

Demand Responsive Rail Transport auf Regionalstrecken – Konzept, Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit

Mittels Automatisierung und Digitalisierung könnten erstmals flexible Bedienformen ähnlich eines straßengebundenen Demand Responsive Transport (DRT)-Systems auch auf der Schiene zum Einsatz kommen. Im Rahmen einer Machbarkeitsanalyse, Betriebssimulation sowie Wirtschaftlichkeitsberechnung wird geprüft, ob eine Attraktivitätssteigerung und Angebotsverbesserung für regionale Strecken erreicht werden kann.



Neue Technologien ermöglichen Konzepte wie Demand Responsive Rail Transport und damit neue Perspektiven für Regionalstrecken.



1. Einleitung

Erklärtes Ziel der Bundesregierung ist eine Verdopplung der Fahrgastzahlen im Schienenverkehr bis zum Jahr 2030 im Vergleich zu 2015 [1]. Während hierfür auf stark nachgefragten Hauptstrecken vorrangig eine Erweiterung der Kapazitäten erforderlich ist, steht auf weniger nachgefragten Regionalstrecken eine Attraktivitätssteigerung des Bahnsystems im Vordergrund. Ein möglicher Ansatz ist dabei, den Bahnverkehr flexibler zu gestalten und das Angebot dynamisch an die Nachfrage anzupassen, um potenziellen Reisenden mit passgenauen Zugfahrten die Entscheidung für den Verkehrsträger Bahn zu erleichtern.

Während bedarfsorientierte Angebote auf der Straße bereits seit den 1970ern diskutiert werden [2] [3], sind den Autoren hierzu im Bahnbereich nur sehr we-

nige wissenschaftliche Untersuchungen bekannt [4]. Dabei hat die Bahn hier den Vorteil, dass die Hürden für eine Automatisierung systembedingt niedriger sind und daher der Einsatz kleiner autonomer Fahrzeuge, die für ein solches bedarfsorientiertes System auf der Schiene geeignet wären, in naher Zukunft denkbar scheinen.

In Anlehnung an den etablierten Begriff DRT (Demand Responsive Transport) wird dieses System im Folgenden DRRT (Demand Responsive Rail Transport) genannt. Gegenüber straßengebundenen Angeboten hat ein DRRT-System die bahnspezifischen Vorteile bezüglich Reisekomfort, Energiebedarf und Umweltaspekten [5], jedoch auch Herausforderungen durch eine oft eingleisige und daher für die Betriebsdurchführung restriktive Infrastruktur. Im Vergleich zum klassischen Linienbetrieb können allerdings mehr Direktverbindungen angeboten werden. Darüber hinaus könnte aufgrund der flexiblen Betriebsweise auch in Randzeiten und dispersen Räumen ein wettbewerbsfähiges Angebot ermöglicht werden.

Ziel dieses Artikels ist, die prinzipielle Machbarkeit eines solchen Systems mithilfe einer Betriebssimulation und einer von Annahmen geprägten Wirtschaftlichkeitsberechnung zu prüfen und weiteren Forschungsbedarf abzuleiten. Viele bedarfsorientierte Angebote haben sich in der Vergangenheit nicht durchsetzen können oder waren nicht wirtschaftlich [6]. Daher ist ein solches DRRT-Konzept kritisch zu



Dipl.-Ing. Philip Ritzer
Wissenschaftlicher Mitarbeiter,
DLR-Institut für Verkehrssystem-
technik, Braunschweig
philip.ritzer@dlr.de



Dipl.-Ing. Leander Flamm
Wissenschaftlicher Mitarbeiter,
DLR-Institut für Verkehrssystem-
technik, Braunschweig
leander.flamm@dlr.de



Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Benedikt Scheier, M.Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter,
DLR-Institut für Verkehrssystem-
technik, Braunschweig
benedikt.scheier@dlr.de



Michael Mönsters, M.Sc.
Wissenschaftlicher Mitarbeiter,
DLR-Institut für Verkehrssystem-
technik, Braunschweig
michael.moensters@dlr.de

prüfen und der Vergleich mit einem konventionellen Linienbetrieb von besonderer Bedeutung. Der Referenzfall Linienbetrieb wird daher nachfolgend in alle aufgeführten Vergleichskriterien mit einbezogen.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DLR / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

2. Konzept des DRRT-Systems

Zunächst ist zu definieren, welche Form eines nachfragegesteuerten Bahnbetriebs untersucht werden soll. Es hängt stark von der Charakteristik des betrachteten Netzes ab, welche Rahmenbedingungen und Anforderungen an das System gestellt werden. Gegenstand dieser Studie ist das sekundäre Regionalbahnnetz rund um Braunschweig (BS) mit den Strecken:

- Salzgitter-Lebenstedt–Braunschweig
- Schöppenstedt–Braunschweig
- Harvesse–Braunschweig
- Gifhorn–Braunschweig

Das Netz (Bild 1) kann durch die folgenden Punkte grob beschrieben werden:

- geringe Nachfrage (7000 Reisende pro Tag bzw. 1000-2000 pro Streckenast)
- Ausrichtung auf einen zentralen Umsteigeknoten (Braunschweig Hbf)
- innerstädtische Verkehrsfunktion innerhalb Braunschweigs
- Nachfrageschwerpunkte außerhalb des Kerngebiets (Salzgitter-Lebenstedt, Wolfenbüttel, Gifhorn)
- lange eingleisige Streckenabschnitte

Vor allem die eingleisigen Streckenabschnitte schränken die Möglichkeiten einer flexiblen Betriebsführung stark ein, da Fahrzeuge entweder in gleicher Richtung hintereinander fahren, oder an Kreuzungsbahnhöfen auf entgegenkommende Fahrzeuge warten müssen, wodurch sich die Reisezeiten teilweise stark verlängern können.

Um dennoch eine möglichst große Flexibilität zu ermöglichen, wird für das Netz eine Ausstattung mit ETCS Level 3 oder einem vergleichbaren Sicherungssystem angenommen, das ein Fahren im wandernden Raumabstand („Moving Block“) ermöglicht. Hierdurch können mehrere Fahrzeuge in kurzem Abstand hintereinanderfahren und eine Mehrfachbelegung von Kreuzungsgleisen ist so ebenfalls mit mehreren Fahrzeugen möglich. Unter dieser Annahme wurden an den Streckenenden und in Braunschweig Hbf platzsparende Abstellanlagen im Simulationsmodell eingefügt, in denen unbeschäftigte Fahrzeuge warten können.

Die Fahrzeuggröße wurde zunächst als Variable in die Simulation eingefügt, sodass Fahrzeuggrößen von 10 bis 100 Sitzplätzen untersucht werden konnten. Wie die Wirt-

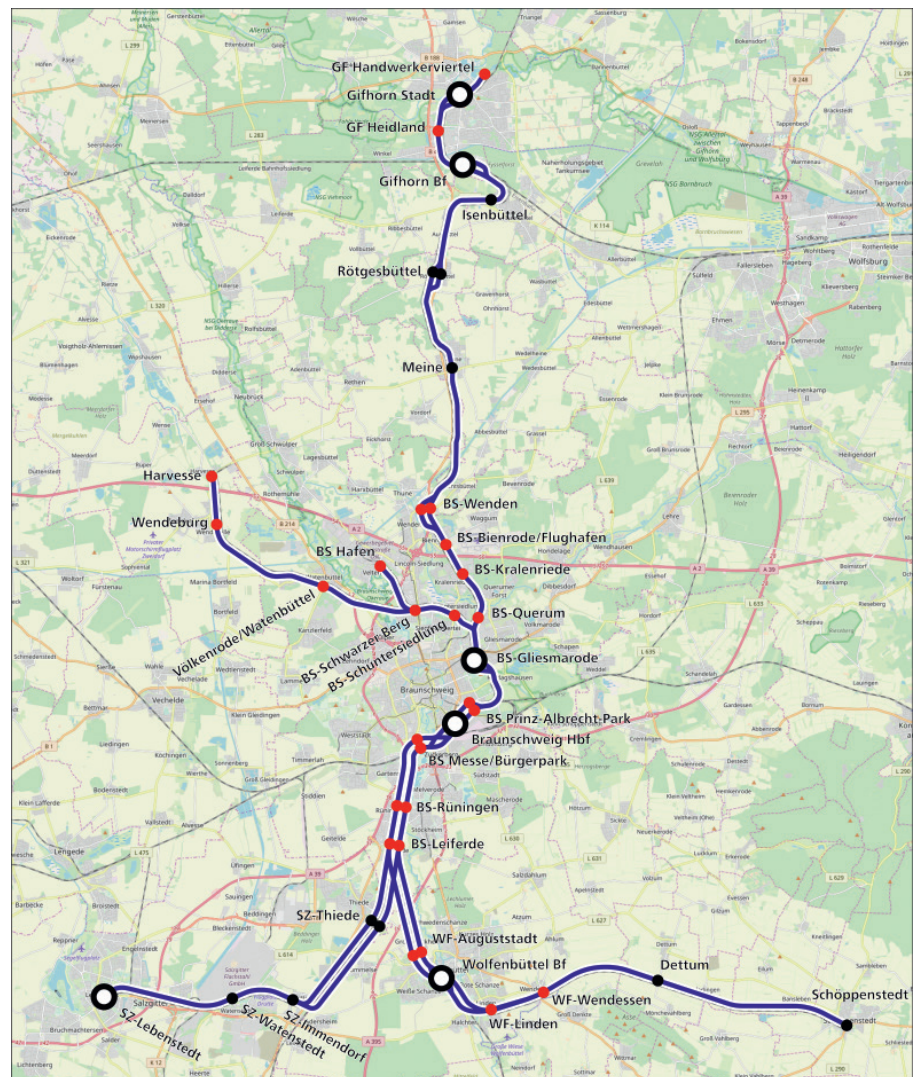
schaftlichkeitsberechnung (siehe Kapitel 5) gezeigt hat, ist ein wirtschaftlicher Betrieb vieler kleiner Fahrzeuge am ehesten mit einer vollautomatischen Zugsteuerung realisierbar, weshalb in der Simulation auf die Planung von Personalumläufen und längeren Wendezeiten verzichtet werden konnte.

Um die Effekte eines nachfragegesteuerten Betriebs voll auszunutzen, wurde das Netz um drei Infrastrukturmaßnahmen (Weichenverbindung Gifhorn Bf, Reaktivierung zweites Gleis BS-Wenden und Zweigleisigkeit Braunschweig Hbf–BS Prinz-Albrecht-Park) sowie eine Vielzahl neuer Haltepunkte erweitert (siehe Bild 1), die mit sehr kurzen Bahnsteigen vergleichsweise günstig angelegt werden könnten. Diese zusätzlichen Stationen wurden zur Vergleichbarkeit auch im Linienbetrieb berücksichtigt.

3. Modellaufbau und Simulation

Die Simulation des DRRT-Betriebs wurde mit einem eigens dafür entwickelten Modell in der Programmiersprache Python umgesetzt. Die Infrastruktur basiert auf dem Schienennetz der Region Braunschweig aus OpenStreetMap [7]. Beim Import werden anhand der geometrischen Daten Kreuzungen und Weichen und die jeweils zulässigen Fahrwege identifiziert. Die Nachfrage wird durch eine Quelle-Ziel-Matrix abgebildet, welche von der zeitlichen und räumlichen Nachfrageverteilung aus dem Nahverkehrsplan 2020 Großraum Braunschweig [8] abgeleitet ist.

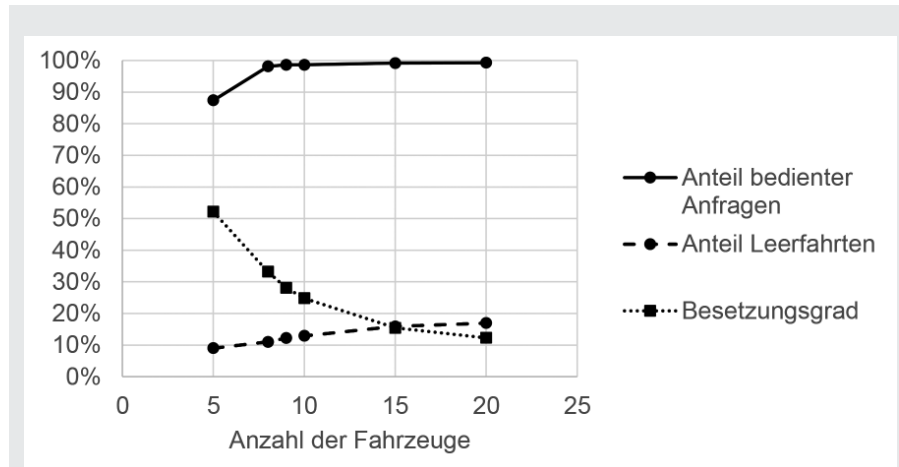
Für jede modellierte Fahrtenanfrage gibt ein eigens entwickelter Fahrstraßen-Router die Fahrzeiten für die angefragte Relation zurück, wobei Konflikte mit anderen Fahrten erkannt und gelöst wer-



1: Untersuchtes Streckennetz mit Gleislayout und Stationen (neue in rot)

Quelle: [7], bearbeitet

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DLR /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH



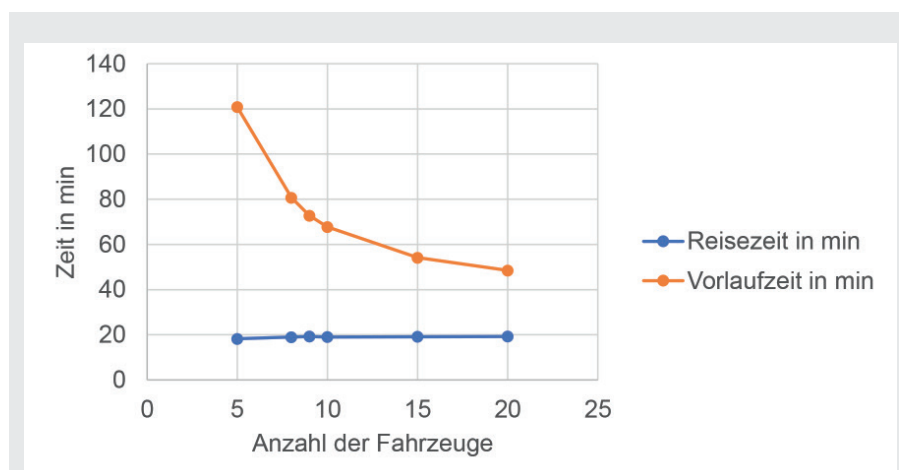
2: Einfluss der eingesetzten Fahrzeuge auf den Anteil der bedienten Anfragen und Leerfahrten sowie den mittleren Besetzungsgrad (DRRT-Betrieb)

den müssen. Während straßenbündige Systeme hierbei auf einfache Routing-Algorithmen zurückgreifen können, sind Schienenverkehre durch ihre Spurbindung weitaus komplexer. Das Paradigma des Straßenverkehrs, dass prinzipiell alle Relationen gleichzeitig und unabhängig voneinander befahren werden können, gilt hier nicht. Stattdessen kann es vorkommen, dass ein Gleis bereits belegt ist und Überholvorgänge mangels Weichenverbindungen nicht möglich sind. Der implementierte Router basiert auf einer iterativen Wegesuche (A*-Algorithmus [9]) und Backtracking (Rücksetzverfahren) bei erkannten Konflikten.

Ein zusätzlich entwickelter Dispositionsalgorithmus ist für die Koordination von Fahrzeugbewegungen und Nachfrage zuständig. Dabei wird eine regelbasierte

Heuristik eingesetzt. Diese verwirft Fahrten, welche die minimal mögliche Fahrzeit um einen vorgegebenen Faktor (hier 50%) überschreiten. So wird verhindert, dass insbesondere auf eingleisigen Abschnitten Fahrten entgegen der aktuell etablierten Haupttrichtung eingelegt werden. Sind mehrere Fahrten möglich, wird diejenige Option gewählt, welche kumuliert die meisten Anfragen bedient.

Für die Bewertung des Referenzfalls wurde anhand der Fahrplandaten eine Reisezeitrechnung für alle Anfragen durchgeführt. Anschließend wurde der Fahrplan sinnvoll an die angesetzte Nachfrageverteilung angepasst, um häufig angefragte Verbindungen möglichst mit Direktfahrten bedienen zu können. Daraus resultiert ein Linienbetrieb mit Halbstundentakt, der im Zentrum zu einem 15-Minuten-Takt ver-



3: Einfluss der eingesetzten Fahrzeuge auf mittlere Reise- und Vorlaufzeit (DRRT-Betrieb)

dichtet wird und auf den Außenästen bei einem 60-Minuten-Takt verbleibt.

4. Ergebnisse

Der vorliegende Artikel hat den Anspruch, eine allgemeine Machbarkeit eines nachfragegesteuerten Bahnbetriebs auf eingleisigen Strecken zu demonstrieren. Der dafür entwickelte Dispositions-Algorithmus stellt einen ersten zweckmäßigen Entwurf dar, weshalb nicht von einer optimalen Lösung ausgegangen werden kann. Dennoch können erste Schlüsse aus den Resultaten gezogen werden, die für die Einschätzung des Potenzials dynamischer Betriebskonzepte und für die weitere Forschung relevant sind.

Für das DRRT-Konzept wird angenommen, dass eine Person ihren Reisewunsch an ein Vermittlungs-System übermittelt (z. B. per App) und daraufhin eine mögliche Abfahrtszeit vorgeschlagen wird. Die Zeit vom Stellen der Anfrage bis zur möglichen Abfahrtszeit wird dabei als Vorlaufzeit bezeichnet. Es wird davon ausgegangen, dass die Vorlaufzeit im Interesse der Reisenden möglichst gering sein sollte. Im Anschluss wird die Person mit einem DRRT-Fahrzeug an ihr Ziel gebracht, wobei die Zeit zwischen Abfahrt und Ankunft als Reisezeit bezeichnet wird. Vorlauf- und Reisezeit sind in dieser Studie zwei wesentliche Faktoren zur Beurteilung der Angebotsqualität aus Sicht der Reisenden.

Um einen Vergleich zu ermöglichen, wird auch im Linienbetrieb davon ausgegangen, dass Personen einen Reisewunsch äußern und die nächste verfügbare Verbindung nutzen. Folglich wird als mittlere Vorlaufzeit die halbe Taktzeit angenommen, da sich diese Zeit bei einem zufälligen Zeitpunkt der Anfrage im Mittel ergeben würde. Somit unterscheidet sich die Vorlaufzeit je nach Taktzeit der gewünschten Verbindung. Im Gegensatz zum DRRT-Betrieb, welcher ausschließlich Direktverbindungen anbietet, sind im Linienbetrieb je nach angefragter Verbindung auch Umstiege notwendig. Die sich aus dem Fahrplan ergebenden Umsteigezeiten werden der kombinierten Reisezeit zugerechnet.

Aus Bild 2 geht hervor, dass etwa acht Fahrzeuge mit der angesetzten Kapazität von je 70 Personen notwendig sind, um nahezu alle Anfragen zu bedienen. Werden darüber hinaus mehr Fahrzeuge eingesetzt, wird das System ineffizienter, da mehr Leerfahrten auftreten und der mittlere Besetzungsgrad sinkt. Andererseits kann

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DLR /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt / © DWV Media Group GmbH

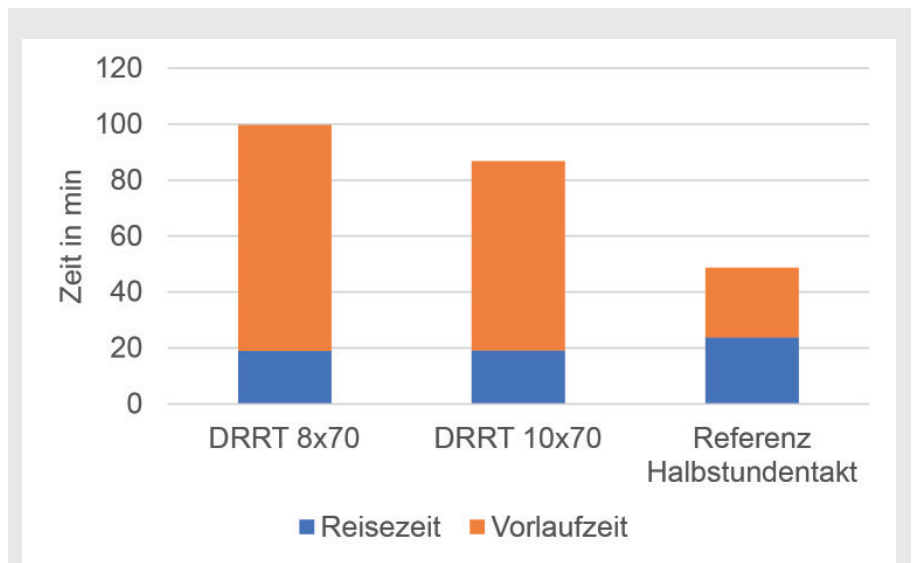
dadurch jedoch die mittlere Vorlaufzeit reduziert werden, während die mittlere Reisezeit nahezu unbeeinflusst von der Anzahl der Fahrzeuge ist, siehe Bild 3.

Bild 4 zeigt für die DRRT-Fahrten im Vergleich zum Linienbetrieb im Halbstundentakt eine um ca. 20% reduzierte Reisezeit. Anders verhält es sich mit den Vorlaufzeiten, die für das DRRT-System im Mittel deutlich höher ausfallen. Wird die Vorlaufzeit rechtzeitig kommuniziert, kann diese von Reisenden jedoch sinnvoll genutzt werden. Die Summe aus mittlerer Reisezeit und Vorlaufzeit fällt im DRRT-Szenario deutlich höher aus als im Linienbetrieb.

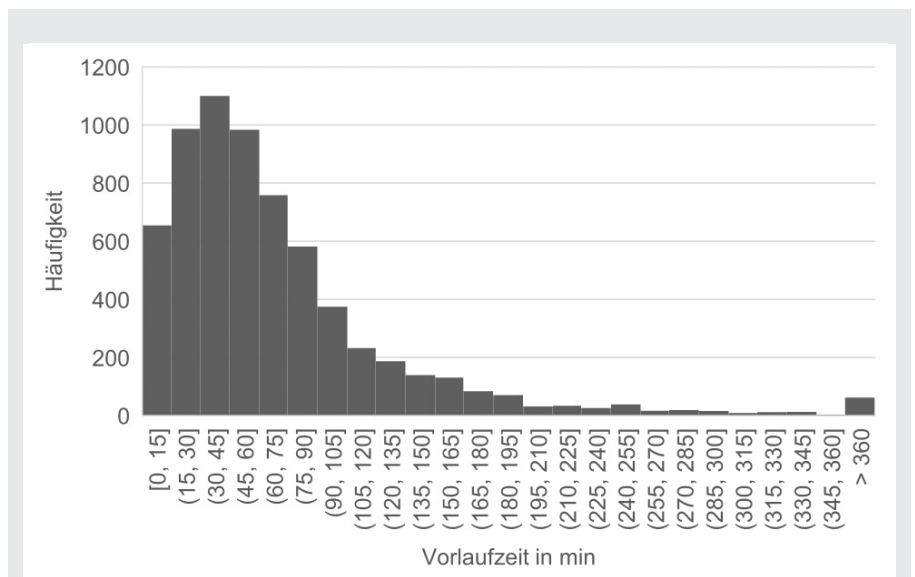
Im Linienbetrieb kann im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass keine Anfrage abgelehnt wird. Nur in Spitzenzeiten könnte es zu Engpässen bei dem Platzangebot kommen, wobei dies bei der hier angesetzten, niedrigen Nachfrage sehr unwahrscheinlich ist (siehe Kapitel 2). Im DRRT-Betrieb kann es jedoch zu Situationen kommen, in denen eine Anfrage erst nach mehreren Stunden oder gar nicht bedient werden kann. Limitierend sind hier besonders die eingleisigen Streckenabschnitte, welche eine Fahrt in der Gegenrichtung für einen langen Zeitraum blockieren können. Die Verteilung der Vorlaufzeit ist in Bild 5 dargestellt. Bei zehn Fahrzeugen werden 77% der Anfragen mit einer Vorlaufzeit von unter 90 Minuten bedient. Allerdings ergibt sich für 5% der Anfragen eine Vorlaufzeit von über drei Stunden.

5. Wirtschaftlichkeitsberechnung

Mit den Fahrzeugparametern und den Ergebnissen aus der betrieblichen Simulation wird eine vergleichende Wirtschaftlichkeitsberechnung zwischen Linienbetrieb (Referenz) und DRRT vorgenommen. Es wird eine Lebenszykluskostenbetrachtung über 30 Jahre mit einem kalkulatorischen Zins von 1,7% durchgeführt. Dazu werden die Kostenelemente Fahrzeuganschaffung, Triebfahrzeugführende, Energieaufwand und Instandhaltung der Fahrzeuge angesetzt. Die Investition liegt je Fahrzeug im Linienbetrieb bei 3,885 Mio. EUR und im DRRT bei 3 Mio. EUR bei jährlichen Instandhaltungskosten von 2,5% des Investitionswertes. Für die Personalkosten werden 57 EUR je Stunde brutto angesetzt [10] und für den Energieaufwand 4 kWh je Zugkilometer im Linienbetrieb und 2,5 kWh im DRRT-Betrieb bei einem Strompreis von 0,2 EUR je kWh. DRRT benötigt eine Moving-Block-Funktion der Leit- und Sicherungstechnik.



4: Mittlere Reise- und Vorlaufzeiten im DRRT-Betrieb (8/10 Fahrzeuge à 70 Sitzplätze) und fahrplangebundenen Angebot (Referenz Halbstundentakt)

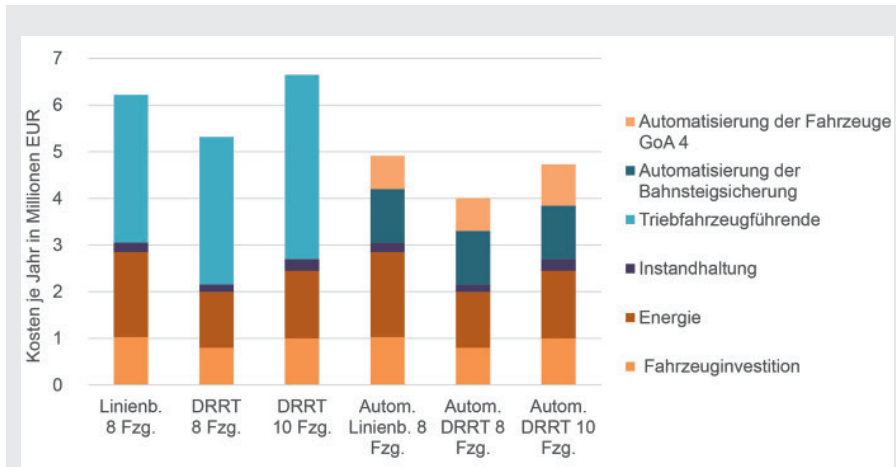


5: Verteilung der Vorlaufzeiten für zehn DRRT-Fahrzeuge

Auch aus ökonomischen Gründen wird die Einführung dieser Technologie voraussichtlich auch für regionale Strecken tragfähig sein und hier für den Linienbetrieb angenommen, da infrastrukturseitige Gleisfreimeldeeinrichtungen entfallen [11]. In diesem Vergleich wird dieser Punkt daher nicht gesondert berücksichtigt. Ferner werden Trassengebühren nicht einbezogen, da sich die Infrastruktur in Art und Umfang zwischen Linienbetrieb und DRRT nicht unterscheidet.

Bild 6 zeigt die jährliche Höhe der einzelnen Kostenelemente im Vergleich des Li-

nienbetriebes mit dem DRRT. Es zeigt sich, dass die Personalkosten für die Triebfahrzeugführenden die größte Kostenposition einnehmen. Dies stellt zugleich ein hohes Potential zur Kosteneinsparung mittels Automatisierung des Betriebes dar. Daher wurden Kostenannahmen zur Ausstattung der Fahrzeuge und der Bahnsteige getroffen und Berechnungen ausgeführt [12]. Es wurde angenommen, dass die Fahrzeugautomatisierung eine Lebensdauer von 15 Jahren und die Bahnsteigsicherung von 20 Jahren aufweisen. Entsprechende Ersatzinvestitionen sind in Bild 7 zu sehen. Ca. 30%



6: Jährliche Kosten für Linienbetrieb und DRRT-Betrieb

der Kosten können bei einer Vollautomatisierung eingespart werden. Besonders der DRRT-Betrieb mit der höheren Anzahl von zehn Fahrzeugen profitiert von der Automatisierung.

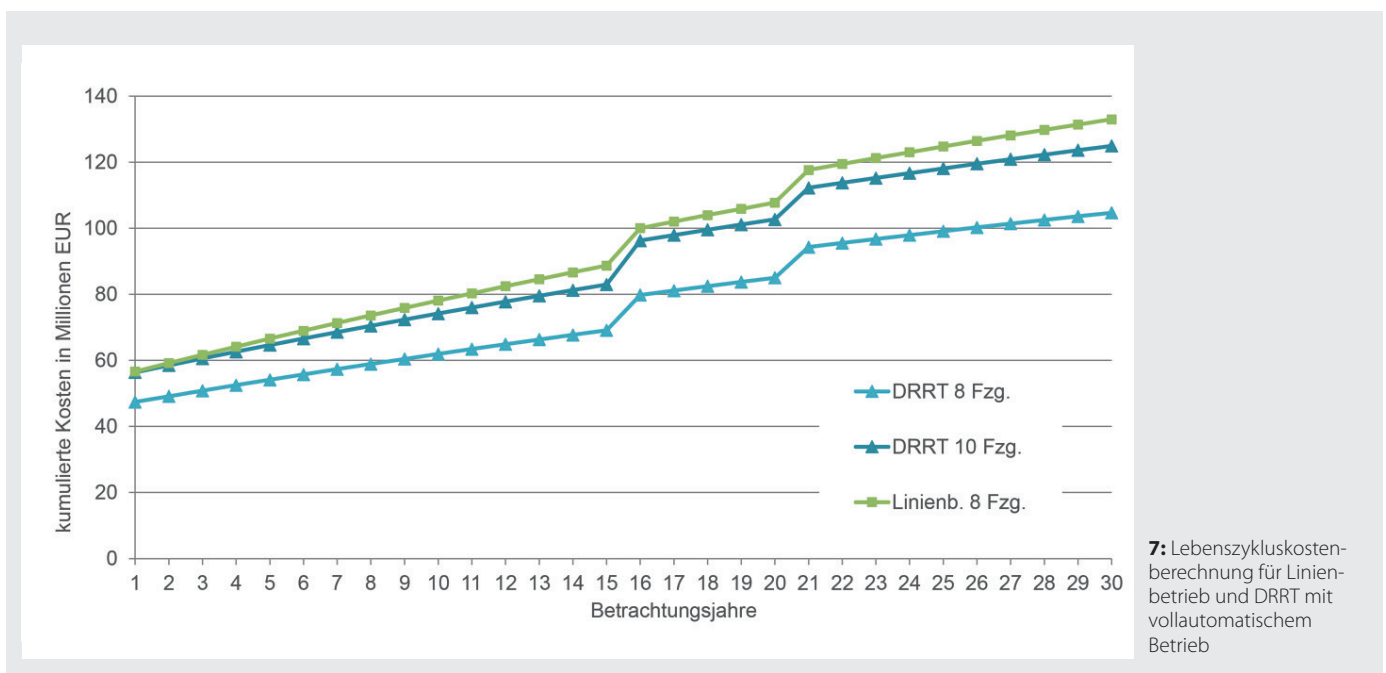
6. Diskussion und weiterer Forschungsbedarf

Für das gewählte Beispielnetz konnte die konzeptionelle Machbarkeit autonomer Schienenfahrzeuge im nachfragegesteuerten Betrieb demonstriert werden. Trotz der langen eingleisigen Abschnitte zeigen die Fahrzeuge ein sinnvolles Verhalten im

Betrieb und können die angesetzte Nachfrage prinzipiell bedienen. Der Nutzen für die Reisenden stellt sich im Vergleich zum Linienbetrieb differenziert dar. Einerseits bietet das DRRT-Angebot im Mittel kürzere Reisezeiten, da durch die Direktfahrten keine Umstiege notwendig sind. Besonders stark profitieren Verbindungen, die im Linienbetrieb aufgrund ihrer geografischen Lage einen Umstieg erfordern. Andererseits kommt es im bedarfsorientierten Angebot zu erheblich längeren Vorlaufzeiten zwischen dem Stellen der Anfrage und dem Beginn der Reise. Hier zeigt sich, dass der Linienbetrieb optimal

auf die eingleisigen Streckenabschnitte angepasst ist und dadurch ein stabiles, periodisches Angebot liefern kann. Das DRRT-System kann hingegen durch die betrieblichen Restriktionen für einen Teil der Reisenden kein sinnvolles Fahrtangebot bereitstellen, da sich Vorlaufzeiten von mehreren Stunden ergeben. In der Praxis könnte dieser Teil der Reisenden eventuell auf andere Alternativen des öffentlichen Verkehrs ausweichen. Schon leichte Variationen in der zeitlichen oder räumlichen Verteilung der Fahrtwünsche können das Systemverhalten insgesamt negativ oder positiv beeinflussen, da es je nach resultierender Fahrt zu Konflikten oder Bündelungen auf eingleisigen Streckenabschnitten kommen kann. Hier ist als Verbesserung des aktuell implementierten Verfahrens eine intelligentere Disposition denkbar, welche durch eine Prognose versucht, ungünstige Fahrten zu vermeiden.

Die Lebenszykluskosten des DRRT-Angebots mit zehn Fahrzeugen sind in erster Näherung vergleichbar mit dem Referenzfall Linienbetrieb. Wenn die Anzahl der Fahrzeuge auf acht reduziert wird, ist eine weitere Kostenreduktion ohne Verlängerung der Reisezeiten möglich. Allerdings führt dies zu einem relevanten Anstieg der Vorlaufzeiten, welche bereits mit zehn Fahrzeugen deutlich höher als im Linienbetrieb ausfallen. Die Automatisierung kann die Wirtschaftlichkeit des Angebots auf Regionalstrecken erhöhen und ermöglicht Handlungsspielräume



7: Lebenszykluskostenberechnung für Linienbetrieb und DRRT mit vollautomatischem Betrieb

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DLR / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

bezüglich der Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge, da die Betriebskosten pro Fahrzeug geringer ausfallen.

Zusammenfassend können die Direktverbindungen des DRRT zur Attraktivitätssteigerung beitragen und damit neue Zielgruppen erschließen. Allerdings müssen die langen Vorlaufzeiten im untersuchten Szenario kritisch betrachtet werden. Weiterhin ist zu prüfen, inwieweit DRRT feste Ankunftszeiten gewährleisten kann, die sich beispielsweise aus fest getakteten Anschlussverbindungen oder terminlichen Restriktionen ergeben. In diesem Zusammenhang ist die Entwicklung verbesserter Dispositions-Algorithmen von Bedeutung. Weitere Forschungsfelder sind die Stabilität bezüglich betrieblicher Störungen, Anforderungen an die Leit- und Sicherungstechnik und das Energiemanagement bei Streckenabschnitten ohne Oberleitung. Dabei muss sich ein DRRT-System auch immer mit der Referenz des Linienbetriebs messen lassen. Der Vergleich zu bedarfsorientierten Angeboten auf der Straße, welche durch die Entwicklung autonomer Straßenfahrzeuge neue Bedeutung gewinnen können, sollte in Zukunft berücksichtigt werden. Perspektivisch können bedarfsorientierte Angebote auf der Schiene, besonders in Verbindung mit autonomen Fahrzeugen, ein Zukunftsszenario auf Regionalstrecken darstellen und werden daher unter starker Beteiligung des DLR mit weiterer Forschung begleitet.

Literatur

[1] Bundesregierung Deutschland, „Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD 19. Legislaturperiode,“ 12. März 2018. [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/847984/5b8bc23590d4cb2892b31c987ad672b7/2018-03-14-koalitionsvertrag-data.pdf>. [Zugriff am 22. März 2021].

[2] N. H. M. Wilson, J. M. Sussman, H.-K. Wong und T. Higonnet, Scheduling algorithms for a dial-a-ride system, Massachusetts Institute of Technology. Urban Systems Laboratory, 1971.

[3] M. W. K. A. Breuer und W. Verdonck, „Rufbus, Retax and Bustaxi: Three European systems of demand-actuated public transport,“ Traffic Engineering & Control, Bd. 19, Nr. 6, pp. 287 – 291, 1978.

[4] O. Cats und J. Haverkamp, „Strategic Planning and Prospects of Rail-Bound Demand Responsive Transit,“ Transportation Research Record, Bd. 2672, Nr. 8, p. 404 – 410, 2018.

[5] R. Pörner, „Innovative Bahntechnik stärkt den Klimavorteil der Schiene,“ ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, Nr. 9, pp. 508-513, 2008.

[6] M. Enoch, S. Potter, G. Parkhurst und M. Smith, „Why do demand responsive transport systems fail?,“ Transportation Research Board 85th Annual Meeting, 22.-26. Januar 2006.

[7] OpenStreetMap-Mitwirkende, „OpenStreetMap Copyright,“ [Online]. Available: <https://www.openstreetmap.org/copyright>. [Zugriff am 30. März 2021].

[8] Regionalverband Großraum Braunschweig, „Nahverkehrsplan 2020 Großraum Braunschweig,“ 2020. [Online]. Available: <https://www.regionalverband-braunschweig.de/verkehrsplanung/nahverkehrsplan-nvp/>. [Zugriff am 10. März 2021].

[9] P. E. Hart, N. J. Nilsson und B. Raphael, „A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths,“ IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, Bd. 4, Nr. 2, pp. 100 – 107, 1968.

[10] Methodenhandbuch zum Bundesverkehrswegeplan 2030, FE-Projekt-Nr.: 97.358/2015, für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Karlsruhe, Berlin, Waldkirch, München, 2016.

[11] B. S. Eckert, Kostenvergleich einer innovativen Zugvollständigkeitskontrolle / A cost comparison of innovative train integrity control, SIGNAL + DRAHT, 12/20 (112), Seiten 52 – 58. DVV Media Group. ISSN 0037-4997, 2020.

[12] Zschoche, Automatisierter Bahnbetrieb – Eine system-ökonomische Betrachtung von Anwendungsfällen im Vollbahn-Bereich, Braunschweig: DLR, Online-Symposium „Der Zug zur Digitalisierung“, 2020.

Summary

Demand Responsive Rail Transport on regional lines – concept, feasibility and profitability

The increasing digitization and automatization process allow new concepts such as Demand Responsive Rail Transport (DRRT). In this article, such a concept is designed as well as feasibility and profitability are evaluated. The simulation of the DRRT operation is compared to a conventional line operation (half-hourly cycle). First results show comparable costs in automated operation while there are advantages and disadvantages for the travelers referring to service quality.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für DLR / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

The Technology Transformers



Management Consulting

- Geschäfts- und Technologiestrategie
- LC-/Obsoleszenz-Management
- Machbarkeitsstudie
- IT-Security und Business Management
- Beschaffungsstrategie
- Geschäftsplanung und Finanzierungskonzeption
- Prozess und Organisation sowie Change Management

Technology Consulting

- Tenderentwicklung und Anbieterauswahl
- Vertrags- und Lieferantenmanagement
- Migrationsstrategie
- Bahnbetriebliche Studien
- Kapazitätsorientiertes Technologie-management
- Systemverbund CCS

Program Management

- Projektplanung
- Projektüberprüfung
- Owner's Representative
- Programm- / Projektmanagement
- Integrierte Projektkommunikation

Wir sind ständig auf der Suche nach Verstärkung für unser Team.
Jetzt bewerben unter www.quattron.com/karriere