigenschaft“ oder „Verhältnis“ übersetzt werden kann [2]. In der internationalen Norm DIN EN ISO 9000:2015-11 wird Qualität definiert als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt“. Inhärent ist dabei ein ständiges Merkmal, das einer Einheit innewohnt. Im Gegensatz dazu stellt ein Merkmal, das einem Objekt lediglich zugeordnet wird, wie beispielsweise der Preis, kein Qualitätsmerkmal dar.

Auf dieser Basis ist Qualität im Rahmen der Infrastrukturbewertung eines EIUs in Abhängigkeit der spezifischen Anforderungen und Erwartungen individuell zu definieren, um dadurch ein kohärentes Qualitätskonzept zu erzielen [3]. Aus Sicht eines EIU bezieht sich die „Qualität“ primär auf den technisch-wirtschaftlichen Zustand der Infrastrukturanlagen. Eine qualitativ hochwertige Infrastruktur ermöglicht einen uneingeschränkten Betrieb mit möglichst hohen Zugzahlen und Transportmengen (Reisende bzw. Tonnen). Aus diesem Grund sind bei einer systemischen, umfassenden Definition der Infrastrukturqualität auch zwingend betriebliche Aspekte bzw. Auswirkungen der vorhandenen technischen Infrastrukturqualität auf die Reisenden und Transportkunden zu berücksichtigen.

3 Methodik zur Messbarkeit der Infrastrukturqualität

Ein Eisenbahnnetz setzt sich aus zahlreichen Einzelanlagen (z.B. bestimmte Weichen, bestimmte Gleisabschnitte) zusammen, welche zu Anlagenklassen, wie beispielsweise Weichen, Gleise, Brücken, Tunnel zusammengefasst werden. Die EIU stehen dabei vor der Herausforderung, die verschiedenartigen Anlagenklassen in einem Eisenbahnnetz, an welche unterschiedliche Anforderungen gestellt werden, vergleichbar zu machen. Zur anlagenklassenübergreifenden Messbarkeit der Infrastrukturqualität ist eine entsprechende Methodik zu entwickeln. Im Folgenden wird zunächst auf bereits existierende Ansätze von EIU zur Bewertung ihrer Infrastrukturqualität eingegangen. Anschließend wird die Entwicklung eines allgemeingültigen und modularen Ansatzes beschrieben.

3.1 Stand der Technik

Während viele EIU lediglich die Entwicklung einzelner Kennzahlen, wie beispielsweise Pünktlichkeitswerte oder Ausgaben für Instandhaltungen, veröffentlichen, werden bei den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) und den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) jeweils sowohl ein anlagenklassenspezifischer Gesamtzustand als auch ein anlagenklassenübergreifender Gesamtnetzzustand ermittelt und jährlich veröffentlicht. Diese umfassende Darstellung der Entwicklung der Anlagenzustände im jeweiligen Netz wird dort bereits seit mehreren Jahren sowohl intern als auch im externen Berichtswesen angewendet. Daher wird im Folgenden genauer auf diese beiden Beispiele eingegangen.

In Österreich erfolgt die Gesamtbewertung der Infrastruktur auf Basis einer Aggregation der Einzelbewertungen von Anlagen. Dabei setzen sich sowohl die Netzzustandskennzahl als auch die Einzelanlagenbewertung aus den drei Teilnoten „Funktionalität“, „Sicherheit und Qualität“ sowie „Zustand und Substanz“ zusammen. So fließen in die Teilnote „Funktionalität“ beispielsweise bei den Gleisen die Gleislagegüte und die gleisbezogenen Langsamfahrstellen ein. In die Teilnote „Sicherheit und Qualität“ gehen unter anderem die Kennzahlen „Konformität mit Gesetzen und internen Richtlinien“ (z. B. Einhaltung von Instandhaltungsrichtlinien) und die „Anzahl anlagenbedingter sicherheitsrelevanter Ereignisse“ (z. B. Unfälle aufgrund von Gleislagefehlern) ein. Unter die Teilnote „Zustand und Substanz“ fallen schließlich die Inspektionsnote und die Restlebensdauer im Vergleich zur Soll-Lebensdauer der betrachteten Anlage. Abschließend ergibt sich

eine Gesamtnote aus einer Gewichtung nach dem Wiederbeschaffungswert der Einzelanlagen [4].

In der Schweiz wird für die übergreifende Zustandskategorisierung der SBB die Substanz im jährlichen Netzzustandsbericht ausgewiesen. Um den Substanzwert von Anlagen messen und vergleichen zu können, ist die Restnutzungsdauer der Anlagen maßgebend. Es wird also für jede Anlage betrachtet, welchen Anteil der Nutzungsdauer diese bereits erreicht hat. Die Ausprägungen werden wiederum in Zustandsklassen von 1 bis 5 übersetzt. Dabei beschreibt die Zustandsklasse 1 eine neuwertige Anlage und die Zustandsklasse 5 eine „ungenügende“ Anlage, die den Betrieb maßgeblich beeinträchtigt, sodass sie möglichst rasch erneuert werden muss. Für jede Anlagenklasse liegen definierte Verschlechterungsfunktionen vor, welche die Verweildauer in den unterschiedlichen Zustandsklassen und deren Übergänge spezifizieren. Für die Ermittlung der Zustandsklasse des Gesamtnetzes wird zunächst jede Einzelanlage bewertet und anschließend für jede Anlagenklasse aggregiert. Diese Anlagenklassen können wiederum in Gewerken (z. B. „Konstruktiver Ingenieurbau“ für unter anderem die Brücken, Stützbauwerke und Schallschutzwände) zusammengefasst werden. Die Zustandsklassen der einzelnen Gewerke fließen schließlich nach ihrem kumulierten Wiederbeschaffungswert gewichtet in die Auswertung des Gesamtnetzstatus ein [5].

Sowohl in Österreich als auch in der Schweiz wurde eine hierarchische Notenlogik gewählt, um die verschiedenartigen Anlagen der Eisenbahninfrastruktur vergleichbar zu machen. Der hierarchische Ansatz wird als sinnvoll erachtet, da stets die kleinstmögliche Einheit, zu der Daten erhoben werden (z. B. Bauteilebene), als Ausgangsbasis gewählt werden kann, um keine Informationen zu verlieren. Im Kern dieses Ansatzes sind entsprechende Übersetzungsfunktionen zwischen Messwert und zugeordneter Note für alle verwendeten Kenngrößen auszuarbeiten und zu hinterlegen. Ebenfalls sinnvoll ist die Bewertung in aggregierten Teilnoten, um die Vielzahl an gemessenen Kenngrößen einem Teilbereich (z. B. Substanz) zuzuordnen und einen guten bzw. verbesserungswürdigen Zustand entsprechend auf konkrete Teilbereiche zurückführen zu können.

Während es in anderen Bereichen, wie den Sozial- und Bildungswissenschaften sowie der Informatik zahlreiche Veröffentlichungen zu Qualitätskenngrößen und deren Einsatz und Vergleichbarkeit gibt, sind solche Veröffentlichungen im Eisenbahnwesen bislang selten. Zumeist behandeln Veröffentlichungen zur Infrastrukturqualität im Eisenbahnwesen ausschließlich die Qualitätsmessung anhand bestimmter Kenngrößen einzelner Anlagenarten, jedoch keine anlagenübergreifende Qualitätsmessung. Auch bei weiteren EIU werden zwar Ausprägungen ausgewählter Kenngrößen (z.B. die Güte der

Gleislage) bzw. betriebliche Auswirkungen (z.B. Pünktlichkeitswerte), jedoch keine übergreifenden Netzqualitäten veröffentlicht. Einige EIU, wie beispielsweise die Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aus Italien oder Trafikverket (TRV) aus Schweden arbeiten jedoch bereits mit Ansätzen zustandsbasierter und prädiktiver Instandhaltung [6, 7]. Diese ergänzen die klassische zyklische oder korrektive Instandhaltung, indem auf Basis engmaschiger Messdaten, dem historischen Verlauf derselben sowie bisher durchgeführten Maßnahmen und Trends in der Fehlerentstehung der optimale Zeitpunkt einer Maßnahme versucht wird zu prognostizieren.

Im Folgenden wird zur umfassenden Messung der Infrastrukturqualität eines EIU nun ein hierarchischer Ansatz gewählt, um die Qualität der verschiedenen Anlagenklassen vergleichbar zu machen. Da jedes EIU andere Voraussetzungen für die Messung des Infrastrukturzustands hat und deshalb andere Schwerpunkte bei der Bewertung der Infrastrukturqualität setzt, soll an dieser Stelle bewusst ein allgemeingültiger und modularer Ansatz entwickelt werden. Die Ansätze von ÖBB und SBB können demnach methodisch als Orientierung dienen, sie sind jedoch spezifisch auf die Gegebenheiten der jeweiligen Netze ausgelegt und können daher nicht für einen allgemeingültigen Ansatz übernommen werden. Durch den großen Einfluss von Gewichtungsfaktoren und den übergreifenden Kenngrößen, die als Basis der Aggregation dienen, sind die vorliegenden Ansätze bei Übertragung auf andere Netze in dieser Hinsicht ebenfalls fundiert zu überarbeiten.

3.2 Gewählter hierarchischer Ansatz

Da ein einzelnes Qualitätsmerkmal immer nur einen Teilaspekt einer Anlage beschreiben kann, werden mehrere, spezifische Merkmale je Anlagenklasse miteinander verrechnet, wobei auf Analogien über die verschiedenen Anlagenklassen hinweg geachtet wird. So wird die Aussagekraft der Qualitätsmerkmale bezüglich des Anlagenzustands erhöht und die Anlagenqualität umfassend beschrieben, wodurch mehrdimensionale Sachverhalte dargestellt, Zielvorgaben gesetzt und Erfolgskontrollen ermöglicht werden [8].

Um den Zustand des Gesamtnetzes darstellen zu können, wird eine geeignete, übergreifende Aggregations- und Notenlogik entwickelt, siehe Abbildung 1. Dabei wird je nach Datenlage auf Bauteil- oder Einzelanlagenebene als unterste Ebene mit der Bewertung gestartet, indem die Ausprägungen der Qualitätsmerkmale in eine Qualitätsnote des jeweiligen Bauteils oder der Einzelanlage übersetzt werden. Alle weiteren Noten in der Hierarchie basieren auf dieser untersten Bewertungsebene und ergeben sich aus Aggregationen der jeweils darunterliegenden Ebene.

Wenn Bauteile bewertet werden können, erfolgt eine Notenaggregation auf die jeweilige Einzelanlage mithilfe einer Mengengewichtung, z. B. die Länge oder die Fläche. Ebenso können die Noten der Einzelanlagen auf die gesamte Anlagenklasse mittels einer Mengengewichtung aggregiert werden. So kann die Qualität jeder Anlagenklasse mithilfe einer Note ausgedrückt werden. Die Herausforderung im nächsten Schritt zur anlagenklassenübergreifenden Aggregation auf eine Note für das Gesamtnetz liegt insbesondere in der Auswahl eines passenden Merkmals als Gewichtungsgrundlage. Denkbar sind verschiedene Aggregationslogiken, wie beispielsweise nach Betriebswichtigkeit, Zuverlässigkeit oder wie auch bereits angewendet nach dem Wiederbeschaffungswert. Diese Gewichtung besitzt einen maßgeblichen Einfluss auf die Gesamtnote und impliziert eine unternehmerische Bewertung hinsichtlich der Bedeutung der jeweiligen Anlagenklassen innerhalb des Anlagenbestands.



Abbildung 1: Aggregationslogik vom einzelnen Bauteil bis zum Gesamtnetz.

Mit einer solchen Aggregationslogik ist es schließlich möglich, dass der Gesamtzustand bzw. die Gesamtqualität der Schienenwege über alle Anlagenklassen in unterschiedlichen Aggregationsebenen – Gesamtnetz, Teilnetze, Strecken, etc. – ausgegeben wird, analog der Methoden von ÖBB und SBB. Insbesondere die Einflüsse verschiedener Kenngrößen, sowie die Definition einer Kenngröße zur anlagenklassenübergreifenden Verrechnung weichen jedoch von den vorhandenen Ansätzen ab. Eine Vergleichbarkeit der Infrastrukturqualität wird weiterhin ermöglicht, die Wirksamkeit von Maßnahmen kann nachverfolgt und Handlungsfelder können identifiziert werden.

3.3 Bewertung von Einzelanlagen

Da die Bewertung von Bauteilen bzw. Einzelanlagen die Grundlage der Aggregation zu einer Gesamtbewertung darstellt, wird auf die Bewertung dieser untersten Ebene im Folgenden näher eingegangen. Aufgrund der regelmäßig erhobenen Messdaten und der daraus ableitbaren Schlussfolgerungen bezüglich des Anlagenzustands wurde in einem ersten Schritt eine Bewertung für Gleise erarbeitet. Das vorgestellte Verfahren lässt sich jedoch prinzipiell auf alle Anlagenklassen ausweiten.

Zunächst werden die maßgebenden Qualitätsmerkmale je Anlagenklasse in die drei Kategorien „Technischer Zustand“, „Lebenszyklus“ und „Verfügbarkeit“ eingeordnet, siehe Abbildung 2. Damit kann eine Differenzierung nach technischen, betrieblichen und den Lebenszyklus betreffenden Aspekten stattfinden und je nach Anwendungszweck können auch nur Teilbereiche der Anlagenqualität betrachtet werden. Diese Teilnoten können mit der später vorgestellten Aggregationslogik ebenso für das Gesamtnetz ausgewiesen werden.

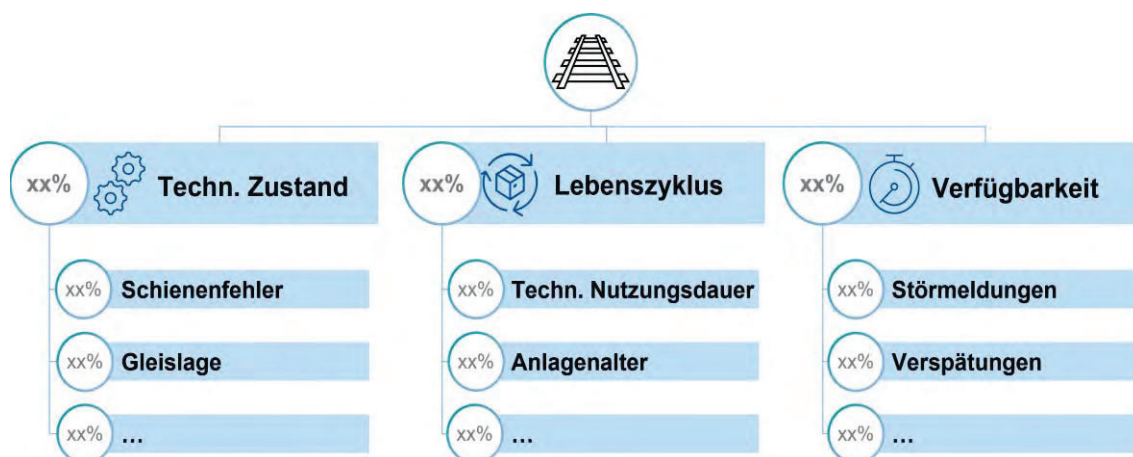


Abbildung 2: Potenzielle Teilnoten für die Anlagenklasse Gleise.

In jeder dieser Kategorien befindet sich eine anlagenklassenspezifische Anzahl an Qualitätsmerkmalen. Die absoluten Ausprägungen der Qualitätsmerkmale werden in Form einer Notenlogik (Noten 1 bis 5) in einen vergleichbaren Kontext gebracht. Dazu wird für jedes Qualitätsmerkmal eine Übersetzungsfunktion aufgestellt, anhand derer die Notenübergänge festgelegt werden. Dabei beschreibt die Note 1 einen neuen oder neuwertigen Zustand. Die Note 4 beschreibt den schlechtesten Zustand, bei dem eine Anlage noch voll funktionstüchtig ist, bis zum Erreichen eines entsprechenden Grenzwerts des jeweiligen Qualitätsmerkmals. Dabei dürfen noch keine dauerhaften betrieblichen Einschränkungen, z. B. eine Langsamfahrstelle, vorliegen. Die Note 5

beschreibt schließlich den Zustand nach Erreichen des jeweiligen Grenzwertes und damit einen nicht mehr voll funktionsfähigen Zustand. Mit einer Grenzwertüberschreitung und der damit verbundenen Note 5 gehen auch betriebliche Einschränkungen einher. Beispielhaft und schematisch ist eine solche Verschlechterungsfunktion mit Notenübergängen in der Abbildung 3 dargestellt.

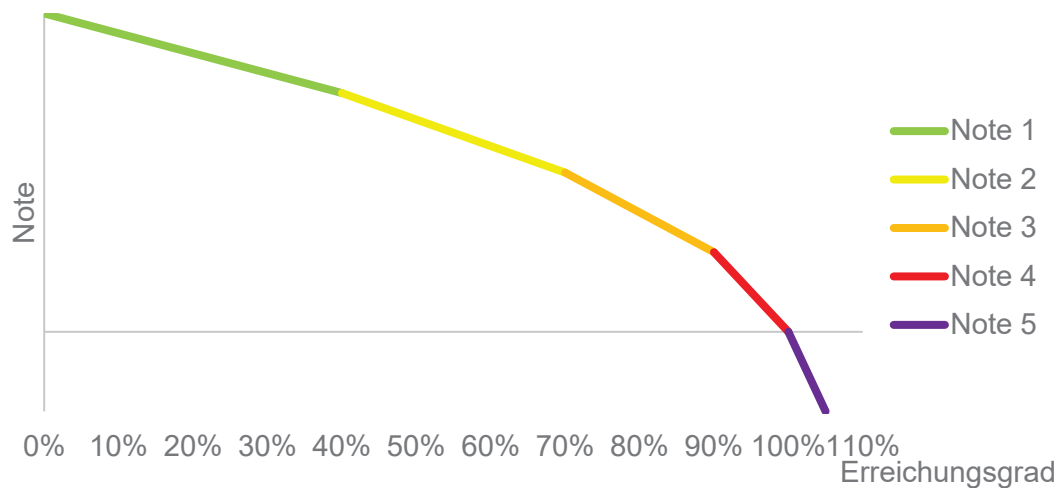


Abbildung 3: Beispielhafte Verschlechterungsfunktion mit Übersetzung in eine Notenlogik.

Wenn jede einzelne Qualitätskenngröße pro Anlagenklasse definiert wurde, ist auch eine Berechnungslogik für die jeweiligen Kenngrößen-Sets zu entwickeln. Dabei werden in jeder Anlagenklasse alle verwendeten Kenngrößen entsprechend ihres Einflusses auf den Zustand der Anlagenklasse gewichtet. Um die verschiedenen Kenngrößen miteinander verrechnen zu können, erscheint die beschriebene Übersetzung in eine aggregierbare Notenlogik sinnvoll.

Grundsätzlich sind verschiedene Logiken für die Verrechnung der einzelnen Größen zu einer Zustandsnote denkbar. Kann der Einfluss der einzelnen Qualitätsmerkmale auf den Zustand eines Bauteils bzw. der Einzelanlage beziffert werden, fließen die einzelnen Qualitätsmerkmale mit individuellen Gewichtungen entsprechend ihrer Relevanz zur Zustandsbeschreibung der Anlagenklasse in die Note ihrer jeweiligen Kategorie ein. Die Gewichtungsfaktoren innerhalb einer Kategorie addieren sich dabei stets zu 100 %. Die sich ergebenden Noten der drei Kategorien werden wiederum entsprechend ihres Einflusses auf den Gesamtzustand der Anlagenart gewichtet, wobei auch hier die Summe der Gewichtungsfaktoren 100 % ergibt. So kann der Zustand jeder Einzelanlage mithilfe einer Note umfassend beschrieben werden.

Sofern eine gewichtete Verrechnung der Qualitätsmerkmale nicht möglich ist, kann das Maximalprinzip angewendet werden. Dadurch ist das Qualitätsmerkmal mit der schlechtesten Bewertung maßgebend für die Zustandsnote der jeweiligen Kategorie. Ebenso kann die Gesamtzustandsnote mittels Maximalprinzip aus den Zustandsnoten der einzelnen Kategorien ermittelt werden. Es ist jedoch abzuwägen, ob eine Verrechnungslogik mittels Maximalprinzip zu sinnvollen Ergebnissen führt, da dadurch die Teilnote des schlechtesten Qualitätsmerkmals maßgebend für den Gesamtzustand einer Anlage ist, auch wenn die anderen Merkmale bessere Bewertungen aufweisen.

3.4 Aggregation auf Anlagenklassen und das Gesamtnetz

Im letzten Schritt ist eine anlagenklassenübergreifende Verrechnungslogik zu wählen, um im Zielzustand einen gesamthaften Netzzustand in Form einer Note angeben zu können. Hier kann die Notenlogik der Kenngrößen-Sets pro Anlagenklasse aufgegriffen und erweitert werden. Dabei ist ein Merkmal zu identifizieren, das in allen Anlagenklassen messbar ist und daher in Form eines Gewichtungsfaktors zur anlagenklassenübergreifenden Verrechnung genutzt werden kann.

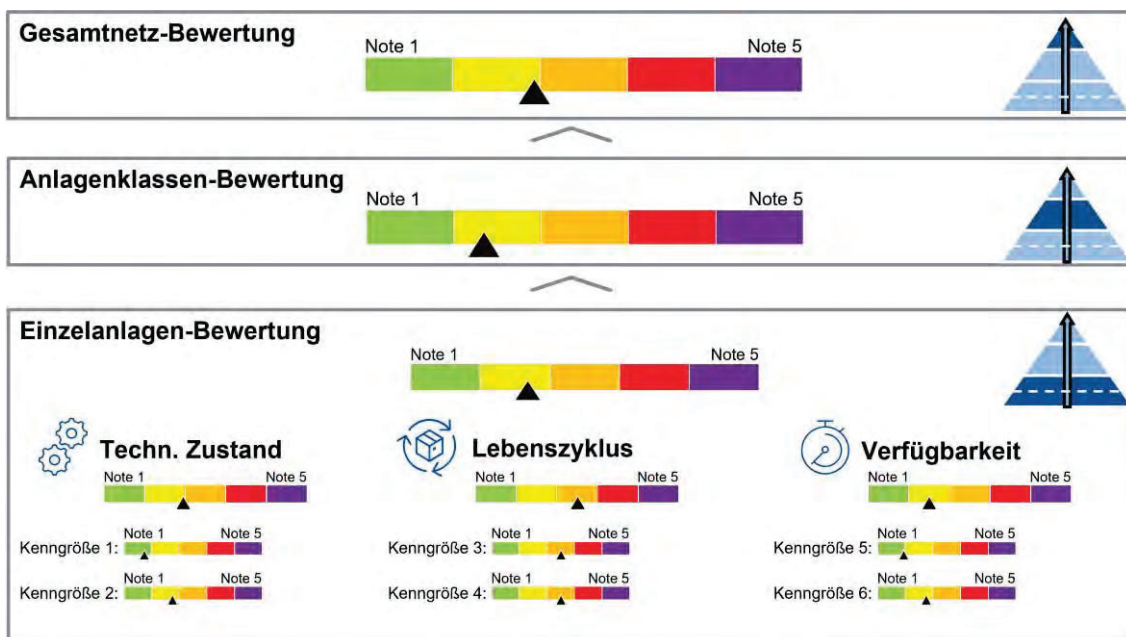


Abbildung 4: Beispielhafte Bewertungslogik mit Noten der unterschiedlichen Aggregationsebenen.

Aufgrund der individuellen Mengeneinheiten der einzelnen Anlagenklassen ist die Verrechnung zu einer Netzzustandsnote nicht mittels einer einfachen Mengengewichtung möglich. Stattdessen bietet sich dazu eine Gewichtung der einzelnen Anlagenklassen

analog zu ÖBB und SBB über den Wiederbeschaffungswert der Anlagen an. Allerdings werden dadurch die Anlagenklassen des konstruktiven Ingenieurbaus mit einem sehr starken Gewicht in die Netzzustandsnote eingehen. Alternativ sind Gewichtungen über die betriebliche Relevanz der Anlagen, z. B. abgebildet über die Anzahl der Zugfahrten oder auch die Summe der beförderten Reisenden im Personenverkehr bzw. transportierten Tonnen im Güterverkehr innerhalb des Betrachtungszeitraums, oder die Ermittlung einer Gewichtung nach individuellen Kriterien mittels paarweisen Vergleiches möglich.

Die Verrechnung kann dabei nach beliebigen Unterteilungen für einzelne Strecken, Korridore, Teilnetze oder das Gesamtnetz erfolgen. In Abbildung 4 ist die Bewertungslogik von der Einzelanlage bis zum Gesamtnetz (respektive Teilen davon) schematisch dargestellt. Ergänzend zur aggregierten Gesamtzustandsnote ermöglicht die Betrachtung der Verteilung der Zustandsnoten innerhalb des Notenspektrums eine zusätzliche Beurteilung des Ergebnisses.

4 Methodik zur Auswahl von Qualitätsmerkmalen

Um die Qualität wie zuvor beschrieben messen zu können, sind die relevanten Qualitätsmerkmale je Anlagenklasse zu identifizieren. Dazu wird zunächst für jede Anlagenklasse ein Set an Anlagenmerkmalen aufgestellt. Aus diesen Merkmalen sind die Qualitätsmerkmale abzuleiten, mithilfe derer Rückschlüsse auf den Anlagenzustand getroffen und Maßnahmenbedarfe und -wirkungen dargestellt werden können.

Qualitätsmerkmale müssen gewisse Anforderungen erfüllen, damit sie als Steuerungsinstrumente genutzt werden können. Um die Anlagenmerkmale bezüglich ihrer Tauglichkeit als Qualitätsmerkmal im Kontext der Beschreibung des jeweiligen Anlagenzustands einzustufen, werden sie hinsichtlich ihres Erfüllungsgrades ausgewählter Anforderungen, wie zum Beispiel „umfassend“, „messbar“, „vergleichbar“ und „reproduzierbar“ [9], bewertet. Diese Anforderungen sollen zunächst sicherstellen, dass die Kenngröße einen unmittelbar kausalen Zusammenhang zum Zustand der Anlage aufweist, sodass eine Änderung des Zustands in einer Änderung des Kenngrößenwerts sichtbar wird, und umgekehrt eine Änderung des Kenngrößenwerts ausschließlich bei einer entsprechenden Änderung des Zustands erfolgt.

Darüber hinaus muss eine verwendete Kenngröße aus einer aussagekräftigen Datenquelle erhoben werden, damit daraus valide Modelle mit eindeutiger Aussagekraft abgeleitet werden können. Die Daten müssen vollständig, auswertbar und zweckmäßig sein. Des Weiteren ist durch die Erfüllung der Anforderungen zu gewährleisten, dass die Kenngrößen widerspruchsfrei und prüfbar sind, sodass keine Missverständnisse über

deren Erhebung, Berechnung oder Interpretation entstehen, um subjektive Interpretationsspielräume sowie widersprüchliche Aussagen auszuschließen. Zur Reproduzierbarkeit einer Kenngröße ist diese inklusive Berechnungslogik exakt zu definieren, um sie auch zu späteren Zeitpunkten richtig erfassen und interpretieren zu können. Die Bewertung des Erfüllungsgrades dieser Anforderungen erfolgt anhand von drei gewählten Ausprägungen „vollständig erfüllt“ (Bewertung mit dem Wert 1), „teilweise erfüllt“ (Bewertung mit dem Wert 0,5) und „nicht erfüllt“ (Bewertung mit dem Wert 0). Für jedes Anlagenmerkmal wird ein Durchschnitt der Erfüllungsgrade der ausgewählten Anforderungen bestimmt. Schließlich werden diejenigen Anlagenmerkmale in das Kenngrößen-Set der Anlagenklasse einbezogen, bei denen der Durchschnitt über 0,8 liegt und somit die Anforderungen weitestgehend erfüllt werden. Im Beispiel in Abbildung 5 werden so die vier oberen Merkmale in das Kenngrößen-Set einbezogen, während die drei unteren Merkmale ausgeschlossen werden.

Merkmale	Kriterien				Summe
	Umfassend	Messbar	Vergleichbar	Reproduzierbar	
Überalterung	1	1	1	1	1
Störungen	1	1	1	0.5	0.875
Gleislage	1	1	1	1	1
...	1	1	1	1	1
Zustand Unterbau	1	0	1	0.5	0.625
DUA-Historie	0.5	1	0	0	0.375
...	0	0	0	0	0

Abbildung 5: Beispielhafte Bewertung einzelner Merkmale

In diesem Zuge müssen beispielsweise aufgrund der fehlenden Aussagekraft zum Zustand einer Einzelanlage solche Merkmale ausgeschlossen werden, die rein technische oder betriebliche Spezifikationen einer Infrastrukturanlage und deren Umfeld darstellen. Diese Merkmale beschreiben zwar die Infrastruktur und können auch bei der Prognose des Verschlechterungsverhaltens hilfreich sein, sie besitzen jedoch ohne weitere Bezugsgröße keine allgemeine Aussagekraft zum aktuellen Zustand der einzelnen Infrastrukturanlagen. Dazu zählen beispielsweise die verbauten Werkstoffe oder Abmessungen einer Anlage als technische Spezifikationen, die Betriebs- und Standsicherheit als betriebliche Spezifikation einer Anlage, sowie die Streckenklassifizierung als betriebliche Spezifikationen eines Anlagenumfelds.

Weitere Merkmale können ausgeschlossen werden, wenn sie eine 0/1-Logik verfolgen und sich damit die Ausprägungen dieser Merkmale nicht eindeutig und unmittelbar mit einer Zustandsänderung verändern, wie beispielsweise Langsamfahrstellen (die zugrundeliegenden Infrastrukturmängel sollten sich aus messbaren Größen mit

definierten Grenzwerten ergeben, welche bereits eindeutig und unmittelbar die Verbindung zwischen technischem Zustand und der Qualität herstellen). Des Weiteren müssen solche Merkmale in ihrer Eignung als Qualitätsmerkmale abgestuft werden, die nicht messbar sind oder aktuell nicht gemessen werden.

Für einige der wesentlichen Anlagenklassen bleibt eine Vielzahl an Zustandsmerkmalen übrig, die als Qualitätsmerkmale geeignet sind. Daher werden alle Merkmale, die entsprechend der Einstufung als Qualitätsmerkmale nutzbar sind, in Form eines zuvor beschriebenen Kenngrößensystems sinnvoll miteinander verknüpft. So resultiert für jede Anlagenklasse ein eigenes Kenngrößensystem, das den Erfüllungsgrad der relevanten Anforderungen an die jeweilige Anlagenklasse wiedergibt (vgl. DIN EN ISO 9000:2015-11) und den Anlagenzustand umfassend abbildet.

5 Fazit

Je nach gewünschter oder geforderter Detailtiefe zur Bewertung der Infrastrukturqualität können mit dem hier vorgestellten Verfahren die wichtigsten Anlagenklassen der Eisenbahninfrastruktur hinsichtlich ihrer Qualität bewertet sowie untereinander verglichen werden. Damit können sowohl die interne Steuerung als auch die externe Kommunikation der Infrastrukturqualität verbessert werden. Dabei gibt das Verfahren den Prozess sowie den Zielzustand vor, lässt jedoch auch Raum, um unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich der unternehmerischen Freiheit als auch der Schwerpunktsetzung im Qualitätsbegriff abzubilden, beispielsweise im Hinblick auf die Kundenrelevanz. Hierbei ist jedoch nach den ersten Verprobungen deutlich geworden, dass die Gesamtzustandsnote in hohem Maße von den gewählten Notenstufen und Verrechnungslogiken abhängt. Aus diesem Grund sollten diese Elemente besonders mit den jeweiligen Zielgruppen der Ergebnisse abgestimmt und danach über einen längeren Zeitraum fixiert werden, um über die Historie die Vergleichbarkeit zu gewährleisten und um in der Lage zu sein, Trends frühzeitig daraus ableiten zu können.

Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist, dass die unternehmensinternen Steuerungsgrößen sowie Kenngrößen zur externen Kommunikation (Geldgeber, Politik, Bürgerschaft) lediglich unterschiedliche Aggregations- und Abstraktionsstufen derselben Datenbasis darstellen. Während Steuerungsgrößen eher feingranular und technisch-betrieblich orientiert sind, können in der Kommunikation nach außen die leicht verständlichen Noten genutzt werden, um so eine nachvollziehbare Entwicklung des Infrastrukturzustandes darzustellen. Hier ist auch zu beachten, dass nicht nur die gemittelten Zustandsnoten von Interesse sind, sondern ebenso die Verteilung der Anlagen innerhalb der Notenstufen.

6 Ausblick

In weiteren Arbeitsschritten sind die identifizierten Kenngrößen-Sets pro Anlagenklasse zu analysieren sowie das Verfahren auf weitere, bisher nicht tiefergehend betrachtete Anlagenklassen anzuwenden. Dabei sind Clustermöglichkeiten der Kenngrößen in aussagekräftige Kategorien zu berücksichtigen und die eingesetzten Kenngrößen exakt zu definieren. Dafür ist zu jeder Kenngröße unter anderem zu überprüfen, welche Eingangsdaten in auswertbarer Form vorliegen.

Es wurde bereits ein hoher Grad an Überschneidungen der potentiellen Qualitätskenngrößen über verschiedene Anlagenklassen hinweg erreicht, sodass anlagenklassenübergreifende Leitgrößen (wie beispielsweise die Störungshäufigkeit) definiert werden können. Jedoch können die Gewichtungen bei verschiedenen Anlagenklassen voneinander abweichen, da sich auch das Anlagenverhalten je Anlagenklasse unterscheidet.

Bei diesen Analysen wird jeweils auch die Modellierbarkeit von Abnutzungsfunktionen und Maßnahmenwirkungen berücksichtigt, sodass auf dieser Basis prinzipiell ein Ursache-Wirkung-Zusammenhang zwischen dem Mitteleinsatz und der zu erwartenden Infrastrukturqualität abgeleitet werden kann [10]. Durch das Verschneiden von Prognosefunktionen des Infrastrukturzustandes über die Zeit bzw. kumulierte Belastung mit den Übersetzungsfunktionen zwischen Infrastrukturzustand und zugehöriger Note wird es ermöglicht, die Noten bzw. Teilnoten nicht nur als Ergebnis auszugeben, sondern bei entsprechender Eignung auch als Steuerungs- bzw. Zielgröße einzusetzen.

Literatur

- [1] Bundesrechnungshof, „Bericht nach § 99 BHO über die Ziele des Bundes bei den Verhandlungen mit der Deutschen Bahn AG über eine dritte Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung für die bestehende Eisenbahninfrastruktur,“ Bonn, 2018.
- [2] L. Barrantes, Einsatzmöglichkeiten der FMEA zur Planung und Steuerung von Kooperationen, Berlin: TENEA Verlag für Medien, 2003.
- [3] L. Harey und D. Green, „Qualität definieren. Fünf unterschiedliche Ansätze,“ *Zeitschrift für Pädagogik*, Bd. 41, pp. 17-39, 2000.

- [4] ÖBB Infrastruktur, „Netzzustandsbericht 2018,“ Wien, 2019.
- [5] SBB Infrastruktur, „Zusammenfassender Jahresbericht 2019,“ Bern, 2020.
- [6] Ferrovie Dello Stato Italiane, „Sustainability Report - Fulfil Sustainability,“ 2019.
- [7] Swedish Transport Administration, „The Swedish Transport Administration Annual Report,“ Borlänge, 2019.
- [8] P. R. Preißler, Betriebswirtschaftliche Kennzahlen: Formeln, Aussagekraft, Sollwerte, Ermittlungsintervalle, De Gruyter, 2010.
- [9] E. Dietrich, A. Schulze und S. Weber, Kennzahlensystem für die Qualitätsbeurteilung in der industriellen Produktion, Carl Hanser Verlag, 2007.
- [10] T. Jacke, B. Dickenbrok, N. Friesen, A. A. Grub und N. Nießen, „Ursache-Wirkung-Zusammenhang: Zusammenhang zwischen Mitteleinsatz und Infrastrukturqualität abbilden,“ *Eisenbahntechnische Rundschau : ETR 68(9)*, pp. 37-41, September 2019.

Autoren



Bluhm, Saskia

Saskia Bluhm studierte bis 2018 Wirtschaftsingenieurwesen am Karlsruher Institut für Technologie. Anschließend war sie als Unternehmensberaterin bei der Boston Consulting Group tätig und arbeitet seit 2020 als Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Verkehrswissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen im Bereich Eisenbahnbetriebswissenschaft.



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 von Ursache-Wirkung-Zusammenhängen für die LuFV III“ tätig.



Helfenstein, Andreas

Andreas Helfenstein studierte bis 2012 Maschinenbau an der technischen Hochschule Mittelhessen und arbeitet seitdem bei der DB AG. Zunächst bei der DB Regio AG und anschließend in mehreren Positionen bei der DB Netz AG. Aktuell ist Herr Helfenstein Teilprojektleiter im Projekt „Weiterentwicklung von Ursache-Wirkung-Zusammenhängen für die LuFV III“.



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.