

Heft 3-4

69. Jahrgang

# Österreichische Zeitschrift für Verkehrswissenschaft – ÖZV

(bis 1989 Verkehrsannalen)

Gedruckt mit Unterstützung unserer Kuratoriumsmitglieder

Medieninhaber und Herausgeber: Österreichische Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft (ÖVG);  
1090 Wien, Kolingasse 13/7, Telefon: +43 / 1 / 587 97 27, Fax: +43/ 1 / 585 36 15

Redaktion:      Chefredakteur:      Sektionschef i. R. Prof. Mag. Dr. Gerhard H. Gürtlich  
                  Redaktionsbeirat:      ao. Univ.-Prof. Dr. Günter Emberger, Univ.-Prof. Dr. Norbert Ostermann,  
  Dr. Karl Frohner, Dr. Karl-Johann Hartig, Florian Polterauer, MBA,  
  Univ.-Prof. Dr. Manfred Gronalt, Univ.-Prof. Dr. Peter Veit  
  alle 1090 Wien, Kolingasse 13/7  
                  Redaktion                   Mag. Thomas Kratochvil

Hersteller:      marketingfabrik E. & F. Gabner GmbH  
                  Landstraßer Hauptstraße 148/1/B1, A-1030 Wien

Bezugsbedingungen:

Der Bezug der Österreichischen Zeitschrift für Verkehrswissenschaft ist an die Mitgliedschaft bei der ÖVG gebunden.

Jahresbeitrag:

Jungmitglieder	€ 18,-
ordentliche Mitglieder (Einzelpersonen)	€ 42,-
fördernde Mitglieder	€ 190,-
Unternehmensmitglieder unter 100 Mitarbeiter	€ 450,-
Unternehmensmitglieder über 100 Mitarbeiter	€ 900,-
Kuratoriumsmitglieder	€ 2.500,-

Darüber hinaus kann die Österreichische Zeitschrift für Verkehrswissenschaft zu einem Kaufpreis von € 13,00 je Einzelheft zuzüglich Versandkosten erworben werden.

Auskünfte erteilt das Sekretariat der ÖVG, 1090 Wien, Kolingasse 13/7,  
Telefon: +43 / 1 / 587 97 27, Fax: +43 / 1 / 585 36 15  
E-Mail: office@oevg.at, Homepage: www.oevg.at

Die Österreichische Zeitschrift für Verkehrswissenschaft erscheint viermal jährlich.

Manuskripte müssen druckfertig, wenn möglich in einem gängigen Textverarbeitungssystem, verfasst sein. Für unverlangt eingesandte Manuskripte kann keine Gewähr übernommen werden. Über die Annahme eines Beitrages entscheidet die Redaktion.

Der Nachdruck von Artikeln ist, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Redaktion gestattet.

Offenlegung gemäß Mediengesetz:

Ziel der Österreichischen Zeitschrift für Verkehrswissenschaft ist es, die Verkehrswissenschaft zu fördern, verkehrswissenschaftliche, -technische und -politische Themen zu behandeln, Lösungen aufzuzeigen sowie neue Erkenntnisse der verkehrswissenschaftlichen Forschung bekannt zu machen.



# Nachwuchsförderung

Peter FALLER

Sehr geehrte Leser\*innen,  
liebe Nachwuchsautor\*innen,

erlauben Sie mir, dass ich meine Freude über die diesjährige Prämierungsfeier und meinen Dank an die ÖVG für das langjährige Engagement auf dem Gebiet der Nachwuchsförderung zum Ausdruck bringe! Die ÖVG blickt inzwischen auf eine bald hundertjährige Geschichte zurück, und sie hat sich in all den Jahren als eine Brückenschlag-Gesellschaft verstanden, nämlich als ein Forum, das dazu dienen soll, im Sachgebiet Transport-Verkehr-Logistik die beiden Bereiche Theorie und Praxis einander näherzubringen. Der Vorteil dieser Annäherung liegt erkennbar auf beiden Seiten: Die Praxis ist mit Sachproblemen konfrontiert; die Wissenschaft besitzt einen umfangreichen Vorrat an Problemlösungsmethoden. Wenn es gelingt, den Informationsaustausch zwischen Theorie und Praxis zu intensivieren, dann erhält die Praxis Zugang zum vorhandenen Methodenvorrat, und zugleich erhalten die Nachwuchskräfte die Möglichkeit, ihr Lehrbuchwissen an ganz konkreten Aufgabenstellungen zu erproben.

Sie sehen, meine Damen und Herren, wie weitblickend die ÖVG mit der seinerzeitigen Schaffung dieses Nachwuchsförderpreises unterwegs war. Die erste Anregung dazu ging – wenn ich mich richtig erinnere – im ÖVG-Vorstand damals von Prof. Dr. Dieter Bökemann (TU Wien) aus. Ich denke, Dieter Bökemann hat sich mit diesem Vorschlag unsern Dank und den aller bisherigen Preisträger und Preisträgerinnen verdient.

Ich verwende hier bewußt das Wort „Preisträger“ – und nicht „Preisgewinner“; denn die hier zu vergebende Auszeichnung soll nicht Assoziationen mit einem Lottogewinn wecken, für den ausschließlich Glück erforderlich wäre. Beim Nachwuchsförderpreis der ÖVG geht es um die Auszeichnung eines sehr respektablen Arbeitspaketes.

Und da wir nun mal im Geburtsland von Ludwig Wittgenstein (1889 – 1926) und Karl Popper (1902 – 1994) leben und arbeiten, ist für uns bei der wissenschaftlichen Arbeit in punkto Aussagenklarheit und Aussagenwahrheit die Latte von vornherein schon recht hoch gelegt. Bei Wittgenstein ist es der Tractatus von 1922; der in Ziff. 4.116 die Aussagenklarheit einfordert, und bei Popper ist es die Klarstellung, dass wissenschaftliche Aussagen generell nur eine vorläufige Wahrheit liefern können, wobei ‚vorläufig‘

meint: bis zum Eintreffen neuer und gegenteiliger Untersuchungsergebnisse! Das sind zwei für das wissenschaftliche Arbeiten ganz elementare Warntafeln.

Die Botschaft dieser beiden Wissenschaftler ist naturgemäß auch für die Nachwuchskräfte alles andere als bequem. Die jungen Leute kommen zunächst einmal mit der Alltagssprache in den Hochschulbereich und müssen dort erkennen, dass die Alltagssprache in punkto Verwendung präziser Begriffe oft nicht vorbildlich ist.

In einer Tageszeitung ist es z.B. möglich, dass in der Schlagzeile auf Seite 1 gemeldet wird, die Stadt X wolle bis 2030 Co<sub>2</sub>-frei sein - und im Artikel selbst ist dann von autofrei die Rede. Solche begrifflichen Unschärfen sind in wissenschaftlichen Arbeiten ein Qualitäts-Manko.

Ähnlich störend ist es, wenn in einer wissenschaftlichen Arbeit für ein und dasselbe Konzept gleichzeitig die Begriffe „autofrei“ und „Fußgängerzone“ verwendet werden. Die beiden Vorstellungen sind zwar ähnlich, aber inhaltlich eben nicht dasselbe.

Geradezu folgenschwer kann es jedoch werden, wenn man in der politischen Praxis die Begriffe gratis und kostenlos für inhaltlich identisch hält – und sie deshalb als austauschbar verwendet. In der Realität setzen Gratisleistungen nahezu immer Produktionsschritte voraus, wobei Kosten anfallen, die von irgend jemand getragen werden müssen. Nur im Schlaraffenland, dem großen Traumgebilde der Menschheit, wo alles Wünschbare im Überfluss vorhanden und auch ohne Anstrengung konsumierbar wäre, lägen dann eben auch Gratisleistungen konsumbereit am Wegesrand.

Die Realität sieht allerdings anders aus. Daher müssen wissenschaftliche Arbeiten, wenn sie in unserer realen Welt etwas bewegen sollen, die vorhandenen Probleme konkret und präzise ansprechen. Wissenschaftliche Aussagen müssen so präzise formuliert sein, dass die Praxis zwecks Umsetzung daraus klare Arbeitsanweisungen erlassen kann.

Bei dem Stichwort „klare Arbeitsanweisungen“ werden wir daran erinnert, dass die Präzision der wissenschaftlichen Sprache auch in der betrieblichen Praxis vorteilhaft ist, weil sie für die

Nachwachskräfte die Aufstiegschancen verbessern kann: Wer in seiner Ausbildungszeit gelernt hat, klare Arbeitsanweisungen zu formulieren, dem kann man getrost die Leitung von Projektgruppen anvertrauen.

Aber die wichtigste Botschaft, die man heute den Nachwuchskräften nahelegen muß, lautet: Bewahren Sie sich vor allem den klaren und realitätsnahen Blick in der Frage, ob Transporte in die Kategorie ‚Luxus‘ oder in die Kategorie ‚Notwendigkeit‘ einzuordnen sind! Vor 200 Jahren hat ein exzellenter Kenner des Verkehrswesens, nämlich der Eisenbahnpionier Friedrich List (1789 -1846), festgestellt, dass Missernten und Hungersnöte in aller Regel nur Teile der Erdoberfläche betreffen; sodaß leistungsfähige Transportsysteme in der Lage seien, mit Hilfslieferungen das Schlimmste zu verhüten. Diese Sichtweise mag im 21. Jahrhundert belächelt werden, da inzwischen der Globus als Ganzes als bedrohte Zone gesehen wird.

Zugleich zeigt aber die in unserer Zeit stattfindende Erkundung galaktischer Sphären in punkto Bewohnbarkeit, dass Transportsysteme für den Homo sapiens nach wie vor zum instrumentalen Kern der Daseinsbewältigung gehören. In zeitlos gültiger Form dürfte dieses Faktum durch den britischen Ökonomen Denis Munby (1919 - 1976) beschrieben worden sein: "There is no escape from transport".

Da wir - laut Munby - dem Transportieren nicht entkommen können, ergibt sich für uns Menschen, die die wir nicht nur mit emotio, sondern auch mit ratio ausgestattet sind, der ganz klare Imperativ, Transporte jeweils so intelligent wie möglich, zugleich aber auch so ressourcenschonend wie möglich zu gestalten!

Die ÖVG als Brückenschlag-Gesellschaft hat sich diesem Imperativ schon immer verpflichtet gefühlt. Ich habe noch in bester Erinnerung, wie bei einem unserer frühen Drei-Länder-Seminare in Innsbruck der Verkehrsplaner der Stadt Bern (Dipl.-Ing. Hoppe) seine Situationsanalyse mit dem markanten Statement eröffnete: „Zu viel Verkehr macht eine Stadt kaputt; zu wenig Verkehr macht sie zu einem Museum. Beides wollen wir nicht!“

Ein richtungweisendes Zitat, mit dem ich meine Anmerkungen nun beenden möchte, weil es zeigt, wie produktiv der Dialog zwischen Theorie und Praxis verlaufen kann, wenn ihm – wie in unserer ÖVG – ein hoher Stellenwert eingeräumt wird. Mein besonderer Dank geht an die Leitungsgremien der ÖVG für die Einrichtung und die Durchführung dieses Nachwuchsförderpreises. Den Nachwuchskräften, die sich das bei diesem Wettbewerb erforderliche Arbeitspaket selbst auferlegt haben, gratuliere ich herzlich und wünsche Ihnen ein großes Quantum des angestrebten beruflichen Erfolges.

**Anmerkung der Redaktion:** Die folgenden Beiträge sind die Kurzfassungen jener Einreichungen zum Peter-Faller-Nachwuchsförderpreis 2022, die es in die engere Auswahl geschafft haben und die im Rahmen der erwähnten Prämierungsfeier im Oktober 2022 vorgestellt wurden.

# Entscheidungsunterstützung für mobile Pflegedienste in urbanen Regionen

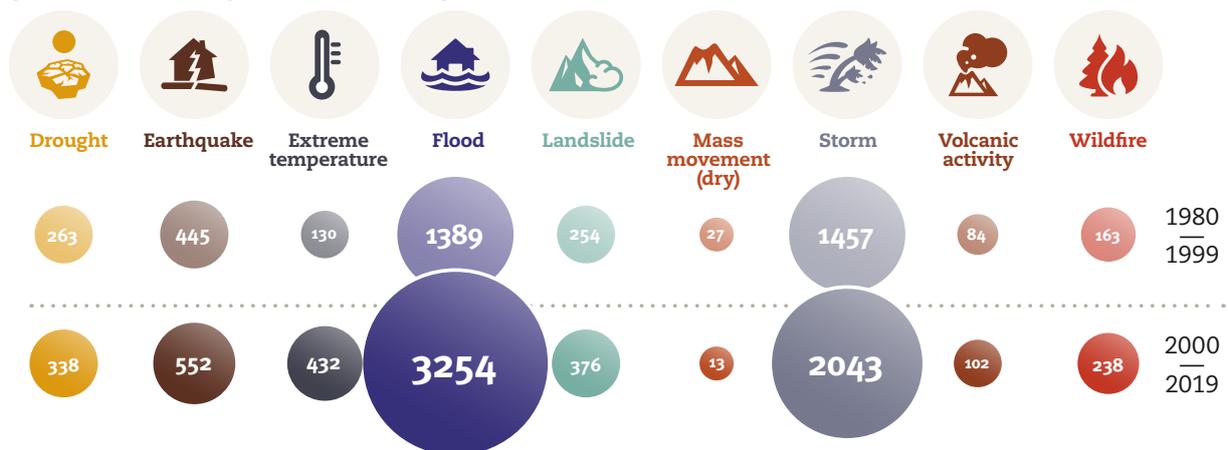
Klaus-Dieter REST

## 1. Hintergrund und Motivation

Dieser Beitrag basiert auf der kumulativen Dissertation mit dem Titel „Decision support for home health care services in urban regions“ (Rest, 2021). Sie beschäftigt sich mit der Optimierung der Einsatz- und Tourenplanung mobiler Pflegedienste, sowohl im Tagesgeschäft als auch im Katastrophenfall, und wurde durch die nachfolgenden Faktoren motiviert.

### 1.1 Steigende Nachfrage nach mobiler Pflege

Der Bedarf nach Pflegedienstleistungen ist kontinuierlich gestiegen und aufgrund des sozialen und demografischen Wandels ist ein weiterer Anstieg zu erwarten. In den OECD-Ländern führen sinkende Geburtenraten in Verbindung mit einer steigenden Lebenserwartung zu einem wachsenden Anteil älterer Menschen an der Gesamtbevölkerung. Der Anstieg ist in der Altersgruppe 80+ besonders hoch. Im Durchschnitt der OECD-Länder wird sich diese Gruppe zwischen 2017 und 2050 mehr als verdoppeln, von 4,6 % auf 10,1 % (OECD, 2019). Trotz der medizinischen Errungenschaften bedeutet ein Anstieg der Lebenserwartung nicht, dass die zusätzlichen Jahre in guter Gesundheit verbracht werden. Mobile Pflegedienste ermöglichen älteren und gebrechlichen Menschen ein selbstbestimmtes Leben in ihrer gewohnten Umgebung. Neben der Kernleistung, der professionellen medizinischen Versorgung im häuslichen Umfeld, bieten Pflegedienstleister ergänzende Leistungen wie die



Pflege sozialer Kontakte, Unterstützung im Alltag, Transportdienste, Vermietung von Geräten und Beratung an. Diese zusätzlichen Leistungen sind oft ebenso wichtig wie die medizinische Versorgung und wirken sich sowohl auf die körperliche als auch auf die geistige Gesundheit der Pflegebedürftigen aus.

### 1.2 Zunahme der Häufigkeit und Schwere von Katastrophen

Pflegebedürftige Menschen, insbesondere solche mit eingeschränkter Mobilität oder medizinischen Bedürfnissen (z.B. Diabetiker, Beatmungsgeräteträger), sind auf kontinuierliche Pflege angewiesen. Unterbrechungen können zu einer ernsthaften Verschlechterung ihres Gesundheitszustands führen. Daher müssen Pflegedienstleister die Kontinuität ihres Betriebs sicherstellen. Hinzu kommt, dass die Zahl der Naturkatastrophen und extremen Wetterereignisse in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen hat. Nach Angaben des Büros der Vereinten Nationen für Katastrophenvorsorge wurden in den letzten zwanzig Jahren 7.348 Naturkatastrophen (ohne biologische Ereignisse) verzeichnet, zwischen 1980 und 1999 hingegen nur 4.212 Ereignisse. Die Gesamtzahl der betroffenen Personen stieg von 3,25 auf 4,03 Milliarden und die Zahl der Todesopfer von 1,19 auf 1,23 Millionen.

Abb. 1 zeigt, wie sehr sich die Häufigkeit der einzelnen Arten von Katastrophen verändert hat. In den letzten zwanzig Jahren verzeichneten die klimabedingten Katastrophen den größten Anstieg. Überschwemmungen und Stürme waren zahlenmäßig die häufigsten Ereignisse, wobei erstere um 1.865 und letztere um 586 zunahmen. Die Zahl der extremen Temperaturereignisse hat sich im gleichen Zeitraum jedoch mehr als verdreifacht (UNDRR, 2020).

Abbildung 1: Anzahl der Katastrophenereignisse nach Art: 1980-1999 vs. 2000-2019 (UNDRR, 2020)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mobile Pflegedienstleister mit mehreren Herausforderungen konfrontiert sind, einer erhöhten organisatorischen Belastung aufgrund der stei-

genden Nachfrage und der Notwendigkeit eines umfassenden Risikomanagements. Wenngleich das System der mobilen Pflege kosteneffizienter als die institutionelle Langzeitpflege ist, so steigt aufgrund der oftmals öffentlichen Finanzierung auch der Kostendruck auf die Dienstleister.

## 2. Problemstellung

Die in dieser Arbeit betrachtete Problemstellung der Optimierung der Touren- und Einsatzplanung der mobilen Pflege hat einen täglichen Planungshorizont und zielt darauf ab, die Besonderheiten urbaner Regionen zu berücksichtigen. Sie basiert auf den Anforderungen des Wiener Roten Kreuzes (WRK). In Rest und Hirsch (2022) wurde die Problemstellung leicht adaptiert und für einen anderen großen Pflegedienstleister in Wien angepasst, der das aus dieser Arbeit resultierende Entscheidungsunterstützungssystem (EUS) mehrere Jahre lang verwendete.

Wie in Rest et al. (2012) dargelegt, unterscheidet sich die mobile Pflege im städtischen Bereich sowohl strukturell als auch operativ von jener in ländlichen Regionen. Im Allgemeinen ist die Nachfrage nach mobilen Diensten in Städten aufgrund des geringeren informellen Pflegepotenzials höher. Außerdem sind die Gesundheitseinrichtungen leichter zugänglich (höheren Dichte an Einrichtungen, bessere Verkehrsinfrastruktur). Dies führt zu einer geringeren Nachfrage nach qualifizierten (z.B. Wundversorgung), aber zu einer erhöhten Nachfrage nach unterstützenden Leistungen (z.B. Haushaltsführung), wobei letztere im Durchschnitt mehr Zeit in Anspruch nehmen. Der bedeutendste Unterschied bei der Einsatzplanung mobiler Pflegekräfte ergibt sich aus der besseren Verkehrsinfrastruktur. Während in ländlichen Regionen fast ausschließlich das Auto genutzt wird, kommt es in städtischen Gebieten aufgrund von Staus und Parkplatzmangel nur selten zum Einsatz. Die Mehrheit der mobilen Pflegekräfte in Wien verwendet somit öffentliche Verkehrsmittel, während einige auch Fahrräder nutzen oder gänzlich zu Fuß gehen, wenn sich in ihrem Einsatzgebiet genügend KlientInnen befinden, z.B. in Wohnanlagen.

Eine realitätsnahe Planung mit öffentlichen Verkehrsmitteln setzt die Berücksichtigung von Multimodalität und tageszeitabhängigen Fahrzeiten voraus. Mehrere öffentliche Verkehrsmittel sind notwendig, um vom Ausgangspunkt zum Zielort zu gelangen. Die unterschiedlichen Abfahrtsintervalle sowie die mitunter abweichende Streckenführung einer Linie führen über den Tag hinweg zu unterschiedlichen Fahrzeiten zwischen zwei Orten.

In der wissenschaftlichen Literatur wird die zugrundeliegende Problemstellung als Rich Vehicle Routing Problem (VRP) bezeichnet, d.h. als ein Tourenplanungsproblem mit einer Vielzahl an komplexen Nebenbedingungen. Als Basis dient dabei ein zeitabhängiges VRP mit Zeitfenstern, das um die spezifischen Anforderungen der mobilen Pflege erweitert wurde. In Rest und Hirsch (2016) wird eine mathematische Formulierung des Problems in Form eines gemischt-ganzzahligen linearen Programms (MILP) vorgestellt. Nachfolgend wird das Problem anhand der Charakteristika der KlientInnen und der Pflegekräfte verbal beschrieben:

Die KlientInnen benötigen eine oder mehrere Dienstleistungen (Einsätze) pro Tag und jeder Einsatz

- muss von einer geeigneten und angemessen qualifizierten Pflegekraft ausgeführt werden (z.B. Qualifikationsniveau, Sprachkenntnisse, Ablehnung durch KlientIn, Geschlecht, Allergien, etc.).
- muss entweder einer bevorzugten Pflegekraft zugewiesen werden, oder alle Einsätze des Klienten (pro Qualifikationsniveau) müssen derselben Pflegekraft zugeteilt werden.
- muss innerhalb des vorgegebenen Zeitfensters beginnen.
- hat eine vordefinierte Einsatzdauer, die nicht verkürzt werden darf.
- muss, falls erforderlich, mit anderen Einsätzen zeitlich abgestimmt werden (z.B. Mindest- bzw. Maximalabstände, vorgegebene Reihenfolge).
- muss, falls erforderlich, gemeinsam mit einem Einsatz eines anderen Klienten (z.B. LebenspartnerIn) durchgeführt werden.

Die Pflegekräfte

- müssen Arbeitszeitbeschränkungen einhalten (z.B. früheste/späteste und minimale/maximale Arbeitszeiten).
- müssen bei Überschreitung einer definierten Arbeitszeit Pausen einlegen.
- dürfen höchstens zwei Dienste pro Tag arbeiten („geteilter Dienst“).
- dürfen den vorgegebenen Grenzwert für Wartezeiten nicht überschreiten.
- müssen eines der verfügbaren Verkehrsmittel benutzen (d.h. ÖPNV, Auto, Fahrrad, zu Fuß).

- müssen ihren Dienst entweder am Stützpunkt oder direkt am Ort des ersten/letzten Einsatzes beginnen/beenden.
- dürfen, das für alle Pflegekräfte festgelegte Gesamtlimit für Überstunden nicht überschreiten.
- müssen eine ausgeglichene Arbeitszeit im Vergleich zu den anderen Pflegekräften haben (relativ zu ihrer Soll-Arbeitszeit).

Das Ziel der Optimierung liegt in der Minimierung der Fahr- und Wartezeiten, sowie der Maximierung der Zufriedenheit der KlientInnen und Pflegekräfte. Die Zufriedenheit fließt über die Einhaltung der weichen Nebenbedingungen in die Zielfunktion ein. Maßgeblich für die Zufriedenheit der KlientInnen sind dabei vor allem die Einhaltung ihrer Präferenzen bzgl. der zugewiesenen Pflegekraft und der Besuchszeiten. Auf Seiten der Pflegekräfte sind das Ausmaß der Überstunden sowie die Anzahl geteilter Dienste die wichtigsten Kriterien.

### 3. State of the Art

Die zugrundeliegende Dissertation befasst sich mit zwei Forschungsbereichen der mobilen Pflege: Risikoanalysen des Systems der mobilen Pflege und Entscheidungsunterstützung für die Planung mobiler Dienste, sowie die Kombination dieser beiden Bereiche.

#### 3.1 Risikoanalysen in der mobilen Pflege

Mobile Pflegedienste sind nicht nur ein wichtiger Bestandteil des Gesundheitswesens, sie bieten einzigartige Möglichkeiten zur Unterstützung bei der Bewältigung von Katastrophe, sowohl vor als auch während einem Ereignis. Naturgemäß erreichen sie mit den Pflegebedürftigen bereits eine der vulnerabelsten Gruppen in der Bevölkerung. Andererseits sind Pflegedienstleister selbst anfällig für Störungen in ihrem Betrieb. Es handelt sich um komplexe Systeme, deren Funktionalität vom reibungslosen Zusammenspiel ihrer kritischen Komponenten abhängt. Um die Bedürfnisse der KlientInnen selbst bei Katastrophen und in Notsituationen erfüllen zu können, müssen sich die Anbieter entsprechend vorbereiten.

In Bezug auf Risikoanalysen befasst sich der Großteil der wissenschaftlichen Literatur mit den Lessons Learned einzelner Ereignisse. All-gemeingültige Analysen im Bereich der Pflege sind selten. Doherty (2004) unterstreicht die Bedeutung eines ganzheitlichen Ansatzes, bei dem neben der umfassenden Bewertung der Gefährdungen auch Schulungen und die Beteiligung der Gemeinschaft vorgesehen sind. Die Autorin verweist dabei auf verschiedene Analysemodelle

und wirft Fragen auf, die von den Pflegedienstleistern beantwortet werden sollten. Rodriguez und Long (2006) schlagen ein auf Tabellenkalkulationen basierendes Instrument zur Bewertung der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses, des Risikos für die PatientInnen und des Ausmaßes der Notfallvorsorge vor. Außerdem listen sie mögliche Bedrohungen auf und geben Anregungen, was bei der Vorbereitung auf Katastrophen zu beachten ist. Der Komplexität des Systems der mobilen Pflege sowie der Katastrophen wird dabei jedoch wenig Aufmerksamkeit zuteil.

#### 3.2 Entscheidungsunterstützung in der mobilen Pflege

Die Optimierung mobiler Pflegedienste ist ein sich schnell entwickelndes Forschungsgebiet, dass gerade in den letzten Jahren viel Aufmerksamkeit erhielt. Es existieren bereits mehrere umfassende Literaturübersichten zu diesem Themenbereich, wobei Grieco et al. (2021) und Mascio et al. (2021) zu den aktuellen zählen. Sie zeigen verschiedene herausfordernde Optimierungsprobleme mit einer großen Bandbreite an Nebenbedingungen und Zielsetzungen auf (z.B. Synchronisation, Kontinuität der Betreuung, Unsicherheiten).

Es gibt jedoch nur wenige Arbeiten, die sich mit der Einsatzplanung in urbanen Gebieten befassen und dabei öffentliche Verkehrsmittel und/oder zeitabhängige Fahrzeiten berücksichtigen. Meines Wissens ist Rest und Hirsch (2016) die erste Publikation, die diese Aspekte vollständig abdeckt. In Hiermann et al. (2015) können Pflegekräfte entweder öffentliche Verkehrsmittel oder das Auto benutzen. Obwohl die Fahrzeiten auf Schätzungen eines Verkehrsdienstleisters und auf Floating Car Data beruhen, sind die Fahrzeiten nicht von den tatsächlichen Abfahrtszeiten abhängig. Eine Kombination von Constraint Programming mit einer von vier implementierten Metaheuristiken wird verwendet, um reale Instanzen eines Pflegedienstleisters in Wien zu lösen. Szander et al. (2018) befassen sich mit Nachhaltigkeitsaspekten der städtischen Einsatzplanung. Sie vergleichen die Effizienz von Pflegekräften bei Verwendung von Bussen, E-Bikes und Autos. Der vorgestellte Lösungsansatz basiert auf Branch & Bound wobei die Problemstellung in mehrere Teilbereiche aufgespalten wird. Wenngleich die Fahrzeiten für Busse tageszeitabhängig sind, wird auf deren Modellierung nicht eingegangen.

#### 3.3 Entscheidungsunterstützung in der mobilen Pflege im Katastrophenfall

Es gibt nach wie vor nur wenige Publikationen, die die Auswirkungen von Katastrophen auf die

Einsatzplanung der mobilen Pflege untersuchen. Trautsamwieser et al. (2011) präsentieren ein MILP und eine Variable Neighborhood Search Metaheuristik zur Unterstützung des Routings von Pflegekräften. Dabei wird angenommen, dass alle Pflegekräfte mit dem Auto fahren. Die Auswirkungen von Naturkatastrophen werden anhand einer Sensitivitätsanalyse untersucht. Außerdem wurden ein reales Hochwasser und offizielle Hochwasserrisikoszenarien analysiert. Guinet et al. (2017) entwickelten ein MILP, um zu entscheiden, welche KlientInnen bei hydrologischen Katastrophen evakuiert, und welche Pflegekräfte in den nicht evakuierten Gebieten eingesetzt werden sollen. In Barkaoui et al. (2018) wird ein verbessertes Modell präsentiert, das auf eine dynamische risikobasierte Clusterung setzt. Allerdings befasst sich keine der beiden Publikationen mit der konkreten Tourenplanung der Pflegekräfte.

#### 4. Methoden und Ergebnisse

Zur Unterstützung der täglichen Planung von Pflegekräften in städtischen Regionen wurden in Rest und Hirsch (2016) ein neues MILP sowie drei Tabu Search (TS) Metaheuristiken entwickelt. Neben den spezifischen Anforderungen der mobilen Pflege (siehe Abschnitt 2) liegt der Schwerpunkt auf der Planung mit öffentlichen Verkehrsmitteln.

##### 4.1 Modellierung der Wegzeiten

Zur korrekten Abbildung eines ÖPNV-Netzes, muss die Modellierung nicht nur die verschiedenen Verkehrsmittel (d.h. Bus, U-Bahn, Zug, Straßenbahn) berücksichtigen, sondern auch das Umsteigen zwischen den verschiedenen Linien ermöglichen (z.B. durch Warten bei einer Haltestelle, oder Gehen zu einer naheliegenden Haltestelle). Ein diskretes Zeitmodell wird in Kombination mit einem Algorithmus verwendet, der dem Prinzip der Dynamischen Programmierung folgt. Dieser basiert auf den Ideen von Chabini und Dean (1999) und ermöglicht eine effiziente Berechnung der, für die Optimierung erforderlichen tageszeitabhängigen Fahrzeitmatrizen. Zusätzlich zu den öffentlichen Verkehrsmitteln können die Pflegekräfte auch ein Auto oder Fahrrad benutzen oder zu Fuß gehen. Diese Fahrzeiten werden als tageszeitunabhängig angenommen und basieren auf öffentlich verfügbaren OpenStreetMap Daten, da diese gerade in urbanen Regionen zahlreiche informelle Wege (z.B. durch Parks und Wohnhausanlagen) beinhalten.

##### 4.2 Optimierung der Einsatzplanung

Um praxisrelevante Instanzen in akzeptabler Zeit zu lösen, wurden drei TS Metaheuristiken ent-

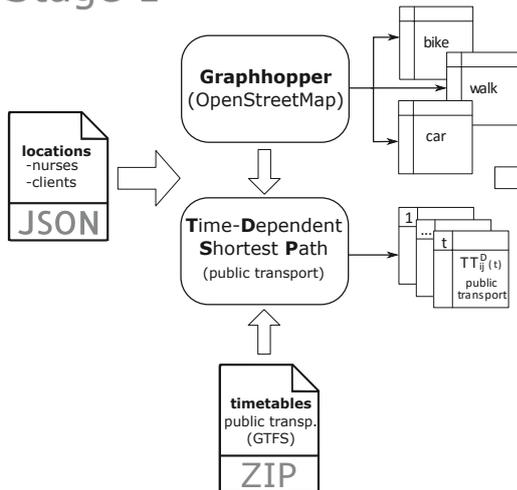
wickelt. Ausgehend von einer Startlösung werden durch das Verschieben eines Einsatzes von einem Dienst zu einem anderen Dienst neue Lösungen generiert. Das Einfügen der Einsätze folgt dem Prinzip des „Best Insertion“, d.h. an jener Stelle, die den geringsten Zielfunktionswert verursacht. Die Bewertung der Lösung erfolgt mittels einer gewichteten Zielfunktion. Diese beinhaltet neben dem Optimierungsziel (z.B. Fahr- und Wartezeiten), den gewichteten Verletzungen der weichen Nebenbedingungen (z.B. Arbeitszeitverletzungen, Präferenzen) auch Strafkosten mit dynamisch adaptierten Gewichtungen, die den Suchverlauf steuern. Durch verschiedene Gedächtnisstrukturen (z.B. Tabu Liste) wird verhindert, dass die Optimierung in lokalen Optima hängen bleibt.

Eine der größten Herausforderungen beim zeitabhängigen Routing ist die Optimierung der Startzeiten der Touren. Aufgrund der Komplexität erfolgt dies normalerweise in einer Nachoptimierungsphase, indem die Startzeiten in kleinen Schritten variiert werden. Im Gegensatz dazu wurde ein binärer Suchansatz integriert, der bei jeder Bewertung einer Lösung zur Anwendung kommt.

Die drei entwickelten TS-Varianten unterscheiden sich in den Nachbarschaftsstrukturen und wurden entwickelt, um dem hohen Rechenaufwand der Startzeitoptimierung zu begegnen. Während die erste Variante (TS) in jeder Iteration die gesamte Nachbarschaft durchsucht, verwendet die zweite (TSAS) eine eingeschränkte Nachbarschaft mit fester Größe und die dritte (TSDYN) eine dynamisch angepasste Nachbarschaft. Dabei wird eine Schätzung des Zielfunktionswerts verwendet, um nur vielversprechende Regionen der Nachbarschaft zu durchsuchen.

In Rest und Hirsch (2022) wurden die Algorithmen zu einem marktfähigen EUS weiterentwickelt, welches als Java-basiertes RESTful Webservice konzipiert wurde. Es ist hochgradig skalierbar, leicht an bestehende Systeme anzubinden, und hinsichtlich seiner Nebenbedingungen und der Zielfunktion sehr flexibel. So kann die Planung individuell an die Bedürfnisse und Präferenzen der jeweiligen DisponentInnen angepasst werden. Abb. 2 zeigt die Struktur des EUS, wobei der zweistufige Aufbau nicht nur für eine beschleunigte Berechnung der Einsatzpläne sorgt, sondern auch dem Datenschutz dient. Da in Stufe 1 neben den vorberechneten Fahrzeiten keine weiteren Geodaten gespeichert werden, lässt sich kein direkter geografischer Bezug zu den sensiblen Daten der Optimierung in Stufe 2 herstellen.

## Stage 1



## Stage 2

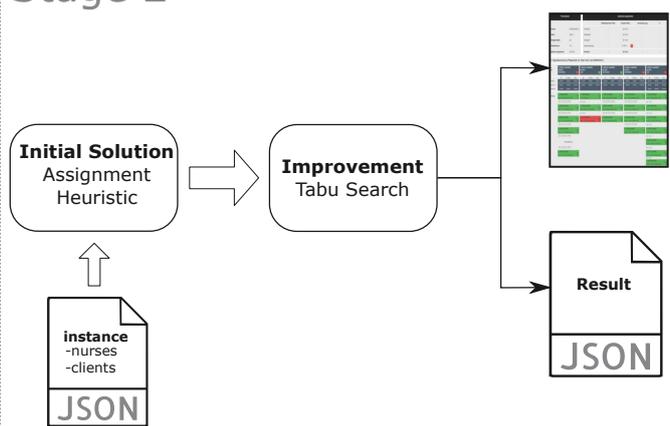


Abbildung 2: Struktur des Entscheidungsunterstützungssystem (Rest und Hirsch, 2022)

### 4.3 Numerische Analysen zur Optimierung der Einsatzplanung

Um die Potentiale der entwickelten Algorithmen zu ermitteln, wurden umfassende numerische Analysen mit realen Daten des WRK durchgeführt. Insgesamt wurden 20 Instanzen mit bis zu 202 Einsätzen und 46 Pflegekräften verwendet, wobei zwei Einsatzszenarien betrachtet wurden. Das erste orientiert sich an den vom WRK vordefinierten Rahmendienstplänen der Pflegekräfte. Diese definieren die Anfangs- und Endzeiten der Pflegekräfte. Das zweite Szenario basiert auf flexible Arbeitszeiten, die sich durch die tägliche Soll-Arbeitszeit der Pflegekräfte ergeben. Der Vergleich der Algorithmen in Abb. 3 zeigt, dass der TS im Dienstplanszenario deutlich überlegen ist. Bei flexiblen Arbeitszeiten übertrifft der TSDYN die anderen Algorithmen. Dies liegt daran, dass eine weitere Einschränkung der Nachbarschaft in einem ohnehin schon spärlichen Lösungsraum zu kurzfristig ist und somit zu schlechteren Lösungen führt. Andererseits bietet es bei großen Lösungsräumen eine zusätzliche Orientierungshilfe, um die Suche auf vielversprechende Regionen zu lenken.

Im Vergleich mit der tatsächlichen Planung des WRK zeigt sich, dass die entwickelten Algorithmen die Einsatzplanung deutlich verbessern können. Mit vordefinierten Dienstplänen sind durchschnittliche Einsparungen von 41,53% (TS) erreichbar und ohne diese, noch höhere Einsparungen von 51,08 % (TSDYN). Die detaillierten Ergebnisse sind in Tab. 1 aufgeführt. Ein Teil der Einsparungen ist dabei auf die deutliche Reduktion der geteilten Dienste zurückzuführen (Rest und Hirsch, 2016).

### 4.4 Risikoanalysen in der mobilen Pflege

Risikoanalysen wurden durchgeführt, um Einblicke in das komplexe System der mobilen Pflege zu erhalten und die Auswirkungen verschiedener Katastrophen zu analysieren. Ausgewählte Katastrophen (Epidemien, Stromausfälle, Hitzewellen und Überschwemmungen) werden in Rest und Hirsch (2022) mit Causal-Loop-Diagrammen visualisiert, um deren Kaskadeneffekte und Feedbackschleifen darzustellen.

In Rest und Hirsch (2015) wurde mit den entwickelten Algorithmen eine Szenario-Analyse durchgeführt. Im Fokus stand dabei die Ermittlung der Einsatzgrenzen der Pflegekräfte der jeweiligen Gebiete. Abb. 4 zeigt für wie viele der

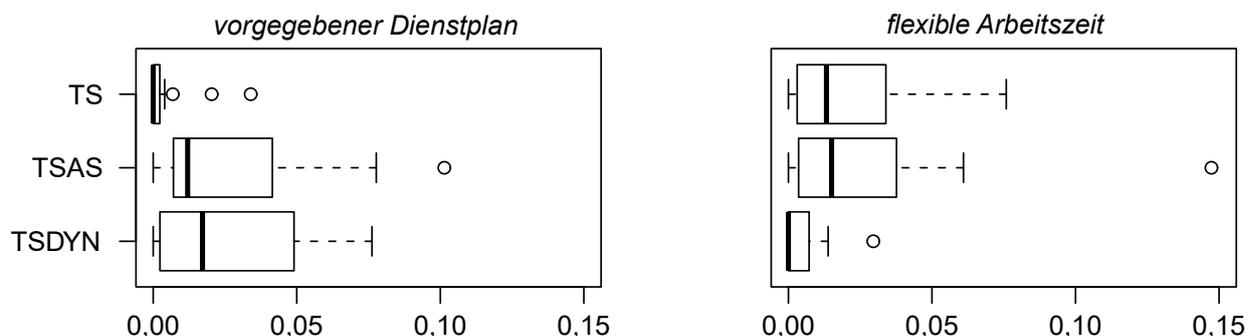


Abbildung 3: Abweichungen jeder TS-Version von der besten gefundenen Lösung (Rest und Hirsch, 2016)

jeweils 10 Instanzen innerhalb von 5 Minuten zulässige Lösungen berechnet werden konnten. In den Szenarien wurden nicht nur die Anzahl der Einsätze und die Einsatzzeiten in 5 %-Schritten erhöht, sondern auch die Auswirkungen der einzelnen Verkehrsmittel betrachtet.

	vorgegebener Dienstplan			flexible Arbeitszeit		
	TS	TSAS	TSODYN	TS	TSAS	TSODYN
I08	-37,78	-37,04	-34,67	-50,94	-50,74	-51,09
I09	-29,82	-29,13	-28,71	-46,19	-46,82	-46,19
I10	-40,68	-38,20	-40,85	-56,15	-55,94	-57,37
I11	-51,46	-51,10	-47,76	-59,22	-58,22	-59,91
I12	-40,79	-34,78	-38,00	-52,03	-52,58	-52,49
I13	-49,25	-48,83	-48,88	-54,16	-53,93	-54,49
I14	-48,85	-47,49	-48,47	-57,79	-56,30	-57,87
I15	-61,06	-60,81	-59,61	-65,31	-64,02	-65,18
I16	-37,66	-34,61	-37,40	-40,59	-39,86	-39,95
I17	-45,72	-41,74	-45,94	-51,85	-51,67	-52,54
I18	-34,85	-33,51	-34,81	-38,70	-37,60	-38,70
I19	-35,31	-35,25	-34,12	-43,99	-42,04	-44,16
I20	-26,63	-23,84	-22,97	-39,96	-43,55	-44,06
mean	-41,53	-39,72	-40,17	-50,53	-50,25	-51,08
stdv	9,50	10,02	9,79	8,20	7,83	8,04

Tabelle 1: Abweichung von der tatsächlichen Planung beim WRK [in %] (Rest und Hirsch, 2016)

Numerische Analysen wurden auch in Bezug auf die Auswirkungen der COVID-19 Pandemie durchgeführt. Mit Hilfe des EUS wird in Rest und Hirsch (2022) die Planung vor und während Lock-downs im Frühling 2020 verglichen, da der ÖPNV während dieser Zeit zurückgefahren wurde. Dies führte zu einer durchschnittlichen Erhöhung der Reisezeiten (inkl. Wartezeiten) und Überstunden von 6,6 %. In den Fällen, in denen der Anteil des Pkw-Verkehrs am Modal Split gering war, kam es jedoch zu einem Anstieg von bis zu 18 %. Darüber hinaus wurden Berechnungen durchgeführt, um die durchschnittlichen Überstunden und Verspätungen der Pflegekräfte zu vergleichen, wenn sie den aktuellen Modal Split (d.h. eine Mischung aus öffentlichen Verkehrsmitteln und Autos), nur Autos, Fahrräder nutzen oder zu Fuß unterwegs sind.

### 5. Diskussion und Ausblick

Angesichts der Zunahme der Nachfrage nach mobiler Pflege und der Häufigkeit klimabedingter Katastrophen benötigen Pflegedienstleister Unterstützung, um diese beiden Herausforderungen zu bewältigen. Ältere und pflegebedürftige Menschen sind von Katastrophen besonders betroffen. Wie in Rest und Hirsch (2022) dargelegt, hat die COVID-19 Pandemie die Abhängigkeiten und Verwundbarkeiten moderner Gesellschaften offengelegt. Die Risikoanalysen geben Einblicke in das komplexe System der mobilen Pflege und zeigen, wie es von verschiedenen Katastrophen betroffen ist. Das vorgestellte EUS und seine Weiterentwicklung können einen wesentlichen

jobs \ time	+ 0 %				+ 5 %				+ 10 %				+ 15 %				+ 20 %				
G <sub>1</sub>	+ 0 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	+ 5 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	+ 10 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	+ 15 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	+ 20 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
G <sub>2</sub>	+ 0 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	+ 5 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	+ 10 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	+ 15 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	8	8	10	6	0	
	+ 20 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	9	9	10	8	1	1	10	0
G <sub>3</sub>	+ 0 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	+ 5 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	0	0	10	0	0	
	+ 10 %	10	10	10	10	10	10	10	10	5	5	10	2	0	0	10	0	0	0	3	0
	+ 15 %	9	8	10	8	2	1	10	1	0	0	10	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	+ 20 %	2	1	10	1	0	0	9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G <sub>4</sub>	+ 0 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	+ 5 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	+ 10 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	+ 15 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	+ 20 %	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	10	6	0	0	10	0

Abbildung 4: Anzahl lösbarer Instanzen für jedes Szenario bei zunehmender Anzahl an Aufträgen und Einsatzzeiten (Ausschnitt aus Rest und Hirsch, 2021)

Beitrag dazu leisten, mobile Pflegedienste bei der Erhöhung ihrer Resilienz zu unterstützen. Es kann in mehreren Phasen des Katastrophenmanagement-Zyklus eingesetzt werden. Durch die Optimierung der täglichen Einsatzplanung kann es sowohl für die Kapazitätsanalyse und -planung (Vorbereitungsphase) als auch für die Gewährleistung eines möglichst effizienten Einsatzes des verfügbaren Personals im Katastrophenfall (Reaktionsphase) genutzt werden.

Die zunehmende Abhängigkeit von der IT-Infrastruktur ist jedoch potenziell zweischneidig, wie die Analyse bei Stromausfällen zeigt. Darüber hinaus hängt die Genauigkeit der Entscheidungshilfe von der Qualität der zugrunde liegenden Daten ab. Im Katastrophenfall können Verfügbarkeit oder Qualität der Daten unzureichend sein. Derzeit verwendet das EUS frei verfügbare Daten, die von Google bereitgestellt oder von der OpenStreetMaps Community gesammelt werden. Die Verwendung solcher Daten erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass im Falle einer Katastrophe routingfähige Karten zur Verfügung stehen. Darüber hinaus könnten Fernerkundungstechnologien zur automatischen Datenerfassung eingesetzt werden.

Obwohl die Pflegekräfte bereits stark auf öffentliche Verkehrsmittel angewiesen sind, wird dies in der wissenschaftlichen Literatur kaum berücksichtigt. Der gesamte Sektor der Langzeitpflege erlebt derzeit einen Mangel an Pflegekräften, und die mobile Pflege ist davon besonders betroffen. Die Arbeit ist nicht nur körperlich und geistig anstrengend, sondern wird durch die Reisetätigkeit und die unregelmäßigen Arbeitszeiten zusätzlich erschwert. Durch das entwickelte EUS werden die Pflegedienstleister bei ihrer täglichen Planung unterstützt. Das flexible Design erleichtert es, die oft widersprüchlichen Ziele mit den individuellen Bedürfnissen der DisponentInnen, der Pflegekräfte und der KlientInnen zu vereinbaren. Dies führt nicht nur zu einem effizienteren Einsatz der Pflegekräfte, sondern beschleunigt auch den Planungsprozess selbst.

Allerdings gibt es zahlreiche interessante Wege zur Erweiterung der vorgestellten Forschung. Künftige Arbeiten sollten sich mit den stochastischen und dynamischen Aspekten der mobilen Pflege befassen. In der aktuellen Arbeit wird davon ausgegangen, dass die Einsatzzeiten fix sind, die weder über- noch unterschritten werden. In Wirklichkeit hängen diese von der Situation vor Ort ab, insbesondere vom Gesundheitszustand der KlientInnen. Außerdem können aufgrund der zeitabhängigen Fahrzeiten kleine Abweichungen zu großen Störungen in der Einsatzplanung führen. Aufgrund der kurzen Berechnungszeiten

kann das EUS zwar zur Umplanung genutzt werden, in der Regel ist es jedoch wünschenswert, die Anpassung an die neue Situation mit möglichst wenigen Änderungen vorzunehmen. Dies kann jedoch mit den derzeitigen Algorithmen nicht garantiert werden. Zwei Forschungsrichtungen sind hierbei denkbar: a) Berechnung robuster Pläne durch Einbeziehung von Unsicherheiten und b) die Entwicklung von Algorithmen für eine schnelle Umplanung.

#### Literaturverzeichnis:

1. Chabini I. und Dean B. (1999) Shortest path problems in discrete-time dynamic networks: Complexity, algorithms, and implementations. Technical report, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
2. Doherty M. (2004) An emergency management model for home health care organizations. *Home Health Care Management & Practice*, 16(5):374–382, DOI: 10.1177/1084822304264610.
3. Grieco L., Utley M. und Crowe S. (2021) Operational research applied to decisions in home health care: A systematic literature review. *Journal of the Operational Research Society*, 72(9):1960–1991, DOI: 10.1080/01605682.2020.1750311.
4. Hiermann G., Prandtstetter M., Rendl A., Puchinger J. und Raidl G. R. (2015) Metaheuristics for solving a multimodal home-health-care scheduling problem. *Central European Journal of Operations Research*, 23(1):89–113, DOI: 10.1007/s10100-013-0305-8.
5. Mascolo M. D., Martinez C. und Espinouse M.-L. (2021) Routing and scheduling in home health care: A literature survey and bibliometric analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 158:107255, DOI: 10.1016/j.cie.2021.107255.
6. OECD (2019). *Health at a Glance 2019: OECD Indicators*. OECD Publishing, Paris, DOI: 10.1787/4dd50c09-en.
7. Rest K.-D. (2021) *Decision support for home health care services in urban regions*. Dissertation, Universität für Bodenkultur Wien. <https://permalink.obvsg.at/bok/AC16424128>
8. Rest K.-D. und Hirsch P. (2015). Supporting urban home health care in daily business and times of disasters. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3):686–691, DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.162.

9. Rest K.-D. und Hirsch P. (2016). Daily scheduling of home health care services using time-dependent public transport. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 28(3):495–525, DOI: 10.1007/s10696-015-9227-1.
10. Rest K.-D. und Hirsch P. (2022). Insights and decision support for home health care services in times of disasters. *Central European Journal of Operations Research*, 30:133–157, DOI: 10.1007/s10100-021-00770-5.
11. Rest K.-D., Trautsamwieser A. und Hirsch P. (2012). Trends and risks in home health care. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 2(1):34–53, DOI: 10.1108/20426741211225993.
12. Rodriguez D. und Long C. O. (2006) Emergency preparedness for the home healthcare nurse. *Home Healthcare Nurse*, 24(1):20–27, DOI: 10.1097/00004045-200601000-00006.
13. Szander N., Ros-McDonnell L., De-la-Fuente-Aragón M. und Vodopivec R. (2018) Sustainable urban homecare delivery with different means of transport. *Sustainability*, 10(2):398, DOI: 10.3390/su10020398.
14. UNDRR (2020). The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019). UN Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, <https://www.undrr.org/publication/human-cost-disasters-2000-2019>.

# Life Cycle Assessment of Transport Infrastructure.

## A Comparative Analysis of Transport Infrastructure

Georg RESCH

### 1. Introduction

A comparison of the emissions of individual modes of transport is usually limited to the emissions of vehicle operation. In order to create a holistic picture, it is necessary to consider not only the emissions from vehicle operation, which are sufficiently well known, but also the emissions that occur during the life cycle of the operating vehicles and the infrastructure.

A life cycle assessment (LCA) allows taking into account the environmental impacts which arise during the entire life cycle of a product. This includes all processes, ranging from the extraction of raw materials, over production and use to the disposal of the products at the end of their service life. This provides information regarding the environmental impact of individual products up to large systems.

The majority of existing life cycle assessments concerning the infrastructure provision of individual modes of transport are difficult to compare with each other. This is mainly due to the different assumptions made, the different geographical conditions considered and the respective calculation methods.

In this work, the environmental impacts of the infrastructure provision of the transport modes road and rail are considered. The aim of this work is to review and examine existing literature for its comparability within one mode of transport as well as against each other. Subsequently, life cycle assessments for segments of the Austrian rail and road network will be prepared. It should be noted that the comparisons which have been drawn reflect only a certain part of the aforementioned systems. For this reason, the comparisons made should not be understood as holistic comparisons of the transport modes. They rather represent a first step towards a holistic comparison.

### 2. Analysis of Considered Literature

Findings of the literature research show that life cycle assessments of the infrastructure of different modes of transport have been carried out, but that it is difficult to compare them with each other. Different assumptions, calculation methods and other boundary conditions lead to incomparability. Furthermore, it can be said that more life cycle assessments have been carried

out for the rail mode than for the road mode of transport. Most of the publications consider specific line sections in their analysis and do not provide statements on larger interconnected networks. In the rail sector, most assessments deal with high-speed lines. For studies that look at both, rail infrastructure and road infrastructure, it should be mentioned that analyses have been conducted for both modes, however, they have not been put into context with each other and no comparisons between them have been drawn. The majority of the considered publications deals solely with CO<sub>2</sub> emissions and do not include other impact indicators in the analyses.

Despite the fact that a large number of studies has already been carried out regarding life cycle emissions of railway lines, the results of the studies considered in this paper are difficult to reproduce and have not been produced yet in a particularly transparent manner. This circumstance complicates drawing conclusions about the emissions of infrastructure components from this data. Only if detailed information on the characteristics of the line, the applied traffic performance, the calculation method and other assumptions are available, a proper comparison between the studies can be conducted.

A comparison of the data is even more difficult if there is no information on the track type. The determination of the used superstructure type is not possible in some studies. Additionally, it is not clearly defined in every study, whether tunnels are analysed as single or double-track tunnels. In order to enable a comparison of emission data at the component level in future, some points need to be clearly defined in an LCA. These are explained in the following subchapters and recommendations about their contents are given.

#### 2.1 Goal of the Study

Due to the fact that all further steps of a life cycle assessment are based on the objective, a clear definition of it is of utmost importance. The comparability of the results with outcomes of other studies depends to a significant extent on it. The definition of the objective is also strongly reflected in the choice of the functional unit of a study. A comparison between different studies can ultimately only be made between studies with the same or very similar functions. A conversion of the functional unit via transport ser-

vices, as carried out in this work, requires their exact knowledge.

An important issue for the subsequent traceability of the made calculations is a description of the system considered in the study in question. This can simply be a short list with the basic data such as lengths, cross-sections and service life of the respective components. Cross-sections of the considered components should be attached for illustration. Such a description facilitates the apprehension of the analysis. Furthermore, basic characteristics of the system, such as the type of superstructure or the design and number of tracks of bridges and tunnels, should be inclu-

A combination of life cycle phases, which can often be found in the considered studies, is not recommended. Combining these phases limits comparability.

#### 2.4 Considered Activities

A wide variety of processes can, of course, be taken into account in the individual life cycle phases. To ensure a high degree of transparency and reproducibility, the considered processes should be described. Figure 1 shows a simple example of such a list of the processes which are taken into consideration. Basically, such a trivial description is sufficient to depict the significant processes.

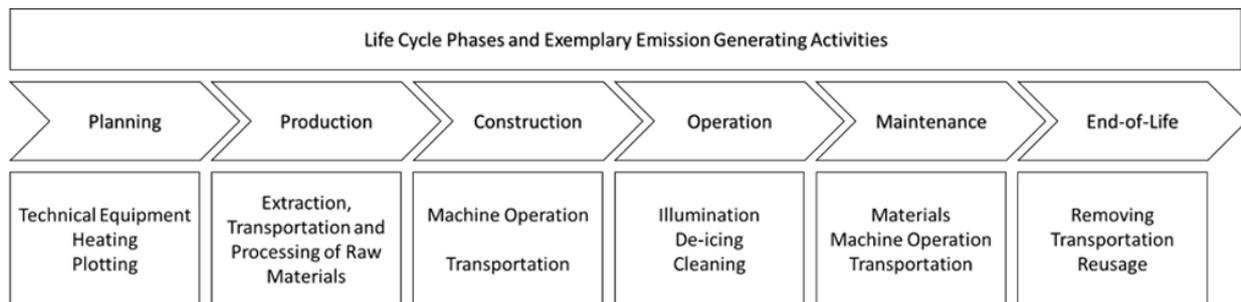


Figure 1: Life cycle phases and included processes

ded. In some of the studies considered in this work, it is not even clearly described how many tracks are taken into account.

Accurate knowledge of the transport service on a route is also crucial here, otherwise the results can be immensely distorted. For planned construction projects, the transport performance is an estimate and depends on the planned demand in the project area. Therefore, robust data is required for the most accurate calculation.

In some of the studies considered in this work, traffic performance has to be researched. For a good reproducibility of the study results, at least the sources of this data should be provided in the studies.

#### 2.2 System Boundaries

Different LCAs concerning different modes of transport, but also those within one mode, can only be compared in a meaningful way if the system boundaries of the studies are defined in the same or at least in a similar way.

#### 2.3 Life Cycle Phases

In order to achieve better comparability and better knowledge of the occurrence of emissions during the life cycle, a distinction should be made between different life cycle phases. Even if the end-of-life and planning phases are not taken into account due to a lack of data, at least the construction, operation and maintenance phases should be distinguished.

#### 2.5 Service Life

Due to various circumstances, the lifetimes of components differ from case to case. This depends on the purpose of the study and leads to differentiated maintenance activities. However, the description of the components considered in the study should also include a list of the applied service lives. This is necessary to be able to argue in a comparison with other studies, or to be able to convert the data. A reasonable service life based on apparent boundary conditions has to be considered and transparently documented.

#### 2.6 Component-based Consideration

The findings of the literature comparison clearly show that it is highly advisable to consider the various components of an infrastructure system separately and to determine their emissions separately as well. This will facilitate subsequent comparability. The best approach is a separate consideration of the individual components. If this is done in another way, it should at least be specified which elements are considered together.

### 3. Comparison Rail - Road

In general, a component-specific analysis should be carried out in the LCAs, since such an investigation ensures comparability with other LCAs of the same mode of transport. The compared functional units of the LCAs must be defined in

the same way to allow a comparison. In addition, the system boundaries must also be determined in the same way, or at least highly similarly.

In this work, the two transport modes road and rail are compared in terms of the component track. The reason why this comparison is chosen is that in this segment these modes of transport differ most clearly. With respect to tunnels and bridges, similar requirements apply to the two modes of transport (e.g. in terms of construction, materials used and the like), and there is no particular difference between these structures in terms of life cycle assessments. Both, the CO<sub>2</sub>-eq. emissions and the respective land consumption of the components are considered. The data of the respective routes originates from the literature analysis carried out in the previous part of this work.

The Western Railway Line and the West Motorway A1 between Vienna and Salzburg (Austria) will be compared in this chapter.

Based on the maximum number of people respectively net tons carried on a track, the aim is to figure out how many lanes of the highway are needed to ensure the same transport service as one track of the railway. This is done, in order to compare emissions for infrastructure provision on a similar basis of the two modes of transport.

On the basis of this comparison, the ratio of the number of tracks to the number of lanes is obtained. This ratio is determined in three ways: (i) for real conditions with a distinction between passenger and freight traffic, (ii) for a theoretical utilization of the tracks via passenger traffic, and (iii) on the basis of a statement by the Austrian federal railways OeBB<sup>1</sup>.

The calculated relations of the number of tracks to the number of lanes can be seen in Table 1.

### 3.1 Comparisons of Environmental Impacts

For the three previously determined ratios, an evaluation of the emissions of the respective tracks is carried out in the following. The average emissions determined in this study are used for this purpose. In addition, the respective land consumption of the transport modes is considered. This will be done on the basis of the width of the standard cross-sections.

The considered components of the rail track are the ballast superstructure with sleepers (or slab track) and the rails. Figure 2 shows the standard cross-section.

The considered components of the roadway range from the lower base course over any intermediate layers to the upper base course and subsequent surface course. A distinction is made between asphalt and concrete pavements.

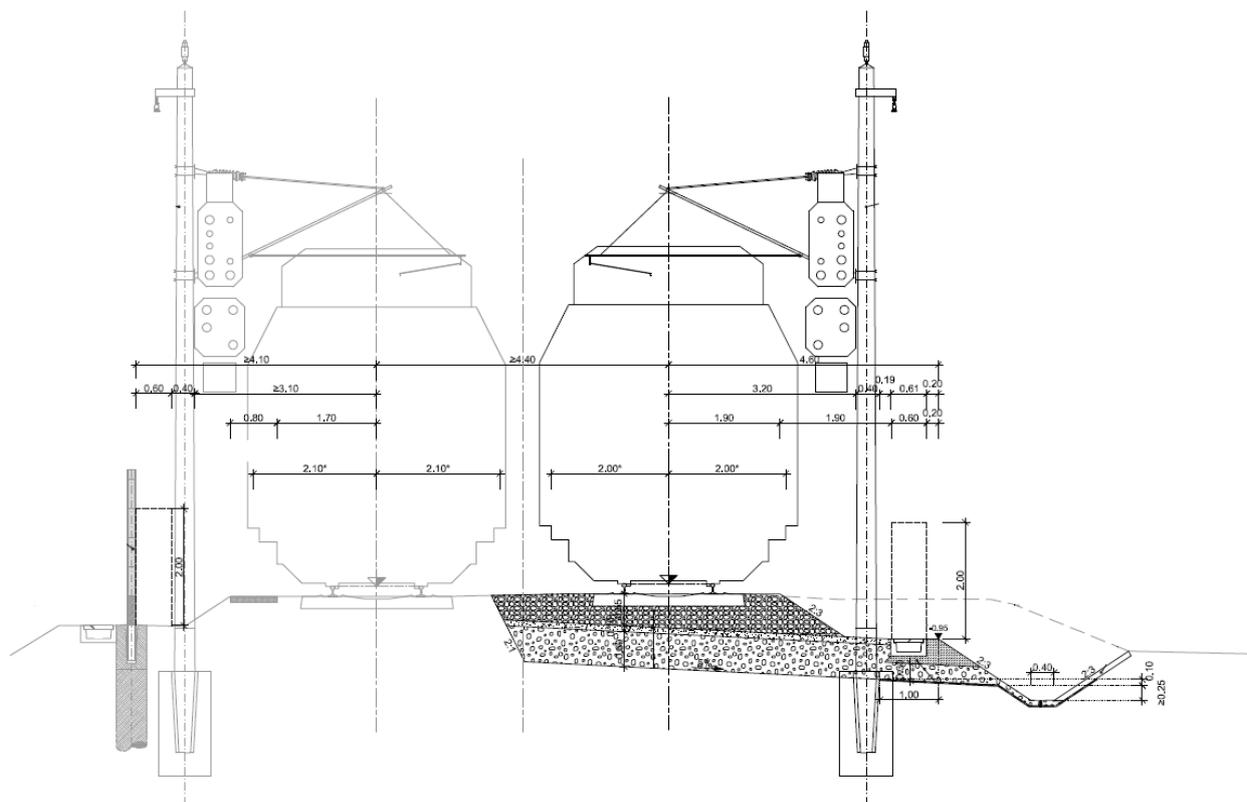


Figure 2: Cross-section of the considered HSR line<sup>2</sup>

The respective layer structures follow the RVS 03.08.63<sup>3</sup>. The standard cross-section can be taken from Figure 3.

By using the standard cross-sections of the line sections, it is also possible to determine the land consumption via the ratios. However, this is

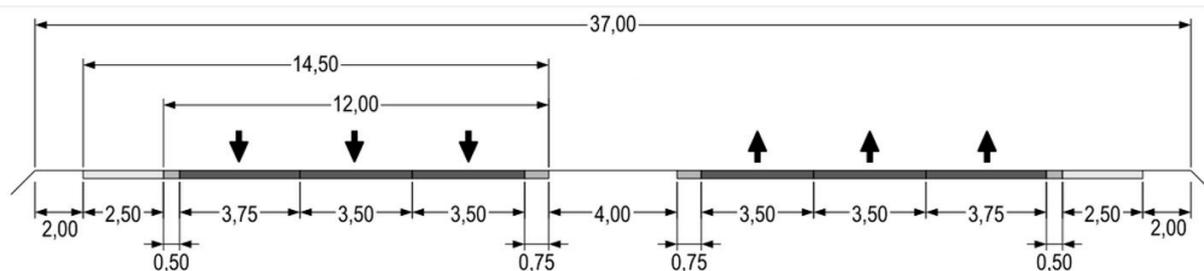


Figure 3: Cross-section of the considered motorway section<sup>4</sup>

If the determined CO<sub>2</sub>-eq. emissions of the transport modes are now compared and the previously determined ratios are considered, the situation is as follows:

Comparisons	Observed Traffic Data	Theoretical Capacity	OeBB [1]
# Railway Tracks/ # Motorway Lanes	1 : 2.6	1 : 3.6	1 : 3.0
t CO <sub>2</sub> -eq. of Railway	15.0	15.0	15.0
t CO <sub>2</sub> -eq. of Roadway	22.1	30.6	25.5
Ratio Rail-/Roadway	68 %	49 %	59 %

Table 1: Ratio between railway and roadway CO<sub>2</sub>-eq. emissions

With the same transport performance, the rail mode has lower CO<sub>2</sub>-eq. emissions than the road mode of transport with asphalt construction. In the observed case, the emissions of the rail account for only about 70 % of the emissions of the road. Figure 4 illustrates the calculated CO<sub>2</sub>-eq. emissions of the modes of transport.

theoretical, since it does not take into account the additional land consumption in the peripheral areas of the lines. Nonetheless, the comparison provides a good indication.

According to the standard cross-section, the maximum width of the double-track high performance section under consideration is 14 metres. The standard cross-section of a 6 lane highway section has a width of 37.0 metres. Therefore, the highway

occupies 2.6 times more area than the high-performance line with the same capacity under the abovementioned boundary conditions.

However, due to the large number of influencing factors, the ratio between the modes of transport can fluctuate to a great extent. Such influencing factors include the occupancy or loading level of the vehicles and also the used construction materials.

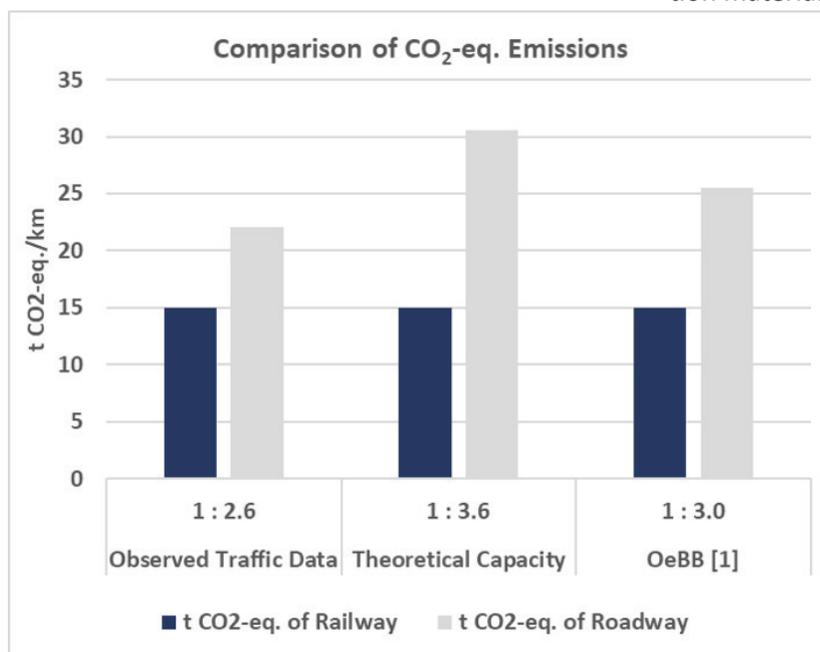


Figure 4: Calculated CO<sub>2</sub>-eq. emissions of the modes of transport

#### 4. Summary

An analysis of a broad variety of studies dealing with the emissions of the infrastructure of the modes of transport is carried out. In addition to insights into their characteristics and contents, data for a comparison of the modes of transport are obtained from these studies.

The existing studies are prepared heterogeneously to a high extent. This makes a direct comparison of their results difficult. Furthermore, data generation from the studies is limited due to poorly communicated contents in many cases. To ensure a better compa-

rability and reproducibility of the study results in future works, it is recommended to list all assumptions, construction methods, local conditions and background data used for the preparation of the studies. Furthermore, the different life cycle phases and components of a line should be considered separately. This is the only way to ensure that the calculated results are fully comprehensible for later comparisons.

With regard to the rail infrastructure, various lines and line networks as well as infrastructure components are compared. It can be stated that there are partly large differences between similar lines, which can be explained by the local conditions and also by the used emission data as calculation basis. Studies concerning the road infrastructure are even more diverse due to many possible construction methods, although just a few studies deal with the life cycle emissions of road pavement.

To ensure a fair comparison of the infrastructure of the road and rail modes, a transport performance-dependent comparison is carried out. For this purpose, the number of passengers and goods transported on a track or lane are first determined. Based on this data, a transport performance-dependent ratio of the number of tracks in relation to the number of lanes is determined. This ratio and the previously obtained emission data allow a comparison of the emissions of the infrastructure of the modes of transport. The superstructure of the modes of transport is compared. This comparison shows that for the same transport performance on a given section, the superstructure of the rail mode has about 30 to 50 percent lower CO<sub>2</sub>-eq. emissions than the superstructure of the road mode of transport. The comparison of the land occupancy shows, that the highway occupies 2.6 times more land than the high-performance railway line with comparable capacity.

This work represents a further step towards a holistic comparison of the environmental impacts of the two investigated modes of transport. However, future comparisons should also include the emissions of additional life cycle phases such as end-of-life and consider different environmental indicators in order to enable a holistic comparison.

#### List of Literature:

1. <https://infrastruktur.oebb.at/de/unternehmen/umwelt-und-klimaschutz/umwelt/umwelt-lebenswert-gestalten>, accessed on 18.06.2021
2. [https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte-fuer-oesterreich/bahnstrecken/suedstrecke-wien-villach/semmering-basistunnel/rund-um-den-bau/behordenverfahren-sbt/dokument?datei=Einreichoperate%2FEinreichoperat+f%C3%BCr+das+eisenbahnrechtl.+Baugenehmigungsverfahren+einschl.+wasserrechtlicher+Belange+-+Mai+2010%2FEB+02-04+Teil+A+STRECKENPLANUNG+M%C3%9CRZZUSCHLAG%2FEB+02-04.05\\_5510-EB-0204AL-03-2301-F00\\_PW.pdf](https://infrastruktur.oebb.at/de/projekte-fuer-oesterreich/bahnstrecken/suedstrecke-wien-villach/semmering-basistunnel/rund-um-den-bau/behordenverfahren-sbt/dokument?datei=Einreichoperate%2FEinreichoperat+f%C3%BCr+das+eisenbahnrechtl.+Baugenehmigungsverfahren+einschl.+wasserrechtlicher+Belange+-+Mai+2010%2FEB+02-04+Teil+A+STRECKENPLANUNG+M%C3%9CRZZUSCHLAG%2FEB+02-04.05_5510-EB-0204AL-03-2301-F00_PW.pdf), accessed on 27.07.2021
3. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr: RVS 03.08.63 Oberbaubemessung, 1. Abänderung, 14. September 2016, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, Wien
4. [https://de.wikipedia.org/wiki/Richtlinien\\_f%C3%BCr\\_die\\_Anlage\\_von\\_Autobahnen](https://de.wikipedia.org/wiki/Richtlinien_f%C3%BCr_die_Anlage_von_Autobahnen) accessed on 27.07.2021



# Vergleich subjektiver und ermittelter Zugangszeiten zu Haltestellen des öffentlichen Verkehrs

Isabella MESSINGER

## 1. Einleitung

Die Entfernung zur nächstgelegenen Haltestelle des öffentlichen Verkehrs (ÖV) spielt eine große Rolle. Je geringer die Entfernung ist, umso niedriger ist die Eintrittsbarriere für die Nutzung des ÖV (vgl. Frey et al. 2019, S. 54). Der Zugang vom Wohnort zu einer ÖV-Haltestelle wird in den meisten Fällen zu Fuß zurückgelegt (vgl. Dorner 2011, S. 3–4), insbesondere in urbanen Gebieten (vgl. Gutiérrez und García-Palomares 2008, S. 481). Zu- bzw. Abgangsweiten haben daher einen großen Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl von Pendler\*innen. Der ÖV-Anteil im Modal Split ist umso geringer, je weiter der Zu- bzw. Abgang ist (vgl. Yang et al. 2015, S. 180).

Die Haltestellenkategorie hat dabei einen Einfluss auf die Toleranz von Zugangsweiten. Zu Endhaltestellen oder Umsteigeknoten werden längere Zugangsweiten in Kauf genommen als zu Zwischenhaltestellen (vgl. Gutiérrez et al. 2011, S. 1083). Bei Bushaltestellen ist die Akzeptanzwahrscheinlichkeit für längere Zugangsweiten geringer als bei der Gesamtbetrachtung von allen öffentlichen Verkehrsmitteln, wie der Vergleich der Studien von Walther (1973 in vgl. Hiess und Schönegger 2015, S. 32) und Scheelhaase (1970 in vgl. Hiess und Schönegger 2015, S. 32) zeigt. Dementsprechend ist das Einzugsgebiet einer ÖV-Haltestelle umso größer, je besser das ÖV-Angebot an der jeweiligen Haltestelle ist (vgl. Manout et al. 2018, S. 93). Zu Bushaltestellen wird mit ca. 550 Metern eine geringere Zugangsweite toleriert als zu U-Bahnhaltestellen (ca. 750 Meter) oder zu S-Bahnhaltestellen (ca. 1.200 Meter) (vgl. Yang et al. 2013, S. 715).

## 2. Problemstellung

Im Rahmen der österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“ (ÖU 2013/2014; vgl. Tomschy et al. (2016)) wurde unter anderem nach der Zugangszeit von der Wohnadresse zur nächstgelegenen ÖV-Haltestelle und den dort verfügbaren Verkehrsmitteln gefragt. Für weitere Analysen wurde für jeden bei ÖU 2013/2014 befragten Haushalt mit Hilfe von Raumanalysen die nächstgelegene Haltestelle, die Zugangszeit zu dieser sowie die dort verfügbaren Verkehrsmittel ermittelt. Die Raumanalysen basieren prioritär auf Abfragen der Verkehrsauskunft Österreich (VAO).

Die Masterarbeit (vgl. Messinger 2021) vergleicht die Übereinstimmung zwischen der subjektiv wahrgenommenen fußläufigen Zugangszeit in ÖU 2013/2014 und der ermittelten fußläufigen Zugangszeit laut den Routinganalysen (VAO). Auf Basis der bei ÖU 2013/2014 erhobenen soziodemografischen Charakteristika und den Informationen zum Mobilitätsverhalten der befragten Haushalte wird der Einfluss dieser Faktoren auf die Einschätzung der Zugangszeit analysiert. Eine zusätzliche Befragung in der Stadt Baden bei Wien liefert vertiefende Informationen zur Untersuchung möglicher Einflussfaktoren.

Die Erkenntnisse dieser Masterarbeit können beispielsweise für die Anpassung der Fragegestaltung von künftigen Mobilitätserhebungen verwendet werden. Dies beinhaltet etwa die Frage, ob zukünftig nach der nächsten funktionalen statt nach der nächstgelegenen Haltestelle gefragt werden sollte.

Unter einer funktionalen Haltestelle wird hier jene Haltestelle verstanden, die der befragten Person am nützlichsten ist. Bei der nächstgelegenen Haltestelle kann es sich beispielsweise um eine Haltestelle handeln, die von der befragten Person trotz häufiger ÖV-Nutzung nie benützt wird, weil das dort verfügbare Verkehrsmittel in die falsche Richtung fährt oder es an einem bestimmten Wochentag kein ausreichendes Angebot gibt. Die nächste funktionale Haltestelle kann beispielsweise eine etwas weiter entfernte Haltestelle sein, die einen größeren Nutzen für die befragte Person darstellt. Bei der nächstgelegenen und der nächsten funktionalen Haltestelle kann es sich um dieselbe Haltestelle handeln. Es können aber auch zwei verschiedene Haltestellen sein.

## 3. Methodik

Der Hauptteil der Masterarbeit gliedert sich in einen theoretischen und zwei empirische Teile. Der theoretische Teil basiert auf einer Literaturrecherche, die nach dem Schneeballprinzip, Top-Down- und Down-Up-Prinzip durchgeführt wurde. Dabei wurde insbesondere nach Literatur zur ÖV-Erschließungsqualität, ÖV-Zugangsweiten bzw. ÖV-Zugangszeiten sowie zur Reisezeit und deren Fehleinschätzungen recherchiert.

Der empirische Teil besteht einerseits aus der statistischen Datenanalyse von ÖU 2013/2014

und der VAO-Abfrage mit 17.070 Haushalten und andererseits aus der Analyse einer zusätzlichen Befragung und der darauf basierenden Ermittlung von Zu- bzw. Abgangszeiten. Beim ÖU 2013/2014-Datensatz und VAO-Datensatz wurden vor Beginn der Auswertungen unplausible Zugangszeiten entfernt (z.B. 0 Minuten Zugangszeit, da Zugangszeiten in ganzen Minuten angegeben wurden). Für die statistischen Auswertungen wurde das Programm RStudio Version 1.4.1103 (R Version 4.0.0) verwendet. Für die Überprüfung der Qualität der Ergebnisse der statistischen Datenanalyse wurden für jede unabhängige Variable verschiedene statistische Tests durchgeführt:

- Test auf Normalverteilung: Histogramm und Q-Q-Plot für jede Gruppe innerhalb einer unabhängigen Variable
- Test auf Varianzhomogenität: Levene-Test
- Hypothesentests:
  - Bei Normalverteilung und Varianzhomogenität (p-Wert > 0,05): ANOVA
  - Bei Normalverteilung und Varianzheterogenität (p-Wert ≤ 0,05): Welch-Test
- Post-hoc-Tests:
  - Bei ANOVA: Paarweiser t-Test (p-Wert-Anpassung mittels Bonferroni-Methode)
  - Bei Welch-Test: Games-Howell-Test

Bei der Befragung wurden in der Stadt Baden bei Wien an drei Haltestellen (Bahnhof Baden, Baden Josefsplatz – WLB und Baden Josefsplatz – Bus) insgesamt 239 Personen zu ihrem Zu- bzw. Abgangsweg mündlich mithilfe eines Leitfadens mit großteils geschlossenen Fragen befragt. Die nächstgelegene Haltestelle für jede befragte Person wurde mittels Google Maps und OpenStreet-Map in QGIS ermittelt. Im Falle von unplausiblen Ergebnissen des Routings wurden die Gehwege basierend auf der Ortskenntnis angepasst.

#### 4. Ergebnisse

In Österreich gab es zum Zeitpunkt der Erstellung der Masterarbeit keine gesetzlichen Vorgaben zu maximalen Zugangsweiten bzw. Zugangszeiten sowie zu deren Mindestqualitäten. In den Landesgesetzen waren Vorgaben in unterschiedlichem Umfang vorhanden.

Die Auswertungen zeigen, dass die Zugangszeit (bzw. Abgangszeit) zu (bzw. von) ÖV-Haltestellen tendenziell überschätzt wird. Sowohl beim Vergleich der Zugangszeiten von ÖU 2013/2014 mit den VAO-Abfragen (Abbildung 1) als auch beim

Vergleich der Zu- bzw. Abgangszeiten von der Befragung und der Ermittlung (Abbildung 2) zeigt sich dieser Effekt deutlich. Außerdem deuten die Diagramme der absoluten Häufigkeiten je Zugangszeit (große Abbildung) und der kumulierten Häufigkeiten (kleine Abbildung) darauf hin, dass Zu- bzw. Abgangszeiten tendenziell in 5-Minuten-Schritten angegeben werden. Ab etwa 20 Minuten wird in 10- bzw. 15-Minuten-Schritten gerundet. Es ist also ein gewisser Rundungseffekt bei der subjektiven Wahrnehmung von Zu- bzw. Abgangszeiten erkennbar.

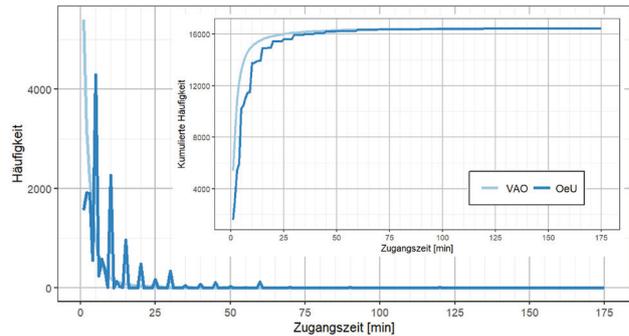


Abbildung 1: Häufigkeit der Zugangszeiten (große Abbildung) bzw. kumulierte Häufigkeit der Zugangszeiten (kleine Abbildung) [ÖU 2013/2014 vs. VAO-Abfrage; N=16.443 Haushalte]

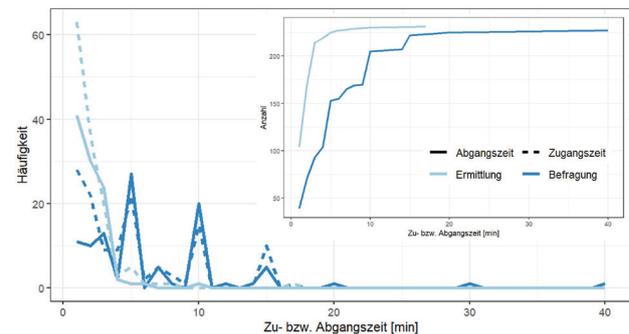


Abbildung 2: Häufigkeit der Zu- bzw. Abgangszeiten (große Abbildung) bzw. kumulierte Häufigkeit der Zugangszeiten (kleine Abbildung) [Befragung vs. Ermittlung; N=231 Personen]

Zum Vergleich der Übereinstimmung zwischen den angegebenen und ermittelten Zu- bzw. Abgangszeiten wurde ein sogenannter Übereinstimmungsgrad eingeführt. Dieser ergibt sich aus der Division der Zu- bzw. Abgangszeit, die bei der jeweiligen Befragung angegeben wurde, durch die jeweils ermittelte Zu- bzw. Abgangszeit:

$$\text{gleich\_entf\_fakt} = \frac{\text{Zugangszeit ÖU 2013/2014 [Min]}}{\text{Zugangszeit VAO [Min]}}$$

$$\text{bzw.} \frac{\text{Zu - bzw. Abgangszeit Befragung [Min]}}{\text{Zu - bzw. Abgangszeit Ermittlung [Min]}}$$

Ein Übereinstimmungsgrad kleiner als 1 bedeutet in diesem Fall, dass die Zu- bzw. Abgangszeit unterschätzt wird. Ein Übereinstimmungsgrad gleich 1 bedeutet, dass die angegebene und

ermittelte Zu- bzw. Abgangszeit ident sind. Ein Übereinstimmungsgrad von größer 1 entspricht einer Überschätzung der Zugangszeit. Die Interpretation der Übereinstimmung wird durch fünf mit Farbcodes gekennzeichneten Klassen vereinfacht. Dabei erfolgt eine Abstufung von sehr schlecht (dunkelrot) bis sehr gut (dunkelgrün) (siehe Tabelle 1).

Übereinstimmungsgrad: Zu- bzw. Abgangszeit			Interpretation	
wird unterschätzt	ist gleich	wird überschätzt	Kenntnis	Farbcode
< 0,30		≥ 3,31	Sehr schlecht	●
0,30 ≤ x < 0,50		2,01 ≤ x < 3,31	Schlecht	●
0,50 ≤ x < 0,70		1,43 ≤ x < 2,01	Mäßig	●
0,70 ≤ x < 0,90		1,12 ≤ x < 1,43	Gut	●
0,90 ≤ x < 1,00	1,00	1,00 < x < 1,12	Sehr gut	●

Tabelle 1: Interpretation Übereinstimmungsgrad

Zwecks Symmetrie und Vergleichbarkeit der Werte wird vom Übereinstimmungsgrad der Logarithmus gezogen. Für die Berechnung des Mittelwerts ( $\mu_{\log}$ ) und des Medians ( $m_{\log}$ ) werden die logarithmierten Übereinstimmungsgrade zusätzlich herangezogen. Das  $\mu_{\log}$  entspricht nicht dem logarithmierten Mittelwert, sondern basiert auf dem geometrischen Mittel der nicht logarithmierten Übereinstimmungsgrade. Daher ist es möglich, dass  $\mu_{\log}$  und  $\mu$  in unterschiedliche Kenntnisbereiche fallen. Es ergibt sich folgende Interpretation der logarithmischen Übereinstimmungsgrade:

- Logarithmischer Übereinstimmungsgrad < 0 entspricht einer Unterschätzung
- Logarithmischer Übereinstimmungsgrad = 0 entspricht einer Übereinstimmung
- Logarithmischer Übereinstimmungsgrad > 0 entspricht einer Überschätzung

In Abbildung 3 ist der Einfluss der Zugangsweite zur nächstgelegenen ÖV-Haltestelle auf den Übereinstimmungsgrad dargestellt. Bei einer Zugangsweite von bis zu 2.000 Metern wird diese

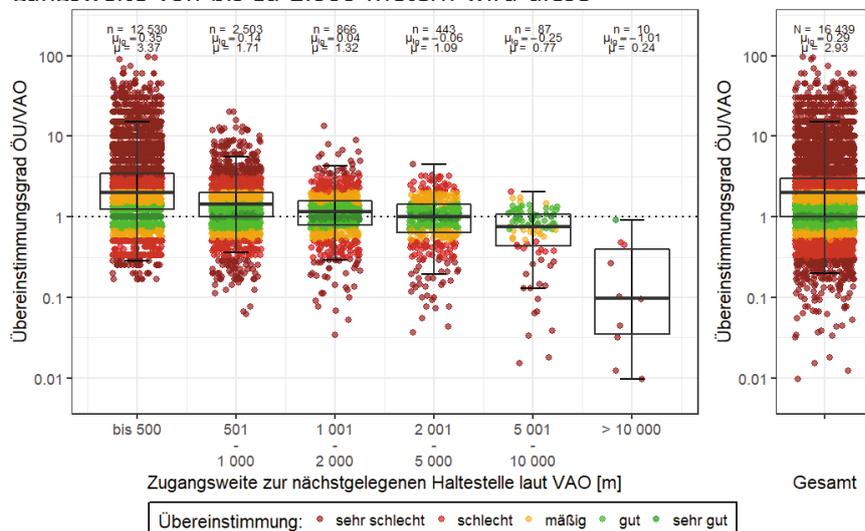


Abbildung 3: Einfluss der Zugangsweite auf den Übereinstimmungsgrad [ÖU 2013/2014 vs. VAO-Abfragen; N=16.439 Haushalte]

tendenziell überschätzt, ab mehr als 2.000 Metern wird diese tendenziell unterschätzt.

Das an der nächstgelegenen Haltestelle verfügbare Verkehrsmittel hat einen großen Einfluss auf die Einschätzung der Zu- bzw. Abgangszeit. Beim Vergleich von ÖU 2013/2014 mit den VAO-Daten zeigt sich, dass die Einschätzung umso besser ist und die Zugangszeit im Durchschnitt umso weniger überschätzt wird, je höherrangiger das verfügbare Verkehrsmittel ist. Hiess (2017, S. 13–15), unterscheidet vier Kategorien an Verkehrsmitteln:

Stufe 1: Fernverkehr, REX

Stufe 2: Regionalbahn, S-Bahn, U-Bahn, Lokalbahn (z.B. WLB), Schnellbus

Stufe 3: Straßenbahn, Metrobus (aktuell nicht vorhanden), WLB in Wien, O-Bus

Stufe 4: Bus

Bei der U-Bahn wurde bei ÖU 2013/2014 die Zugangszeit am wenigsten überschätzt, während die Zugangszeit zu einem Bus tendenziell am meisten überschätzt wird. Folgende Hierarchie der Verkehrsmittel geht daraus hervor: 1) Lokalbahn, 2) Regionalbus, 3) Straßenbahn, 4) Eisenbahn, 5) U-Bahn.

Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigen jeweils die Ergebnisse der Auswertungen von ÖU 2013/2014 bzw. der Befragung. „Ja“ bedeutet, dass das jeweilige Verkehrsmittel an der nächstgelegenen Haltestelle verfügbar ist, „Nein“ bedeutet, dass dieses nicht als nächstgelegenes Verkehrsmittel vorhanden ist. Die Daten zur Verkehrsmittelverfügbarkeit stammen aus dem VAO-Datensatz bzw. aus der Ermittlung. Pro Verkehrsmittel und Gruppe ist die Anzahl an Beobachtungen („n“), das  $\mu_{\log}$ , der  $m_{\log}$ , das  $\mu$  (nicht logarithmischer Mittelwert) und der  $m$  (nicht logarithmischer Median) eingetragen.

Bei der Befragung in der Stadt Baden ist in Bezug auf die Einschätzung der Zu- bzw. Abgangszeiten der gleiche Trend zu beobachten wie bei ÖU 2013/2014: Je höherrangiger das nächstgelegene Verkehrsmittel ist, umso weniger wird die Zu- bzw. Abgangszeit im Durchschnitt überschätzt. Dementsprechend wird die Zu- bzw. Abgangszeit zum Citybus am meisten überschätzt. Etwas weniger überschätzt wird die Zu- bzw. Abgangszeit zum Regionalbus.

nächstes Verkehrsmittel	Lokalbus				Regionalbus				Straßenbahn				Eisenbahn				U-Bahn								
	n	$\mu_{ig}$	$m_{ig}$	$\mu$	m	n	$\mu_{ig}$	$m_{ig}$	$\mu$	m	n	$\mu_{ig}$	$m_{ig}$	$\mu$	m	n	$\mu_{ig}$	$m_{ig}$	$\mu$	m					
Nein	10 874	0,29	0,24	3,07	1,75	5 293	0,3	0,30	2,76	2,00	14 908	0,3	0,30	3,00	2,00	15 720	0,3	0,30	2,98	2,00	16 225	0,29	0,30	2,95	2,00
Ja	5 565	0,29	0,30	2,67	2,00	11 146	0,29	0,24	3,02	1,75	1 531	0,24	0,22	2,22	1,67	719	0,17	0,18	1,89	1,50	214	0,14	0,11	1,81	1,29
Gesamt	16 439	0,29	0,30	2,93	2,00	16 439	0,29	0,30	2,93	2,00	16 439	0,29	0,30	2,93	2,00	16 439	0,29	0,30	2,93	2,00	16 439	0,29	0,30	2,93	2,00

Tabelle 2: Einfluss des an der nächstgelegenen ÖV-Haltestelle verfügbaren Verkehrsmittels auf den Übereinstimmungsgrad [ÖU 2013/2014 vs. VAO-Abfragen]

nächstes Verkehrsmittel	Citybus				Regionalbus				WLB				Eisenbahn							
	n	$\mu_{ig}$	$m_{ig}$	$\mu$	m	n	$\mu_{ig}$	$m_{ig}$	$\mu$	m	n	$\mu_{ig}$	$m_{ig}$	$\mu$	m	n	$\mu_{ig}$	$m_{ig}$	$\mu$	m
Nein	58	0,49	0,52	5,05	3,33	90	0,51	0,48	4,62	3,00	152	0,5	0,48	4,75	3,00	221	0,38	0,40	3,80	2,50
Ja	169	0,34	0,30	3,29	2,00	137	0,29	0,22	3,16	1,67	75	0,13	0,00	1,68	1,00	6	0,12	0,00	1,44	1,00
Gesamt	227	0,38	0,37	3,74	2,33	227	0,38	0,37	3,74	2,33	227	0,38	0,37	3,74	2,33	227	0,38	0,37	3,74	2,33

Tabelle 3: Einfluss des an der nächstgelegenen ÖV-Haltestelle verfügbaren Verkehrsmittels auf den Übereinstimmungsgrad [Befragung und Ermittlung]

Die Zu- bzw. Abgangszeit zur WLB-Haltestelle wird deutlich weniger überschätzt. Die geringste Überschätzung wurde bei der Eisenbahn beobachtet, wobei nur für sechs Befragte der Bahnhof die nächstgelegene Haltestelle ist.

Bei der Befragung in der Stadt Baden wurde unter anderem ermittelt, ob die Haltestelle, an der sie befragt wurden, ihre nächstgelegene Haltestelle ist. Aus dieser Information kann abgeleitet werden, ob die nächstgelegene wissentlich oder unwissentlich gewählt wurde. Je höherrangiger die Haltestellenkategorie ist, umso seltener wird die nächstgelegene Haltestelle gewählt. So wählten etwa 95 % der am Bahnhof Befragten nicht ihre nächstgelegene Haltestelle. Abbildung 4 zeigt, dass bei der Gesamtbetrachtung aller Haltestellen 33 % der Befragten wissentlich und 41 % unwissentlich nicht ihre nächstgelegene Haltestelle gewählt haben. Letztere Gruppe dachte also, sie hätte die nächstgelegene Haltestelle gewählt, tat es aber nicht. Nur 24 % der Befragten wählten wissentlich ihre nächstgelegene Haltestelle und 3 % wählten diese unwissentlich.

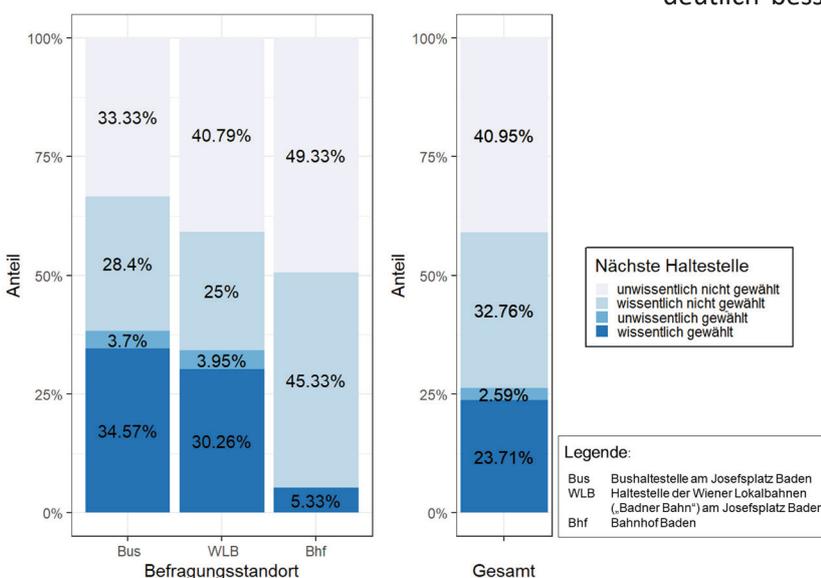


Abbildung 4: Wahl der nächstgelegenen Haltestelle nach dem Befragungsstandort [Befragung und Ermittlung;  $N_{Bus}=81$ ,  $N_{WLB}=76$ ,  $N_{Bhf}=75$  Personen]

Der Vergleich der Zu- bzw. Abgangszeiten der Befragung mit jenen der Ermittlung zeigt, dass die Einschätzung auf Routinewegen deutlich besser ist als auf Nicht-Routinewegen. Beim Zugangsweg wird die Zu- bzw. Abgangszeit besser eingeschätzt als beim Abgangsweg. Einen großen Einfluss auf die Zu- bzw. Abgangszeit hat das Alter der befragten Person. Am besten schätzen 6- bis 14-Jährige ihre Gehzeit ein, am schlechtesten Personen zwischen 55 und 64 Jahren und am zweit schlechtesten Personen ab 65 Jahren. Dies kann jedoch auch an der unterschiedlichen tatsächlichen Gehgeschwindigkeit der befragten Personen liegen.

Im Zuge der Ermittlung der nächstgelegenen Haltestelle wurde geprüft, ob die idente nächste Haltestelle als nächstgelegene Haltestelle genannt wurde. Als idente nächste Haltestelle wird eine Haltestelle dann bezeichnet, wenn die bei der Befragung angegebene und die mittels Routinganalysen ermittelte Haltestelle übereinstimmen. Dazu wurde der Haltestellenname verglichen.

Die Einschätzung der Zu- bzw. Abgangszeit ist deutlich besser, wenn die idente Haltestelle als die nächstgelegene Haltestelle genannt wurde. Wurde hingegen nicht die idente Haltestelle als nächstgelegene Haltestelle angegeben, wurde die Zu- bzw. Abgangszeit tendenziell mehr überschätzt. Dies liegt daran, dass die Zu- bzw. Abgangszeit zu einer weiter entfernten Haltestelle angegeben wurde. In diesem Fall dauert der Zugang zu bzw. der Abgang von der jeweiligen Haltestelle länger als zu bzw. von der tatsächlich nächstgelegenen Haltestelle. Abbildung 5 verdeutlicht den Unterschied der Übereinstimmung der Zu- bzw. Abgangszeiten zwischen jenen Personen, die die idente nächste Haltestelle nannten, und jenen, die eine andere Haltestelle als nächstgelegene nannten.

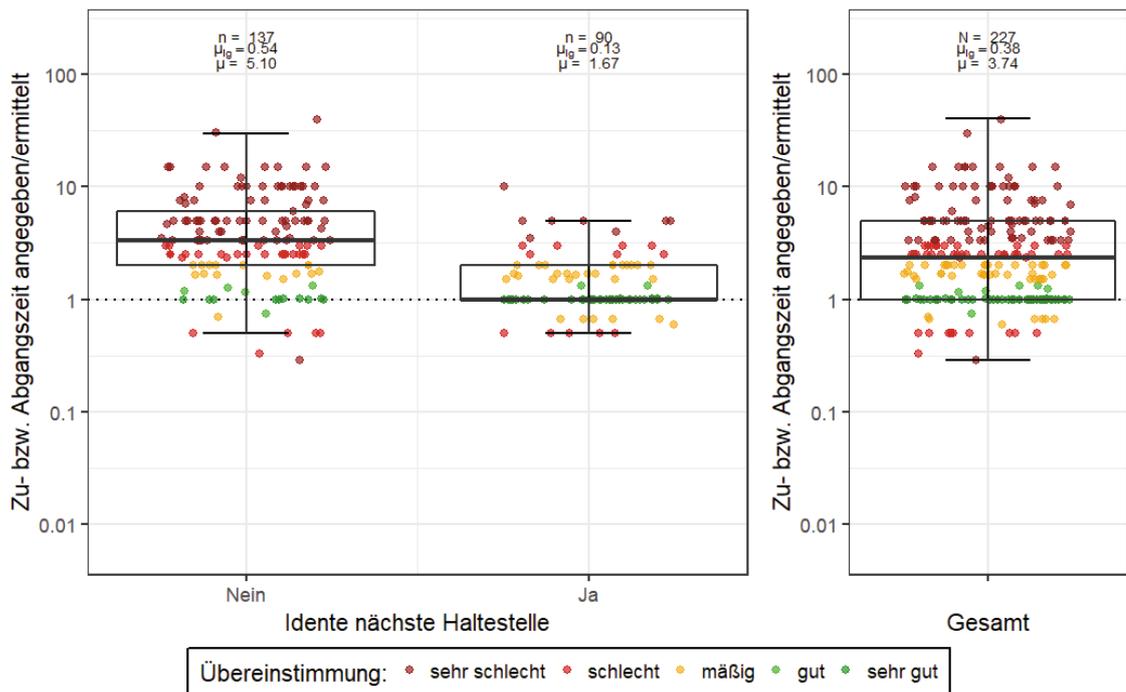


Abbildung 5: Einfluss der Wahl der identen Haltestelle auf den Übereinstimmungsgrad [Befragung und Ermittlung; N=227 Personen]

## 5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Zu- bzw. Abgangszeiten werden systematisch überschätzt und in fünf Minuten Intervallen bzw. ab einer Zu- bzw. Abgangszeit von 20 Minuten in zehn Minuten Intervallen gerundet angegeben. Zum Zeitpunkt des Verfassens der Masterarbeit war dieser Rundungseffekt ein kaum erforschter Bereich und kann daher in zukünftigen Forschungsarbeiten aufgegriffen werden. Die Befragung in der Stadt Baden bei Wien zeigte, dass es eine geringe Kenntnis über die nächstgelegene Haltestelle gibt. Dies kann bedeuten, dass eine bessere Beschriftung von Haltestellen erforderlich ist.

Für künftige Mobilitätsenerhebungen wird einerseits empfohlen, nach der nächsten funktionalen Haltestelle und deren Haltestellennamen zu fragen. Dadurch kann mithilfe von Routinganalysen überprüft werden, ob es sich bei diesen Haltestellen um dieselbe Haltestelle handelt.

Die Analysen ergaben zudem, dass vorwiegend der kürzeste Zu- bzw. Abgangsweg gewählt wird. Von 72 % der Befragten in der Stadt Baden wurde wissentlich der kürzeste Zu- bzw. Abgangsweg gewählt. Der Zu- bzw. Abgangsweg wird in der Stadt Baden größtenteils positiv wahrgenommen. Es konnte jedoch kein statistisch signifikanter Einfluss der Attraktivität der Umgebung auf die Einschätzung der Zu- bzw. Abgangszeit festgestellt werden.

## Literaturverzeichnis:

1. Dorner, A. (2011): Planungsgrundlagen für den Regionalverkehr: Kordonenerhebung Wien - mit Korridorvergleichen. Hg. v. Magistratsabteilung 18, Stadtentwicklung und Stadtplanung. Kordonenerhebung Wien - mit Korridorvergleichen. Wien (Beiträge zur Stadtentwicklung, 30). Online verfügbar unter <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/studien/pdf/b008205.pdf>, zuletzt geprüft am 16.07.2020.
2. Frey, H.; Tschugg, B.; Dimova, R. (2019): Verkehrsentwicklungsplan Burgenland 2020+: Im Auftrag der Grünen Burgenland. Im Auftrag der Grünen Burgenland. Wien. Online verfügbar unter <https://burgenland.gruene.at/themen/mobilitaet/der-klimaschutz-verkehrsentwicklungsplan-ist-da/schienen-vollversion.pdf>, zuletzt geprüft am 11.07.2020.
3. Gutiérrez, J.; Cardozo, O. D.; García-Palomares, J. C. (2011): Transit ridership forecasting at station level: an approach based on distance-decay weighted regression. In: Journal of Transport Geography 19 (6), S. 1081–1092. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2011.05.004.
4. Gutiérrez, J.; García-Palomares, J. C. (2008): Distance-Measure Impacts on the Calculation of Transport Service Areas Using GIS. In: Environ Plann B Plann Des 35 (3), S. 480–503. DOI: 10.1068/b33043.
5. Hiess, H. (2017): Entwicklung eines Umsetzungskonzeptes für österreichweite ÖV-Güteklassen: Abschlussbericht. Unter Mitarbeit

- von „Plattform Raumordnung & Verkehr“. Hg. v. Österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK). Abschlussbericht. Wien („Plattform Raumordnung & Verkehr“). Online verfügbar unter [https://www.oerok.gv.at/fileadmin/user\\_upload/Bilder/2.Reiter-Raum\\_u\\_Region/1.OEREK/OEREK\\_2011/PS\\_RO\\_Verkehr/OeV-G%C3%BCteklassen\\_Bericht\\_Final\\_2017-04-12.pdf](https://www.oerok.gv.at/fileadmin/user_upload/Bilder/2.Reiter-Raum_u_Region/1.OEREK/OEREK_2011/PS_RO_Verkehr/OeV-G%C3%BCteklassen_Bericht_Final_2017-04-12.pdf), zuletzt geprüft am 04.07.2020.
6. Hiess, H.; Schönegger, C. (2015): Bericht der ÖREK-Partnerschaft zu „Siedlungsentwicklung und ÖV-Erschließung“. Unter Mitarbeit von „Plattform Raumordnung & Verkehr“. Hg. v. Österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK) (ÖREK-Partnerschaft „Plattform Raumordnung & Verkehr“). Online verfügbar unter [https://www.oerok.gv.at/fileadmin/user\\_upload/Bilder/2.Reiter-Raum\\_u\\_Region/1.OEREK/OEREK\\_2011/PS\\_RO\\_Verkehr/Arbeitsbericht\\_final\\_RO-%c3%96V\\_2015-03-31.pdf](https://www.oerok.gv.at/fileadmin/user_upload/Bilder/2.Reiter-Raum_u_Region/1.OEREK/OEREK_2011/PS_RO_Verkehr/Arbeitsbericht_final_RO-%c3%96V_2015-03-31.pdf), zuletzt geprüft am 02.07.2020.
  7. Manout, O.; Bonnel, P.; Bouzouina, L. (2018): Transit accessibility: A new definition of transit connectors. In: *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 113, S. 88–100. DOI: 10.1016/j.tra.2018.03.028.
  8. Messinger, I. S. (2021): Vergleich subjektiver und ermittelter Zugangszeiten zu Haltestellen des öffentlichen Verkehrs. Masterarbeit, Wien. Institut für Verkehrswesen. Online verfügbar unter [https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.hochschulschriften\\_info?sprache\\_in=de&menue\\_id\\_in=206&id\\_in=&hochschulschrift\\_id\\_in=21783](https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.hochschulschriften_info?sprache_in=de&menue_id_in=206&id_in=&hochschulschrift_id_in=21783), zuletzt geprüft am 31.10.2022.
  9. Scheelhaase, K. (1970): Öffentlicher Verkehr und Nahverkehrsplanung. In: *Verkehr und Technik* (12), S. 311–313.
  10. Tomschy, R.; Herry, M.; Sammer, G.; Klementschitz, R.; Riegler, S.; Follmer, R. et al. (2016): Österreich unterwegs 2013/2014: Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“. im Auftrag von: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft, Österreichische Bundesbahnen Infrastruktur AG, Amt der Burgenländischen Landesregierung, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Amt der Steiermärkischen Landesregierung und Amt der Tiroler Landesregierung. Hg. v. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“. Wien.
  11. Walther, K. (1973): Nachfrageorientierte Bewertung der Streckenführung im öffentlichen Personennahverkehr. Opladen: VS Verlag für Sozialwissenschaften (Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen). DOI: 10.1007/978-3-322-88577-7.
  12. Yang, M.; Zhao, J.; Wang, W.; Liu, Z.; Li, Z. (2015): Metro commuters' satisfaction in multi-type access and egress transferring groups. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 34, S. 179–194. DOI: 10.1016/j.trd.2014.11.004.
  13. Yang, R.; Yan, H.; Xiong, W.; Liu, R. (2013): The Study of Pedestrian Accessibility to Rail Transit Stations based on KLP Model. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 96, S. 714–722. DOI: 10.1016/j.sbspro.2013.08.082.

# Sustainable Asset Management for Turnouts: Ein Weg hin zu einem nachhaltigen Anlagenmanagement für Weichen

Michael FELLINGER

## Vorbemerkung

Weichen stellen für einen funktionierenden Zugbetrieb essenzielle, in Bezug auf die Wartung und Instandhaltung allerdings schwer beherrschbare Eisenbahninfrastrukturkomponenten dar. Die Komplexität ergibt sich dabei einerseits aus einem Zusammenspiel von beweglichen Bauteilen - und somit hohen dynamischen Belastungen - und einer in Längsrichtung veränderlichen Steifigkeit aufgrund einer sich sukzessive ändernden Schwellengeometrie. Andererseits ist auch bekannt, dass sich die eigentliche Instandhaltungstätigkeit komplexer darstellt als beispielsweise beim freien Streckengleis. Kombiniert man diese Aspekte nun mit der Tatsache, dass Weichen je nach Konfiguration und Ausführung um den Faktor 10-15 höhere Kosten aufweisen als ein freies Streckengleis identer Länge, ergibt sich automatisch die Forderung nach detaillierteren Betrachtungen. Inkludiert man nun noch den Aspekt der im Eisenbahnwesen typischen Lebenszyklen mit einer Nutzungsdauer von 35 Jahren und mehr, kommen auch den wirtschaftlichen Aspekten wie Kapitalbindungskosten bzw. der Kapitalverzinsung hohe Stellenwerte zu. All diese genannten Aspekte bzw. Eigenheiten des Systems Eisenbahn mit speziellem Fokus auf Weichen zeigen die Notwendigkeit einer Systematik zur Umsetzung eines nachhaltigen Anlagenmanagements und somit der Verknüpfung von technischen Modellen mit wirtschaftlichen Ansätzen und die Abwendung von zeitlich eng begrenzten Analysen hin zu Lebenszyklusbetrachtungen.

## 1. Einleitung

Im Anlagenmanagement stellt sich initial die Frage des Betrachtungshorizontes:

- Sollen netzweite Aussagen über Strategien wie die Auswahl spezifischer Komponenten oder Oberbaukonfigurationen getroffen werden oder sind eher generalisierte Betrachtungen gewünscht, so spricht man vom strategischen Anlagenmanagement.
- Dem gegenüber steht die Betrachtung spezifischer Situationen oder im gegenständlichen Fall die Betrachtung dezidiert Weichen mit dem Fokus auf der Ermittlung des aktuellen Zustandes, sowie in weiterer Folge auch der Bestimmung der nächsten notwendigen Instandhaltungstätigkeit.

In Bezug auf die Methodik des strategischen Anlagenmanagements wurden bereits wegweisende Arbeiten verfasst<sup>1</sup>. Die dabei entwickelten Modelle sind neben anderen auch bei den Österreichischen Bundesbahnen in Umsetzung und dienen beispielsweise als Grundlage zur Realisierung einer angepassten, lebenszyklusoptimierten Oberbaukonfiguration, gegliedert anhand der Streckenkonfiguration und Streckenbelastung.

Das projektbezogene Anlagenmanagement weist, vor allem in Bezug auf Weichen, allerdings noch ausreichend Forschungsbedarf auf. In diesem Zusammenhang liegt der Fokus einerseits auf der Entwicklung von deskriptiven Modellen zur Zustandsbeschreibung, andererseits auf Methoden zur Prognose von Instandhaltungstätigkeiten – immer mit dem Fokus, keine generellen Aussagen zu kreieren, sondern die tatsächliche Situation für spezifische Weichen beschreiben zu können.

Mit einer Anzahl von rund 13.400 Weichen im Hauptnetz der Österreichischen Bundesbahnen<sup>2</sup> ist die Forderung nach einer automatisierten Zustandsbeschreibung überaus gerechtfertigt. Dies impliziert allerdings, dass eine Unmenge an Daten für die Erstellung der notwendigen Verschlechterungs- und Prognosemodelle notwendig ist, weshalb der Auswahl der zugrundeliegenden Datenquelle ein sehr hoher Stellenwert zukommt.

## 2. Gleismessdaten zur Beschreibung von Weichen

Im Prinzip müssen Daten, welche für die Zustandsbeschreibung von Weichen herangezogen werden sollen, einige Eigenschaften erfüllen:

- Die Daten müssen reproduzierbar und weitestgehend unabhängig von äußeren Einflüssen sein
- Die Daten müssen das reale Verhalten einer Anlage widerspiegeln
- Die Daten müssen objektiv und unter Belastung ermittelt werden
- Die Daten müssen über lange Zeiträume hinweg stabil vorhanden sein

Diese vier Anforderungen voraussetzend scheiden viele Datenquellen von vornherein aus:

- Innerhalb einer manuellen bzw. visuellen Inspektion erhobene Daten sind subjektiv beeinflusst und spiegeln nicht das reale Verhalten einer Weiche während einer Zugüberfahrt.
- Daten von stationären, an der Weiche angebrachten Mess- und Monitoringsystemen lassen punktweise Rückschlüsse auf einzelne Bereiche oder Komponenten zu, geben aber keinen Aufschluss über den Zustand einer gesamten Weiche.
- Daten von spezifischen Weichenmesssystemen, beispielsweise montiert auf einem Gleismesswagen, würden zwar beinahe alle Anforderungen erfüllen, sind aber in den meisten Fällen nicht über lange Zeiträume hinweg vorhanden.

Messdaten eines Gleismesswagens scheinen allerdings vor dem Hintergrund der genannten Eigenschaften vorerst als gut geeignet, eine Zustandsbeschreibung von Weichen zu erlauben. Der innerhalb der Überschrift angeführte Widerspruch lässt sich allerdings auch in Bezug auf diese Datengattung nicht so ohne weiteres auflösen.

Der Gleismesswagen wurde zur Vermessung des freien Streckengleises und nicht zur Vermessung und Datengenerierung in Bezug auf Weichen konstruiert. Es ist somit einiges an Logik notwendig, um die Daten entsprechend aufzubereiten und somit auch aufzuwerten. Zu diesem Zweck wurde ein Algorithmus namens CoMPACT entwickelt<sup>3</sup>, welcher eben diesen notwendigen Prozess der Datenaufbereitung umsetzt bzw. automatisiert.

### 3. CoMPACT – Aufbereitung von Gleismessdaten zur Zustandsbeschreibung von Weichen

Der Zweck dieser Methodik zur Aufbereitung von Messdaten kann in drei große Bereiche untergliedert werden:

- Sicherstellung, dass alle Messdaten in synchroner Art und Weise vorliegen
- Identifikation der Weichenbereiche in den verschiedenen Messsignalen
- Sicherstellung einer hohen Positionierungsgenauigkeit, um Zeitreihenanalysen zu erlauben

Die exakte Beschreibung aller notwendigen Schritte würde den Rahmen sprengen, weshalb an dieser Stelle auf Abbildung 1 verwiesen wird, welche im oberen Bereich die Qualität der Rohdaten (auch in Bezug auf die Positionierung) und im unteren Bereich die Ergebnisse nach erfolgter Anwendung der erwähnten Logik zeigt. Die so aufbereiteten Daten erfüllen alle genannten Anforderungen und bilden somit in weitere Folge die Grundlage für die Entwicklung von Modellen zur komponentenspezifischen Zustandsbeschreibung.

Ein kurzer Exkurs soll an dieser Stelle die Frage beantworten, welche Instandhaltungstätigkeit den größten Kostenblock in Bezug auf die Lebenszykluskosten darstellt und welche der mannigfaltigen Tätigkeiten somit vorrangig innerhalb von Prognosemodellen zur Instandhaltungsvorhersage implementiert werden sollten.

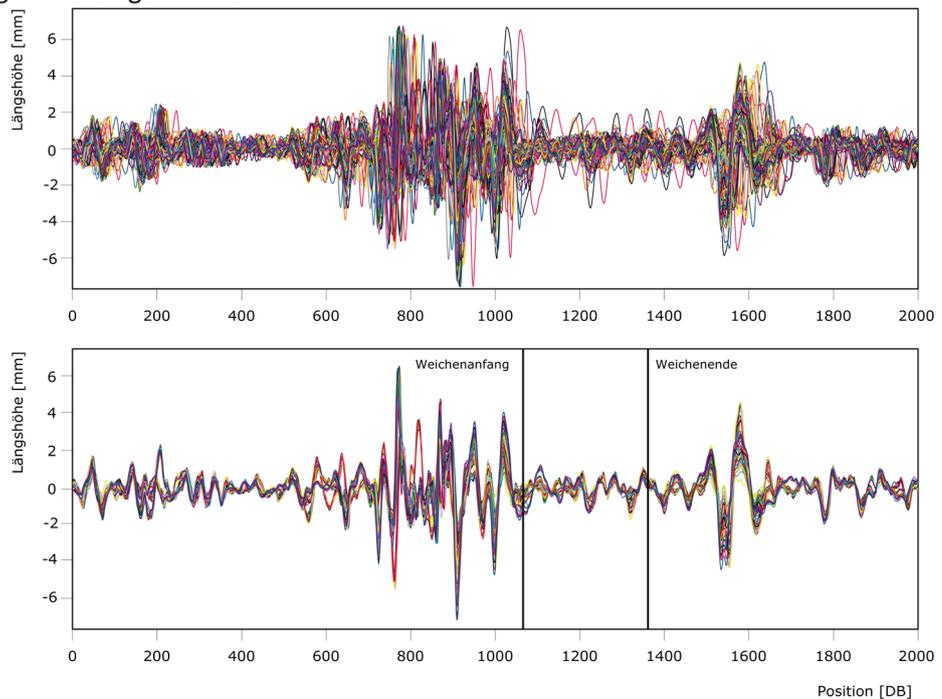


Abbildung 1: Visualisierung der Eingangs- und der durch CoMPACT aufgewerteten Ergebnisdaten

### 4. Die wirtschaftliche Gegenüberstellung von Instandhaltungstätigkeiten

Für eine typische Weiche sind über den Lebenszyklus hinweg eine Vielzahl an verschiedensten Instandhaltungstätigkeiten notwendig. Die in der Praxis relevanten sind in Abbildung 2 anhand derer Kosten visualisiert. Es wurde dabei zwischen den Einheitskosten der Instandhaltung (grau) und den Gesamtkosten der Instandhaltung als Summe über den Lebenszyklus hinweg (rot) unterschieden.

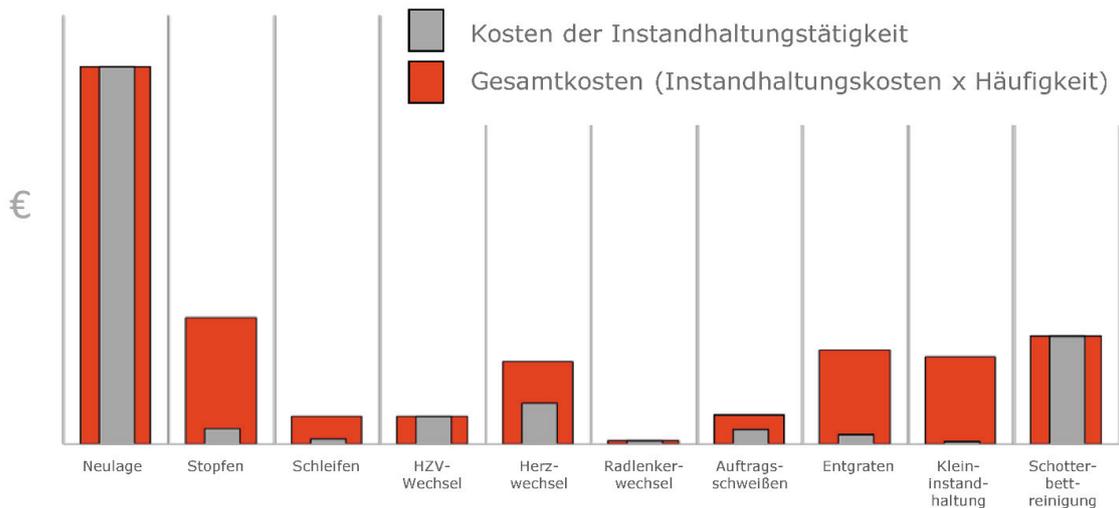


Abbildung 2: Kostengegenüberstellung relevanter Instandhaltungstätigkeiten für Weichen

Abgesehen von der Neulage zeigt sich sehr deutlich, dass die Schotterbettreinigung als Instandhaltungsmaßnahme aufgrund der hohen Einheitskosten den höchsten Kostenblock repräsentiert. Dem gegenüber steht das Stopfen einer Weiche, also die Korrektur der geometrischen Parameter. Diese Instandhaltungstätigkeit weist den zweitgrößten Kostenblock auf, allerdings nicht aufgrund der hohen Einheitskosten, sondern aufgrund der hohen Anzahl an notwendigen Eingriffen über den Lebenszyklus hinweg. Die weiteren Ausführungen fokussieren sich somit auf die Entwicklung von messdatenbasierten Prognosemodellen, eben für die zwei aus wirtschaftlicher und technischer Sicht relevantesten Instandhaltungstätigkeiten, dem Stopfen einer Weiche sowie der Schotterbettreinigung.

### 5. Entwicklung eines Modells zur Zustandsbeschreibung in Bezug auf die Weichengeometrie

Die Standardabweichung der Längshöhe, fokussiert auf einen Wellenlängenbereich zwischen 3 m und 25 m, hat sich bereits in Bezug auf Analysen für das freie Streckengleis als gut geeigneter Zustandsindikator der Gleisgeometrie gezeigt. Diesem Umstand folgend wird auch für Weichen eine detailliertere Untersuchung dieses statistischen Parameters vorgenommen. Eingangsdaten sind die durch CoMPACT aufbereiteten und zeit- bzw. ortssynchronisierten Messdaten, worin der Weichenbereich eindeutig identifiziert werden konnte. Die Messdaten werden dabei zwischen dem Weichenanfang (WA) und dem Weichenende (WE) extrahiert; aus diesem Signal wird die Standardabweichung berechnet und dieser Prozess wird für jede verfügbare Messfahrt durchgeführt. Eine beispielhafte Auswertung ist in Abbildung 3 dargestellt<sup>3</sup>.

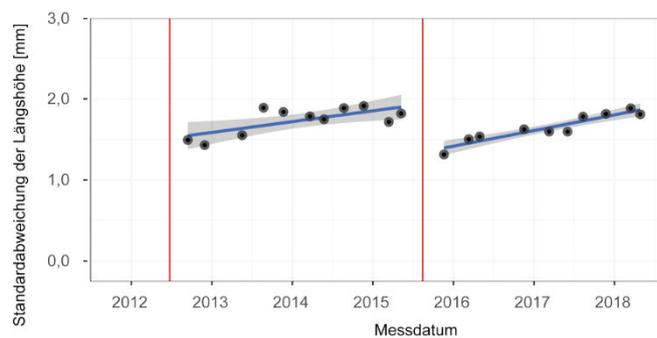


Abbildung 3: Zustandsbeschreibungsmodell einer Weiche in Bezug auf die geometrischen Parameter

Die schwarzen Punkte repräsentieren dabei jeweils die berechnete Standardabweichung aus den Messdaten einer Messfahrt. Führt man diese Ergebnisse zu einer Zeitreihenanalyse zusammen, so kann eine Regressionsgerade (blaue Linie in Abbildung 3) berechnet und somit der Verschlechterungsverlauf der Gleisgeometrie im Laufe der Zeit analysiert werden. Dieses Wissen wiederum bildet die Basis zur Generierung eines Prognosemodells.

Um diese Zeitreihenanalysen allerdings folgerichtig interpretieren zu können, ist die Kenntnis vergangener Stopfeinsätze (rote vertikale Linien in Abbildung 3) unerlässlich. Erst diese Informationen erlauben es, die Verschlechterungsfunktionen (blaue Geraden in Abbildung 3) innerhalb korrekter zeitlicher Fenster zu berechnen und somit eine klar definierte Aussage über den zeitlichen Verschleißverlauf treffen zu können.

Das somit generierte, für jede Weiche spezifisch verfügbare Wissen über das Verschlechterungsverhalten kann in weiterer Folge zur Prognose von notwendigen Instandhaltungstätigkeiten verwendet werden.

## 6. Entwicklung eines Prognosemodells über das Stopfen einer Weiche

Zusätzlich zu den bereits betrachteten Schritten ist es notwendig, Eingriffsgrenzwerte zu definieren. Mittels dieser Parameter ist sowohl eine wirtschaftliche Optimierung in Bezug auf das Anlagenmanagement als auch eine Optimierung der Lebensdauer der gesamten Weiche möglich. Der Einfachheit halber wird in weiterer Folge von Eingriffsschwellen ausgegangen, welche sich als Mittelwert aus den vergangenen Eingriffsniveaus berechnen lassen. Zusätzlich wird noch der höchste und niedrigste Wert der Eingriffsschwelle mitbetrachtet, um den Anlagenverantwortlichen auch eine gewisse Flexibilität in Bezug auf den Eingriffszeitpunkt einräumen zu können und somit für mehr Planungssicherheit zu sorgen. Die Anwendung der Prognoselogik, aufbauend auf dem Beispiel aus Abbildung 3, ist in Abbildung 4 visualisiert.



Abbildung 4: Prognosemodell über den nächsten notwendigen Stopfeinsatz

Durch die Fortführung der Verschlechterungsfunktion nach der letzten dokumentierten Instandhaltungstätigkeit bis zu jenem Zeitpunkt, an welchem sich diese Verschlechterungsfunktion mit dem vorgesehenen Eingriffsniveau (grüne horizontale Linie in Abbildung 4) schneidet, kann der anlagenspezifisch bestmögliche Zeitpunkt für den nächsten Stopfeinsatz bestimmt und somit prognostiziert werden. Durch die Mitbetrachtung auftretender Streuungen kann ein frühest sowie spätest möglicher Zeitpunkt ebenfalls berechnet werden, wodurch wiederum Flexibilität innerhalb der Instandhaltungsplanung eingeräumt wird.

Die beschriebene Methodik bedient sich statistischer Kennwerte, welche bereits zur Analyse des freien Streckengleises Anwendung finden und kombiniert diese mit hochqualitativen Eingangsdaten sowie der Methodik der Zeitreihenanalyse bzw. der Regressionsrechnung um den nächsten Stopfeinsatz weichenspezifisch prognostizieren zu können. Somit kann die Entscheidung über den Zeitpunkt der nächsten Instandhaltungstätigkeit in Bezug auf die Gleisgeometrie objektiv und anhand von reproduzierbaren und unter Be-

lastung ermittelten Messdaten erfolgen, ohne die unbedingte Notwendigkeit einer visuellen Anlagenbegutachtung vor Ort.

## 7. Entwicklung eines Modells zur Zustandsbeschreibung des Schotter unterhalb einer Weiche

Es gibt heutzutage verschiedenste Messsysteme, welche in der Lage sind, den Zustand des Schotter, auch innerhalb von Weichen, direkt zu bestimmen. Dabei wird auf verschiedenste physikalische Messprinzipien referenziert, das Bekannteste ist wohl die Beschreibung des Schotterzustandes mittels Georadar. Dieses Messsystem liefert, meist unterstützt durch eine im Hintergrund agierende künstliche Intelligenz, eine direkte Aussage über den Zustand sowie die Feuchtigkeit im Schotterbett. Der Nachteil an diesen Systemen ist allerdings deren Verbreitung. Nicht jeder Infrastrukturbetreiber hat solche Messsysteme zur Verfügung, weshalb nachstehend eine

indirekte Berechnung des Schotterzustands, basierend auf reinen Gleisgeometrie-messungen, dargestellt wird<sup>4</sup>.

Die prinzipielle Vorgehensweise über die Entwicklung eines Modells zur Zustandsbeschreibung des Schotter in einer Weiche kann analog zu jener im vorherigen Kapitel verstanden werden. Als Eingangsdaten dienen wiederum die Längshöhensignale, extrahiert zwischen dem Weichenanfang und dem Weichenende. Dieser Parameter beschreibt allerdings die geometrische Lage und auf den ersten Blick nicht unbedingt den Schotterzustand.

Eine reine Analyse der Signalamplitude ist somit in diesem Kontext nicht ausreichend. Vielmehr liegt der Fokus auf Frequenzanalysen. In Bezug auf Messsignale aus dem Eisenbahnwesen konnte bereits gezeigt werden<sup>5,6</sup>, dass Frequenz- bzw. Wellenlängenanalysen das Potential haben, gewisse Schadensbilder gewissen Komponenten zuzuordnen. Dieser Idee folgend ist es auch möglich, durch Wellenlängenanalysen von Längshöhenmessungen einen Rückschluss auf den aktuellen Schotterzustand treffen zu können.

Als Methode der Wahl hat sich die Berechnung von Leistungsdichtespektren herausgestellt. Diese mathematische Methode zerlegt ein Signal in seine Leistungsdichten und listet diese über das

gesamte vorhanden Frequenzband auf. Durch eine Approximation dieser Kurve im Wellenlängenbereich zwischen 1,5 m und 7,6 m kann die komplexe Leistungsdichtekurve durch einen repräsentativen Kennwert approximiert werden. Dieser Kennwert wird in weiterer Folge als BCI (Ballast Condition Index - Schotterzustandszahl) bezeichnet. Wiederum kann diese Operation für verschiedenste, zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführte Messeinsätze angewendet werden, wodurch sich die Möglichkeit einer Zeitreihenanalyse (Abbildung 5) ergibt.

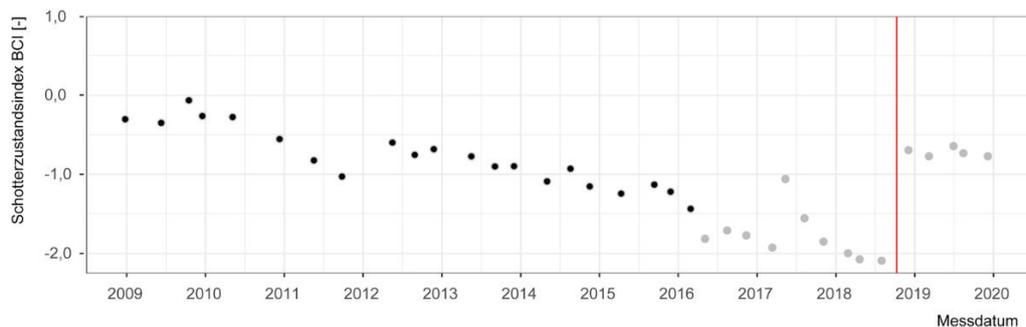


Abbildung 5: Zustandsbeschreibungmodell einer Weiche in Bezug auf den Schotter

Die schwarzen Punkte repräsentieren dabei die berechneten Werte des Schotterzustandsindex aus Messdaten einer Messfahrt. Zur richtigen Interpretation ist die Berücksichtigung von in der Vergangenheit durchgeführten Schotterbetteinigungen unerlässlich. Im Gegensatz zu dem Zustandsbeschreibungmodell über die Gleisgeometrie zeigt sich in Bezug auf den Schotterzustand ein stark überlineares Verschlechterungsverhalten. Dieser Umstand wird ebenfalls in einschlägiger Fachliteratur beschreiben.

Wiederum stellen die genannten Berechnung die Grundlage für Zeitreihenanalysen dar. Es ist somit möglich, funktionales Wissen über das lokal spezifische Verschlechterungsverhalten einer Weiche zu generieren und dieses Wissen anzuwenden, um die Notwendigkeit von zukünftigen Instandhaltungstätigkeiten mit Fokus auf das Schotterbett beurteilen zu können.

## 8. Entwicklung eines Prognosemodells über die Schotterbetteinigung in einer Weiche

Das bereits behandelte Thema über die Eingriffsschwellen kann in Bezug auf die Prognosemodell

le über eine Schotterbetteinigung sinngemäß verstanden werden. In Abbildung 6 ist bereits der überlineare Verlauf der Verschlechterungsfunktion dargestellt.

Wiederum kann durch einfache Fortführung der Verschlechterungsfunktion bis zum Schnittpunkt mit einem definierten Eingriffslevel (horizontale orange Linie in Abbildung 6) der Zeitpunkt für eine notwendige Schotterbetteinigung berechnet werden. In diesem Kontext kommt dem Planungszeitraum eine außerordentlich wichtige Rolle zu: Für eine Schotterbetteinigung ist eine

Großmaschine notwendig. Um eine solche Instandhaltungsmaschine vor Ort verfügbar zu haben, ist in der Regel eine lange Vorlaufzeit notwendig. Das Prognosemodell muss somit im Stande sein, bereits frühzeitig eine kritische Entwicklung des Schotterzustandes aufzuzeigen wobei es in diesem Stadium nicht so sehr um eine möglichst exakte Beschreibung sondern vielmehr um eine eindeutige Aussage, ob in absehbarer Zeit eine Reinigung notwendig sein wird oder nicht, relevant ist.

Das Prognosemodell muss somit im Stande sein, bereits frühzeitig eine kritische Entwicklung des Schotterzustandes aufzuzeigen wobei es in diesem Stadium nicht so sehr um eine möglichst exakte Beschreibung sondern vielmehr um eine eindeutige Aussage, ob in absehbarer Zeit eine Reinigung notwendig sein wird oder nicht, relevant ist.

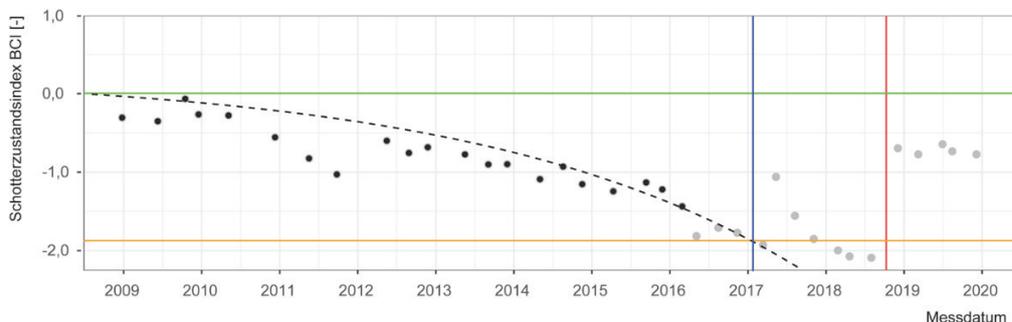


Abbildung 6: Prognosemodell über die nächste notwendige Schotterbetteinigung

Die beschriebene Methodik basiert also auf Wellenlängenanalysen ohnehin vorhandener Messdaten der Gleisgeometrie, welche bereits ebenfalls im Kontext zur Schotterzustandsbeschreibung des freien Streckengleises in ähnlicher Art und Weise Anwendung finden, kombinieren diese mit hochqualitativen Eingangsdaten und Zeitreihenanalysen sowie Regressionsrechnungen. Es ist somit wiederum durch die Kombination aller Teile möglich, eine anlagenspezifische Aussage über den aktuellen Schotterzustand sowie über dessen Entwicklung im Laufe der Zeit treffen zu können. Diese Entwicklung stellt wiederum die Grundlage über die Entscheidung für oder gegen eine mögliche Schotterbetteinigung als Instandhaltungsmaßnahme dar.

Diese Entscheidung kann anhand des Modells, basierend auf rein technischen Parameter abgeleitet werden. Wie allerdings zu Beginn erwähnt, handelt es sich bei einer Schotterbettreinigung unter Zuhilfenahme einer Großmaschine um eine extrem kostspielige Instandhaltungstätigkeit. Weiters ist in Bezug auf den Schotterzustand im Normalfall mit einer eher moderaten Verschlechterung im Laufe der Zeit zu rechnen, weshalb Schotterprobleme tendenziell erst in der zweiten Hälfte des Lebenszyklus auftreten. Zu diesem Zeitpunkt stellt sich aufgrund der hohen Kosten allerdings die Frage, ob, nachdem die Notwendigkeit erkannt wurde, eine Schotterbettreinigung durchgeführt wird, oder ob aufgrund wirtschaftlicher Gesichtspunkte eine komplette Neulage der betrachteten Weiche sinnvoller und effizienter wäre. Diese Fragestellung kann nie rein anhand technischer Modelle beantwortet werden. Vielmehr ist dazu eine Kombination von technischen Modellen mit wirtschaftlichen Ansätzen notwendig, weshalb abschließend noch exakt diese Verknüpfung im Kontext zum Anlagenmanagement näher betrachtet wird.

### 9. Implementierung der entwickelten Modelle im Kontext des Anlagenmanagements

Die Frage, ob eine Instandhaltung oder die Re-Investition die bessere Option darstellt, ist allgegenwärtig im Eisenbahnwesen (aber natürlich nicht nur innerhalb dieser Fachdisziplin). Natürlich kann die Nutzungsdauer durch eine Intensivierung von Instandhaltungstätigkeiten quasi künstlich verlängert werden – und dies ist auch

in manchen Fällen angebracht. In den meisten Fällen stellt sich allerdings diese grundsätzliche Frage, da aufgrund des komplexen Zusammenspiels sämtlicher Komponenten des Eisenbahnoberbaus keine einfache Aussage darüber möglich ist.

Um sich dieser Fragestellung trotzdem annähern zu können, birgt die Methodik des Annuitätenmonitorings ein großes Potential. Unter Annuitäten versteht man in diesem Zusammenhang die jährlichen, dynamisch ermittelten Kosten für eine Infrastrukturanlage. Im Prinzip ist es durch das Annuitätenmonitoring möglich, die Reduktion an Abschreibung im Falle einer Verlängerung der Nutzungsdauer mit den Mehrkosten für ein verkürztes Instandhaltungsintervall gegenüberzustellen. Ist die Einsparung durch die Reduktion der Abschreibung bzw. durch die Verlängerung größer als die Mehrkosten für ein intensiveres Instandhaltungsregime, so empfiehlt sich, die Anlage weiter instand zu halten.

Im umgekehrten Fall würde sich somit eine Neulage bzw. eine Re-Investition der gesamten Anlage als wirtschaftlich vorteilhafter ergeben. Diese Denkansätze implizieren jedoch bereits, dass im gegenständlichen Fall über eine Weiche sämtliche Informationen, auch über in der Zukunft notwendige Instandhaltungstätigkeiten, vorhanden sein müssen, um eine solche Aussage belastbar daraus ableiten zu können. In diesem Kontext kommt den entwickelten Prognosemodellen für eine Weichenstopfung bzw. für eine Schotterbettreinigung ein immenser Stellenwert zu.

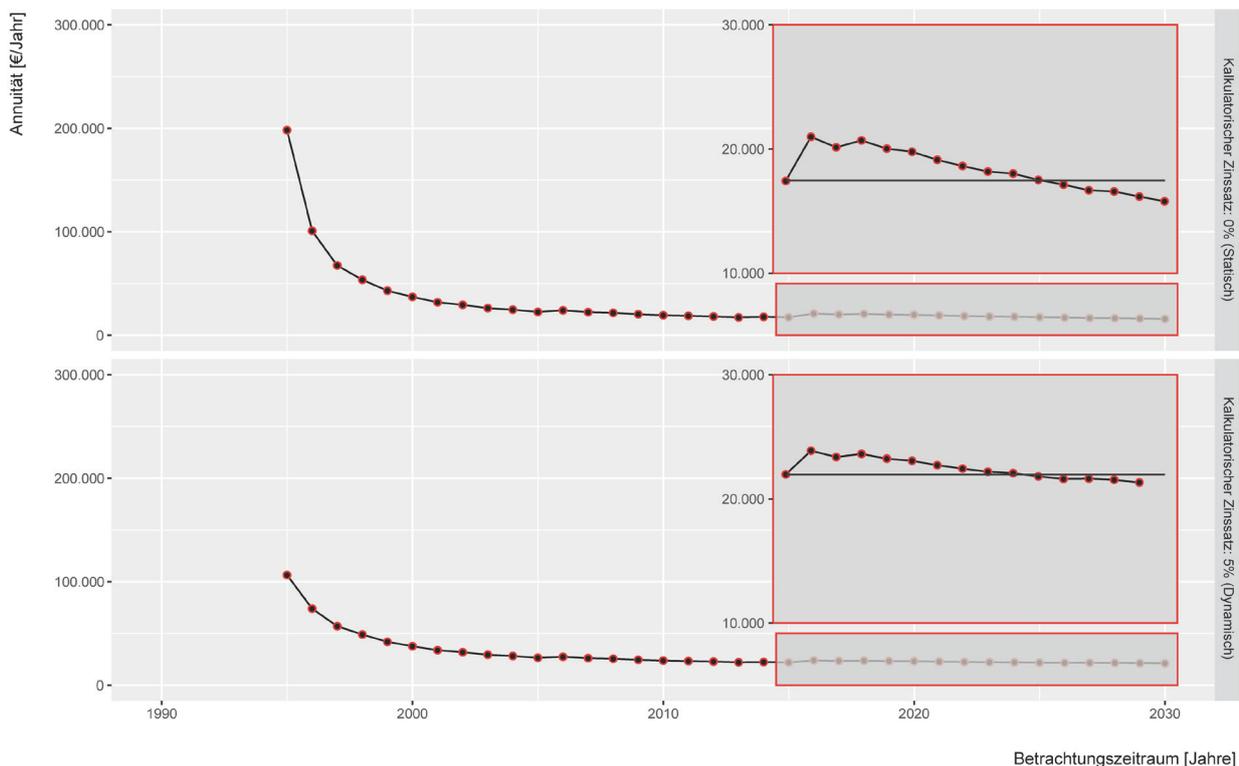


Abbildung 7: Visualisierung des Annuitätenmonitorings für eine spezifische Weiche

In ähnlicher Form kann die Methode des Annuitätenmonitoring auch zur Entscheidung über den wirtschaftlich und technisch sinnvollsten Zeitpunkt für eine Re-Investition angewendet werden. Ein diesbezügliches Beispiel ist in Abbildung 7 dargestellt.

Die obere sowie die untere Grafik unterscheiden sich lediglich durch den zugrundeliegenden Zinssatz. Aufgrund der langen Nutzungsdauern im Eisenbahnwesen konzentriert sich die weitere Betrachtung auf die untere Analyse, welcher ein Diskontierungszinssatz von 5 % zugrunde liegt.

Zur Generierung der in Abbildung 7 dargestellten Kurve ist es notwendig, die Gesamtkosten für jedes zusätzliche Jahr der Nutzungsdauer zu berechnen. Dies bedingt natürlich die Kenntnis über aller im entsprechenden Jahr notwendigen Instandhaltungstätigkeiten und somit der Anwendung der eingangs beschriebenen Modelle. Zeigt sich innerhalb dieser Annuitätenkurven ein Minimum, so ist dies der Zeitpunkt der geringsten jährlichen Kosten für die gesamte Anlage und somit jener Zeitpunkt, an dem die Anlage wirtschaftlich und technisch optimal re-investiert werden muss. Ist der Zeitpunkt der minimalen jährlichen Kosten bereits überschritten oder kann eine Re-Investition nicht zum bestmöglichen Zeitpunkt erfolgen, erlaubt die Methodik des Annuitätenmonitorings ebenfalls die Berechnung des wirtschaftlichen Schadens, wenn eine Re-Investition durch eine Intensivierung der Instandhaltung zeitlich nach hinten verschoben wird.

Die hier dargestellte und demonstrierte Methodik stellt somit ein mächtiges Werkzeug dar, um Anlagen wirtschaftlich zu optimieren und auch den bestmöglichen Zeitpunkt für eine Re-Investition zu bestimmen. Neben all den interessanten und praxisrelevanten Aussagen, welche sich aus diesen Betrachtungen ergeben, darf allerdings nicht vergessen werden, dass die Basis für solche Betrachtungen immer Prognosemodelle über das Anlagenverhalten bzw. über notwendige Instandhaltungstätigkeiten darstellen und die Qualität dieser Aussagen sehr stark von der Qualität der Ergebnisse der Prognoserechnung dominiert wird.

## 10. Ausblick

Vergegenwärtigt man sich nochmal alle Instandhaltungstätigkeiten, welche für eine Weiche regelmäßig notwendig sind (dargestellt ebenfalls in Abbildung 2), so erkennt man, dass erst für zwei Tätigkeiten ein Prognosemodell vorhanden ist. Um dem holistischen Ansatz eines Anlagenmanagements allerdings Rechnung tragen zu können, müssen alle Instandhaltungstätigkeiten

prognostizierbar sein. Diesbezüglich ist also noch genügend Potential für weitere Forschungsarbeiten ableitbar.

Ein weiterer Aspekt bezieht sich auf die Prognose selbst. Durch den Umstand, dass zur Vorhersage auf deskriptive Modelle gesetzt wurde, liegt es in der Natur der Sache, dass lediglich die nächste Instandhaltungstätigkeit prognostiziert werden kann und nicht etwa beispielsweise die nächsten drei. In Bezug auf diesen Umstand wäre gegebenenfalls die Kombination aus deskriptiven und physikalischen Modellen anzustreben, damit ein breiterer Prognosehorizont abgedeckt werden kann und einer lebenszyklusübergreifenden Prognose nichts mehr im Wege stehen würde.

Das Anlagenmanagement stellt besonders im Eisenbahnwesen eine nicht zu ignorierende Methodik dar und dieser Beitrag liefert einen Ausblick, wo die Reise noch hin gehen kann und welches, technisch und wirtschaftlich betrachtet, enorme Potential in einem nachhaltigen Anlagenmanagement bzw. in Bezug auf die Methodik der prognostizierbare Instandhaltung vorhanden ist.

## Literaturverzeichnis:

1. Marschnig, S., Veit, P.: Life Cycle Management in der Realität. ZEVrail 136 (2012). S. 335-341.
2. ÖBB-Holding AG: Zahlen, Daten, Fakten. 9. Ausgabe. 1. Auflage (2021), S. 14
3. Fellinger, M., Wilfling, P., Marschnig, S.: Datenbasierte Zustandsbeschreibung und Prognose des Weichenverhaltens. ZEVrail 144 (2020). S. 80-86.
4. Fellinger, M., Marschnig, S.: Lebenszyklusbetrachtungen für Weichen – von Messdaten zu Instandhaltungsprognosen. ZEVrail 144 (2020). S. 352-359.
5. Hansmann, F.: The Missing Link between Asset Data and Asset Management. Verlag der Technischen Universität Graz. Monographic Series TU Graz Railway Research. Volume 2 (2015)
6. Landgraf, M.: Smart data for sustainable Railway Asset Management. Verlag der Technischen Universität Graz. Monographic Series TU Graz Railway Research. Volume 3 (2016)



# The Integrated Timetable in Liberalised Railway Networks

Martin SMOLINER

## Abstract

The competition in long-distance passenger rail transport has resulted in many positive developments in the last two decades. However, the difficulty of combining the “Integrated Periodic Timetable” (ITF) and self-sustaining services has become apparent as well. Conflicting requests for train paths for self-sustaining services are a logical consequence of the current regulations and prevent the ITF from being fully implemented. The introduction of system train paths (STP) can optimise transfer relations and guarantee effective use of the infrastructure being developed for the ITF. Furthermore, tendering of system train path bundles promotes net-wide competition. The feasibility of such STP is demonstrated on sections on the Austrian Western Line. Moreover, a procedure for creating bundles is presented. The proposed procedure shows how an effective use of infrastructure developed for the ITF, customer benefits and competition can be combined.

## 1. Introduction

### 1.1 Competition in Long-Distance Railway Passenger Services

The liberalisation of the European railway market has led to numerous positive developments in the last two decades, especially in long-distance passenger rail services. Ticket prices have been drastically reduced in some cases<sup>1</sup>, quality and comfort have been improved<sup>2</sup> and the number of connections and passenger kilometres has increased significantly<sup>3</sup>. However, the degree of market opening is no guarantee for a high market share of the railways in total transport. In countries with a high degree of liberalisation such as Great Britain or Sweden, the rail market share is still significantly lower than in Switzerland, Austria or the Netherlands<sup>3</sup>. Through integrated periodic timetables, it has been possible to achieve constantly high passenger numbers in these countries. The Integrated Periodic Timetable (ITF) enables optimal connections between long-distance and regional services and thus a network-wide high passenger volume. The prerequisite for this is, in addition to consistent timetable coordination, extensive and thus cost-intensive measures for the construction of an ITF-adequate infrastructure. In railway markets with well-developed infrastructure and high passenger potential, the entry of new

competitors is likely. However, the potential for train path conflicts increases at the same time. In many cases, this leads to time-wise adaptations of train paths and thus to disadvantages for network-wide passenger connections<sup>4,5</sup>. Hence, cost-intensive measures to upgrade the infrastructure are not fully utilised.

The strained relationship between ITF and self-sustaining services in a liberalised railway market can be well explained using the example of Austria. The systematised requirements of an ITF on timetable and infrastructure are in contrast with the short-term, profit-oriented logic of self-sustaining long-distance services. In order to be able to optimally combine ITF and competition, a procedure is developed that fulfils this requirement within the framework of European legislation and also ensures long-term planning stability for the infrastructure. The assumptions and considerations refer in particular to the situation in Austria, but can in principle also be applied to other countries. An application is carried out using a model network.

### 1.2 ITF and Infrastructure Development

Since the optimised transfer connections in the ITF can only be implemented if mathematically defined edge times and sufficient hub capacities are implemented, a corresponding infrastructure expansion is required. This circumstance is legally considered in Austria in EisbG § 63.2<sup>6</sup>. An evaluation of infrastructure investments in the network of ÖBB Infrastruktur AG from 1990 to 2040 shows that an average of over one billion euros per year will be invested during this period<sup>5</sup>. About a third of these infrastructure investments can be attributed to the ITF. The clear requirements of the ITF allow for long-term infrastructure planning, in contrast to the short-term and (often short-lived) requirements of self-sustaining services<sup>10</sup>. These high investments in the provision of an ITF-compliant infrastructure show how important effective use in terms of an ITF is. With the help of so-called system train paths (STP), the capacity requirements of these clocked services can be defined in advance.

### 1.3 Problem Statement

Both the Austrian Railway Act (EisbG)<sup>6</sup> and the Network Statement of ÖBB-Infrastruktur (SNNB)<sup>7</sup> explicitly state the importance of the ITF. The latter provides for a hub-edge model with certain bandwidths for so-called symme-

trically interlocked traffic. These are preferred in the case of congested infrastructure. Such an incentive leads to the fact that train path applications for many long-distance primarily refer to the specified hub-edge model, which corresponds to the basic considerations of the ITF. Since several train paths cannot serve the hub or the feeder lines at the same time, there is a time staggering. The example of the Amstetten hub (Figure 1) shows how this led from the original planning of a slim ITF hub in 2012<sup>8</sup> to a hub spreading in 2018<sup>9</sup>. If several long-distance services serve a hub consecutively numerous disadvantages for regional traffic or transferring passengers occur. Certain transfer connections do not work or result in additional costs for passengers due to a lack of tariff integration. Hub spreading in regional transport led to the non-servicing of stops or rail replacement services and thus to additional costs for the public transport authority.

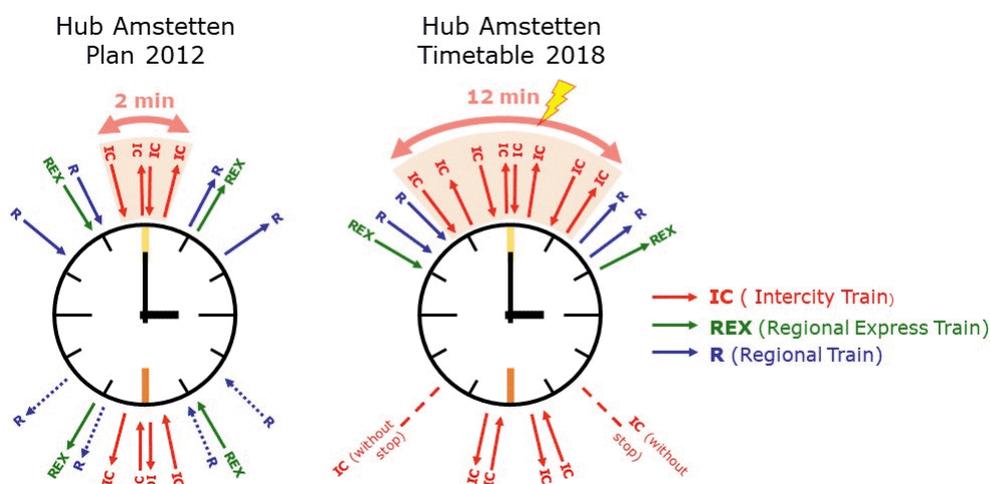


Figure 1: Hub spreading in Amstetten. Left: The original planning, according to Utenthaler (2012). Right: Timetable 2018<sup>9</sup>

Due to consequent infrastructure development and increasing passenger potential, the entry of new market participants is to be expected in the future. It is to be expected that, especially on double-track long-distance routes, there will be more and more train path conflicts in hubs.

## 2. Approach and Legal Framework

### 2.1 System Train Path Approach

For optimal interchanges in regional transport, a slim hub is required, therefore only system train paths within a certain bandwidth can serve a hub in the sense of the ITF. For this purpose, the arrival at the hub must be defined more precisely than the previous 5-minute intervals in the SNNB<sup>7</sup>. A detailed definition of the capacity on the route, such as in Switzerland, is optimal in terms of the ITF, but requires detailed knowledge of the rolling stock and stopping pattern in

advance. In a liberalised market, the rolling stock is dependent on the respective railway undertaking (RU) and the stopping pattern is also part of the unique selling proposition of RUs. Based on these requirements, the design of STP in the form of a parallelogram is the consequence (Figure 2).

With this form, the characteristics of infrastructure, rolling stock and timetable can be addressed and at the same time the functionality of the ITF and an effective use of infrastructure can be guaranteed<sup>5</sup>.

### 2.2 Network-wide Application

If the operation of an entire long-distance network is considered, it makes sense to combine system train paths in bundles. Hence, „cherry-picking“ of attractive train paths can be avoided. The construction of system train paths along

several hubs is therefore necessary. STP must be combined into lines that can be offered to the RUs. As explained in chapter 4, a competitive tendering of STP bundles as a public service obligation (PSO) would make sense. Individual self-sustaining train paths are still possible as long as they do not conflict with system train paths. Thus, a network-wide tendering of STP is possible in parallel to the competition of self-sustaining services.

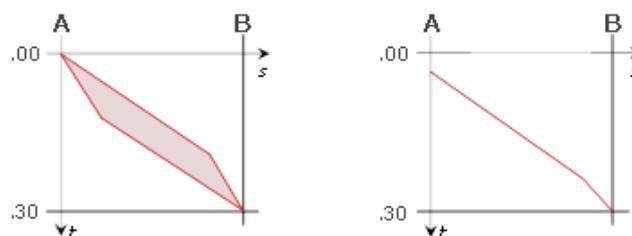


Figure 2: System train path in the shape of a parallelogram vs. individual train path

### 2.3 Legal Implementation

For the application of system train path bundles in practice, the legal feasibility is crucial. Predefined train paths by the infrastructure manager (IM) are compatible with EU law. This is shown in particular by the provisions on international

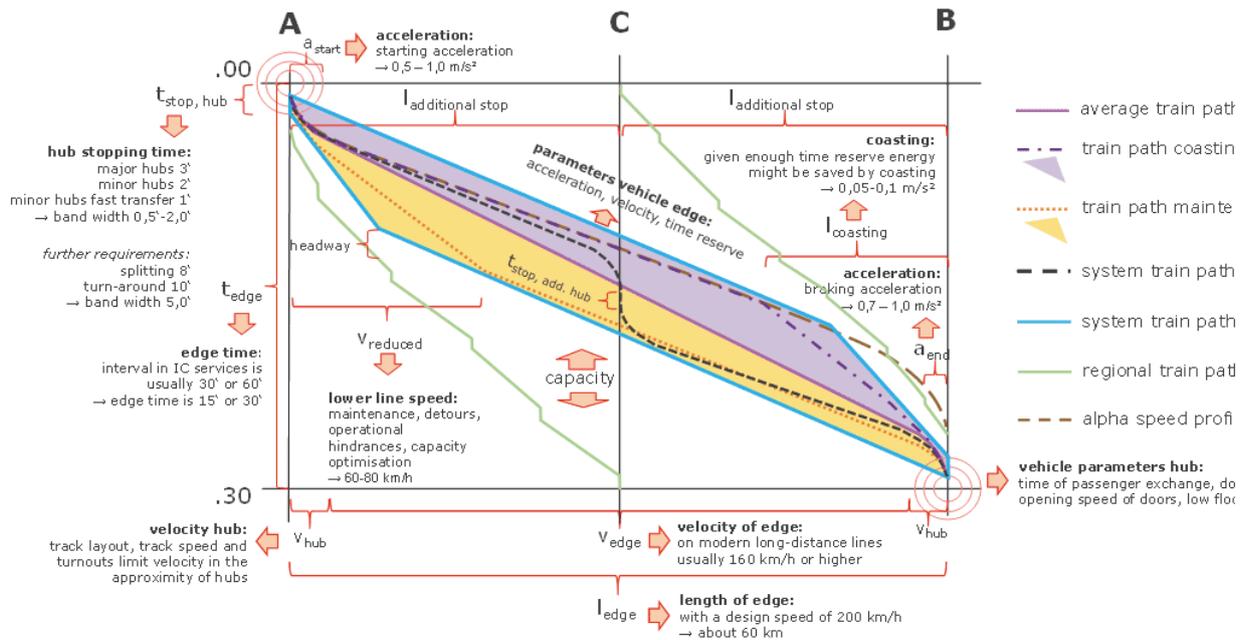


Figure 3: Parameters of a system train path

freight train paths<sup>11</sup>. In the comments on the Deutschlandtakt<sup>12</sup> and the Austrian case law<sup>13</sup> it is argued that there is no absolute right to train paths. An RU is therefore not entitled to every conceivable infrastructure capacity. In this context, it is therefore crucial that STP are prioritised relative to other path requests. According to SNNB<sup>7</sup>, “symmetrically interlocked services” are to be preferred for both congested and non-congested sections as long as they fulfil the requirements of the hub-edge model. However, not every train path conflict leads to the declaration of congestion of a route and priority rules for non-congested routes are not provided for in EU law. Nevertheless, this ranking provides a strong argument for giving priority to system train paths on both congested and uncongested routes.

A logic is derived on how PSO tendering of system train path bundles can be implemented in accordance with the current EU legislation. With a minor adjustment of the allocation criteria in the network statement (SNNB) of ÖBB-Infrastruktur AG, the prioritised allocation of system train paths can be ensured, with reference to the constraints of the ITF. Firstly, STPs will allow the ITF to be implemented in the best possible way and thus ensure that the infrastructure which is aligned to the ITF is used effectively. The importance of the ITF and the corresponding infrastructure development is clearly emphasised in both the SNNB (chapter 4.4.1.2) and the EisbG (§ 55a Abs. 2). From this alone, a significant constraint can be derived to consider STPs before other train path requests. Secondly, it is advisable to award STP bundles in the form of a competitive PSO tender, where every licensed RU is free to apply. If the winner of a competitive tendered STP bundle requests the respective STP, a non-discriminating allocation in accordance with the

principle of equal treatment is guaranteed. The winner of the tender is contractually required to order STPs, which further strengthens the argument of the ITF being a constraint for the train path request. Thirdly, PSO services are already to be given preference in the allocation of train paths. According to this logic, system train paths are to be given preference in any case relative to other train path applications.

### 3. Operational Concept of System Train Path

#### 3.1 Description System Train Path

The geometric definition of a system train path as a parallelogram allows on the one hand to create slim hubs and on the other hand for flexibility in the path definition between the hubs. This is essential in a liberalised railway market where different rolling stock parameters have to be covered in terms of acceleration, deceleration, velocity or energy-saving operation. In terms of infrastructure parameters, the track layout in hubs and on the edge as well as the respective maximum speeds are relevant. In addition, delays due to maintenance, detours or operational hindrances have to be taken into account. Finally, the shape of the system train path is defined by operational requirements. These include minimum stop times in (intermediate) stations, time buffers for serving station in-between or smaller hubs or vehicle turn-arounds at line ends. Figure 3 shows the influence of the different parameters on the shape of the system train path.

#### 3.2 Application

The Wien-Salzburg line is suitable for the testing of system train paths due to the different infras-

structure parameters with regard to maximum velocity, number of tracks and the location of hubs. In order to determine the form of a system train path, a variation of different parameters regarding infrastructure, rolling stock and operation is defined (see Table 1) and the train paths are displayed in the timetable software FBS.

If a system train path is created and superimposed on different route sections with changing infrastructure parameters, an envelope can be derived (Figure 5). A generalised envelope can be described under the condition that the start and end hubs of the described edge are not asymmetric hubs, are not used for vehicle turn-arounds

Table 1: Timetable parameters system train path application

Riding profile	No. of Riding profile	Signature	Hub stopping time	if hub time .00		Additional stop	Recovery time	Coasting
				Departure	Arrival			
Loco and waggon	<b>RP1</b>		4 min	.02.00	.58.00	no	10%	yes
EMU I	<b>RP2</b>		1 min	.00.30	.59.30	yes	10%	yes
EMU IIa	<b>RP3</b>		3 min	.01.30	.58.30	no	10%	in case of time buffer
EMU IIb	<b>RP4</b>		3 min	.01.30	.58.30	no	10%	in case of time buffer
EMU IIc	<b>RP5</b>		~ 3 min	flexible	flexible	no	10%	in case of time buffer

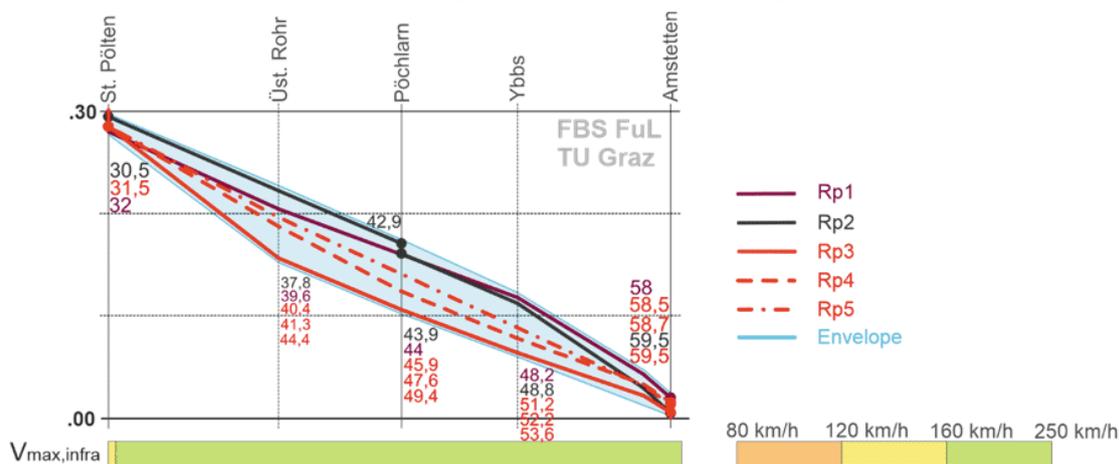
Table 1: Timetable parameters system train path application

Different riding profiles result for each section of a line, which together represent the system train path (Figure 4). This can essentially be described by the upper limit of a fast vehicle with a stop within (electrical multiple unit I) or without a stop (locomotive and waggon) and the lower limit of a vehicle at a slow speed point with  $V_{max}=100$  km/h (electrical multiple II). Figure 4 shows the paths of the different riding profiles for the section St. Pölten – Amstetten and the resulting STP.

or for splitting of vehicles. This is independent of the specific infrastructure and timetable parameters. For detailed planning or capacity optimisation, a detailed section-by-section consideration is required.

### 3.3 Capacity Utilisation

For the implementation of system train paths in a timetable structure, the 2019 timetable on the Western line in Austria was selected, where up to five long-distance trains ran per hour and



Riding profile	Rolling stock	Signature	$V_{max, vehicle}$ [km/h]	reduced $V_{max, infra}$ [km/h] (in certain sections)	Recovery time	Coasting	Buffer time [min]
<b>RP1</b>	Loco and waggon		230	-	10%	yes	4.5
<b>RP2</b>	EMU I		200	-	10%	yes	4.1
<b>RP3</b>	EMU IIa		230	100 (St. Pölten – Üst. Rohr)	10%	no	0.0
<b>RP4</b>	EMU IIb		230	140 (St. Pölten – Pöchlarn)	10%	yes	0.3
<b>RP5</b>	EMU IIc		230	160 (St. Pölten – Amstetten)	10%	no	0.0

Figure 4: System train path on the edge St. Pölten – Amstetten

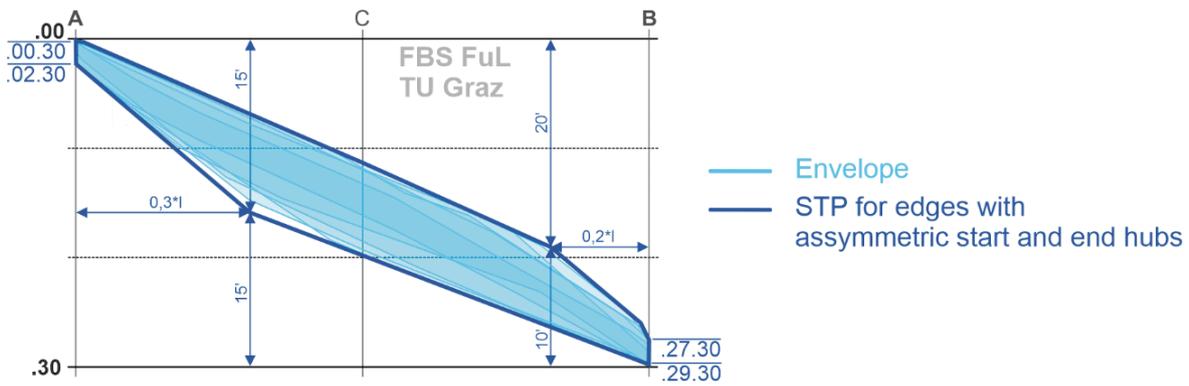


Figure 5: System train path with symmetric start and end hubs (like the St. Pölten – Amstetten edge)

direction during rush hour. Between Wien and Linz, almost exclusively long-distance trains ran on the tracks of the new line during rush hour. The schematic representation in Figure 6 shows this occupancy in the 2019 timetable with four to five long-distance trains and one freight train every hour. If STP are used, the same number of train paths can be handled (Figure 7). In addition to the half-hourly STP, up to three self-sustaining services can be inserted as required. Therefore, there is sufficient capacity for STP and self-sustaining services. These additional train paths can also be used for international long-distance services, given that these are not combined with system train paths anyway.

The train path occupancy was examined in detail in FBS for the heavily used double-track section Linz – Salzburg. In 2019, up to five long-distance trains or several freight and local trains ran there during rush hour. With the application of STP, a partial adaptation of the paths is necessary. In total, at least the sum of the train paths from the 2019 timetable is achieved over a period of two hours (Figure 8 and 9). Since an attempt was made to insert as many self-sustaining train paths as possible, there are more long-distance train paths in some sections, but fewer freight train paths. However, with a lower number of long-distance train paths, the same number of freight train paths as in the 2019 timetable would be possible. The evaluations thus

show that STP can be applied on routes with predominantly long-distance services as well as on mixed traffic routes without loss of capacity.

#### 4. Tendering of System Train Paths

##### 4.1 System Train Path Bundle Procedure

Apart from the franchise system in Great Britain, there are currently hardly any competitive awards at the long-distance transport level and thus few examples of the creation of line bundles. Therefore, based on expert interviews, an eight-stage procedure for the creation of bundles was developed. The different stages cover the areas of transport planning, demand modelling and railway operation. Starting from a railway network with a given service quality, lines and bundles are defined. These steps and the relevant parameters are shown in Figure 10 and are explained below:

Step 0: The timetable concept, the network layout, line concepts, service availability and the quality of railway operation have to be defined beforehand.

Step 1: The lower and upper limits of lot bundles are assumed to be 2-10 million

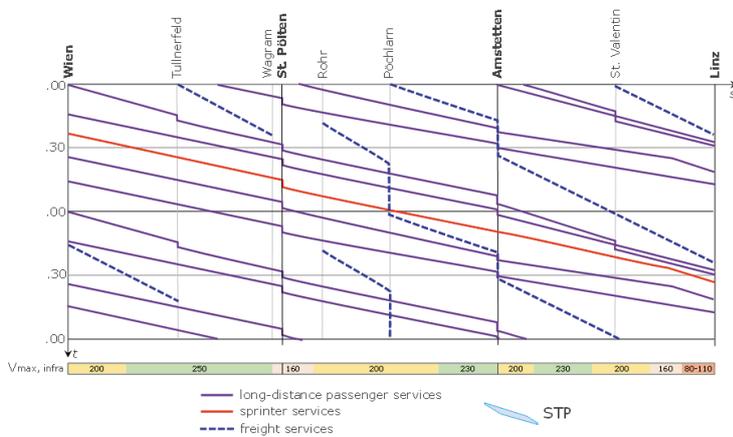


Figure 6: Timetable 2019 Wien – Linz

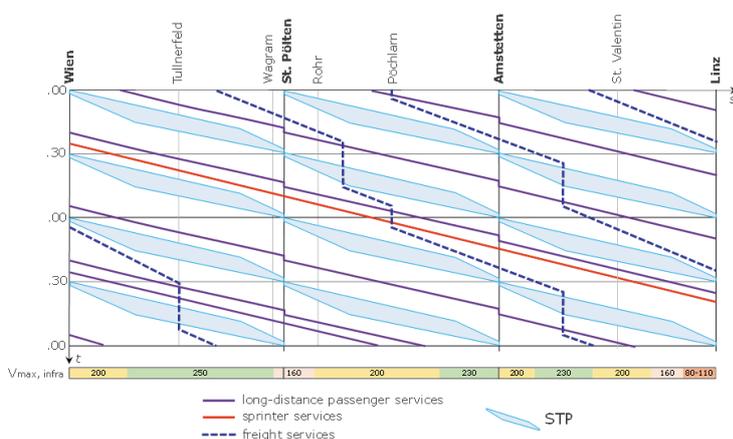


Figure 7: Timetable 2019 Wien – Linz with STPs

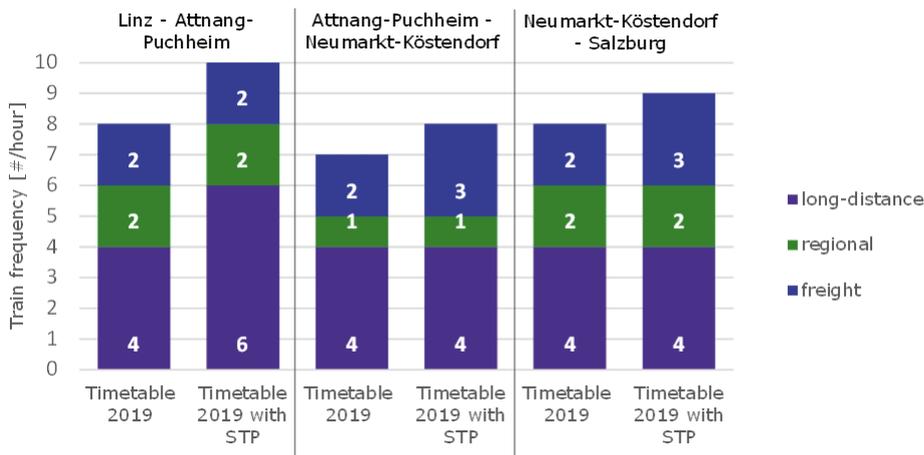


Figure 8: Number of trains on the section Linz – Salzburg between 08:00 – 09:00

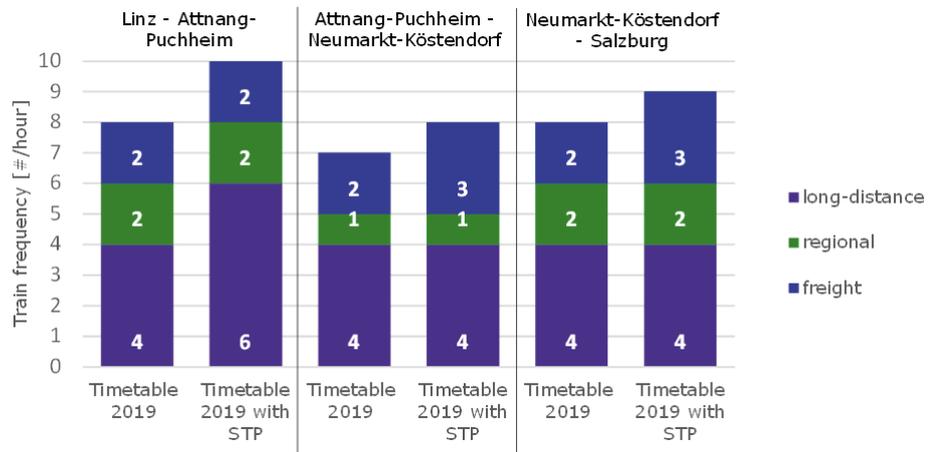


Figure 9: Number of trains on the section Linz - Salzburg between 09:00 - 10:00

train kilometres per year based on empirical values. Smaller bundles are considered to be more difficult to award, less flexible or hardly profitable. In the case of larger bundles, there is a risk that hardly any potential applicants can be found<sup>14, 15</sup>. Even if longer routes and lower staff requirements are common in regional passenger transport, the range is similar. Line lengths in long-distance transport depend strongly on geography and demography. The minimum lengths of Interregio and Intercity services are over 100 km in length or at least 60 minutes journey time<sup>16</sup>.

Step 2-4: The next three steps concern the integration of international connections, passenger flow and direct connections. These criteria are interrelated. The first step is to check which international connections are included in the route network and at which intervals. The line formation is carried out along the strongest passenger flows following the so-called partial route procedure<sup>17</sup> until all edges are occupied with lines. If edges cannot be combined with a new line in a useful way, they can be assigned to a line as a branch line. The lines created in this way are now compared with potential direct connections between large cities or administrative centres. If these relations are not linked by direct connections, edges can be exchanged bet-

ween the lines. In these considerations, the previously defined international relations are taken into account.

Step 5: The created lines are combined geographically according to the desired number of bundles. Interchange relations, through-connections of lines and workshop locations are taken into account in the allocation.

Step 6-8: The homogeneity of the cross-sectional demand is now checked line per line. Lines with low passenger numbers are defined as Interregio lines with smaller vehicles. In order to achieve the most homogeneous vehicle utilisation possible, individual edges can be exchanged. Since smooth maintenance must be possible during operation, it is further checked whether all lines are located at hubs with workshops. If this is not the case, an edge exchange or change of vehicles within the bundle should be proven. Ideally, as many lines as possible should reach the main workshop for heavy maintenance. Within the lines, the vehicle circulation is also checked. In the case of unfavourable rotations with low mileages per vehicle or a very high number of vehicles, lines should be combined or individual edges exchanged.

	Transport Planning	Demand Modelling	Railway Operation
Step 0 Service intention	Timetable concept Network layout Line concepts Service availability		Quality of railway operation
Step 1 Line length and size of bundles	Line length and size of bundles		
Step 2 International connections	International connections		
Step 3 Passenger flow		Passenger flow Minimum travel time	
Step 4 Direct connections		Direct connections	
Step 5 Bundle forming	Risk management Homogenous geographic markets		
Step 6 Passenger amount		Passenger amount	Homogenous vehicle capacity Moderate vehicle utilisation
Step 7 Service facilities			Service facilities Light and heavy maintenance
Step 8 Vehicle circulation			Vehicle circulation Cost efficient operation
Post tender award			Stopping pattern

Figure 10: Line and bundle planning procedure

#### 4.2 Application in a Model Network

The procedure described above is subsequently applied to a model network. A basic network is given as a hub-edge model with national and international passenger flows, regional centres and workshop locations. These parameters represent the long-distance network of a fictitious country with strong international connections (Figure 11).

For an exemplary application of the procedure described in chapter 4.1, the following assumptions were made: Moderate-

ly pronounced passenger flows, a maximum of one transfer to main routes, and the formation of four similarly sized bundles. This results in the line network shown in Figure 12, which is divided into four bundles with sizes between 3.8 and 5.0 million train kilometres per year.

To verify the results of the procedure, the effects of parameter adjustments were examined in a sensitivity analysis. The relevance of the international connections, the strength of passenger flows, the frequency of transfers between certain relations and the number of bundles were varied in three steps. In 27 variations, the stability of the results was shown under changing assumptions. The strongest effects on the shape of lines and bundles have, besides the intensity of passenger flows, the weighting of direct connections and the bundle sizes (Figure 13 and 14).

The dispersion of demand intensity results in demand flows of varying intensity (Figure 13). Depending on the targeted number of bundles, different lot sizes result in the model network with a range of about 1.0 to 2.0 million train kilometres (Figure 10c). The line and bundle configurations determined after varying the input parameters hardly differ overall. The variation of demand intensity described above leads only to slightly different line configurations, which confirms the stability of the results.

#### 4.3 Tendering Options

A transparent, non-discriminatory allocation of system train paths is ideally carried out through a competitive awarding process. Fundamentally different procedures such as concession, public service obligation (PSO) or franchises are feasible. A detailed comparison of different awarding

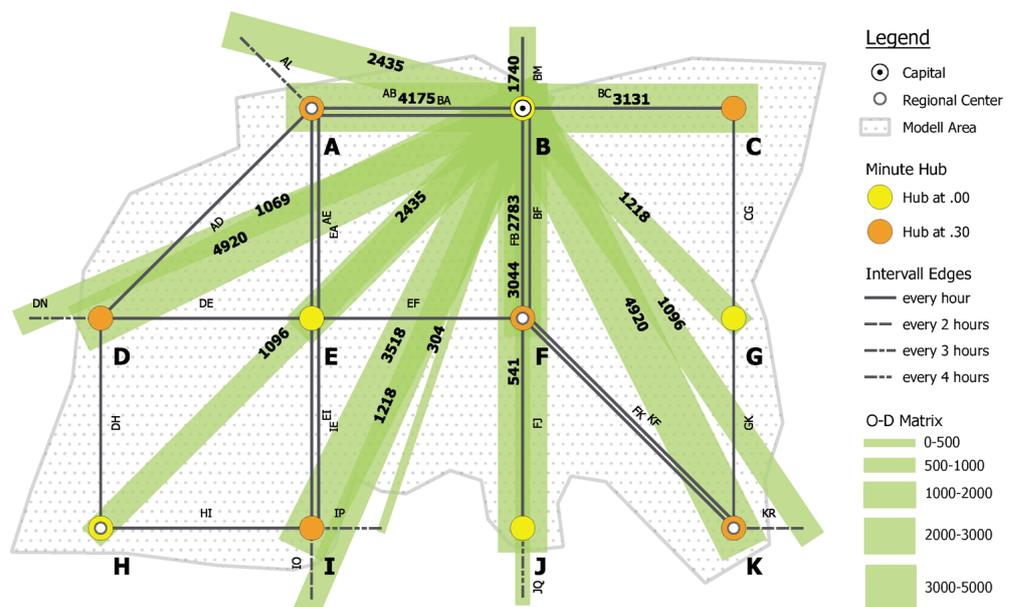


Figure 11: Model network – passenger flows for moderate demand

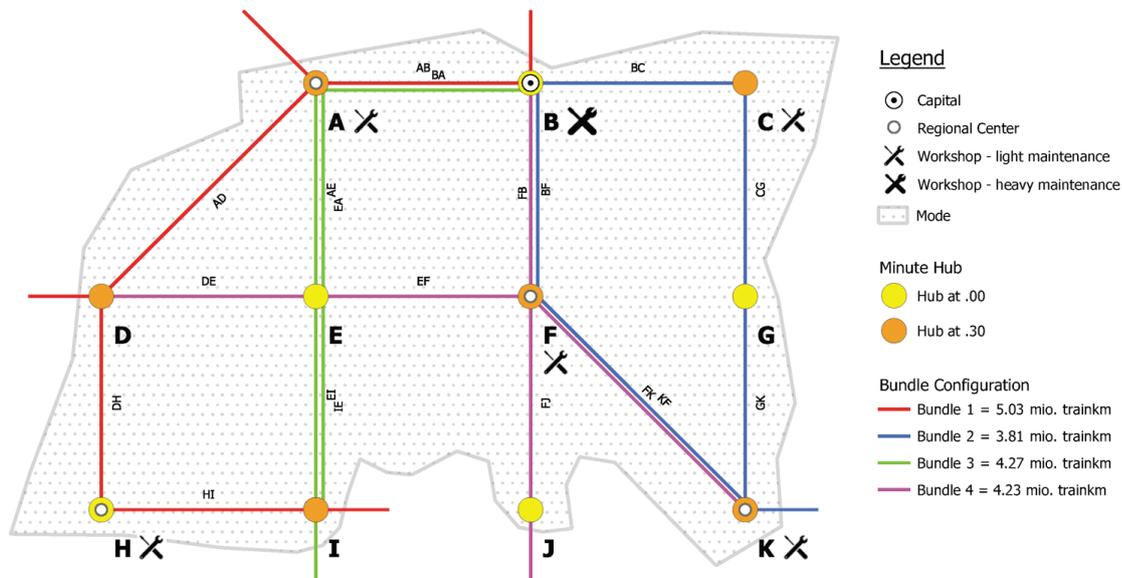


Figure 12: Bundles in model network with „medium“ parameters

options can be found in<sup>18</sup>. A concession or franchise model with exclusive rights is compatible with EU law, but is not provided for in the Austrian EisbG. Concessions would largely exclude Open Access services and thus restrict competition. This would not be the case with an award under the PSO-Directive. The only condition is that self-sustaining services are not in conflict with STP. A competitive award allows a detailed description and control of the service provision. Economically particularly attractive bundles may be able to generate revenue, as is the case with the British franchises. Economically less attractive bundles will require compensation payments, as is currently the case in Austria for most long-distance routes.

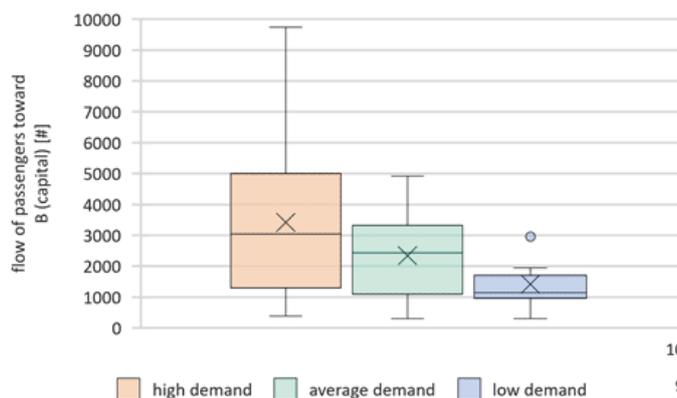


Figure 13: Passenger flow towards the main hub in the network depending on the demand intensity

## 5. Conclusion

In order to integrate competition and ITF at the long-distance level, the competitive awarding of system train path bundles is proposed. The practicability of STP could be proven by means

of application on several route sections. The procedure for the formation of line bundles shows plausible results, which were confirmed by a sensitivity analysis.

The tendering of STP bundles as PSOs ensures equal treatment of the RUs and at the same time creates the basis for prioritisation in train path allocation. With a minor adjustment of the allocation criteria in the network statement of ÖBB, it can be ensured with reference to the constraints of the ITF that system train paths are given priority in the timetable. This allows an effective use of infrastructure in the sense of the ITF and thus optimal transfer relations for passengers. System train paths cover the entire long-distance network, thus extending competition to those parts of the network where self-sustaining services are not profitable. On the profitable routes, self-sustaining services remain possible as long as they do not conflict with system paths.

Subsequently, the chronological sequence tendering system train path bundles and allocating system train paths has to be defined. In any case, long-term planning of the tende-

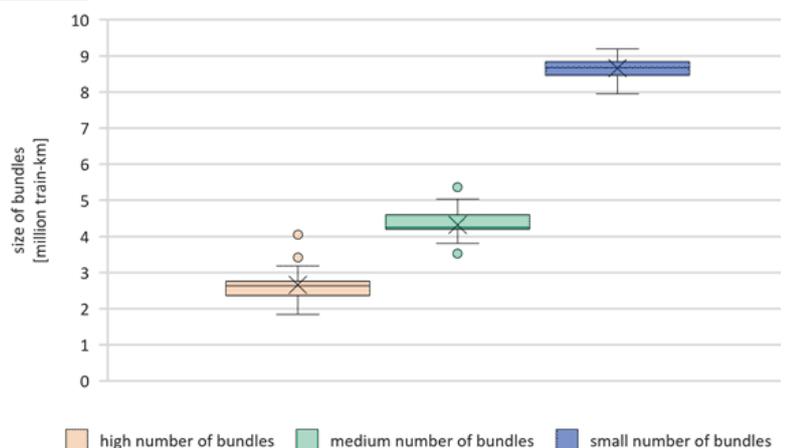


Figure 14: Size bundles depending on targeted number of bundles

ring process is necessary, as the procurement of new rolling stock takes several years. With the successful implementation of this process, it can be ensured in the future that the customer benefit can be optimised network-wide and that high infrastructure investments are used efficiently and sustainably.

#### Literature:

1. Casullo, L. (2016): The efficiency impact of open access competition in rail markets: The case of domestic passenger services in Europe. In: International Transport Forum Discussion Paper, 10/7, pp. 1–29.
2. Cartmell, J., Carlo, A. de, Cuc, R., Dunmore, D., Frisoni, R., Kouris, S., Raghetti, D., Routaboul, C., Scott, M., Stanghellini, A. and Vollath, C. (2016): Study on the prices and quality of rail passenger services. Report, European Commission Directorate General for Mobility and Transport, Brussels.
3. European Commission (2019): Report from the Commission to the European Parliament and the Council. Sixth report on monitoring development of the rail market. Commission staff working document, Brussels.
4. Janoš, V. and Baudyš, K. (2013): Issues of periodic-timetable construction on the fully liberalized railway market. In: Scientific Proceedings XXI International scientific-technical Conference „trans & MOTAUTO '13“, ed: N.N., Varna, 01.-02.07.2013, pp. 88–90.
5. Smoliner, M. (2019): System train paths as key to efficient infrastructure usage for on-track competition in ITF-regimes. In: Journal of Rail Transport Planning & Management, 12/7+8, pp. 1–12. doi: 10.1016/j.jrtpm.2019.100147.
6. EisebG: Bundesgesetz über Eisenbahnen, Schienenfahrzeuge auf Eisenbahnen und den Verkehr auf Eisenbahnen. BGBl. Nr. 60/1957, as amended in BGBl. I Nr. 143/2020 (Eisenbahngesetz 1957 - EisebG).
7. ÖBB-Infrastruktur AG (2020b): Network Statement 2021 of ÖBB-Infrastruktur AG including minimum access package and additional services, 09.11.2020 (version 1.5), Vienna.
8. Utenthaler, H. (2012): The development of the Integrated Periodic Timetable in Austria. In: Road and Rail Infrastructure II, ed: S. Lakušić, Dubrovnik, 7.-9.5.2012, pp. 863–868.
9. ÖBB-Personenverkehr AG (2018): Fahrplanbild 100. <https://www.oebb.at/de/fahrplan/fahrplanbilder>, last accessed: 30.11.2018.
10. Smoliner, M., Walter, S. and Marschnig, S. (2018a): Der Weg zur optimalen Abstimmung von Fahrplan und Infrastruktur, Teil 1. In: ZEVrail, 142/5, pp. 180–184.
11. 2012/34/EU: Directive 2012/34/EU of the European Parliament and of the Council of 21 November 2012 establishing a single European railway area (recast). OJ L 343, 14.12.2012, p. 32-104, as amended in Commission Delegated Decision 2017/2075/EU (Directive 2012/34/EU).
12. Gipp, C.e.a. (2015): Machbarkeitsstudie zur Prüfung eines Deutschland-Takts im Schienenverkehr (Bericht Z20/SeV/288.3/1324/LA15. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin.
13. BVwG (2019): Zuweisung von Fahrwegkapazität für die Netzfahrplanperiode 2019. Notification, 13.08.2019: W219 2213304/17E.
14. IRG-Rail (2019a): Seventh Annual Market Monitoring Report. Report, Independent Regulators' Group - Rail, Vienna.
15. Scherp, J. (2018): Workshop on „Competitive tendering of public service contracts for rail passenger transport: Meeting the challenge“ (Brussels, 03.05.2018).
16. Catharin, C. and Gürtlich, G.H. (2015): Eisenbahngesetz (Kommentar samt ökonomischen und rechtlichen Grundlagen der Eisenbahnen (3rd edition). Linde Verlag Ges.m.b.H, Vienna.
17. Simonis, C. (1981): Die nachfrageorientierte Optimierung von Omnibuslinien im Stadtbereich durch Verknüpfung von Teilstrecken nach unterschiedlichen Modellansätzen. Doctoral thesis, RWTH Aachen, Aachen.
18. Smoliner, M., Walter, S. and Marschnig, S. (2018a): Der Weg zur optimalen Abstimmung von Fahrplan und Infrastruktur, Teil 1. In: ZEVrail, 142/5, pp. 180–184.



## Leserbriefe

### **Leserbrief von Ing. Mag. iur. Herbert Huber zum „Der verkehrspolitische Standpunkt“ von Andreas Matthä, in: ÖZV - Heft 2/2022**

Dem Leitartikel von Andreas Matthä kann man nicht ohne weiteres zustimmen, denn schönen Worten folgen nur selten gute Taten. In Kärnten beobachte ich beinahe das Gegenteil. Es wurden im Gailtal, im oberen Drautal, im Görtschitztal und im Rosental Verladestellen für diese holzreichen Regionen einfach stillgelegt.

Die Verlagerung des schweren Güterverkehrs auf die Straße ist die logische Folge. Zu einer Zeit, als in Ferlach noch der Sägebetrieb Jaritz Holz verarbeitete, habe ich mich bemüht, die Schnittholztransporte zum Hafen Hamburg auf die Schiene zu bringen, die Verladerampe war vorhanden. Die Rail Cargo AG war nicht bereit in Weizelsdorf die erforderlichen Wagen bereitzustellen und abzuholen, das Angebot der NBiK, den Wagentransport zwischen Weizelsdorf und Ferlach zu übernehmen wurde mit dem Argument abgelehnt, dass der Güterzug in das Rosental nur dreimal pro Woche verkehrt und es daher zu Problemen mit Lieferzeiten und Wagenstandgeld kommen könnte. Das Angebot, die NBiK würde mit geprüftem Personal die Wagen nach Klagenfurt/Viktring oder Klagenfurt Frachtenbahnhof bringen bzw. dort abholen, wurde ohne Begründung abgelehnt.

So darf sich auch ein Monopolbetrieb [der Infrastruktur, Anm. d. Red.] wie die Österreichischen Bundesbahnen nicht verhalten. Vor einigen Tagen war ich in St. Michael ob Bleiburg und glaube gesehen zu haben, dass der Anschlußbahnbetrieb zum Bosch-Mahle Werk eingestellt wurde. So treibt man mit Gewalt den Güterverkehr von der Schiene auf die Straße. Wann also folgen den schönen Worten gute Taten?

### **Leserbrief von Dipl.-Ing. Ernst Lung zum Beitrag von Karl Frohner „Eine taugliche Alternative zum Lobau Tunnel“, in: ÖZV - Heft 2/2022**

Dem ersten Teil des Beitrags, einer kritischen Analyse der Probleme von Straßentunnels, wie Sicherheitsfragen und hohe Errichtungs- und Betriebskosten, kann ich voll zustimmen.

Der Lösungsvorschlag von Karl Frohner mit einer oberirdischen Alternativtrasse für die Schnellstraße S1 ist aus meiner Sicht jedoch keine zielführende Lösung. Der südliche Teil der Reste des Donau-Oder-Kanals ist einer der schönsten

natürlichen Badeplätze in Wien, der auch den Vorteil hat, nur mit dem Rad oder zu Fuß erreichbar und zu sein und daher Ruhe und Erholung zu gewährleisten. Weiter nördlich hat sich eine Einfamilienhaussiedlung entwickelt, deren Bewohner/innen sicher nicht hinter hässlichen Lärmschutzwänden wohnen wollen. Frohners Vorschlag würde daher, wenn eine Realisierung erwogen wird, massive Konflikte auslösen.

Interessant an Frohners Analyse finde ich, dass er auf das konkrete Beispiel der Tiefkühllogistik (TKL) eingeht, die wegen der nahezu permanenten Überlastung der Süd-Ost-Tangente Probleme bei der Lieferlogistik hat. Das Aufzeigen konkreter Probleme erleichtert auch das Nachdenken über konkrete Lösungen. Meiner Meinung nach ist eine aufwändige Autobahn durch die Lobau Schnee von gestern. Meine Lösung für die TKL wäre: Transporte nach Norden und Nordwesten können relativ problemlos über die A22 entlang der Donau erfolgen, die Wiener Innenstadt und die inneren Bezirke können (hoffentlich bald mit klimaneutralen Fahrzeugen) auch über die Reichsbrücke erreicht werden.

Für Fahrten in den Wiener Süden und zu Destinationen südlich von Wien braucht es eine innovative Alternative zu problematischen Autobahnen. Diese könnte beispielsweise so aussehen: Im Logistikzentrum (Zentrallager) in der Donaustadt der TKL werden diese Sendungen weitgehend automatisiert in Kleincontainer verladen, die ebenfalls weitgehend automatisch auf passenden Tragwagen verladen werden. Auch die Zugbildung erfolgt dank der digitalen automatischen Kupplung/DAK weitgehend automatisch. Der Zug über die 3 - 4-gleisig auszubauende Stadlauer Eisenbahnbrücke (möglichst angepasst an den historischen Baustil der Brücke) fährt vorerst noch mit Lokführer\*innen. Dies stellt eine erhebliche Personalsparnis gegenüber zahlreichen Lieferwagen auf der stauanfälligen Straße (A23, Tangente) In einem gemeinsamen Logistikzentrum von TKL und anderen Unternehmen im Wiener Südraum werden die Kleincontainer dann wieder weitgehend automatisiert auf emissionsarme und weitgehend klimaneutrale (Klein-)Lkw ungeladen und zur endgültigen Destination weiter transportiert.

Gemäß Google Maps liegt der Standort der TKL in der Hermann-Gebauer-Straße nahe der Ostbahn. Die Firma TKL hat auch einen Standort im Industriezentrum NÖ Süd in Laxenburg. Auch dort gibt es bestehende Anschlussbahnen.

Zusammenfassend denke ich, dass innovative Lösungen zumeist verkehrsträgerübergreifend und technologieorientiert sein müssen, ein Festhalten an straßenorientierten Lösungen erscheint in diesem Fall wenig zielführend. Für ein Technologieprojekt können auch verschiedene öffentliche Förderungen in Anspruch genommen werden, z.B. aus dem Rahmenprogramm Mobilität der Zukunft des BMK.

## Wir stellen vor

**Neues aus der Eisenbahn-Kurier-Verlag GmbH, Lörracher Straße 16, D-79115 Freiburg/Breisgau, alexandra.weber@eisenbahn-kurier.de; www.eisenbahn-kurier.de**

### **Die TEE-Triebwagen der Deutschen Bundesbahn Baureihe VT 11.<sup>5</sup> Entwicklung, Geschichte, Einsätze**

Rüdiger BLOCK

Einst leiteten die Triebwagen dieser Baureihe eine neue Epoche bei der Deutschen Bahn - DB ein, die als Inbegriff für eine gehobene Reisequalität galt: Den Trans-Europ-Verkehr - TEE. Mit diesem Buch setzt der Fachbuchautor für Diesellokomotiven, Rüdiger Block, den ehemaligen Verbrennungs-Triebwagen der Baureihe VT 115, ab dem Jahr 1968 als Baureihen 601 und 602 bezeichnet, ein technikgeschichtliches Denkmal. Nicht nur die Einsatzgeschichte, sondern auch die verschiedenen Umbauten, z.B. für den Reisebüroverkehr, werden ausführlich behandelt. Neben den Baureihen 601 und 602 werden auch ausländischen TEE-Triebzüge sowie die dänische Variante des VT 115 anhand zahlreicher Originaldokumente und einem repräsentativen Bildteil behandelt überaus detailliert behandelt.

Das vorliegende Werk umfasst 296 Seiten und 280 Abbildungen.

### **Verkehrsknoten Rostock**

Sebastian WERNER

Die Hanse-, Hafen- und Universitätsstadt Rostock ist gegenwärtig der bedeutendste Verkehrsknotenpunkt an der Ostseeküste. Im Mai 1850 erhielt Rostock mit der Eröffnung der Strecke aus Bad Kleinen ihren ersten Anschluss an die Eisenbahn. Bis zum Jahr 1895 wurden vier weitere Verbindungen aus den Richtungen Wismar, Stralsund und Berlin sowie nach Warnemünde errichtet. Insbesondere die Relation Berlin - Rostock - Warnemünde war von internationaler Bedeutung, da in Warnemünde ein direkter Anschluss an die Dampfschiffahrt über die Ostsee nach Gedser in Dänemark bestand.

Mit der Entstehung neuer Stadtteile nördlich von Rostock wurde auf der Relation Rostock - Warnemünde im September 1974 der offizielle S-Bahn-Betrieb aufgenommen.

Einen besonderen Stellenwert besaß in Rostock der Güterverkehr, denn in unmittelbarer Nähe zur Stadt befand sich der einzige Überseehafen

der Deutschen Demokratischen Republik - DDR, dessen gesamter Schienenverkehr über die eigene, jedoch der Deutschen Reichsbahn - DR untergeordneten Hafenbahn, abgewickelt wurde. Neben dem Eisenbahnbetrieb am Rostocker Hauptbahnhof werden in diesem Buch auch die Strecke nach Warnemünde, die beiden Rostocker Häfen mit ihren Anschlussbahnen und der Fährverkehr Warnemünde - Gedser behandelt.

Das vorliegende Werk umfasst 112 Seiten und 156 Abbildungen.

### **Alte Meister der Eisenbahn-Photographie. Detlev Luckmann**

Udo KANDLER

Der neue Band aus der Reihe „Alte Meister der Eisenbahn-Photographie“ ist dem Eisenbahnfreund Detlev Luckmann gewidmet, dessen fotografische Leidenschaft insbesondere den Klein-, Neben- und Industriebahnen galt. Gleichsam zugeneigt zeigte sich Luckmann gegenüber der „großen Eisenbahn“ auf den Strecken der Deutschen Bundesbahn - DB. Doch damit nicht genug der Schaffenskraft: Mit ebensolcher Begeisterung widmete sich Luckmann der Dampfschiffahrt auf dem Rhein. Angefangen haben alle seinen Aktivitäten im Jahr 1957 mit einer Filmdokumentation über die vor der Stilllegung stehenden Göttinger Gartetalbahn. Das fotografische und filmische Metier beherrschte Luckmann Zeit seines Lebens gleichermaßen gut.

Der rund 20.000 Aufnahmen umfassende Nachlass von Detlev Luckmann bot sich an, in den „Reigen der alten Meister“ aufgenommen zu werden. Das Ergebnis ist ein bunter Querschnitt der schönsten Aufnahmen, welche ein vielfältiges Erscheinungsbild der Eisenbahn fototechnisch wiedergeben, festgehalten von einem vielseitig talentierten Eisenbahnfotografen.

Das vorliegende Werk umfasst 144 Seiten und 169 Abbildungen.

### **Zeitschrift: EK-Special. Allgäubahn. Der Fernverkehr München - Kempten - Lindau**

Das neue EK-Special befasst sich mit einer der schönsten und gleichzeitig ältesten Eisenbahnstrecken Bayerns. Bereits bis 1854 konnten die Königlich Bayerischen Staatseisenbahnen den durchgehenden Zugbetrieb auf der bayerischen Allgäubahn München – Buchloe – Kempten – Immenstadt - Lindau am Bodensee aufnehmen. Diesem Teilstück der Ludwig-Süd-Nord-Bahn

kam von Beginn an eine hohe Bedeutung im Fernreiseverkehr zwischen München und der Schweiz sowie nach Vorarlberg zu.

Die vorliegende Zeitschrift EK-Special beleuchtet die Entwicklung des durchgehenden Fernverkehrs über Kempten bis zur Einstellung im Dezember 2020. Betrachtet werden auch ausgefallene Baureihen, die zu ihrer Zeit als Zeichen des technischen Fortschritts galten, z.B. die Gasturbinen-Lokomotiven der Baureihen 210 und 219, Prototypen wie die Baureihe V 320, den SBB-Triebzug RAm, die Dampflokomotiven-Klassiker der preußischen Gattung P 10 oder die bayerische „Dampflokomotivlegende“ S 3/6 in einer bewundernswerten Voralpenlandschaft. Ein Extrakapitel befasst sich mit der Verlegung des Hauptbahnhofs Kempten vor die Tore der Stadt. Ein Blick in die maßgeblich für die Zugförderung auf der Allgäubahn verantwortlichen Bw Kempten und Lindau rundet die Zeitschrift EK-Special ab.

#### **Zeitschrift: Aspekte. DB-Lokomotiven und Triebwagen - 2022**

Jedes Jahr zu Jahresmitte präsentiert der Eisenbahn-Kurier-Verlag die kompletten Bestands- und Beheimatungslisten der DB-Triebfahrzeuge zum Stichtag 1. Juli. Geordnet nach Baureihen sind in diesem Nachschlagewerk alle zu diesem Datum bei der Deutschen Bahn - DB im Bestand befindlichen Lokomotiven und Triebwagen (eigene und angemietete) mit ihren jeweiligen Heimatdienststellen aufgelistet. Der einleitende Text informiert über die Veränderungen auf dem Triebfahrzeugsektor seit der letzten Ausgabe. Zahlreiche halbseitige Aufnahmen aus dem DB-Betrieb der letzten 12 Monate runden die Ausgabe ab.

**Neues aus Paul Pietsch Verlage, Hauptstätter Straße 149, D-70178 Stuttgart, b.keidel@motorbuch.de; www.paul-pietsch-verlage.de**

#### **McDonnell Douglas DC- 10 - Die Flugzeugstars**

Wolfgang BORGMANN

Die riesige McDonnell Douglas DC-10 ist ein dreistrahliges Großraumflugzeug und sollte die Lücke zwischen der Boeing 747 und kleineren Passagiermaschinen schließen. Mit ihren drei Triebwerken ließ sich die DC-10 auf Strecken wirtschaftlich betreiben, die für den größeren „Jumbo-Jet“ schlicht unrentabel waren. Sie war nach der Boeing 747 lange Zeit das häufigste und schwerste Großraumflugzeug und wurde von vielen Airlines auf Mittel- und Langstrecken betrieben. Für das Militär entstand unter anderem

die Tankerversion KC-10, die bis heute im Einsatz ist. Auch zahlreiche Frachtdienstleister fliegen die Maschine bis heute.

Das vorliegende Werk umfasst 144 Seiten und 160 Abbildungen.

#### **F-104 Starfighter**

Gerhard LANG

Der Name Starfighter ist zu einer Legende in vielfacher Hinsicht geworden! Im Jahre 1954 flog dieser, eher einer Rakete nachgebildete Jäger zum ersten Mal, in den folgenden Jahren übertraf der Starfighter alle bis dahin gekannten Steigzeit-, Höhen- und Geschwindigkeitsrekorde. Dieser Flugzeugtyp bestand fast nur aus einem Triebwerk mit überraschend kleinen Stummelflügeln. Auch die Deutsche Bundeswehr flog das Muster als F-104G. Die Tragflächen waren trapezförmig und so dünn, dass in ihnen kein Platz für Fahrwerk und Tanks blieb. Diese Komponenten wurden - als besonderes Konstruktionsmerkmal - in den hinteren Teil des Rumpfes verlegt. Der Starfighter wurde bei der Bundeswehr bis zum Jahr 1983 geflogen

Das vorliegende Werk umfasst 144 Seiten und 160 Abbildungen.

#### **F-4 Phantom**

Bernd VETTER, Frank VETTER

Als einer der letzten echten „Düsenjäger“ im klassischen Sinn gilt vielen Experten der Luftfahrtgeschichte die in ihrem Aussehen unverwechselbare F-4 Phantom. Keine geschmeidigen Konturen, keine Faserverbundwerkstoffe oder High-Tech-Applikationen kennzeichnen diesen Flugzeugtyp, sondern ein zweckmäßiges Fighter-Design aus der „Hochzeit des Kalten Krieges“, das den etwaigen Gegner beeindrucken soll. Die F-4-Phantom war eines der erfolgreichsten Kampfflugzeuge der letzten Jahrzehnte. Die „brachial“ aussehende Maschine stand bei Dutzenden von Streitkräften im Einsatz, auch bei der Luftwaffe der Deutschen Bundeswehr, die ihre letzten Maschinen erst im Jahre 2013 „in den Ruhestand schickte“. Das vorliegende Werk ist sowohl ein Bild- als auch ein Technikband und kann mit vielen Details aufwarten.

Das vorliegende Werk umfasst 240 Seiten und 200 Abbildungen.

#### **Grumman F-14 Tomcat**

Tony HOLMES

Die F-14 Tomcat ist das wohl mit Abstand bekannteste moderne Trägerflugzeug, vor allem

bekannt geworden durch die Kinofilme „Top Gun“ oder „Der letzte Countdown“ mit Tom Cruise. In beiden Filmen spielte die Tomcat eine Schlüsselrolle, die den Schwenkflügeljäger berühmt machte. Nach Rollversuchen hob die F-14 Tomcat am 21. Dezember zu einem kurzen Erstflug mit zwei weiten Flugplatzrunden ab. Die F-14 entstand Anfang der 1970er-Jahre als Hochleistungs-Abfangjäger zum Schutz der US-Trägerkampfverbände vor feindlichen Bombern. Das Einsatzgebiet war jedoch vielfältig, Die F-14 wurde auch als Jagdbomber genutzt. Der Wartungsaufwand der alten Jets lag inzwischen bei 40 bis 50 Stunden pro Flugstunde. Daher entschloss sich die US Navy, ihren „legendären Jäger“ im September 2006 außer Dienst zu stellen. Der letzte Flug einer Tomcat fand am 4. Oktober 2006 statt. Der vorliegende Band ist überaus detailliert und informativ gestaltet.

Das vorliegende Werk umfasst 192 Seiten und 200 Abbildungen.

