

# Prognose des Infrastrukturzustandes von Personenbahnhöfen

Zur Beschreibung des Ursache-Wirkung-Zusammenhangs zwischen Investitions- sowie Instandhaltungsbudget und der durch die pönalisierte Qualitätskennzahl „Bewertung Anlagenqualität“ (BAQ) gemessenen Infrastrukturqualität von Personenbahnhöfen wurde in einem gemeinsamen Projekt mit der DB Station&Service AG das Abnutzungsverhalten für die unterschiedlichen Infrastrukturanlagen entwickelt.



## 1. Motivation

Die DB Station&Service AG (DB S&S) stellt als Infrastrukturbetreiber Bahnhofsanlagen für die Nutzung durch Eisenbahnverkehrsunternehmen zur Verfügung. Die Qualität ihrer Infrastrukturanlagen ist für die DB S&S von großer Bedeutung, um eine hohe Verfügbarkeit und Attraktivität der Anlagen zu gewährleisten. Die Qualitätsmessung erfolgt dabei durch Qualitätskennzahlen (QKZ), für welche in der mit dem Bund geschlossenen Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung (LuFV) [1] Zielvorgaben festgeschrieben werden. Zur Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit und Verbesserung der Qualität ihrer Infrastrukturanlagen werden durch die DB S&S Erneuerungs- und Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt und somit die Erreichung der Zielvorgaben gewährleistet. Erneuerungsmaßnahmen werden dabei überwiegend durch die vom Bund im Rahmen der LuFV bereitgestellten Finanzmittel

finanziert. Für die Instandhaltung der Anlagen hält die DB S&S gemäß Bestimmung der LuFV Eigenmittel vor. Die Qualität der Anlagen der DB S&S wird dabei unter anderem durch die QKZ „Bewertung Anlagenqualität“ (BAQ), die eine gewichtete Note über alle BAQ-relevanten Anlagen der DB S&S darstellt, bewertet.

Die QKZ BAQ wird jährlich zum Stichtag 30. November berechnet. Für eine Ermittlung des Zustandes der Anlagen müssen zunächst Zustandsbewertungen an den einzelnen Anlagen durchgeführt werden. Diese Zustandsbewertungen finden durch Personal der DB S&S in Regelzyklen vor Ort statt. Zunächst werden einzelne Bauteile einer Anlage bewertet und anschließend über unterschiedliche Gewichtungen in die Zustandskennzahl (ZuKz) der gesamten Anlage überführt. Diese ZuKz spiegelt die Qualität einer Anlage wider und kann mit dem in Bild 1 gegebenen Zusammenhang in die technische Zustandsnote (TZN) von 1 bis 6 umgerechnet werden. Die einzel-



**Felix Lampe, M. Sc.**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Verkehrswissenschaftliches  
Institut der RWTH Aachen (VIA)  
lampe@via.rwth-aachen.de



**Maren Maus, M. Sc.**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Verkehrswissenschaftliches  
Institut der RWTH Aachen (VIA)  
maus@via.rwth-aachen.de



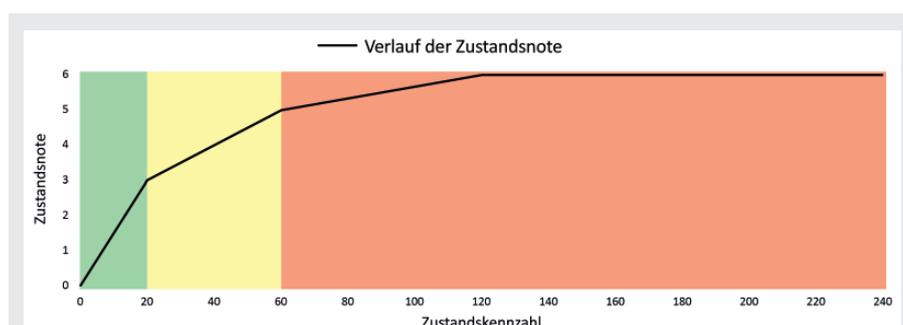
**Dipl.-Betriebsw. Steffen Höhn**  
Arbeitsgebietsleiter Grundsätze  
Facility Management  
DB Station&Service AG, Berlin  
steffen.hoehn  
@deutschebahn.com



**Christopher Schubert, M. Eng.**  
Referent Konstruktiver  
Ingenieurbau  
DB Station&Service AG, Berlin  
christopher.schubert  
@deutschebahn.com



**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen**  
Institutsleiter  
Verkehrswissenschaftliches  
Institut der RWTH Aachen (VIA)  
niessen@via.rwth-aachen.de



1: Zusammenhang zwischen ZuKz und TZN [1]

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen; DB Station&Service AG /  
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten  
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH

nen technischen Zustandsnoten der unterschiedlichen Anlagen werden anschließend über Gewichtungsfaktoren, wie die Reisendenfrequenz an der betreffenden Verkehrsstation, zu einer gesamthaften BAQ-Note aggregiert. Für die Ermittlung der BAQ-Note werden 21 verschiedene Anlagenklassen, die sogenannten BAQ-relevanten Anlagenklassen, herangezogen. Hierzu zählen zum Beispiel Bahnsteige, Personenunterführungen oder Personenaufzüge.

Um einen Ursache-Wirkung-Zusammenhang (UWZ) zwischen den (einzusetzenden) Ersatz- und Instandhaltungsinvestitionen und der mit diesen Mitteln erreichbaren Qualität (bundesweite BAQ-Note) herzustellen, muss dieser Zusammenhang zunächst auf Ebene der einzelnen Anlagenklassen erstellt werden.

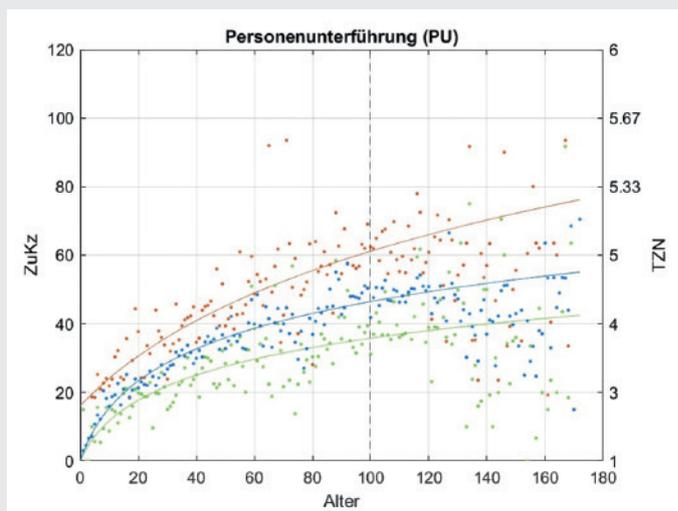
Das 2008 von der DB S&S entwickelte Modell Anlagenmanagement Personenhöfe (amp-Modell) bildet die bisherige Grundlage der Investitions- und Instandhaltungsstrategie bei der DB S&S [2]. Das amp-Modell wird herangezogen, um auf Basis von Lebenszyklusmodellen den Bedarf an Instandhaltungsmitteln in den einzelnen Anlagenklassen zu ermitteln. Ein UWZ kann durch das amp-Modell jedoch nicht dargestellt werden, da in den erstellten Lebenszyklusmodellen keine Qualitätswirkungen durch Investitions- und Instandhaltungsmaßnahmen abgebildet werden.

**2. Erstellung der Degradationsmodelle auf Basis von Prognoseansätzen**

Um die zu erwartende Qualität der Infrastrukturanlagen prognostizieren zu können, müssen zukünftige Zustände der einzelnen Anlagen durch ein Prognosemodell ermittelt werden. Dies wird durch die Modellierung von Degradationsfunktionen erreicht, die datenbasiert das Alterungsverhalten der Infrastrukturanlagen abbilden. Für die Entwicklung eines UWZ ist es darüber hinaus notwendig, Instandhaltungsmaßnahmen steuerbar berücksichtigen zu können. Ziel ist es daher, sowohl die Alterung der Anlagen BAQ-relevanter Anlagenklassen als auch den Einfluss von Instandhaltungs- und Ersatzinvestitionen über den Lebenszyklus darstellen zu können.

Für die Entwicklung dieser Lebenszyklusmodelle wurden historische Daten der DB S&S aus den Jahren 2008–2020 genutzt, welche verschiedene Angaben zu den Eigenschaften der einzelnen bewerteten Anlagen beinhalten. Aus diesen Daten wurde

**2:** Zustände vor und nach einer Instandhaltungsmaßnahme am Beispiel der Personenunterführungen



zunächst die durchschnittliche Instandhaltungswirkung in Abhängigkeit des Anlagenalters abgeleitet. Hierfür wurden die durchschnittlichen Zustände vor und nach einer Instandhaltungsmaßnahme ausgewertet. Bild 2 zeigt beispielhaft die Analyse der durchschnittlichen Zustände vor (rote Punkte) und nach (grüne Punkte) einer Instandhaltungsmaßnahme in der Anlagenklasse der Personenunterführungen. Der derzeitige durchschnittliche Anlagenzustand je Alter wird durch die blauen Punkte repräsentiert und liegt erwartungsgemäß zwischen den untersuchten Zuständen vor bzw. nach einer Instandhaltungsmaßnahme. Auf der linken Achse sind die Zustandskennzahlen (ZuKz) und auf der rechten Achse die entsprechenden technischen Zustandsnoten (TZN) aufgetragen. Die Linien stellen die zur Beschreibung der Daten ermittelten Regressionsfunktionen dar. Die durchschnittliche Instandhaltungswirkung kann anschließend aus der Differenz zwischen dem durchschnittlichen Zustand vor und dem durchschnittlichen Zustand nach einer Instandhaltungsmaßnahme abgeleitet werden.

In den Daten zeigt sich, dass Anlagen nach Ende der technischen Nutzungsdauer (tND – gestrichelte Linie bei 100 Jahren) trotz hohen Alters eine vergleichsweise gute Bewertung aufweisen. Dieses Phänomen wird auf die Investitionsstrategie der DB S&S zurückgeführt: Anlagen, die die tND überschritten haben und einen schlechten Zustand aufweisen, werden zuerst ersetzt und Anlagen mit gutem Zustand bleiben zunächst aufgrund begrenzter Finanzmittel weiter im Bestand. Die Anlagen ab der

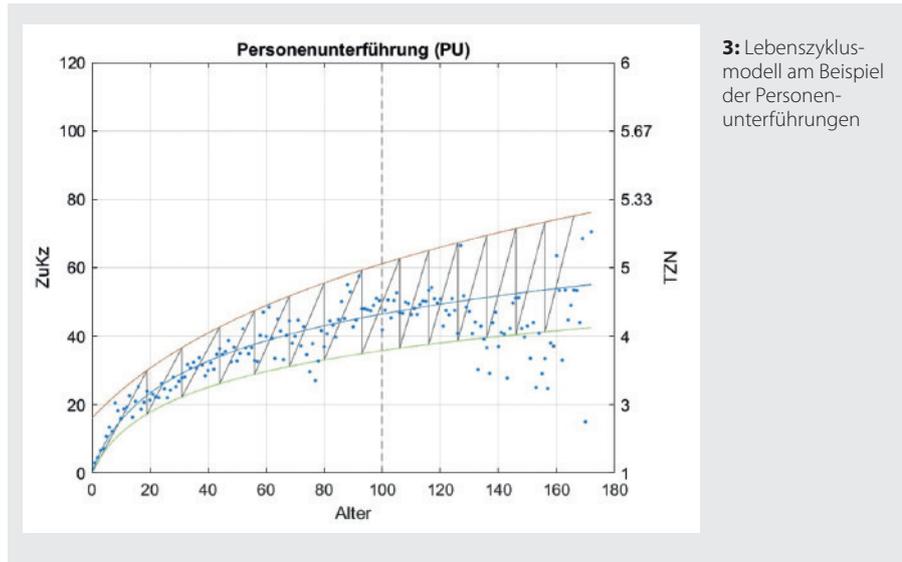
tND mit schlechter Bewertung sind somit unterrepräsentiert. Dieses Phänomen wird in der Modellbildung berücksichtigt, indem bei der Funktionserstellung nur Anlagen mit einem Alter unterhalb der tND berücksichtigt werden.

Um den Lebenszyklus einer Anlage beschreiben zu können, muss weiterhin die Degradation der Anlagen modelliert werden. Hierzu werden die durchschnittlichen Instandhaltungszeitpunkte aus den Daten ermittelt und anschließend die Degradation linear zwischen diesen Instandhaltungszeitpunkten und den korrespondierenden Zuständen vor und nach einer Instandhaltungsmaßnahme interpoliert. Zum Zeitpunkt einer Instandhaltungsmaßnahme wird der durchschnittliche Zustand vor einer Instandhaltungsmaßnahme erreicht und durch eine Maßnahme um die durchschnittliche Wirkung einer Instandhaltungsmaßnahme verbessert. So ergibt sich für jede Anlagenklasse eine Lebenszyklusfunktion (Bild 3).

Neben der Wirkung für Instandhaltungsmaßnahmen ist auch die Wirkung von Ersatzinvestitionen zu definieren. Ersatzinvestitionen haben dabei vereinfacht die Prämisse, dass neu errichtete Anlagen ein Alter von null Jahren und einen sehr guten Zustand, also eine TZN von 1,0 bzw. eine ZuKz von 0 aufweisen. Die erstellten Degradationsmodelle und die modellierten Instandhaltungs- und Ersatzinvestitionsmaßnahmen wurden anschließend in einem Softwaretool implementiert.

Da der UWZ einen Zusammenhang zwischen Qualität und Budget herstellen

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen; DB Station&Service AG / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH



soll, sind neben der Prognose des Anlagenzustandes und der Wirkung von Maßnahmen die mit dem verfügbaren Budget zu finanzierenden Kosten für Ersatz- sowie Instandhaltungsmaßnahmen herzuleiten. Falls jedoch nicht ausreichend Budget zur vollständigen Durchführung aller Maßnahmen des Ersatz- und Instandhaltungsbedarfs zur Verfügung steht, müssen die Maßnahmenbedarfe priorisiert werden. Für die Abbildung des UWZ müssen somit im Softwaretool neben der Degradation

weiterhin die Kosten für Maßnahmen und die Priorisierung von Maßnahmenbedarfen implementiert werden (Bild 4).

**3. Ermittlung der Kostensätze**

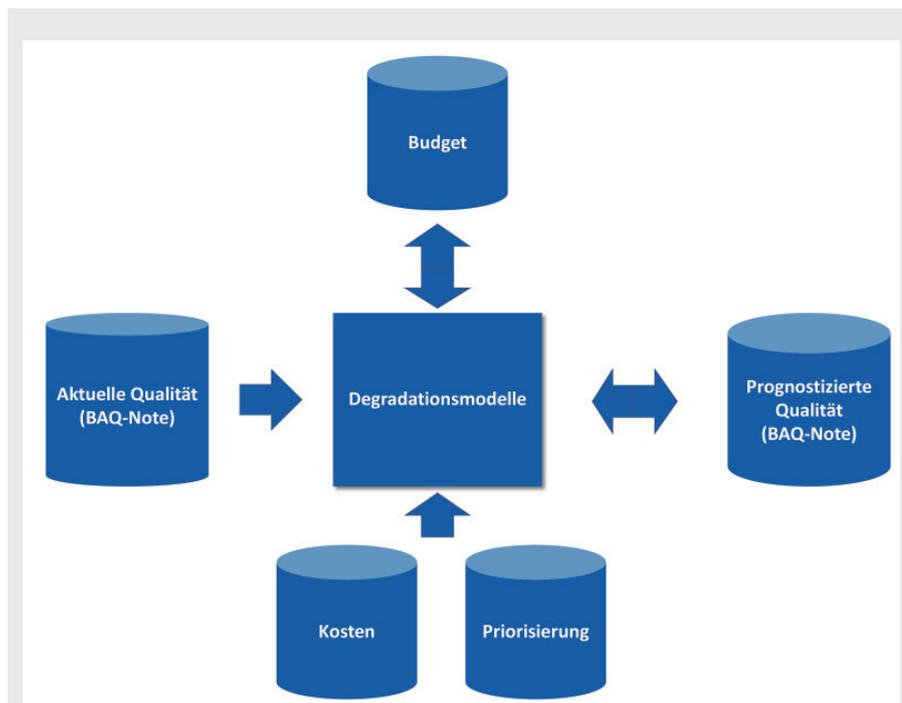
Die Ersatzinvestitionskosten sind von der DB S&S aus dem amp-Modell entwickelt worden und sind vor allem von der Größe bzw. der Stückzahl der Anlagen abhängig. Die Ersatzinvestitionskosten werden innerhalb einer Anlagenklasse zudem nach verschie-

denen Bauarten differenziert, sodass für die Ersatzinvestitionen eine differenzierte Kostenschätzung im Modell ermöglicht wird.

Bei den Instandhaltungsmaßnahmen wird zwischen zwei Instandhaltungsarten differenziert: den präventiven und den reaktiven Instandhaltungsmaßnahmen. Präventive Instandhaltungsmaßnahmen dienen dazu, den Anlagenzustand so zu erhalten, dass die technische Nutzungsdauer der Anlagen erreicht wird. Reaktive Instandhaltungsmaßnahmen dienen dazu, aufgetretene Schäden an den Infrastrukturanlagen zu beheben. Die Kosten für beide Arten der Instandhaltungen werden datenbasiert ermittelt. Da für die Instandhaltungsarten unterschiedliche Kostenstrukturen in den Daten vorliegen, werden für die präventiven und reaktiven Instandhaltungsmaßnahmen unterschiedliche Kostensätze definiert. Sowohl bei den reaktiven als auch bei den präventiven Kostensätzen werden für jede Anlagenklasse Kosten pro preistreibendes Merkmal (Größe oder Anzahl) und Qualitätshub (ZuKz) ermittelt. Bei den Instandhaltungsmaßnahmen sind die Kosten somit von den Eigenschaften der Anlage und dem durch die Instandhaltungsmaßnahme ausgelösten Qualitätshub abhängig.

**4. Priorisierungsstrategien**

Für den Fall, dass das zur Verfügung stehende Budget den im Modell detektierten Maßnahmenbedarf nicht deckt, müssen die Maßnahmen mittels einer Priorisierungsstrategie sortiert werden. Es können unterschiedliche Priorisierungsstrategien simuliert werden, um unterschiedliche Szenarien abbilden und miteinander vergleichen zu können. So kann beispielsweise die BAQ-Note unter der Prämisse, dass mit dem zur Verfügung stehenden Budget zuerst die qualitativ schlechtesten Anlagen eine Maßnahme erfahren, simuliert werden. Ein anderes Priorisierungsszenario berücksichtigt sowohl die Gewichtung der Anlage als auch die Wirkung und die Kosten dieser Maßnahme. In diesem Szenario wird das vorhandene Budget somit zur Optimierung der BAQ-Note verwendet.



4: Eingangs- und Ausgangsgröße des Softwaretools

**5. Funktionsweise des Softwaretools**

Die Degradationsfunktionen für die 21 BAQ-relevanten Anlagenklassen wurden unter Einbindung der Kostensätze für Ersatz- sowie Instandhaltungsmaßnahmen und verschiedener Priorisierungslogiken in einem Softwaretool implementiert. In

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für RWTH Aachen; DB Station&Service AG / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

5: Ablauf des Softwaretools für eine Jahresscheibe

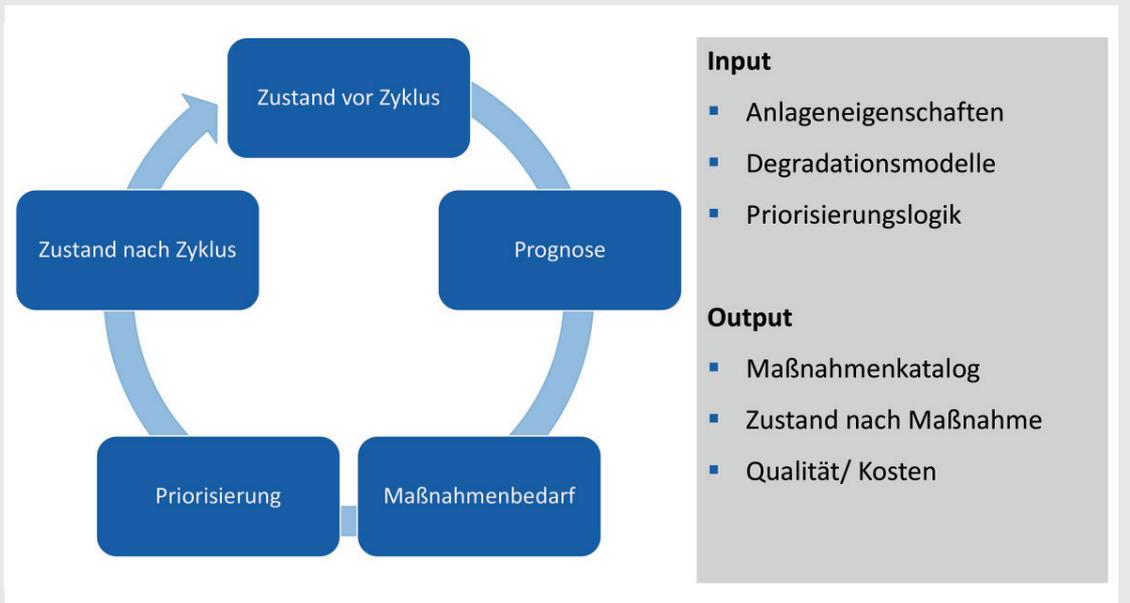


Bild 5 wird der generelle Ablauf des Softwaretools für einen Zyklus, also eine Jahresscheibe, dargestellt.

Für die Prognose des zukünftigen Anlagenzustandes muss dem Softwaretool der zu simulierende Anlagenbestand mit allen notwendigen Anlageneigenschaften übergeben werden. Zudem sind dem Softwaretool für jedes Jahr Budgets für Ersatzinvestitionen sowie Instandhaltungsmaßnahmen oder eine gewünschte Zielqualität vorzugeben. Aufbauend auf dem Anlagenbestand wird durch die erstellten Degradationsfunktionen die Prognose des Zustandes jeder Anlage für die nächste Jahresscheibe berechnet. Anhand des prognostizierten Zustandes werden Maßnahmenbedarfe für Ersatzinvestitionen und Instandhaltungsmaßnahmen abgeleitet und anhand der gewählten Priorisierungsstrategie sortiert. Anschließend werden die Ersatzinvestitions- und Instandhaltungsmaßnahmen gemäß eingegebenem Budget oder gewünschter Zielqualität durchgeführt und die Zustände der einzelnen Anlagen am Ende des Zyklus ermittelt. Somit kann als Resultat der Berechnungen entweder das benötigte Budget für die gewünschte Zielqualität oder die erzielte Qualität (BAQ-Note) in Abhängigkeit des vorgegebenen Budgets ausgegeben werden.

**6. Validierung des Softwaretools**

Für die Validierung der erstellten Degradationsmodelle und des Softwaretools

wird der historische Anlagenbestand von 2014 genutzt. Zudem konnten aus Daten die Ersatzinvestitionsmaßnahmen aus den Jahren 2014-2020 rekonstruiert werden, sodass die BAQ-Note aus dem Simulationstool für die Jahre 2015-2020 mit dem realen BAQ-Verlauf aus diesen Jahren verglichen werden kann. Weiterhin können die durchschnittlichen TZN-Verläufe der einzelnen Anlagenklassen mit den TZN-Verläufen der Anlagenklassen aus der Simulation verglichen werden. Die durchgeführte Validierung des Modells zeigt eine hohe Übereinstimmung mit den historischen Datensätzen.

**7. Fazit**

Im Rahmen eines Projekts zwischen der DB Station&Service AG und dem Verkehrs-

wissenschaftlichen Institut der RWTH Aachen konnte gezeigt werden, dass sich ein Zusammenhang zwischen der Qualität der Infrastrukturanlagen der DB S&S und den eingesetzten Instandhaltungs- sowie Ersatzinvestitionsmitteln quantifizieren lässt. Dazu wurden Degradationsmodelle sowie die Instandhaltungs- und Erneuerungsmaßnahmen datenbasiert bestimmt, um so einen Zusammenhang zwischen eingesetztem Budget und erzielbarer Qualität abbilden zu können. Für ein vorgegebenes Qualitätsniveau kann der nötige Finanzbedarf zur Instandhaltung und Erneuerung der 21 BAQ-relevanten Anlagenklassen ermittelt werden. Weiterhin lässt sich auch die maximal erreichbare Qualität bei gegebenem Budget bestimmen.

**Literatur**

[1] Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI): Leistungs- und Finanzierungsvereinbarung III (IdF v. 14. 1. 2020) (2020-01-14). URL [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/leistungs-und-finanzierungsvereinbarung-III.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/E/leistungs-und-finanzierungsvereinbarung-III.pdf?__blob=publicationFile)

[2] Schubert, C.; Heckmann, M.; Höhn, S.; Von Pappritz, J.; Elfert, L.: Investitions- und Instandhaltungsstrategie von Personenbahnhöfen: Fortschreibung und strategische Neuausrichtung des amp-Modells für die Verkehrsstationen und die Empfangsgebäude der DB Station&Service AG. In: EI – Der Eisenbahningenieur (2020), Nr. 10, S. 35 – 39

**Summary**

**Forecast of the infrastructure condition of passenger stations**

To map the cause-effect-relationship between the infrastructure quality of DB Station &Service AG's facilities and the budget used for replacement investments as well as maintenance measures, a software tool based on degradation models for different asset classes was developed. Using this software tool, the attainable quality of infrastructure assets can be determined under budget specifications or the required budgets for a target quality.