
Qualitätsgerechte Bewertung der LSA-Steuerung für den ÖPNV

Berichte der Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen
Verkehrstechnik Heft V 402

Qualitätsgerechte Bewertung der LSA-Steuerung für den ÖPNV

von

Andreas Schmidt

UVT Unternehmensberatung für Verkehr und Technik GmbH, Mainz

Carsten Sommer, Ramón Briegel, Franz Lambrecht

Universität Kassel, Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrssysteme

Berichte der Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen
Verkehrstechnik Heft V 402

Die Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt) veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der BASt, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG bezogen werden. Seit 2015 stehen sie zusätzlich als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung: <https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 77.0520
Qualitätsgerechte Bewertung der LSA-Steuerung für den ÖPNV

Fachbetreuung:
Daniel Schmidt

Referat:
Straßenentwurf, Verkehrsablauf, Verkehrsregelung

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion:
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Gestaltungskonzept:
MedienMélange:Kommunikation

Druck, Verlag und Produktsicherheit:
Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 0 | E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331 | ISBN 978-3-95606-863-8 | <https://doi.org/10.60850/bericht-v402>

Bergisch Gladbach, Juni 2025

Die dieser Veröffentlichung zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Auftrag des Bundesministers für Verkehr im Rahmen des Forschungsprogramms Stadtverkehr (FoPS; www.fops.de) durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt liegt ausschließlich beim Autor.

FoPS | Verbesserung der
Verkehrsverhältnisse
der Gemeinden
FORSCHUNGSPROGRAMM STADTVERKEHR

Kurzfassung

„Qualitätsgerechte Bewertung der LSA-Steuerung für den ÖPNV“

Das Verfahren in Kapitel S7 des Handbuchs für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) von 2015 zur Bewertung der geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) weist Unzulänglichkeiten auf, die zu einer geringen Akzeptanz in der Praxis führen. Gründe sind beispielsweise:

- Streckencharakteristika wie Kurven und Steigungen werden nicht berücksichtigt.
- Ausschluss der Anwendung bei verkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlagen.
- Mangelnde Eignung für die in der Praxis häufig gewünschte Qualitätssicherung im Bestand.

Das Forschungsprojekt zielte auf eine Verbesserung des Regelwerks ab, die den Unzulänglichkeiten abhilft und zu einer breiteren Akzeptanz führen soll.

Für eine Mängelanalyse des bisherigen Verfahrens wurden Erfahrungen und Anforderungen aus der Praxis der Verkehrsunternehmen und Kommunen in einem Expertenworkshop erhoben. Parallel wurden beispielhaft räumlich und zeitlich detaillierte Messungen von Fahrzeiten und Verlustzeiten verschiedener Art im ÖPNV durchgeführt und ausgewertet. Daraus wurden Ansätze für Verbesserungen des Kapitels S7 abgeleitet, mit Fachleuten aus der Praxis diskutiert und multikriteriell bewertet. Als Ergebnis des Projekts wurde ein konkreter Formulierungsvorschlag für die Überarbeitung des Kapitels S7 vorgelegt.

Die Verbesserungsvorschläge beinhalten i.W. folgende Punkte:

- Differenzierung der Anwendungsfälle „Planung neuer/umzubauender Anlagen“, „Planung neuer Linien auf bestehenden Anlagen“, „Qualitätssicherung im Bestand“.
- Definition der Abschnitte anhand der Haltestellen.
- Detailliertere Berücksichtigung der Streckencharakteristika, die sich auf die erreichbare Geschwindigkeit auswirken.
- Anpassung der Richtwerte für die Beschleunigung und die Haltestellenaufenthaltszeit aufgrund der Messergebnisse.
- Beseitigung des Anwendungsausschlusses für verkehrsabhängige Steuerungen von Lichtsignalanlagen.
- Spezifikation von Anforderungen an die Detaillierung und Qualität von Messdaten.

Die ursprünglich geplante Thematik des Forschungsvorhabens, die im Titel zum Ausdruck kommt, wurde bereits bei der Erarbeitung der Aufgabenstellung modifiziert.

Abstract

"Quality oriented evaluation of control of traffic signal installations for public transport"

The procedure in Chapter S7 of the 2015 Manual for the Design of Road Traffic Facilities (Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, HBS) for assessing the speed-related quality of local public transport services has shortcomings that lead to a low level of acceptance in practice. Reasons include, for example:

- Route characteristics such as curves and gradients are not taken into account.
- Exclusion of use with traffic-dependent traffic signal installations.
- Lack of suitability for the quality assurance for existing infrastructure, which many practitioners desire.

The research project aimed to improve the regulations in order to remedy these shortcomings and lead to wider acceptance.

Experiences and requirements from the practice of transport companies and local authorities were collected in an expert workshop to analyse the shortcomings of the existing procedure. At the same time, spatially and temporally detailed measurements of journey times and lost times of various types in public transport were carried out and analysed. From this, approaches for improvements to the S7 chapter were derived, discussed with experts from the field and evaluated on a multi-criteria basis. As a result of the project, a concrete formulation proposal for the revision of chapter S7 was presented.

The suggestions for improvement essentially include the following points:

- Differentiation of the use cases "Planning of new infrastructure for public transport or infrastructure to be rebuilt", "Planning of new lines on existing infrastructure", "Quality assurance in existing lines".
- Definition of the sections from station to station.
- More detailed consideration of route characteristics that affect the achievable speed.
- Adjustment of the guideline values for acceleration and station stop time based on the measurement results.
- Elimination of the application exclusion for traffic-actuated control of traffic signal installations.
- Specification of requirements for the detailing and quality of measurement data.

The originally planned topic of the research project, which is expressed in the title, was already modified during the development of the task.

Summary

"Quality-oriented evaluation of control of traffic signal installations for public transport"

Task definition

With the revision of the Manual for the Design of Road Traffic Facilities (HBS) in 2015, a procedure for speed-related service quality in local public transport (LPT) was included in the regulations for the first time in chapter S7, which evaluates the expected operating or traffic quality that is made available to LPT when planning new or modified infrastructure. In this procedure, the average transport speed to be expected under the given conditions is compared with the ideal transport speed that could be achieved under idealized, completely obstruction-free conditions.

The procedure in accordance with chapter S7 has a number of shortcomings which results in rare use in practice by transport companies and local authorities:

- Route characteristics such as curves and gradients are not taken into account.
- The procedure is only applicable for a maximum permitted speed of 50 or 70 km/h.
- Common traffic infrastructure elements such as traffic-actuated control of traffic light systems are excluded.
- The traffic data required for the application of the procedure is often not available.
- The procedure is intended and suitable exclusively for use in the planning of new infrastructure; in practice, however, there is a desire for an assessment tool for quality assurance for existing infrastructure.

Against this backdrop, the research project aimed to improve the regulations in order to remedy the shortcomings mentioned above and lead to broader acceptance.

The originally planned topic of the research project, which is expressed in the title, was already modified during the development of the task.

Research methodology

In addition to an analysis of the relevant regulations and literature, the experiences and requirements of transport companies and local authorities were first collected in an expert workshop to analyse the shortcomings of the existing procedure. When selecting the participants, attention was paid to covering different framework conditions such as the size of the city, urban vs. regional transport, bus vs. streetcar, etc. At the same time, very detailed spatial and temporal measurements of travel times and loss times of various kinds (at traffic signal installations, due to parked vehicles, etc.) were carried out and evaluated on a bus route operated by SWK MOBIL Krefeld. This was used for various purposes, including

- Recording of route characteristics, including maximum permissible speeds and realistic achievable speeds, in order to assess the prerequisites for applying the method to any line sections or entire routes.
- Verification of the realism of the standard values for acceleration and deceleration given in chapter S7, which are used in the calculation of the ideal transportation speed.

- Creation of a data basis for an exemplary recalculation of the ideal transportation speed in accordance with the proposed improvements to the calculation method.

In addition, measurement data from other transport companies (VAG Nürnberg, Hamburger Hochbahn, Kölner Verkehrs-Betriebe) were used, although these are less detailed.

The findings and data obtained were used to derive approaches for improving the S7 chapter. These approaches were initially evaluated based on the criteria of breadth of application possibilities, practical suitability, achievable accuracy, climate impact and compatibility with existing procedures. For the final evaluation and revision of the identified improvement approaches, these were discussed with experts from the field in a further expert workshop. As a result of the project, a concrete formulation proposal was developed for the revision/new version of Chapter S7 of the HBS. For compatibility reasons, a slight revision of chapter S4 is also proposed.

Investigation results

Defect analysis

Restrictions on the applicability of Chapter S7 of the HBS arise for various reasons, which are summarized in the following subsections.

References to other chapters of the HBS

Numerous references in chapter S7 to chapters S3 to S5 also restrict the applicability of chapter S7 due to the application exclusions mentioned there. This applies in particular to the widespread traffic-dependent control of traffic signal systems.

Lack of data availability

In many cases, the data required to calculate the expected transport speed is not available or can only be obtained at great expense.

Inherent shortcomings of the procedure from chapter S7

Chapter S7 is generally only designed for planning and not for quality assurance. Accordingly, the current procedure of chapter S7 does not differentiate between different use cases; however, the quality assurance and planning use cases are associated with different requirements, as was also emphasized in the expert workshop. The use of measurement data is particularly important for the use case of quality assurance for existing infrastructure, but this is only dealt with as a special case (under “alternative procedures”) in the previous S7 chapter. Specifications for the requirements for the detailing and quality of measurement data are missing here.

The current definition of sections, which is based on the middle of junctions, is unsuitable from the perspective of public transport; here, the stations are the appropriate dividing points for the start and end of sections or the transition from section to section.

The procedure in chapter S7 assumes a maximum permissible speed of 50 or 70 km/h. This means that the method cannot be used for other permissible maximum speeds (in particular 30 km/h); moreover, it also fails to take into account changes in the achievable speed over the course of the route due to changing route characteristics such as bends (including traffic circles and turning processes), bottlenecks, etc.

Suggestions for improving chapter S7 of the HBS

The proposals developed are aimed at eliminating the deficiencies mentioned above. This results in the following key starting points for improvements:

- Differentiation of the various use cases with consideration of their specific requirements.
- Definition of the sections according to the perspective of public transport.
- More detailed consideration of changes in route characteristics that affect the maximum achievable speed.
- Adaptation of the standard values for acceleration and station stop time based on corresponding measurement results, including an extended consideration of the station stop time by including unavoidable reaction times as well as technically induced times (e.g. for extending a step).
- Elimination of application exclusions where possible, especially for traffic-actuated control of signal installations.
- Specification of requirements for the detailing and quality of measurement data to enable their regular use within the framework of the newly formulated S7 chapter.

This is explained below.

Differentiation of use cases

A distinction is made between three use cases and appropriate basic methodological specifications are made for each; this is summarized in Table 1.

Use case	Planning of new infrastructure or infrastructure to be rebuilt	Planning of new lines or line sections on existing infrastructure	Quality assurance for existing infrastructure
Determination of the ideal transportation speed	Improved calculation procedure	Improved calculation procedure	Improved calculation procedure
Determination of the expected or actual transportation speed	Improved calculation procedure	Improved calculation procedure Measuring procedure	Improved calculation procedure Measuring procedure
Period under consideration	Design hour	Design hour, service time if applicable	depending on the task

Table 1: Use cases and methodological definitions

This extended classification of the use cases and the inclusion of a measurement procedure as a regular option also lead to an extended circle of users and contributors: Depending on the specific responsibilities on site, road authorities, those responsible for signal control, public authorities and transport companies can be considered.

Definition of the sections

In principle, the stations form the boundaries between the sections (which are called *public transport network sections* to distinguish them from the previous nomenclature). A finer subdivision into *public transport network subsections* is made wherever essential route characteristics (permissible or maximum achievable speed due to curves etc., average speed according to chapter S3, type of public transport route guidance etc.) change. In addition, registration points can be used to analyse the situation at controlled junctions or other measuring points for the subdivision into public transport

network subsections. The station stop time is always counted as part of the preceding public transport network section.

Maximum achievable speed in curves

For the calculation of the ideal transportation speed, the maximum achievable speed is limited by the maximum permissible lateral acceleration of 0.65 m/s^2 with regard to safety and passenger comfort in curves (including traffic circles and left turns). Accordingly, the maximum achievable speed V_{err} in a bend with radius r and lateral inclination q (e.g. for drainage) is given by the following formula according to elementary physical laws:

$$V_{err} = \sqrt{(a_{q,max} + q \cdot g) \cdot r}$$

The sign of q must be negative if the outside of the curve is lower than the inside; $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ is the acceleration due to gravity.

Different from the above, the German Road Traffic Regulations (StVO) stipulate that you must drive at walking pace when turning off to the right.

Adjustment of guideline values for acceleration and stop dwell time

As a guideline value for the average station stop time, 20 s should be used for buses in urban areas, 15 s for buses in rural areas and 22 s for streetcars. If local measurement values or at least values differentiated according to route characteristics and vehicle type are available, these should be used.

Traffic-actuated control of signal installations

For traffic dependent control of signal installations, a fixed time model should be used in accordance with the reference to chapter S4 of the HBS, i.e. an average cycle is used as the basis for calculation. In the application case “planning of a new line on existing infrastructure”, test or measurement rides in real operation should be carried out to determine the expected transport speed.

Requirements for measurement data

Possible data sources are

- Automatic Vehicle Location Systems
- Radio telegrams for registration for traffic signal installations with transit priority
- Specialized measuring systems
- Manually collected data

For the evaluation of the transportation speed, measurement data must generally have at least the following *level of detail*:

- Arrival time and departure time at the stations
- Time for boarding and alighting or information about the door opening or stop at the station

Only journeys for which stops were made at all stations (section-related) and the doors were opened may be taken into account for the evaluation.

To analyse lost times at traffic signal installations, the times at which the radio telegrams are sent to register and deregister the respective public transport vehicle or the passage times at defined cross-sections on the approach to the junction and at the stop line are also required. The lost time at the signal installation is calculated by comparing the ideal and actual passage time, i.e. it is not the waiting time alone which is considered.

With regard to *data quality*, care must be taken to ensure accurate and reliable localization; the use of the distance pulse (tachometer signal) has proven its worth. Satellite-based localization alone should be checked for accuracy. High accuracy is required for the use of radio telegrams (registration and de-registration) at traffic signal installations with transit priority. The time for boarding and alighting time is defined as the time between the first door opening and the last door closing at a station, taking all doors into account. The closing of the last door marks the start of a new public transport network section.

Suitable plausibility checks must be carried out when *evaluating* the measurement data. Stratification by day type and hour group is recommended. Care should be taken to ensure even coverage of the analysis period and the timetable offer.

Conclusion for practice

The applicability (areas of application and user-friendliness) of chapter S7 of the HBS is being significantly expanded by the proposed new formulation, and previous exclusions for application have been removed. In particular, the new version allows the application desired by many practitioners for quality assurance for existing infrastructure. This can serve as a basis for argumentation in order to achieve a certain level of speed-related service quality of public transport (SAQ) through improvements to existing public transport infrastructure and the removal of obstacles to public transport operation. The basis for planning new public transport infrastructure and new public transport lines on existing infrastructure will also be improved.

It can therefore be expected that these extended application options will ensure greater acceptance of the S7 chapter in practice as well as improved planning and quality assurance in public transport.

Inhalt

1	Einleitung	14
1.1	Gegenstand der Forschung	14
1.2	Ziel der Arbeit	14
1.3	Ergebnisse der Arbeit	15
2	Vorstellung des Kapitels S7 im HBS 2015	16
2.1	Einführung	16
2.2	Bewertungsmaß der Angebotsqualität	16
2.3	Netzabschnitte und Teilabschnitte	16
2.4	Anwendung des Verfahrens	16
2.5	Verbindung zu anderen Kapiteln des HBS 2015	17
2.6	Anwendung des HBS-Verfahrens in Deutschland	18
2.7	Richtlinien und Verfahren im Ausland	18
2.8	Verlustzeiten im ÖPNV	19
2.9	Ideale Beförderungsgeschwindigkeit	20
3	Experten-Workshop zur Status-Aufnahme	22
3.1	Recherche und Auswahl von Fachleuten	22
3.2	Fragestellungen für den Workshop	22
3.3	Ergebnisse des Workshops	23
3.3.1	Bekanntheit und Anwendung des Verfahrens gemäß Kapitel S7 des HBS 2015	23
3.3.2	Bekanntheit und Anwendung der Tab. S4-1 des HBS 2015	23
3.3.3	Ermittlung der idealen bzw. zu erwartenden Beförderungsgeschwindigkeit gemäß Kapitel S7 des HBS 2015 (alternative Verfahren) bzw. von Fahrtzeitvorgaben	24
3.4	Informationen aus dem VDV-Unterausschuss „Operatives Verkehrsmanagement“	24

4	Auswertung von Daten aus dem ÖPNV	26
4.1	Übersicht zur Einbeziehung von ÖPNV-Daten	26
4.2	Fahr- und Verlustzeitmessungen bei der SWK MOBIL Krefeld	26
4.2.1	Eingesetztes Messsystem und Ergebnisgrößen	26
4.2.2	Merkmale der Untersuchungsstrecke	27
4.2.3	Durchgeführte Arbeiten	30
4.2.4	Allgemeine Ergebnisse der Messungen	32
4.2.5	Ideale Fahrtzeit	41
4.2.6	Halte an Haltestellen	51
4.2.7	Mittlere Fahrgastwechselzeiten	52
4.2.8	Haltezeit nach dem Fahrgastwechsel	53
4.2.9	Haltestellenaufenthaltszeit	53
4.2.10	Verlustzeiten an Lichtsignalanlagen	53
4.3	Leitsystemdaten der VAG Nürnberg	57
4.3.1	Beschreibung der Daten und der Ergebnisgrößen	57
4.3.2	Merkmale der Untersuchungsstrecke	58
4.3.3	Durchgeführte Arbeiten	59
4.3.4	Allgemeine Ergebnisse der Messungen	60
4.3.5	Gegenüberstellung von Haltezeit und Fahrgastwechselzeit	65
4.3.6	Ideale Fahrtzeit	66
4.4	Anmeldedaten an Lichtsignalanlagen der VAG Nürnberg	66
4.4.1	Beschreibung der Daten und der Ergebnisgrößen	66
4.4.2	Durchgeführte Arbeiten	67
4.4.3	Lichtsignalanlage 314: Erlanger Straße / Marienbergstraße	69
4.4.4	Lichtsignalanlage 315: Erlanger Straße / Schleswiger Straße	71
4.4.5	Lichtsignalanlage 316: Erlanger Straße / Cuxhavener Straße	73
4.4.6	Lichtsignalanlage 626: Wölckernstraße / Pillenreuther Straße	76
4.5	Leitsystemdaten der Hamburger Hochbahn AG (HHA)	77
4.5.1	Beschreibung der Daten	77
4.5.2	Durchgeführte Arbeiten	77
4.5.3	Fahrgastwechselzeiten	77
4.5.4	Reaktionszeit bei der Abfahrt von einer Haltestelle	78
4.5.5	Fahrzeiten und Beschleunigung	78
4.6	Leitsystemdaten der Kölner Verkehrs-Betriebe AG (KVB)	79

5	Zwischenfazit/Mängelanalyse	80
5.1	Einschränkungen in Verfahren aus anderen Kapiteln des HBS	80
5.2	Einschränkungen aufgrund fehlender Daten	81
5.3	Mängel des bisherigen Verfahrens	82
6	Überarbeitungsvorschläge für das Kapitel S7 des HBS 2015	84
6.1	Übersicht der künftigen Anwendungsfälle	84
6.2	Vorschläge zur Verbesserung der Verfahren nach Kapitel S7 unabhängig von den Anwendungsfällen	85
6.2.1	Definition der Abschnitte	85
6.2.2	Anpassung der Beschleunigungs- und Verzögerungswerte	87
6.2.3	Berücksichtigung der reduzierten Geschwindigkeit bei Kurvenfahrten und Abbiegevorgängen sowie bei „Vorfahrt beachten“	87
6.2.4	Haltestellenaufenthaltszeit	88
6.2.5	Verkehrabhängige LSA-Steuerungen	88
6.3	Spezifische Anwendungshinweise für die einzelnen Anwendungsfälle	88
6.3.1	Anwendungshinweise für Anwendungsfall „Infrastrukturmaßnahmen“	88
6.3.2	Anwendungshinweise für Anwendungsfall „Neue Linie auf bestehender Infrastruktur“	88
6.3.3	Anwendungshinweise für Anwendungsfall „Qualitätssicherung im Bestand“	88
6.4	Vorschläge zur Qualitätssicherung für ein auf Messdaten basierendes Verfahren	89
6.4.1	Übersicht zu Messdaten	89
6.4.2	Datenquellen	90
6.4.3	Anforderung an die Detaillierung der Daten	90
6.4.4	Anforderung an die Datenqualität	92
6.4.5	Anforderungen an die Auswertung	93
6.4.6	Weitere Hinweise zur Anwendung	96
6.5	Umsetzung der Verbesserungsvorschläge in einen Formulierungsvorschlag für Kapitel S7 des HBS	97
7	Überarbeitungsvorschläge für das Kapitel S4 des HBS 2015	100

8	Bewertung der Vorschläge	101
8.1	Multikriterielle Bewertung der Vorschläge	101
8.2	Ergebnisse des zweiten Expertenworkshops	102
8.2.1	Begriffliche Klärungen	102
8.2.2	Genaue Definition/Operationalisierung der idealen Beförderungszeit	102
8.2.3	Messungen zur Beförderungszeit	103
8.2.4	Vorschläge zur Überarbeitung des Kapitels S7 des HBS	103
8.2.5	Vorschläge der Fachleute zur Verbesserung des Kapitels S7 des HBS	104
8.2.6	Multikriterielle Bewertung der Vorschläge	104
	Literatur	105
	Abbildungen	106
	Tabellen	107

Die Anlagen zum Bericht sind im elektronischen BAST-Archiv ELBA unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de> abrufbar.

1 Einleitung

1.1 Gegenstand der Forschung

Das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS, gültige Fassung aus dem Jahr 2015) ist ein in Deutschland gültiges Regelwerk, welches standardisierte Verfahren zur Ermittlung der Kapazität und darauf aufbauend zur Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs für unterschiedliche Straßenverkehrsanlagen enthält. Die Erarbeitung und Fortschreibung dieses Regelwerks erfolgt durch die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV).

Im Teil S - Stadtstraßen wird im Kapitel S7 die Anwendung des HBS auf Anlagen für den Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) beschrieben, wobei die Qualität bestimmt wird, die dem ÖPNV infrastrukturseitig zur Verfügung steht. Im Verfahren wird die unter den gegebenen Bedingungen zu erwartende mittlere Beförderungsgeschwindigkeit auf Netzabschnitten oder einzelnen Teilabschnitten des Straßennetzes der unter optimalen Bedingungen erreichbaren idealen Beförderungsgeschwindigkeit gegenübergestellt und die Bewertung der Angebotsqualität (SAQ) in sechs Stufen vorgenommen.

Seit der Einführung dieses Kapitels im Jahr 2015 sind kaum Anwendungen bekannt. Ermittelte Ergebnisse entsprachen zum Teil nicht den Erwartungen und Beobachtungen. Zudem besteht von Seiten der Verkehrsunternehmen die Erwartung, in einem stärkeren Umfang auch Messdaten einbeziehen zu können. Vor diesem Hintergrund wird im vorliegenden Forschungsprojekt untersucht, aus welchen Gründen die Anwendung und die Akzeptanz der Ergebnisse gering sind. Daraus werden Vorschläge abgeleitet, wie das Verfahren gemäß Kapitel S7 weiterentwickelt werden kann. Ziel ist es, die Praxisrelevanz zu verbessern.

Ausgangspunkte der Arbeiten sind zum einen der Inhalt des Kapitels S7 und die Systematik des HBS, zum andern die Unzulänglichkeiten, die sich in der Praxis gezeigt haben und die eine breite Anwendung des Kapitels S7 verhindert haben. Teilweise besteht auch Unkenntnis über das Vorhandensein einer solchen Methode.

Folgende Problembereiche waren am Beginn der Arbeiten bekannt:

- Die berechnete Idealgeschwindigkeit kann in der Realität auch bei sehr günstigen Bedingungen nicht erreicht werden, da u.a. Streckencharakteristika, die die im realen Betrieb fahrbare Geschwindigkeit gegenüber der zulässigen Höchstgeschwindigkeit mindern, im Verfahren nicht berücksichtigt werden.
- Die Ermittlung der mittleren Beförderungsgeschwindigkeit berücksichtigt einige wichtige Anwendungsfälle nicht, z.B. verkehrabhängige Steuerung von Lichtsignalanlagen, abgestimmte Signalzeitenprogramme bei benachbarten Lichtsignalanlagen, mittlere Wartezeiten an Knotenpunkten mit „rechts vor links“-Vorfahrtsregelung.
- Das derzeitige Verfahren ist nur für eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h anwendbar.
- Die für die Anwendung des Verfahrens erforderlichen verkehrstechnischen Daten sind für die Verkehrsunternehmen häufig nicht zugänglich.
- Zwischen den Anwendungsfällen „Neuplanung“ und „Qualitätssicherung im Bestand“ wird nicht differenziert.

Die ursprüngliche Thematik des Forschungsvorhabens, die noch im Titel zum Ausdruck kommt, wurde bereits bei der Erarbeitung der Aufgabenstellung modifiziert.

1.2 Ziel der Arbeit

In die Analyse des Zustands werden eine Literaturrecherche, Anwendererfahrungen und Messdaten einbezogen. Darauf aufbauend werden mögliche Verbesserungen entwickelt und bewertet. Betrachtet wird die Bestimmung der idealen, der zu erwartenden und der gemessenen Beförderungsgeschwindigkeit (Messung als weiteres vollwertiges Verfahren neben dem Berechnungsverfahren). Die Ergebnisse werden Experten in einem Workshop vorgestellt und mit diesen diskutiert. Es werden Vorschläge für die Überarbeitung des Kapitels S7 ausgearbeitet, die den identifizierten Mängeln und Hinderungsgründen für die Anwendung des Kapitels S7 des HBS abhelfen sollen.

Es besteht ein großer Bedarf an einer Methode zur Berechnung der zu erwartenden Beförderungsgeschwindigkeit (bzw. der zu erwartenden Beförderungszeiten zwischen Haltestellen sowie über Abschnitte), die realistische Ergebnisse liefert. Anwendungsbereiche sind:

- Bewertung der Beförderungsgeschwindigkeit bestehender Linien bzw. Linienabschnitte
- Dimensionierung der Straßen und Knoten gemäß einer für den ÖPNV angestrebten Qualität
- Planung der Fahrtzeitvorgaben für neue Linien oder Linienabschnitte bzw. für umgestaltete Abschnitte bestehender Linien

1.3 Ergebnisse der Arbeit

Es wurden alle Projektziele erreicht und alle vorgesehenen Arbeitsschritte entsprechend der Projektplanung erledigt. Als Ergebnis liegen neben diesem Abschlussbericht ein Formulierungsvorschlag für eine Neufassung des Kapitels S7 des HBS sowie Änderungsvorschläge für das Kapitel S4 des HBS vor (siehe Anhänge).

2 Vorstellung des Kapitels S7 im HBS 2015

2.1 Einführung

In diesem Abschnitt wird das Kapitel S7 des Handbuchs für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS 2015) zusammenfassend beschrieben. Es wurde im Rahmen der Überarbeitung des HBS 2015 eingeführt. Das Kapitel S7 befasst sich im Teil S – Stadtstraßen mit den Anlagen des ÖPNV. Es enthält vorrangig ein Verfahren zur Bestimmung der Angebotsqualität im ÖPNV. Mit dem Verfahren soll auf Netzabschnitten des ÖPNV oder einzelnen Straßenabschnitten (auch vollständige Linienbetrachtungen sind möglich) ermittelt werden, ob die gewünschte Beförderungsgeschwindigkeit erreicht wird bzw. Abschnitte aufdecken, in denen die geschwindigkeitsbezogene Angebotsqualität unzureichend ist, um hier entsprechende Maßnahmen zur Verbesserung zu ermöglichen. Als Qualitätskriterium des Verkehrsangebots wird dabei ausschließlich die Beförderungsgeschwindigkeit betrachtet. Andere Merkmale der Angebotsqualität, wie zum Beispiel Bedienungshäufigkeit, Pünktlichkeit sowie Platzangebot und Sauberkeit, werden nicht betrachtet. Damit unterscheidet sich das Verfahren von Richtlinien und Empfehlungen im Ausland und ist in dieser Form weltweit einmalig (vgl. auch Kap. 3.1).

2.2 Bewertungsmaß der Angebotsqualität

Die geschwindigkeitsbezogene Angebotsqualität des ÖPNV wird durch die Entwurfs- und Betriebsmerkmale der in den Teilabschnitten gelegenen Strecken und Knotenpunkte (mit und ohne Lichtsignalanlage) sowie Haltestellen, die Verkehrsstärke des MIV und ÖPNV und die zulässige Höchstgeschwindigkeit beeinflusst. Dabei ist das Verfahren nur bei zulässiger Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h anwendbar. Zur Bewertung der geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität wird der Beförderungsgeschwindigkeitsindex als Kriterium verwendet. Dieser ergibt sich als Quotient der während der Bemessungsstunde zu erwartenden mittleren Beförderungsgeschwindigkeit und der idealen Beförderungsgeschwindigkeit. Die ideale Beförderungsgeschwindigkeit wird erreicht, wenn die ÖPNV-Fahrzeuge auf einem Teilabschnitt mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit fahren können und keine Wartezeiten an Lichtsignalanlagen und vor Haltestellen oder andere Verlustzeiten hinnehmen müssen. Es werden im Verfahren keine Streckencharakteristika berücksichtigt, die die im realen Betrieb fahrbare Geschwindigkeit gegenüber der zulässigen Höchstgeschwindigkeit mindern (z.B. Kurven, Steigungen). Dadurch kann die angenommene Idealgeschwindigkeit in der Realität auch bei sehr günstigen Bedingungen in der Regel nicht erreicht werden.

Zur Bewertung der geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität anhand des Beförderungsgeschwindigkeitsindex wird dieser in verschiedene Stufen der Angebotsqualität (SAQ) unterteilt, ähnlich der Qualitätsstufen QSV im Kfz-Verkehr. Das Verfahren unterscheidet dabei nicht zwischen Qualitätssicherung im Bestand und Neuplanung. Unterschiedliche Anforderungen an diese Anwendungsfälle werden daher gegenwärtig nicht berücksichtigt.

2.3 Netzabschnitte und Teilabschnitte

Als Bezugsebene für die Bewertung der geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität werden Netzabschnitte des Straßennetzes im Zuge von ÖPNV-Linien oder einzelne Teilabschnitte (Teile eines Netzabschnitts) gebildet. Ein Netzabschnitt besteht im Allgemeinen aus mehreren Strecken und Hauptknotenpunkten. Die Länge eines Netzabschnitts ergibt sich aus den Längen der einzelnen Strecken und entspricht dem Abstand zwischen den ihn begrenzenden Knotenpunkten. Bezugspunkte zur Ermittlung der Streckenlängen sind die Mitten der Hauptknotenpunkte. Dies erfolgt analog des Kapitels S3 des HBS, das die Betrachtung allerdings vorrangig auf den Individualverkehr legt. Für jeden Teilabschnitt werden die ideale Beförderungsgeschwindigkeit und die zu erwartende mittlere Beförderungsgeschwindigkeit ermittelt.

2.4 Anwendung des Verfahrens

Eine Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens ist, dass bei Teilabschnitten mit Mischverkehr für jede Strecke die mittlere Fahrtgeschwindigkeit des Kfz-Verkehrs gemäß Kapitel S3 des HBS 2015 und für jede betroffene Zufahrt eines Knotenpunkts die mittlere Wartezeit gemäß Kapitel S4 bzw. Kapitel S5 des HBS 2015 bestimmt werden muss. Dies bedeutet allerdings, dass die in den Kapiteln S3 bis S5 vorhandenen Einschränkungen bei den Verfahrensanwendungen auch für das Kapitel S7 gelten. Sind die

Randbedingungen für die Anwendung der jeweiligen Verfahren und Einflussgrößen nicht gegeben, können zur Bewertung der geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität andere geeignete Verfahren verwendet werden. Geeignet sind hier Messfahrten, mit denen die tatsächliche mittlere Beförderungsgeschwindigkeit auf einem Teilabschnitt, einem Netzabschnitt oder einer vollständigen ÖPNV-Linie bestimmt werden kann. Liegen ITCS-Daten vor, die es ermöglichen, die tatsächliche mittlere Beförderungsgeschwindigkeit zu bestimmen, können diese als zu erwartende mittlere Beförderungsgeschwindigkeit angesetzt werden. Insgesamt liegen in der Praxis diese Daten häufig nicht vor oder sind diese für die Anwendung nicht zugänglich, was die Anwendungsmöglichkeit des Verfahrens erschwert. Des Weiteren kann die zu erwartende mittlere Beförderungsgeschwindigkeit auch mittels mikroskopischer Verkehrsflusssimulation (Mikrosimulation) ermittelt werden. Diese Simulationen sind allerdings sehr aufwändig.

2.5 Verbindung zu anderen Kapiteln des HBS 2015

Im Verfahren zur geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität des ÖPNV im Kapitel S7 des HBS 2015 wird auf weitere Kapitel des HBS im Teil S (Stadtstraßen) verwiesen. Dies sind die Kapitel S2 (Verkehrsnachfrage), S3 (Hauptverkehrsstraßen), S4 (Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage) und S5 (Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage). Diese Verweise sind notwendig, da im beschriebenen Verfahren die Bestimmung von Fahr- bzw. Beförderungszeiten im Mischverkehr analog zu denen des Kfz-Verkehrs erfolgt.

Im Kapitel S2 wird ein Verfahren zur Ermittlung der Bemessungsverkehrsstärken innerhalb und im Vorfeld bebauter Gebiete im Ausgangs- und Prognosezustand beschrieben. Die Kenntnis der Bemessungsverkehrsstärke $q_{\text{ÖPNV}}$ des ÖPNV und bei Teilabschnitten mit Mischverkehr zusätzlich der Bemessungsverkehrsstärke q_{B} des Kfz-Verkehrs ist Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens in Kapitel S7. Im ÖPNV wird die Bemessungsverkehrsstärke in der Regel aus Fahrplänen ermittelt. Für den Kfz-Verkehr werden im Kapitel S2 Verfahren beschrieben, die auf Zählungen und Modellprognosen beruhen.

Das Verfahren in Kapitel S3 zur Bewertung der Verkehrsqualität dient dem Nachweis der Verkehrsqualität auf Strecken von anbaufreien und angebauten Hauptverkehrsstraßen. Einflüsse auf den Verkehrsablauf durch Knotenpunkte werden dabei nicht berücksichtigt. Zu den Knotenpunkten gibt es entsprechend den Kapiteln S4 und S5 eigene Verfahren. Für den ÖPNV erfolgt mit dem Verfahren des Kapitels S3 die Einteilung der Abschnitte in Straßenkategorien und zur Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs, die zur Bewertung des im Mischverkehr geführten ÖPNV verwendet werden. Die Verfahren im Kapitel S3 gelten allerdings nicht für Strecken, bei denen der ÖPNV einen straßenbündigen Bahnkörper gemeinsam mit dem Kfz-Verkehr nutzt. In diesen Fällen können die Verkehrsqualität und die Fahrtgeschwindigkeit nur mit Hilfe so genannter alternativer Verfahren ermittelt werden. Weiterhin gelten die Verfahren für anbaufreie Hauptverkehrsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h oder 50 km/h sowie für angebaute Hauptverkehrsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h.

Das Verfahren des Kapitels S4 dient dem Nachweis der Verkehrsqualität an lichtsignalgeregelten Knotenpunkten. Es gilt für den allgemeinen Kfz-Verkehr und den ÖPNV gleichermaßen. Das Verfahren ist anwendbar für einzelne Knotenpunkte innerhalb einer Koordinierung, allerdings nur für festzeitgeregelte Knotenpunkte. Die Verkehrsqualität an Knotenpunkten mit verkehrsabhängiger Lichtsignalsteuerung kann nur mittels so genannter alternativer Verfahren bestimmt werden. Die Bewertung der Verkehrsqualität des ÖPNV erfolgt anhand mittlerer Wartezeiten an den Knotenpunkten.

Ähnlich geht das Kapitel S5 zur Bestimmung der Verkehrsqualität an nicht signalisierten Knotenpunkten vor. Die Verkehrsqualität wird durch die Entwurfs- und Betriebsmerkmale der Knotenpunkte bestimmt. Auch hier gilt als Qualitätskriterium die mittlere Wartezeit an den Knotenpunkten.

Die in den Verfahren für den ÖPNV ermittelten mittleren Beförderungszeiten bzw. Wartezeiten (= Verlustzeiten) gehen dann entsprechend in das Verfahren des Kapitels S7 des HBS 2015 zur geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität im ÖPNV ein.

Die im Kapitel S7 vorhandenen Einschränkungen in der Anwendung hängen somit auch mit den für die Berechnung im Mischverkehr notwendigen Nutzungen der Kapitel S2 bis S5 und deren jeweiligen Einschränkungen zusammen: So ist der Nachweis der Verkehrsqualität an lichtsignalgeregelten Knotenpunkten nur an solchen mit Festzeitregelung möglich. Weiterhin ist das Verfahren nicht anwendbar bei sehr komplexen Verhältnissen sowie bei Sonderformen der Signalisierung gemäß den Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA 2015). Die im Kapitel S3 beschriebenen Verfahren auf Strecken sind nicht anwendbar, wenn der ÖPNV einen straßenbündigen Bahnkörper nutzt sowie wenn die zulässige Höchstgeschwindigkeit auf angebauten Hauptverkehrsstraßen mehr als 50 km/h beträgt.

2.6 Anwendung des HBS-Verfahrens in Deutschland

In der Literaturrecherche konnte bisher keine breitere Anwendung des HBS-Verfahrens zur geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität festgestellt werden. Insbesondere war daher im ersten Workshop zu klären, was Hemmnisse bei der Nutzung des Verfahrens sind.

Die bisher umfassendste Anwendung des Verfahrens mit dem Ziel der Qualitätsbewertung erfolgte in Hamburg. Im Fokus standen dabei die Gewährleistung der Funktionalität und die Qualität der – im Rahmen des Busbeschleunigungsprogramms 2011 an Lichtsignalanlagen eingeführten – Busvorrangschaltungen. Mit dem HBS-Verfahren zur Bewertung der geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität des ÖPNV wurde eine linienweise Betrachtung durchgeführt. Die für die Anwendung notwendigen mittleren Beförderungsgeschwindigkeiten wurden aus Leitsystem-Daten gewonnen, die idealen Beförderungsgeschwindigkeiten nach Formel S7-3 des HBS (vgl. Kap. 2.4). Der für die Anwendung des Verfahrens ausgewählte Linienabschnitt hatte eine Gesamtlänge von 5,5 km mit unterschiedlichen örtlichen Gegebenheiten (z.B. Abschnitte ohne Lichtsignalanlage, T30-Strecke, Abschnitt auf eigenem Fahrstreifen). Die Haltestellenaufenthaltszeiten wurden als Mittelwert gemessener Fahrgastwechselzeiten der letzten zwei Monate bestimmt. Bei den Ergebnissen zeigte sich, dass große Schwankungen (SAQ im Bereich der Stufen A-F) bei der geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität über die gesamte Strecke auftreten. Insbesondere auf Abschnitten der freien Strecke ohne Haltestellen wurde häufig eine SAQ von F ermittelt. Dies wird von Bergelt (2018) darauf zurückgeführt, dass die vom Verfahren vorgesehene Berechnungsgröße der zulässigen Höchstgeschwindigkeit nicht der tatsächlichen idealen Geschwindigkeit im Stadtverkehr entspricht und viele externe Einflüsse auf die Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeuges wirken, die durch eine Angebotsplanung allerdings nicht beeinflussbar sind. Weiterhin wird die Abschnittsbildung an Knotenpunkten aufgrund stark unterschiedlicher Längen und keinem direkten Passieren des Knotenmittelpunktes (insbesondere an großen Knotenpunkten und Kreisverkehren) als unglücklich betrachtet. An Abschnitten mit Haltestellen wurden bessere Ergebnisse erzielt (auch SAQ A), wie Abb. 1 zeigt. Allerdings führen differierende Haltestellenaufenthaltszeiten im Tagesverlauf zu einer schwankenden SAQ im Tagesverlauf. Somit wurden trotz hohem Aufwand mit der Verfahrensanwendung keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt. SAQ von A/B (an Haltestellen) standen SAQ von E/F (an Abschnitten freier Strecke ohne Haltestellen) gegenüber.

Vergleich - Beförderungsgeschwindigkeiten im Streckenverlauf

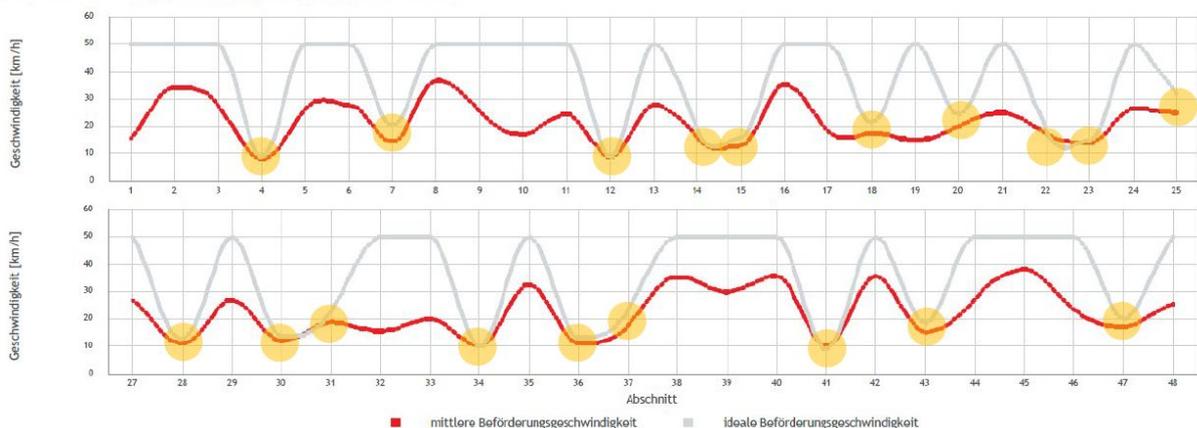


Abb. 1: Beförderungsgeschwindigkeiten im Streckenverlauf einer Linie (Bergelt 2018)

2.7 Richtlinien und Verfahren im Ausland

Im europäischen Ausland existieren normalerweise Richtlinien und Empfehlungen zu den Anlagen des ÖPNV. In Österreich zum Beispiel sind das die Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS), die von der Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr (FSV) herausgegeben werden. Mit der RVS 02.03.11 Optimierung des ÖPNV – Freie Strecke und Haltestellen wurde von der FSV 2019 eine neue überarbeitete Richtlinie herausgegeben, die als Regelwerk für Planer entwickelt wurde. Verschiedene ältere Richtlinien wurden zurückgezogen und deren Inhalte in überarbeiteter Form in die RVS 02.03.11 integriert, womit diese Richtlinie nun das Gesamtwerk für den ÖPNV in Österreich darstellt. Teil der neuen Richtlinie befasst sich mit Beschreibungen von Maßnahmen zur Beschleunigung des ÖPNV auf der freien

Strecke sowie an Haltestellen. Dabei wird auch eingehend die Möglichkeit der Verkehrsbeeinflussung betrachtet. Ein Bemessungsverfahren für die Angebotsqualität des ÖPNV liefert diese Richtlinie nicht.

In der Schweiz erarbeitet und betreut der Schweizerische Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute (VSS) das Schweizer Normenwerk im Straßen- und Verkehrswesen. Die Richtlinien für den ÖPNV sind auf zahlreiche Teilnormen verteilt (VSS 2022), eine Betrachtung der Angebotsqualität findet nicht statt.

Im nicht-deutschsprachigen Ausland wird die Angebotsqualität im ÖPNV im Zusammenhang verschiedener Kriterien betrachtet. Dies wird unter anderem damit begründet, dass für den Fahrgast die Gesamtreisezeit entscheidend ist und weitere Kriterien wie z.B. Anschlusssicherheit und Komfort eine Rolle spielen (z.B. Anderson et.al. 2016; Dell'Olio, Ibeas & Cecin 2011; Government of India 2013a/b). Eine reine Betrachtung von Verlustzeiten und Geschwindigkeiten findet daher nicht statt. Daher wird häufig die „Bequemlichkeit“ als Kriterium für die Servicequalität herangezogen. Bequemlichkeit kann sich auf alle Phasen der Reise beziehen, von der Planung bis zur Ankunft am Zielort (Anderson et.al. 2016). Dies steht im Einklang mit dem Umfang der Dienstleistungsqualität, der in den beiden Europäischen Normen zur Definition (EN 13816, 2002) und Messung (EN 15140) der Dienstleistungsqualität definiert ist, die alle Attribute des öffentlichen Verkehrsdienstes abdecken. Die Europäische Norm EN 13816 spezifiziert Anforderungen zur Definition von Verkehrsqualitätszielen und schlägt Methoden zur Messung der erreichten Beförderungsqualität vor:

- 1) Verfügbarkeit: Umfang des Dienstleistungsangebots in Bezug auf Geografie, Zeit, Häufigkeit und Verkehrsträger
- 2) Zugänglichkeit: Zugang zum/vom öffentlichen Verkehrssystem einschließlich der Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern
- 3) Information: systematische Bereitstellung von Wissen zur Unterstützung der Planung und Durchführung von Fahrten
- 4) Zeit: Zeitaspekte, die für die Planung und Durchführung von Fahrgast- und Zugreisen relevant sind, einschließlich Fahrtzeit, Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit
- 5) Kundenbetreuung: Serviceelemente, die eingeführt werden, um eine möglichst weitgehende zwischen dem Standarddienst und den Anforderungen jedes einzelnen Kunden
- 6) Komfort: Serviceelemente, die eingeführt werden, um die Reise im öffentlichen Verkehr entspannend und erträglich zu gestalten
- 7) Sicherheit: Gewährleistung der Sicherheit für die Kunden während der gesamten Reise
- 8) Umweltverträglichkeit: Auswirkungen auf die Umwelt, die sich aus der Bereitstellung eines öffentlichen Verkehrsdienstes

Die Norm zielt auch auf eine Verbesserung der Zuordnung von Ressourcen einer Verkehrsunternehmung, da der Wirkungsgrad von Maßnahmen besser abgeschätzt werden soll. Darüber hinaus soll die Norm in Rahmen von Ausschreibungen die Definition sowie die Messung der Einhaltung von Qualitätsstandards erleichtern. (Weidmann et.al. 2013)

Das Highway Capacity Manual (TRB 2016) bewertet den Verkehrsablauf anhand charakteristischer Kriterien wie Geschwindigkeiten, Behinderungen und Reisezeiten, nutzt aber ebenfalls eine ganzheitliche Betrachtung, ohne Fokus auf die Beförderungsgeschwindigkeit.

In Fu (2007) wird ein Verfahren vorgeschlagen, das die Verkehrsqualität von Angeboten des öffentlichen Verkehrs einzig anhand des Reisezeitverhältnisses des ÖPNV zum motorisierten Individualverkehr (MIV) ermittelt. Dazu werden zunächst die Reisezeiten für einzelne Wege und Verkehrsmittel ermittelt und deren Quotienten gebildet. Dieses Verfahren kann über Mittelung von einzelnen Wegen über Korridore und Teilgebiete bis auf das Gesamtsystem ausgedehnt werden. Vorteil dieser Methode ist, dass konsistent nur ein Kennwert ermittelt wird und so das Abwägen zwischen verschiedenen Faktoren entfällt. Dies kann gute Ergebnisse liefern, da in der Regel die Reisezeit einen großen Einfluss auf die Verkehrsmittelwahl hat. Allerdings besteht die Gefahr, dass wichtige Einflüsse dabei außer Acht gelassen werden.

2.8 Verlustzeiten im ÖPNV

In Dresden hat sich gezeigt, dass Straßenbahnen weniger als die Hälfte ihrer Gesamtfahrtzeit in Bewegung sind. Ein knappes Viertel (23 %) der Zeit wird für den Fahrgastwechsel benötigt. Doch ein größerer Anteil (28 %) setzt sich zusammen aus Verlustzeiten. Davon entfallen mehr als zwei Drittel auf Verlustzeiten an Lichtsignalanlagen, weitere 20 % auf Langsamfahrstellen (jeweils zur Hälfte zustandsbedingt oder angeordnet). Die restlichen Verlustzeiten sind auf andere Störungen zurückzuführen. Verlustzeiten an Lichtsignalanlagen sind dabei nicht nur auf Defizite in der Signalsteuerung zurückzuführen, sondern gerade auch

an komplexeren Knotenpunkten auf einen Vorrangkonflikt zwischen unterschiedlichen ÖPNV-Fahrzeugen (DVB 2012).

Die Stadt Hamburg hat 2012 im Rahmen des Busbeschleunigungsprogramms Messungen zu Verlustzeiten durchgeführt. Die Messfahrten wurden mit Hilfe von GPS-Empfängern in den Bussen durchgeführt. Dabei gab es folgende Möglichkeiten für Fahrtzeitverluste:

- Halt an der LSA
- Halt durch Rückstau vor der LSA
- Verzögerung beim Abbiegen
- Halt an der Haltestelle
- Verzögerung beim Ein- / Ausstieg (Andrang von mehr als 10 Personen)
- Verzögerung beim Ein- / Ausstieg durch mobilitätseingeschränkte Personen
- Verzögerung durch parkende / haltende Fahrzeuge
- Behinderung bei der Ausfahrt aus der Haltestelle
- Verzögerung an Haltestelle durch rot zeigende Lichtsignalanlage
- Behinderung im Fahrverlauf durch Einsatzfahrzeuge
- Behinderung im Fahrverlauf durch Müllfahrzeuge
- Behinderung im Fahrverlauf durch 2. Reihe Parker, Lieferverkehr
- Radfahrer auf Fahrweg des Busses

Dabei zeigt sich, dass viele Arten von Verlustzeiten auf nicht beeinflussbare Störungen zurückzuführen sind. Vor allem Halte an Lichtsignalanlagen oder Verzögerungen beim Abbiegen sind dabei beeinflussbare Größen. Zu beachten ist hier allerdings auch, dass in dieser Untersuchung nur außerplanmäßige Halte betrachtet wurden und Verlustzeiten zum Beispiel aufgrund von Langsamfahrstellen oder anderer infrastruktureller Defizite nicht berücksichtigt wurden. Sümmermann et.al. (2009) sehen Störungen im Ablauf des ÖPNV auf Straßen mit straßenbündigen Bahnkörpern als im Wesentlichen von Behinderungen durch den Kraftfahrzeugverkehr hervorgerufen. Die Ursachen hierbei liegen in den meisten Fällen in nicht rechtzeitig abfließenden Kraftfahrzeugen an Knotenpunkten und Liefer-/Lade- sowie Parkvorgängen auf der Strecke. Allerdings führt selbst bei einem vermehrten Auftreten von Interaktionen zwischen Stadt-/Straßenbahn- und Kraftfahrzeugverkehr nur ein Teil dieser zu merklichen Störungen im ÖPNV. Viele Interaktionen führen nur zu sehr geringen Störungen, die sich wiederum auch nur geringfügig auf den Fahrtablauf der Stadt-/Straßenbahnen auswirken. Die Geschwindigkeiten der Stadt-/Straßenbahnen auf straßenbündigen, vom Kraftfahrzeugverkehr mitgenutzten Bahnkörpern sind jedoch selbst bei zweistreifigen Straßen nicht zwangsläufig deutlich niedriger als bei einer räumlichen Trennung der Verkehrsarten, vor allem, wenn eine dynamische Straßenraumfreigabe realisiert ist. Auch in dieser Studie wird als ein entscheidender Einflussfaktor die Lichtsignalsteuerung gewertet. Dies bestätigen die Untersuchungsergebnisse der Dresdner Verkehrsbetriebe (DVB 2012).

Insgesamt zeigt sich in den bisherigen Untersuchungen eine starke Konzentration der Aufmerksamkeit auf Verlustzeiten an Lichtsignalanlagen. Dies ist aufgrund der vorherrschenden Situation mit höheren Verlustanteilen an Lichtsignalanlagen auch gerechtfertigt. Allerdings fehlt hier häufig eine Betrachtung der Infrastruktur. Mit der Anwendung des HBS-Verfahrens und der separaten Betrachtung unterschiedlicher Abschnitte (Knoten und freie Strecke) können hier Defizite erkannt werden.

2.9 Ideale Beförderungsgeschwindigkeit

Die im HBS zugrunde liegende Einteilung der Qualitätsstufen basiert auf einer idealen Beförderungsgeschwindigkeit, die bei einem mittleren Haltstellenabstand von 400 m, einer mittleren Haltezeit (einschließlich der Zeitverluste durch die Verzögerung vor und die Beschleunigung hinter der Haltestelle) von insgesamt 30 s und einer ansonsten unbehinderten Fahrt mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h erreicht werden kann (Sümmermann et.al. 2009).

Als Untergrenze der Qualitätsstufe A war bei der Bewertung ursprünglich die ideale Beförderungsgeschwindigkeit festgelegt, die gemäß dem HBS jedoch nur erreicht wird, wenn auf den Strecken zwischen den Haltestellen keine Störungen auftreten und die Busse bzw. Stadt-/Straßenbahnen völlig unbehindert fahren können. Eventuelle Zeitverluste an Knotenpunkten, vor allem solchen mit Lichtsignalanlage, waren nicht berücksichtigt. Die Qualitätsstufe A konnte somit nie erreicht werden, selbst auf Sonderfahrstreifen nicht, da hier dann eine absolute Bevorrechtigung an allen lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten erfolgen müsste (Sümmermann et.al. 2009). Als neue Untergrenze der Qualitätsstufe A im HBS-Verfahren 2015 wurden daher 95% der idealen Beförderungsgeschwindigkeit festgelegt.

Sümmermann et.al. (2009) schlagen neben starren Grenzen für die Einteilung der Qualitätsstufen eine fallspezifische Einteilung vor. Die an lichtsignalgeregelten Knotenpunkten eventuell auftretenden Zeitverluste werden dabei bei der Ermittlung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit insoweit berücksichtigt, wie sie als noch akzeptabel einzustufen sind; dies ist der Fall, wenn die Zeitverluste an den einzelnen Lichtsignalanlagen so gering sind, dass sie jeweils innerhalb der Verkehrsqualitätsstufe A einzuordnen sind. Diese Vorgehensweise ermöglicht die Festlegung von fallspezifischen Qualitätsstufeneinteilungen unter Berücksichtigung der auf der betrachteten Strecke tatsächlich vorhandenen Lichtsignalanlagen mit potenziellem Einfluss auf den Ablauf des ÖPNV. Dazu wird die ideale Beförderungsgeschwindigkeit mit einem Anpassungsfaktor f (zur Berücksichtigung eventueller Zeitverluste an Lichtsignalanlagen) multipliziert.

Da sich laut Bergelt (2021) die Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h im Bestand auch unter optimalen Fahrtbedingungen nicht immer erreichen lässt, sollte hier möglicherweise über eine Überarbeitung der Berechnungsformel oder unterschiedliche Berechnungen für Bestand und Neubau nachgedacht werden. Auch nach Weidmann et.al. (2013) hängt die Beförderungsgeschwindigkeit der Fahrzeuge des straßengebunden öffentlichen Verkehrs bei Mischverkehrsbetrieb stark von den Wechselwirkungen mit dem Individualverkehr ab. Auch hier bietet sich möglicherweise eine fallspezifische Betrachtung an.

3 Experten-Workshop zur Status-Aufnahme

3.1 Recherche und Auswahl von Fachleuten

Zur Suche nach einschlägigen und interessierten Fachleuten wurde eine Anfrage über entsprechende Verbände und Unternehmen (Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), FGSV, Deutscher Städtetag, Verkehrsunternehmen, Deutsches Institut für Urbanistik, persönliche Kontakte der Projektbearbeitenden) verbreitet. Der halbtägige Experten-Workshop fand am 26.04.2022 online mit 13 externen Teilnehmenden statt. Die Teilnehmenden berichteten dabei von ihren Erfahrungen, nannten ihre Anforderungen und Wünsche aus der Praxis und diskutierten diese. Die von den teilnehmenden Personen vertretenen Institutionen und Unternehmen sowie die jeweiligen Arbeitsbereiche sind in Tab. 1 aufgeführt.

Institution/Unternehmen	Arbeitsbereich/Sachgebiet
Hamburger Hochbahn	Systementwicklung und Angebotsplanung / Verkehrstechnik / ÖPNV-Bevorrechtigung an LSA
Kölner Verkehrsbetriebe	Angebotsplanung, Abstimmung LSA-Steuerung/ÖPNV-Bevorrechtigung
Stadt Kassel	Straßenverkehrsamt
Bochum-Gelsenkirchener Straßenbahnen AG	Strategische Verkehrsplanung; Fahrplanung & Fahrgastinformation
Stadt Offenburg	Tiefbau und Verkehr / Verkehrsplanung & -steuerung
Stadt Nürnberg	Verkehrsplanungsamt / Verkehrstechnik
Stadt Düsseldorf	Amt für Verkehrsmanagement / ÖPNV-Beschleunigung
Stadt Hamburg	Landesbetrieb Straßen, Brücken & Gewässer / Intelligente Verkehrssteuerung
traffiQ Lokale Nahverkehrsgesellschaft Frankfurt (Main)	Planung Nahverkehr / ÖPNV-Bevorrechtigung
Stadt Frankfurt am Main	Straßenverkehrsamt / LSA-Steuerung
Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Berlin	LSA-Steuerung, Qualitätsmanagement, ÖPNV-Bevorrechtigung

Tab. 1: Vertretene Institutionen und Unternehmen beim Workshop am 26.04.2022.

3.2 Fragestellungen für den Workshop

Den eingeladenen Personen wurden vorab Fragen zu den folgenden Aspekten gestellt:

- Praktische Erfahrungen mit der Anwendung des Kapitels S7 des HBS 2015 (sofern vorhanden)
 - unterschiedliche Kontexte: Neuplanungen, Evaluierung von Maßnahmen
 - verschiedene Maßstabsebenen: Knotenpunkte, Linien, Netzabschnitte
- Probleme bei der Anwendung des bisherigen Verfahrens nach Kapitel S7 des HBS 2015 in der bisherigen Form
 - Identifizierung relevanter Aspekte, die bisher nicht berücksichtigt werden
 - Geschwindigkeiten in Kurvenfahrten
 - maximale fahrgastverträgliche Beschleunigungs- bzw. Verzögerungswerte
- Methoden zur Bestimmung der Fahrtzeitvorgaben für neue Linien oder Linienabschnitte
- Methoden zur Bestimmung der Angebotsqualität im Sinne des Kapitels S7 des HBS 2015
- Anforderungen aus Sicht der Praxis an eine künftige Neufassung des Kapitels S7 und ggf. weiterer Kapitel des HBS 2015

3.3 Ergebnisse des Workshops

Die im Workshop gewonnenen Informationen und Einschätzungen sind nachfolgend thematisch gegliedert zusammengefasst.

3.3.1 Bekanntheit und Anwendung des Verfahrens gemäß Kapitel S7 des HBS 2015

Das Verfahren ist nicht durchgängig bekannt und wird von mehr als der Hälfte der vertretenen Städte/Verkehrsunternehmen nicht genutzt. Das Wissen darüber ist in den Kommunen eher gegeben als in den ÖPNV-Unternehmen bzw. bei den Aufgabenträgern.

Ein wesentlicher Grund für den Verzicht auf die Anwendung liegt darin, dass das Interesse der Städte und Verkehrsunternehmen häufig vorrangig der Bewertung der Qualität des Ist-Zustandes auf der Basis der Qualitätsstufen (hier SAQ) gilt; insbesondere hat eine permanente Qualitäts-Überwachung der LSA-Beeinflussung (Funktionieren der Technik, verbleibende Verlustzeiten, Pünktlichkeit) hohe Bedeutung. Dafür werden häufig Messdaten aus den Leitsystemen der Unternehmen und Meldepunkten/LSA-Telegramme verwendet. Einige Städte/Verkehrsunternehmen machen hierzu keine systematischen Analysen, sondern nur anlassbezogen (wenn konkrete Probleme gemeldet werden). Generell werden die unterschiedlichen Anforderungen der Anwendungsfälle Planung vs. Qualitätssicherung betont. Während manche Verkehrsunternehmen an (Verlust-)Zeiten statt Geschwindigkeiten und Qualitätsstufen als relevante Größen (u.a. für die Fahrplanung) interessiert sind, sehen andere die Geschwindigkeit im Vergleich zum MIV wegen der Wahrnehmung der Fahrgäste als relevant an.

Ein weiterer Grund für die Nichtanwendung liegt in der weiten Verbreitung verkehrsabhängiger LSA-Steuerungen, für die das Verfahren nach Kapitel S7 des HBS nicht anwendbar ist. Daneben betonen einige Städte, dass aufgrund von Anforderungen aus dem politischen Raum eine einfache, auch für Fachfremde verständlich darstellbare Lösung benötigt wird.

Eine umfassende Anwendung mit dem Ziel der Qualitätsbewertung erfolgte in Hamburg. Bei hohem Aufwand konnten keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt werden. SAQ von A/B standen SAQ von D/E gegenüber, was als Widerspruch gesehen wird. Bei den Ergebnissen der Untersuchung zeigte sich, dass große Schwankungen (SAQ A-F) bei der geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität über die gesamte Strecke auftreten. Insbesondere auf Abschnitten der freien Strecke ohne Haltestellen wurde häufig ein SAQ F ermittelt, was darauf zurückgeführt wird, dass die tatsächliche Beförderungsgeschwindigkeit die ideale Beförderungsgeschwindigkeit auf den Abschnitten nicht erreichen konnte. An Abschnitten mit Haltestellen wurden bessere Ergebnisse erzielt.

Reformbedarf wurde bei der Definition der Abschnitte deutlich: Die Abschnittsbildung sollte aus der Perspektive des ÖPNV haltestellenbezogen erfolgen, da die Haltestellen die sachgerechten Gliederungspunkte einer ÖPNV-Fahrt darstellen und auch die Bezugspunkte für Fahrplanung, Pünktlichkeitsstatistiken etc. bilden. Daher sollte die Definition eines Abschnitts so gefasst werden, dass Abschnitte stets an einer Haltestelle statt an einem Knotenmittelpunkt beginnen und enden. Des Weiteren erweist sich die Orientierung an Knotenmittelpunkten z.B. bei Kreisverkehren als unpraktisch, da in diesem Fall der Knotenmittelpunkt weit ab von der Trajektorie des Fahrzeugs liegt und die zurückgelegte Wegstrecke beim Passieren des Knotens erheblich länger sein kann als bei einer fiktiven Passage des Knotenmittelpunkts in direkter Linie.

Ungeachtet der Tatsache, dass die ideale Beförderungsgeschwindigkeit unabhängig von der Tageszeit definiert ist, halten einige Teilnehmende eine Differenzierung der Sollwerte nach Tageszeiten für notwendig.

Der Begriff Angebotsqualität ist nicht gut gewählt, da der Begriff im ÖPNV abweichend definiert ist: Während im Kapitel S7 des HBS ausschließlich der Aspekt der Beförderungsgeschwindigkeit betrachtet wird, wird der Begriff „Angebotsqualität“ im ÖPNV wesentlich weiter gefasst und umfasst beispielsweise auch die Aspekte Taktfrequenz, Bedienungszeiten, Platzangebot und Komfort.

3.3.2 Bekanntheit und Anwendung der Tab. S4-1 des HBS 2015

Die Tab. S4-1 ist allen Teilnehmenden bekannt. Das Interesse gilt auch hier der Bewertung der Qualität des Ist-Zustandes auf der Basis der QSV (Wartezeiten). Hierfür wird Tab. S4-1 in einigen Städten angewendet bzw. dies wird angestrebt. Allerdings entspricht die teilweise praktizierte Nutzung der LSA-Melde-telegramme nicht den Vorgaben des HBS. Einige andere Städte nutzen zur Datenauswertung und

Qualitätsbewertung andere Verfahren und kommerzielle Softwaretools; die SAQ bzw. QSV werden zur Veranschaulichung verwendet.

Die Notwendigkeit realistischer Zielvorgaben auf Basis des technisch Möglichen (z.B. angesichts konkurrierender ÖPNV-Relationen, Fahrrad- und Fußverkehr) wird betont. Kritisiert wird, dass Behinderungen in der Zufahrt zur Haltlinie von LSA nicht betrachtet werden. Verkehrsabhängige LSA-Steuerungen stellen auch hier insofern ein Problem dar, da das bisherige Verfahren diese nicht berücksichtigen kann.

3.3.3 Ermittlung der idealen bzw. zu erwartenden Beförderungsgeschwindigkeit gemäß Kapitel S7 des HBS 2015 (alternative Verfahren) bzw. von Fahrtzeitvorgaben

Viele Unternehmen ermitteln Sollwerte aus der Verteilung (Perzentil-Werte) der Fahrtzeitmessungen. Alternativ werden Erfahrungswerte aus dem Fahrdienst und Messungen aus Testfahrten genutzt.

Die ideale Beförderungsgeschwindigkeit gemäß Kapitel S7 des HBS 2015 wurde im Hamburger Anwendungsfall ermittelt. In der Realität wurden trotz der zuvor realisierten Bevorrechtigung erheblich geringere Ist-Werte festgestellt. Die daraus folgenden SAQ wurden als unzutreffend angesehen. Die Berechnung der Fahrtzeiten auf der Basis der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten unabhängig von der Linienführung wird als Ursache gesehen.

Zur Ermittlung der zu erwartenden Beförderungsgeschwindigkeit erfassen einige Verkehrsunternehmen/Städte regelmäßig abschnittsbezogene Ist-Zeiten mittels Leitsystem oder LSA-Telegrammen. Betrachtet werden vor allem Kennwerte der Verteilung, z.B. Median, 84%- und 95%-Grenzen.

Einige Städte führen (zunehmend) Mikro-Simulationen durch, u.a. wegen des Problems verkehrsabhängiger LSA-Steuerungen. Als Nachteile werden jedoch genannt, dass Mikro-Simulationen einen hohen Aufwand bedeuten und die Ergebnisse nicht dem HBS entsprechen.

3.4 Informationen aus dem VDV-Unterausschuss „Operatives Verkehrsmanagement“

Die Fragen zu den Beschleunigungs- und Verzögerungswerten wurden auch an den VDV weitergeleitet und am 24.05.2022 im Unterausschuss „Operatives Verkehrsmanagement“ besprochen. Die Antworten wurden dem Forschungsnehmer zur Verfügung gestellt:

Werte für Beschleunigung und Verzögerung

Realistische und fahrgastverträgliche Werte für die Beschleunigung im flachen Gelände sind:

- Bus: 1,0 m/s²
- Stadtbahn/Straßenbahn: 1,2 m/s²

Die Werte beziehen sich auf eine näherungsweise geradlinige Abfahrt.

Im Busverkehr ist eine deutlich höhere Varianz festzustellen (z.B. „Ausfahrt aus einer Busbucht in den Mischverkehr“). Teilweise werden lediglich 0,8-0,9 m/s² als realistischer Mittelwert angesehen. Einschränkungen ergeben sich beispielsweise, wenn der Busfahrer „unsichere“ stehende Fahrgäste im Fahrzeug erkannt hat. Die Fahrplanlage sollte ebenfalls eine Rolle spielen.

Zur Reduzierung der Beschleunigung in Abhängigkeit von der erreichten Geschwindigkeit liegen keine Informationen bzw. Erfahrungen vor.

Für die Verzögerung wird ein Wert von 1,0 m/s² als realistisch und fahrgastverträglich angesehen.

Zu möglichen Auswirkungen von Systemen, die das Fahrverhalten optimieren sollen, liegen keine Erfahrungen vor.

Geschwindigkeit in Kurvenfahrten

Hierzu gibt es explizit keine Werte. Jeder Vorgang kann unterschiedlich sein. Beim Abbiegen im rechten Winkel ist 10 km/h für die Modellannahme verträglich.

Allgemein wird die Geschwindigkeit bei Kurvenfahrten durch die maximal zulässige Querschleunigung von $0,65 \text{ m/s}^2$ begrenzt. Gemäß der Formel für die Zentrifugalbeschleunigung ist die maximale Geschwindigkeit demnach

$$v = \sqrt{0,65 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot r}$$

wobei r den Kurvenradius bezeichnet. Bei Straßen ist teilweise mit einer negativen Überhöhung zu rechnen (Entwässerung).

Bei Kreisverkehren ist die Geschwindigkeit auch abhängig von der Gestaltung der Mittelinsel und Kantenausbildung. Dabei spielt eine Rolle, ob der Kurvenradius voll ausgefahren werden muss oder eine direktere Fahrlinie gewählt werden kann.

4 Auswertung von Daten aus dem ÖPNV

4.1 Übersicht zur Einbeziehung von ÖPNV-Daten

Mit der Auswertung von Daten aus dem ÖPNV werden im Forschungsprojekt die nachfolgend erläuterten Ziele verfolgt. An drei Beispielen wird gezeigt, welche Möglichkeiten die Verkehrsunternehmen haben, um gezielt erhobene oder regelmäßig verfügbare Daten aus dem ÖPNV-Betrieb für Auswertungen im Kontext des alternativen Verfahrens aus Kapitel S7 des HBS 2015 einzusetzen. Anhand der Beispiele wird bewertet, welche Möglichkeiten die Daten bieten. Unterschiedliche Methoden bei der Erfassung der Daten sowie deren unterschiedliche Detaillierung haben einen Einfluss auf die Verwendung.

Die zugrundeliegenden Rahmenbedingungen in den Linienvorläufen bzw. an den Lichtsignalanlagen sowie aus den Daten abgeleitete Ergebnisse werden genutzt, um die aktuelle Vorgehensweise gemäß Kapitel S7 des HBS 2015 sowie dort enthaltene Richtwerte zu bewerten. In diesem Zusammenhang erfolgt auch die Gegenüberstellung der idealen Fahrtzeit und der gemessenen Fahrtzeit über 52 Kilometer Linienlänge mit unterschiedlichen Bedingungen.

Um eine differenzierte Betrachtung vornehmen zu können, werden unterschiedlich erhobene Daten verwendet:

- Daten, die mit dem spezialisierten Messsystem FadaPlus erhoben wurden und eine hohe streckenbezogene Detaillierung aufweisen (Krefeld)
- Daten, die von einem Leitsystem ermittelt wurden (Nürnberg)
- Daten aus der funkbasierten Anmeldung von Fahrzeugen an Lichtsignalanlagen, die mittels einer spezialisierten Software strukturiert und vorbereitet wurden (Nürnberg)

Ergänzend konnten weitere von Verkehrsunternehmen zur Verfügung gestellte Daten einbezogen werden:

- Daten aus dem Leitsystem der Hamburger Hochbahn AG
- Daten aus dem Leitsystem Kölner Verkehrs-Betriebe AG

Die Daten und deren Auswertung liefern somit wichtige Hinweise für die Überarbeitung des Kapitels S7 des HBS 2015.

4.2 Fahr- und Verlustzeitmessungen bei der SWK MOBIL Krefeld

4.2.1 Eingesetztes Messsystem und Ergebnisgrößen

Für die Erfassung und Auswertung der ÖPNV-Daten bei der SWK MOBIL Krefeld wurde das spezialisierte System FadaPlus eingesetzt. Entwickler und Hersteller des Systems ist die UVT Unternehmensberatung für Verkehr und Technik GmbH aus Mainz. Die Erfassung der Daten erfolgte mit Bussen, die über die entsprechenden Messeinrichtungen verfügten.

Mittels direkter Anschlüsse an der Fahrzeug-Elektrik/Elektronik werden durch das zum System gehörende Messgerät diese Kriterien erfasst:

- Wegimpuls (Tachosignal)
- Zustand offen/geschlossen jeder Tür
- Nutzung der Betriebsbremse

Die erfassten und im Fahrzeug zwischengespeicherten Daten werden bei der SWK MOBIL Krefeld per WLAN übertragen. Die WLAN-Lösung für das Leitsystem wird dafür mitbenutzt.

Die im Fahrzeug erfassten Messdaten wurden mit der Software des Systems FadaPlus verarbeitet. Die Zeiten des Fahrens und Stehens werden dabei den Messpunkten der zuvor erstellten Teillinien auf der Basis eines entfernungsbasierten Ortungsverfahrens zugeordnet. Messpunkte, für die die Erfassung von Haltezeiten vorgesehen sind, verfügen dafür über sogenannte Toleranzbereiche. An Haltestellen wird zwischen Zeiten mit geschlossenen und geöffneten Türen unterschieden. Werden Messpunkte ohne Halt durchfahren, erfolgt eine Interpolation der Durchfahrtszeit gemäß der zugeordneten Entfernung. Im Ergebnis stehen die teillinienbasierten gemessenen Fahrten mit allen Einzelwerten zur Verfügung.

Die Software verfügt über eine Funktion zur Berechnung der theoretischen Fahrtzeit. Berücksichtigt werden dabei die Entfernungen zwischen den Messpunkten, die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und jeweils ein Wert für die Beschleunigung und Verzögerung.

Tab. 2 führt auf, welche Ergebnis-Größen berechnet werden und wie diese definiert sind.

Abkürzung	Bezeichnung in FadaPlus	Erläuterungen
BZ	Beförderungszeit	Zeit von Haltestelle zu Haltestelle, Bezug ist die letzte Türschließung
FP	Fahrtzeitvorgabe	geplante Zeit von Haltestelle zu Haltestelle
FA	Fahrtzeitabweichung	Differenz zwischen der Beförderungszeit und der geplanten Zeit, „-“ bedeutet Verfrühung und „+“ Verspätung
FZ	Fahrtzeit	Bewegungszeit des Fahrzeugs
FW	Fahrgastwechselzeit	Zeit zwischen erster Türöffnung und letzter Türschließung im Toleranzbereich einer Haltestelle
VZ	Verlustzeit	Summe der Einzel-Verlustzeiten
LH	Halt an Lichtsignalanlagen	Haltezeit im Toleranzbereich einer Lichtsignalanlage, bei der Kombination von Haltestelle mit Lichtsignalanlage der Anteil der Haltezeit mit geschlossenen Türen, Teil der Wartezeit gemäß Definitionen der FGSV
HP	Halt am Punkt	Haltezeit im Toleranzbereich einer Haltestelle bzw. eines sonstigen Messpunktes, an einer Haltestelle nur der Anteil der Haltezeit mit geschlossenen Türen
HS	Halt auf der Strecke	Haltezeiten zwischen den Toleranzbereichen
SG	Slow&Go	in der Fahrtzeit enthaltene Verlustzeit, Differenz aus dem Mittelwert der Fahrtzeit von Haltestelle zu Haltestelle und der schnellsten Fahrt des ausgewerteten Fahrtenkollektivs, SG1 wird mit den Fahrten berechnet, die an allen Haltestellen halten, SG2 wird mit allen Fahrten berechnet
DZ	Durchfahrtzeit	Zeit von Ort zu Ort unter Einschluss aller Zeiten des Fahrens und Stehens
v(BZ)	Reisegeschwindigkeit	aus der Beförderungszeit berechnete Geschwindigkeit, entspricht der Beförderungsgeschwindigkeit des HBS

Tab. 2: Ergebnisgrößen FadaPlus

Für die Auswertung der Messfahrten stehen umfangreiche Funktionen zur Verfügung.

4.2.2 Merkmale der Untersuchungsstrecke

Für die Messungen wurde die Buslinie 052 der SWK MOBIL Krefeld ausgewählt, die zwischen Krefeld und Moers verkehrt. Diese deckt unterschiedliche betriebliche Rahmenbedingungen ab. Dazu gehören:

- städtischer und regionaler Verkehr:

In Krefeld und in Moers verkehrt die Linie jeweils im typisch städtischen Umfeld. In Krefeld ergibt sich der Charakter einer Durchmesserlinie (von Oppum im Osten/Südosten des Stadtzentrums über das Stadtzentrum mit den Haltestellen Hauptbahnhof und Rheinstraße bis zum Verlassen des Stadtgebiets im Norden über die Moerser Landstraße) und in Moers der Charakter einer Radiallinie (Erreichen bzw. Verlassen des städtischen Abschnitts im Süden über die Filder Str. mit Führung bis zum Bahnhof im Zentrum). Zwischen Krefeld und Moers werden kleinere Ortschaften in der Regel auf Hauptstraßen

durchfahren. Lediglich in Kapellen wird die Hauptstraße verlassen und ein siedlungsartiges Wohngebiet durchquert. Zwischen den Ortschaften wird über längere Strecken durch unbebautes Gelände gefahren.

- Lichtsignalanlagen:

Im Linienverlauf befinden sich ca. 40 Lichtsignalanlagen, darunter auch Anlagen für Fußgänger. Sie werden aus Haupt- und Nebenrichtungen befahren. Ebenso gibt es Abbiegevorgänge an signalisierten Knoten. Die Lichtsignalanlagen liegen vor allem in den städtischen Gebieten. Im „Überland“-Abschnitt zwischen Krefeld und Moers befinden sich nur wenige Lichtsignalanlagen.

In Krefeld melden sich die Busse an Lichtsignalanlagen an. Aus der Sicht des Verkehrsunternehmens ist nicht bekannt, in welchem Umfang eine Bevorrechtigung realisiert ist. Aus den gemessenen Verlustzeiten ist keine Beeinflussung oder gar Bevorrechtigung erkennbar. Im Zentrum von Krefeld passiert die Linie 052 mehrere Lichtsignalanlagen, die auch von Straßenbahnen befahren und beeinflusst werden.

In Moers gibt es eine technische Lösung zur Anmeldung von Linienbussen an den Lichtsignalanlagen. Die Busse der SWK MOBIL Krefeld verfügen allerdings nicht über die spezifische Anforderungstechnik. In der Folge ergeben sich die Möglichkeiten, dass die Linie 052 durch Anforderungen der lokalen Busse „ausgebremst“ wird oder mit einem lokalen Bus „mitschwimmen“ kann.

Eine Lichtsignalanlage in Moers fällt in die Zuständigkeit des Landesbetriebs Straßenbau Nordrhein-Westfalen.

- Kreisverkehre:

In Krefeld und in Moers werden Kreisverkehre befahren. Im Abschnitt zwischen den Städten ist das nicht der Fall.

- Geschwindigkeitsvorgaben:

Im Verlauf der Linie 052 ergibt sich ein breites Spektrum an zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, von der Durchfahrung einer Fußgängerzone bis zu einem Abschnitt mit einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h. Auf den innerstädtischen Hauptachsen gelten in der Regel 50 km/h. Es gibt aber auch Abschnitte mit 30 km/h, z.B. vor Schulen. In Wohngebieten dominieren 30 km/h, zum Teil als Tempo-30-Zonen mit der Vorfahrtregelung rechts vor links.

- Besonderheiten:

In Moers wird die Homberger Straße auf einer Länge von ca. knapp 360 m als Fußgängerzone mit optisch abgetrennter Fahrbahn durchfahren.

In Krefeld ist die Durchfahrt der Oberdießemer Straße aufgrund von Park- und Halteverkehr am Tag stark erschwert. Über Teilabschnitte kann aufgrund des geringen verbleibenden Querschnitts nur im Einrichtungsverkehr gefahren werden. Der geringe Querschnitt in der Straße Fungendonk führt zu Problemen, wenn sich Busse begegnen. Der Fahrplan ist so gestaltet, dass es theoretisch zu keinen Busbegegnungen kommt. Im realen Betrieb lassen sich diese Situationen allerdings nicht vollständig vermeiden. Die Folge sind Wartezeiten vor der Einfahrt in den betreffenden Abschnitt. Park- und Halteverkehr führt in weiteren Abschnitten der Linie 052 zu Begegnungsproblemen.

In Krefeld ergeben sich kurze Abschnitte, in den die Linie 052 im gemeinsamen Querschnitt mit der Straßenbahn geführt wird (Ostwall). Das betrifft pro Richtung jeweils einen Abschnitt, in dem der gesamte Verkehr einschließlich Straßenbahn in einer Spur geführt wird, sowie einen weiteren Abschnitt, in dem die Busse den besonderen Bahnkörper mitbenutzen.

- Haltestellen:

Die Linie bedient 57 Haltestellen. Die Integration der Haltestellen in den Straßenraum ist vielfältig (Haltestellenkap, Haltestelle am Fahrbahnrand, Busbucht sowie Mischtypen). Ein Teil der Haltestellen befindet sich unmittelbar vor Haltlinien von Lichtsignalanlagen bzw. in einem kurzen Abstand zur Haltlinie.

Der Ausbauzustand ist unterschiedlich. Ein relativ großer Teil der Haltestellen ist nicht barrierefrei ausgebaut. Im Überlandabschnitt gibt es einige Haltestellen, an denen die Fahrgäste auf Fahrbahnniveau ein- bzw. aussteigen müssen.

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Linie 52.

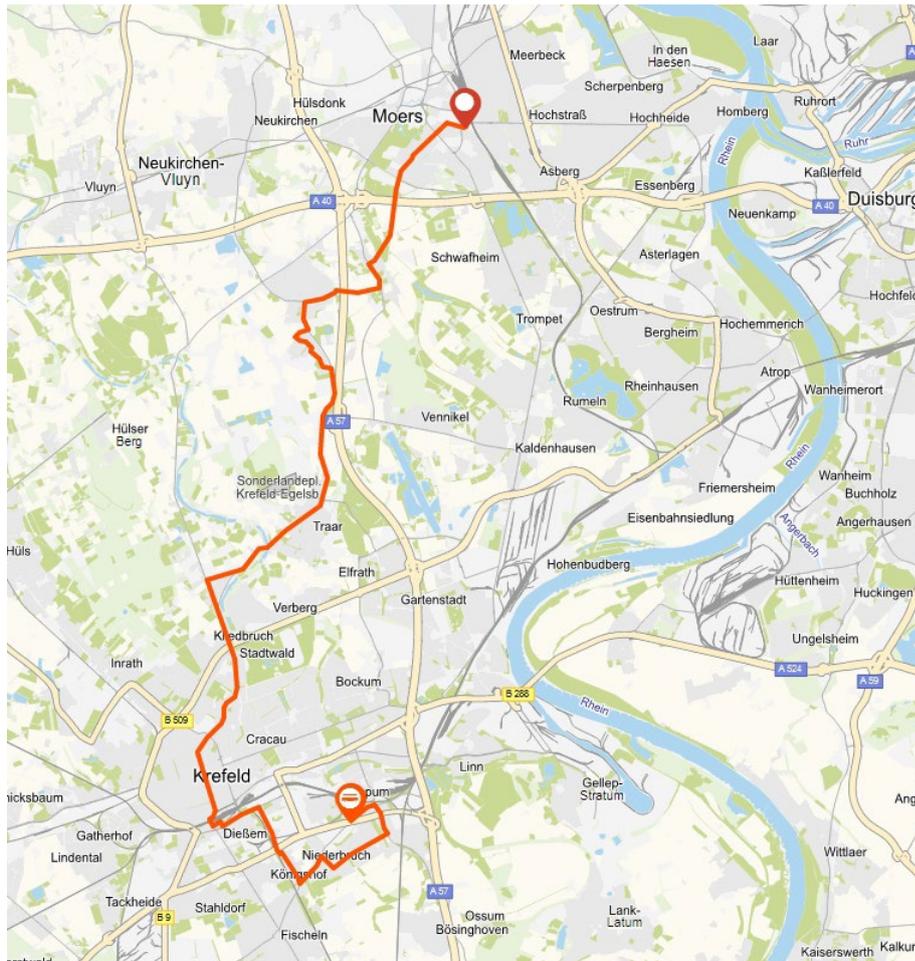


Abb. 2: Verlauf der Linie 052 (Quelle: <https://efa.vrr.de>, Kartendaten: Bereitsteller: Land NRW (2019) Lizenz: dl-de/by-2-0, © OpenStreetMap-Mitwirkende)

Die Linienlänge beträgt ca. 26 km pro Richtung.

Im Tagesverkehr Montag bis Freitag wird ein Takt von 30 Minuten angeboten. Die Fahrtzeitvorgaben betragen:

- 76 min in Richtung Moers
- 75 min in Richtung Krefeld

Zum Einsatz kommen dreitürige Gelenkbusse. Diese sind mit einem System ausgestattet, das die Fahrer mittels einfacher Indikatoren über das Fahrverhalten informiert. Durch gleichmäßiges Beschleunigen und Bremsen sollen damit u.a. der Kraftstoffverbrauch reduziert und der Komfort für die Fahrgäste verbessert werden. Im Kontext der Aufgabenstellung ist zu beachten, dass dieses System einer maximalen Ausnutzung der Beschleunigungs- und Bremsfähigkeit der Busse tendenziell entgegenwirkt. Im Kontext von Fahrer-Assistenzsystemen nimmt die Verbreitung solcher Lösungen zu.

Während der Messungen bestand in Holderberg eine kurze Umleitung:

- In Richtung Moers war die Haltestelle Bahnhofstr. vorverlegt, damit die Busse in die Industriestraße abbiegen konnten. Weitere Führung über die Richard-Wagner-Str. unter Umgehung der Lichtsignalanlage BKAP2-1 (ca. 440 m).
- In Richtung Krefeld wurde der Verkehr im Bereich der Baustelle mit reduzierter Geschwindigkeit über die Gegenfahrbahn geführt (ca. 220 m). Vom Linienweg wurde dabei nicht abgewichen.

Für die Fragestellungen des Forschungsprojektes sind die Auswirkungen der Umleitung von untergeordneter Bedeutung. Bei einer planerischen Nutzung der Daten wäre zu beachten, dass diese nicht den Zeitbedarf im Planzustand angeben (z.B. durch das Umfahren der Lichtsignalanlage BKAP2-1 in Richtung Moers). Vor allem kleinräumige Ergebnis-Auswertungen unter Einschluss des Umleitungs-Abschnitts sind davon betroffen.

4.2.3 Durchgeführte Arbeiten

Die SWK MOBIL Krefeld verfügt über das spezialisierte Messsystem FadaPlus. Das System wird schwerpunktmäßig für die Erfassung, Auswertung und Hochrechnung der Fahrgastzahlen verwendet. Mehrere Fahrzeuge sind mit dem System ausgestattet. Die erfassten Daten werden darüber hinaus für die Auswertung der Beförderungszeiten und Verlustzeiten verwendet.

Aufgrund ihrer Merkmale wurde die Linie 052 für die Messungen ausgewählt. Diese werden im Kap. 5.2.2 dargestellt.

Im Vorfeld der Messungen erfolgte eine Kontrolle der Messbusse, die auf der vorgesehenen Linie zum Einsatz kommen. Damit wurde sichergestellt, dass die Datenerhebung ab dem Beginn der Arbeiten in der erwarteten Qualität durchgeführt werden konnte.

Linien-Vermessung

Am 15.03.2022 wurde mit dem Bus 5655 eine sogenannte Vermessungsfahrt durchgeführt. Bei der Vermessungsfahrt wurden mit dem Messsystem alle für die Verarbeitung und Auswertung der Messdaten relevanten Punkte und Entfernungen im Verlauf der Linie 052 erfasst:

- Haltestellen
- Lichtsignalanlagen
- Stopp, Vorfahrt, Kreisverkehre, Fußgängerüberwege
- Änderungen der Geschwindigkeitsvorgabe einschließlich Orts-Eingänge/Ausgänge, Engstellen, Abbiegen und sonstigen Behinderungspunkten

Die Vermessungsfahrt wurde als Betriebsfahrt durchgeführt (keine Fahrgäste). An den planmäßig vorgesehenen Haltestellen wurde kurz angehalten.

Im unmittelbaren Zusammenhang mit der Vermessungsfahrt erfolgte die aktuelle Bestimmung der pro erfassten Wegimpuls zurückgelegten Entfernungen. Als Referenz diente eine im Betriebshof der SWK MOBIL Krefeld markierte 100 m-Strecke. Die Wegimpulse (Tachosignal) werden fahrzeugseitig zur Verfügung gestellt und vom Messsystem aufgezeichnet. Die pro Impuls gefahrene Entfernung unterliegt Schwankungen, z.B. aufgrund des Abriebs der Reifen. Mit der Messstrecke wird die Ermittlung genauer Entfernungen zwischen Messpunkten unterstützt.

Auf Basis der Daten der Vermessungsfahrt wurden die Teillinien erstellt. Diese beschreiben jeweils durch die Abfolge der Messpunkte den Linienverlauf, auf dem die planmäßigen Fahrten durchgeführt werden. Gegenüber der originalen Vermessungsfahrt werden die Teillinien insoweit modifiziert, dass sehr dicht beieinanderliegende Messpunkte, in der Regel bei Abständen von weniger als 50 m, zusammengefasst werden (z.B. eine Haltestelle mit unmittelbar folgender Lichtsignalanlage oder unmittelbar vor- bzw. nachgelagertem Fußgängerüberweg). Das ist für die korrekte Lokalisierung der Messungen und Zuordnung der Standzeiten notwendig. Die Zusammenlegung einer Haltestelle mit einer Lichtsignalanlage ist am Punktyp „H+L“ erkennbar.

Zusätzlich wurden im Umfeld von ausgewählten Lichtsignalanlagen Messpunkte eingefügt, die die Auswertung der Fahr- und Standzeiten unterstützen. In der Regel wurden diese Messpunkte 100 m vor der Haltlinie und 50 m nach der Haltlinie eingefügt.

Den Messpunkten werden Ortstypen zugeordnet, die bei der Verarbeitung und Auswertung der Messungen spezifische Funktionen haben:

- Haltestelle („H“)
- Lichtsignalanlage („L“)
- Kombination aus Haltestelle und Lichtsignalanlage („H+L“)
- sonstiger Messpunkt („S“, Stopp, Vorfahrt, Kreisverkehr, Fußgängerüberweg, Engstellen und sonstige Behinderungs-Punkte)
- Durchfahrtpunkt („D“, Änderung der Geschwindigkeits-Vorgabe oder Messpunkt ohne Erfassung von Standzeiten)

Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt:

Abfa...	Typ	Endort *	Ortszusatz	M.	Entfernung *
14:32:59	H	Dreikönigenstr		17	47
14:33:51	S	Ostwall/Neue Linner Str	Bus-/Haltestellenspur, Beginn T20	60	190
14:34:20	H	Rheinstr		60	101
14:34:37	L	KR-K006 Rheinstr./Ostwall	Ende T20	0	10
14:35:35	S		Knotenmitte, Beginn T30	9	39
14:35:51	L	KR-K021 St.-Anton-Str./Ostwall	Linksabb.	46	76
14:37:05	S		Knotenmitte, Rechtsabb., Beginn ÖV-Spur, Beginn T50	0	28
14:37:21	L	KR-K133 Ostwall/Dampfmühlenweg		60	96
14:37:52	H	Nordwall		60	195
14:38:20	L	KR-K053 Moerser Str./Ostwall/Nordwall	Rechtsabb.	0	1
14:38:58	S	Moerser Str./Ostwall	Beginn T30	60	214
14:39:07	L	KR-K220 Moerser Str./Ricarda Huch Schule	FG	35	65
14:39:17	H	Ricarda-Huch-Schule		13	43
14:39:56	L	KR-K005 Moerser Str./Blumentalstr.	Beginn T50	57	87
14:40:00	S		Knotenmitte	0	29
14:40:31	L	KR-K142 Moerser Str./Bismarckstr.		60	301
14:40:45	H	Moerser Platz	Rand wie Bucht	25	55
14:41:24	H	Vluynr Platz		60	237
14:41:46	L	KR-K051 Moerser Str./Breiten Dyk		4	34
14:42:08	S		Knotenmitte	0	18
14:42:51	H	Grafschaftsplatz		60	429
14:43:03	S		Spurwechsel Moerser Str.	4	34
14:43:40	H	Appellweg		60	350
14:44:28	H	Hohe Linden	Spurwechsel Moerser Str.	60	364
14:45:07	L	KR-K052 Moerser Str./Nassauerring		60	180
14:45:11	S		Knotenmitte	1	31
14:45:35	H	Am Flohbusch	Bucht fast bis Haltlinie LSA	60	177
14:45:43	L	KR-K201 Moerser Str./Hohen Dyk		0	10
14:47:24	H	Heyenbaumstr		60	353
14:47:33	L	KR-K243 Moerser Str./Heyenbaumstr./Hökendyk		0	18
14:47:59	S	Moerser Str./Nieperstr.	Kreisverkehr Einfahrt	60	231
14:48:09	S	Moerser Str./Nieperstr.	Kreisverkehr Ausfahrt	16	46
..

Abb. 3: Ausschnitt Linienvermessung (Quelle: Bildschirmausgabe der FadaPlus-Software)

Die Haltestellen wurden gemäß den Fahrplandaten der SWK MOBIL Krefeld bezeichnet. Von den Städten Krefeld und Moers wurden die Nummern und Bezeichner der Lichtsignalanlagen zur Verfügung gestellt. Weitere Ortsangaben wurden anhand von Straßennamen und in wenigen Fällen von Hausnummern erstellt.

Nachtfahrt

In der Nacht vom 16. zum 17.03.2022 wurde mit dem Bus 5655 eine Fahrt unter weitgehend ungestörten Bedingungen durchgeführt. Ziel war es, die Linie unter Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten und in einer für Fahrgäste akzeptablen Fahrweise (Beschleunigung, Verzögerung, Kurvengeschwindigkeit) so zügig wie möglich abzufahren und dabei nur an den Haltestellen zu halten. Die Fahrt erfolgte als Betriebsfahrt, d.h. ohne Fahrgäste. Fahrzeitvorgaben wurden nicht beachtet.

Die Nachtfahrt startete um 23:20 Uhr an der Endhaltstelle Krefeld, Bökendonk. Die Rückfahrt ab Moers, Bahnhof begann gegen 00:30 Uhr und endete kurz nach 01:40 Uhr. Die in den Auswertungen betrachteten Strecken von Krefeld nach Moers und zurück wurden dabei einmal abgefahren.

Bei der Durchführung musste an einigen Lichtsignalanlagen gehalten werden. Darüber hinaus gab es keine Störungen. Nach einem Halt wurde bis zum Erreichen der zulässigen bzw. möglichen Höchstgeschwindigkeit maximal beschleunigt.

Die Nachtfahrt wurde als „normale“ Messfahrt verarbeitet. Die beiden Fahrten (Hin- und Rückrichtung der Linie 052) konnten in der Folge mit der FadaPlus-Software wie die eigentlichen Messungen aus dem Fahrgastbetrieb ausgewertet bzw. dargestellt werden, z.B. als Einzelfahrt-Auswertung. Bei der Auswertung dieser Fahrten blieb die Nachtfahrt jedoch unberücksichtigt. In den im Kap. 5.2.4 dargestellten Ergebnissen ist die Nachtfahrt nicht enthalten. Die nachts gemessenen Fahrzeiten wurden in die Untersuchung zur idealen Fahrzeit einbezogen.

Verwendete Messdaten

Durch die dauerhafte Ausstattung von Fahrzeugen mit dem Messsystem werden von der SWK MOBIL Krefeld ständig Daten erhoben. Diese verteilen sich in der Regel zufällig auf die verschiedenen Linien. Für den Einsatz auf der Linie 052 kamen die Busse 5651 bis 5655 in Frage.

Verarbeitet wurden Daten aus dem Zeitraum Dienstag, 22.02.2022 bis Donnerstag, 07.04.2022. Berücksichtigt wurden nur die Wochentage Montag bis Freitag. Tage um das Fastnachts-Wochenende wurden nicht einbezogen.

Verarbeitet wurden Fahrten, die im Uhrzeitbereich 06:00 bis 20:00 Uhr auf der Linie unterwegs waren.

Der überwiegende Teil der verwendeten Messungen stammt aus dem Zeitraum vom 14.03.2022 bis zum 07.04.2022. In dieser Zeit hatte die SWK MOBIL Krefeld die Busse im Rahmen der betrieblichen Möglichkeiten gezielt auf den Wagenumläufen der Linie 052 eingesetzt.

Auf der Linie 052 werden zwei Umläufe durch einen Subunternehmer gefahren. Da ein Fahrzeugtausch nicht möglich war, konnten diese Umläufe nicht in die Messungen einbezogen werden. In der Folge stehen in Richtung Moers für die Stunden 08:00 bis 09:00 Uhr sowie 11:00 bis 12:00 Uhr keine Messungen zur Verfügung.

Die Messungen wurden unter Corona-Bedingungen durchgeführt. Das betrifft mehrere Punkte:

- Maskenpflicht für Fahrgäste
- Annahme einer reduzierten Nachfrage im ÖPNV
- mögliche Auswirkungen auf die Verkehrsstärke des MIV

Zu den konkreten Auswirkungen liegen keine Angaben vor.

Für die Auswertungen verfügbare Daten

Die Wagenumläufe bzw. Planfahrten, die in die Messungen einbezogen werden konnten, wurden durchschnittlich zehnmal verarbeitet. Zusätzlich weniger morgendlicher Schülerfahrten standen für die Auswertungen 523 Fahrten zur Verfügung (einschließlich der beiden Nachtfahrten).

Die Fahrten verteilen sich wie folgt:

Teillinie	Anzahl Fahrten	Anmerkungen
052.KR-BÖK.MO-BF.01	264	Krefeld, Bökendonk nach Moers, Bahnhof, erste planmäßige Abfahrt um 06:04 Uhr, letzte planmäßige Abfahrt um 19:39 Uhr (diese Fahrt bereits mit der Fahrzeitvorgabe des Abendverkehrs), eine Nachtfahrt
052.KR-BÖK.KR-HBF.01	5	Krefeld, Bökendonk nach Krefeld, Hauptbahnhof, planmäßige Abfahrt um 06:55 Uhr
052.KR-HBF.MO-BF.01	4	Krefeld, Hauptbahnhof nach Moers, Bahnhof, planmäßige Abfahrt um 06:39 Uhr
052.MO-BF.KR-BÖK.01	250	Moers, Bahnhof nach Krefeld, Bökendonk, erste planmäßige Abfahrt um 05:08 Uhr, letzte planmäßige Abfahrt um 18:38 Uhr, eine Nachtfahrt

Tab. 3: Übersicht der verfügbaren Messfahrten

Auswertung

Die Daten wurden im Kontext der Fragestellungen des Forschungsprojektes ausgewertet. Eine detaillierte Analyse der Situation der Linie in Bezug auf die Beförderungszeiten und Fahrzeitvorgaben sowie die Verlustzeiten und Behinderungen erfolgte nicht.

Zur Unterstützung des grundsätzlichen Verständnisses der erfassten Daten und ausgewertete Ergebnisse wird jedoch eine Übersicht gegeben (Kap. 5.2.4).

4.2.4 Allgemeine Ergebnisse der Messungen

Nachfolgend wird ein Überblick über die Ergebnisse der Messungen gegeben. Es ist nicht das Ziel, eine detaillierte Untersuchung der verkehrlichen Situation der Linie 052 vorzunehmen. Der allgemeine Überblick soll das Verständnis der Werte unterstützen, mit denen weitere Detailauswertungen in Bezug auf das Thema des Forschungsprojektes vorgenommen werden, z.B. zu den Durchfahrzeiten an Lichtsignalanlagen, den Haltestellenaufenthaltszeiten und den Werten für die Beschleunigung und Verzögerung.

Beförderungszeiten

Die Fahrten der Linie 052 im Zeitbereich 06:00 und 18:00 Uhr benötigen zwischen Krefeld und Moers im Mittel 77:32 min.¹ Bei der Fahrtzeitvorgabe von 76:00 min bedeutet das eine mittlere Ankunfts-Verspätung von 01:32 min, was als korrekt angesehen werden kann.

Problematisch ist die starke Streuung der Beförderungszeiten (Abb. 4). Auf Minutenbasis decken die 216 ausgewerteten Fahrten einen Streubereich von 16 Minuten ab. Der kleinste Streubereich, in dem 90% der Fahrten liegen, erstreckt sich auf 9 Minuten (73:00 ... 82:00 min).

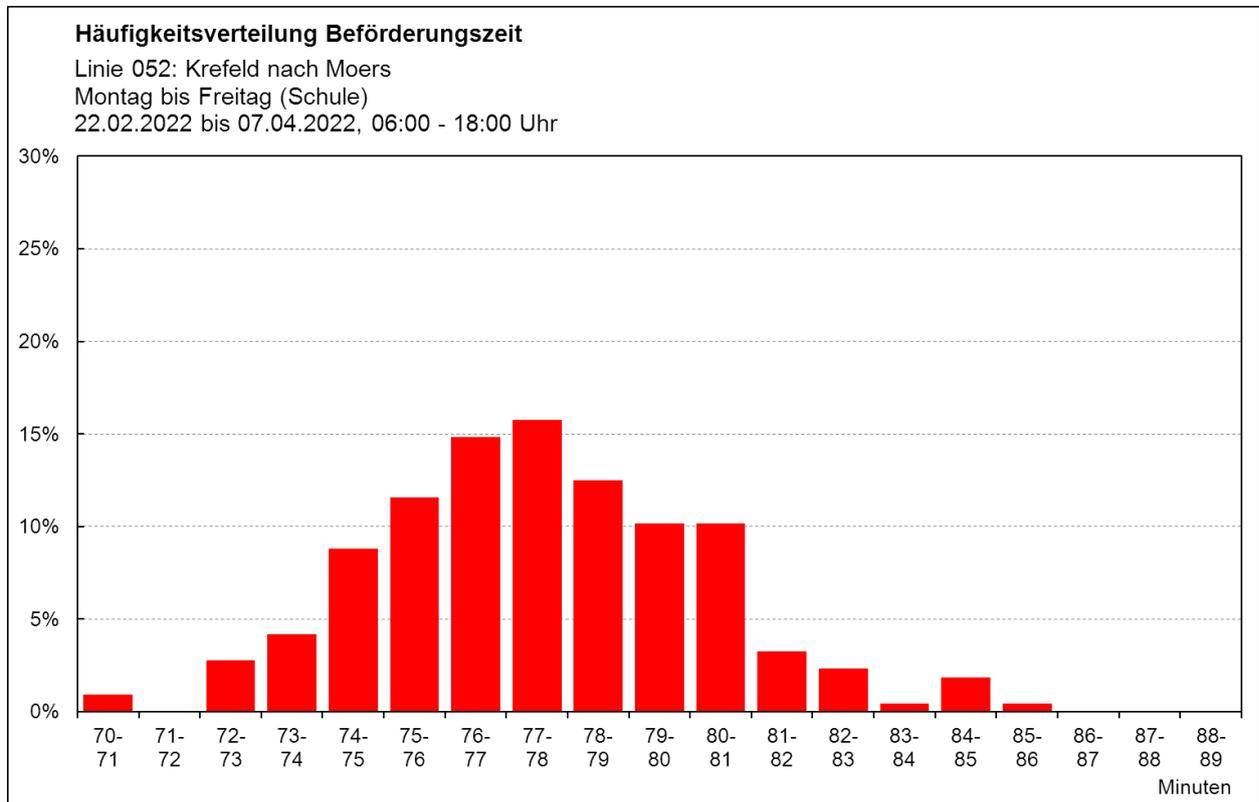


Abb. 4: Verteilung der Beförderungszeiten, Linie 052, Krefeld nach Moers, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 18:00 Uhr

In der Gegenrichtung, d.h. von Moers nach Krefeld, werden im Mittel 77:50 min benötigt (Abb. 5). Die Beförderungszeit übersteigt die Fahrtzeitvorgabe um 02:50 min. Der Streubereich ist mit 18 Minuten etwas größer. 90% der Fahrten liegen in einem Bereich von 11 Minuten (72:00 ... 83:00 min).

¹ Die Zeitangaben zur Dauer beispielsweise der Beförderungszeit werden in einem Format angegeben, das im ÖPNV üblich ist (mm:ss). Bei der Dauer von einer Stunde und mehr werden die Minuten der neuen Stunde(n) auf 60 addiert und die Sekunden beibehalten.

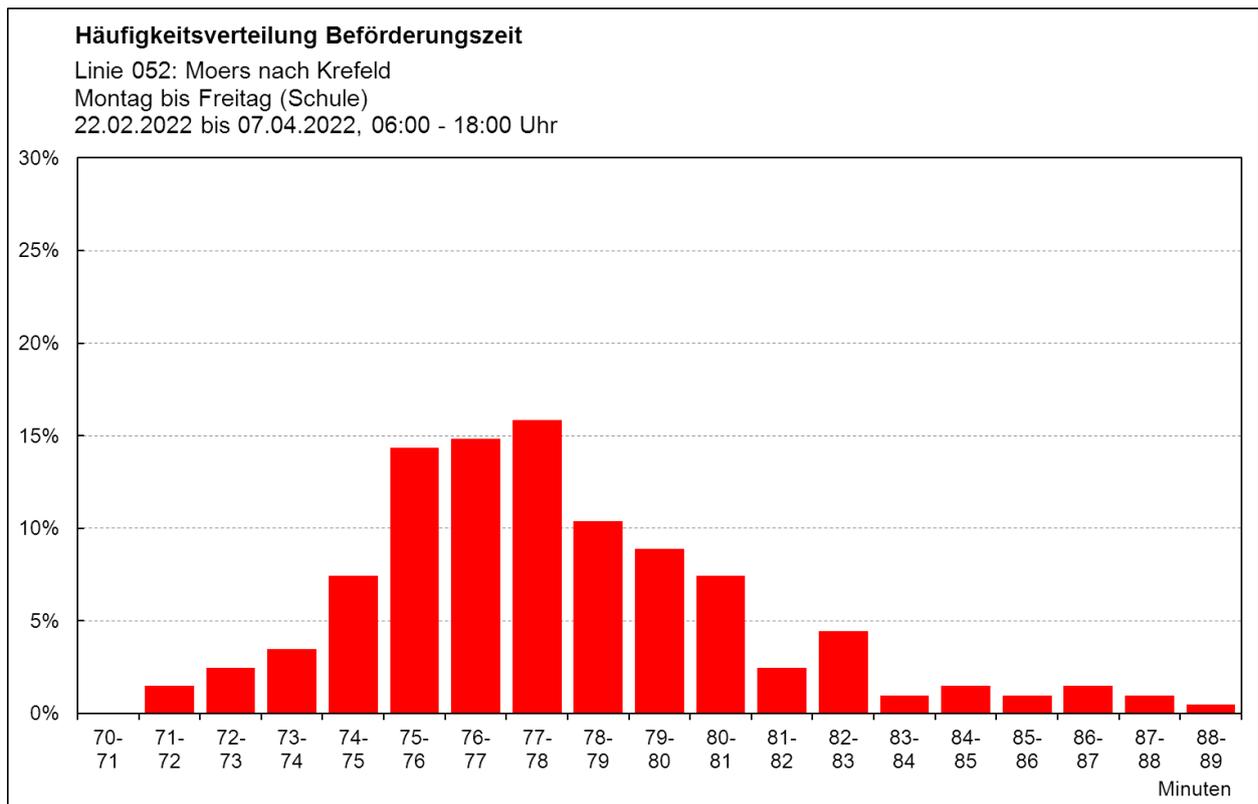


Abb. 5 Verteilung der Beförderungszeiten, Linie 052, Moers nach Krefeld, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 18:00 Uhr

Die Ursachen für die starke Streuung sollten vielschichtig sein. Neben der Länge der Linie sind vor allem die relativ starken Behinderungen in Krefeld und Moers sowie die im Tagesverlauf unterschiedliche Fahrgastnachfrage zu beachten.

Die im Vergleich größere Streuung in Richtung Krefeld erklärt sich teilweise durch die Fahrplanlage im Linienverlauf. In Richtung Moers ist im Überlandabschnitt derzeit eine gewisse Kompensation von Verspätungen möglich. Einige Fahrten warten sogar Zeiten ab, um Verfrühungen zu vermeiden. Das ist in Richtung Krefeld nicht der Fall. Die fehlende Kompensationsmöglichkeit trägt zur höheren Streuung bei (siehe auch die mittleren Abweichungen von den Fahrtzeitvorgaben an den Haltestellen, folgender Abschnitt).

Abweichungen von den Fahrtzeitvorgaben

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die kumulierte mittlere Abweichung der Beförderungszeiten von den Fahrtzeitvorgaben, wiederum für die Abfahrten montags bis freitags zwischen 06:00 und 18:00 Uhr. Positive Werte geben an, dass die Beförderungszeiten größer als die Fahrtzeitvorgaben sind. Bezüglich der von den Fahrgästen wahrgenommenen Pünktlichkeit ist zu beachten, dass hinter den Mittelwerten eine teilweise beachtliche Streuung steht. Dieser Aspekt wird im Rahmen der allgemeinen Ergebnisübersicht nicht betrachtet.

Zwischen Krefeld, Bökendonk und Moers, Bahnhof ist der Zeitbedarf an den ersten Haltestellen geringer als die geplante Zeit. Eine Rolle spielt dabei das Zeitraster von 60 s bei der Planung der Vorgabe. Im weiteren Verlauf ist die Differenz zumeist korrekt. Durch eine leichte mittlere Verspätung wird erreicht, dass über die Streuung möglichst keine Verfrühungen in Bezug auf die Kundensicht auftreten. Im Überlandabschnitt sind die Abweichungen geringer. Sie gehen an einer Haltestelle auf fast 0 s zurück. Dabei ist zu beachten, dass die Fahrer bei Bedarf durch langsames Fahren und durch Wartezeiten an Haltestellen die Beförderungszeiten künstlich verlängern, um Verfrühungen zu vermeiden. Im Stadtgebiet von Moers nimmt die Differenz zwischen Ist und Soll wieder zu.

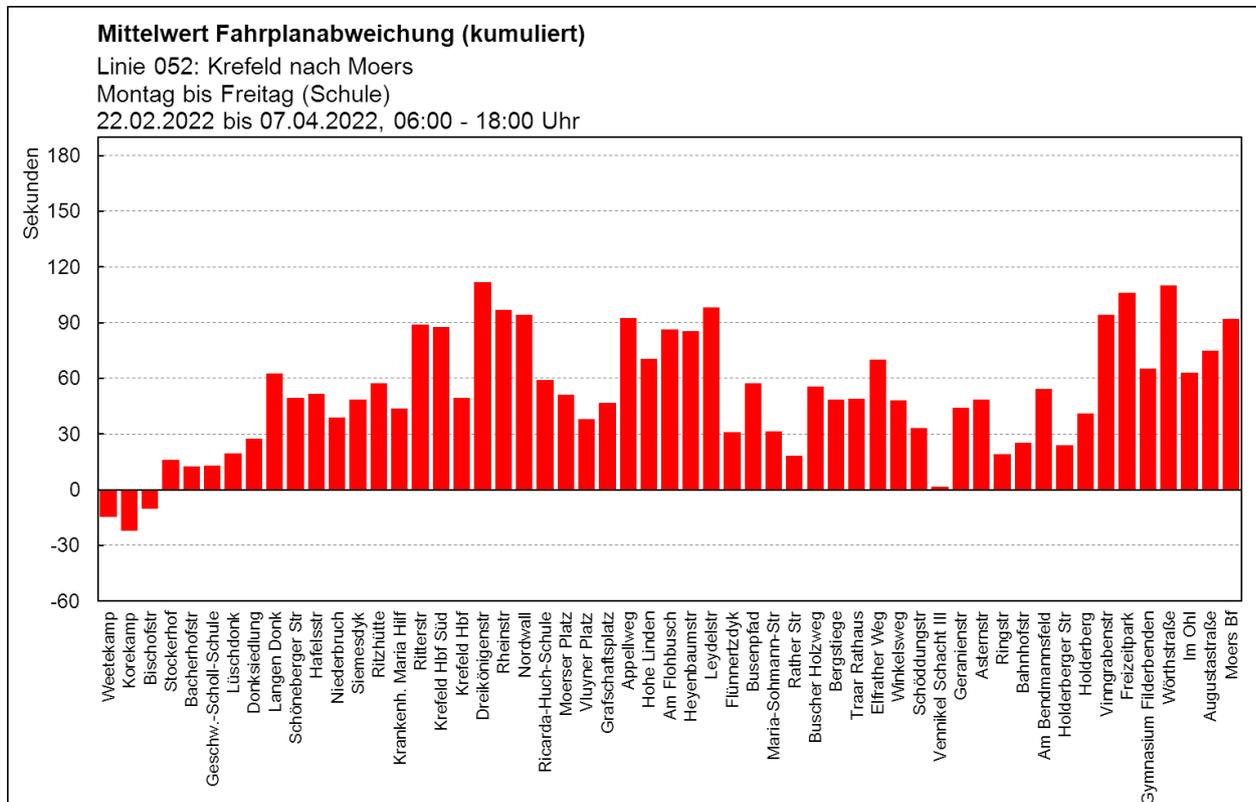


Abb. 6: Mittlere Abweichung zwischen Beförderungszeit und Fahrtzeitvorgabe, Linie 052, Krefeld nach Moers, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 18:00 Uhr

In Richtung Krefeld ergibt sich eine andere Situation. Die mittlere Abweichung steigt zunächst bis auf 02:30 min an. Im Überlandabschnitt geht die Abweichung leicht zurück. Verspätungen können reduziert, aber nicht kompensiert werden. In Krefeld steigen die Abweichungen wieder auf das Niveau bis 02:30 min. An der Haltestelle Krefeld, Hauptbahnhof ist eine Pufferzeit vorgesehen (u.a. für den Fahrerwechsel). Diese führt nicht zur Reduzierung der Abweichung.

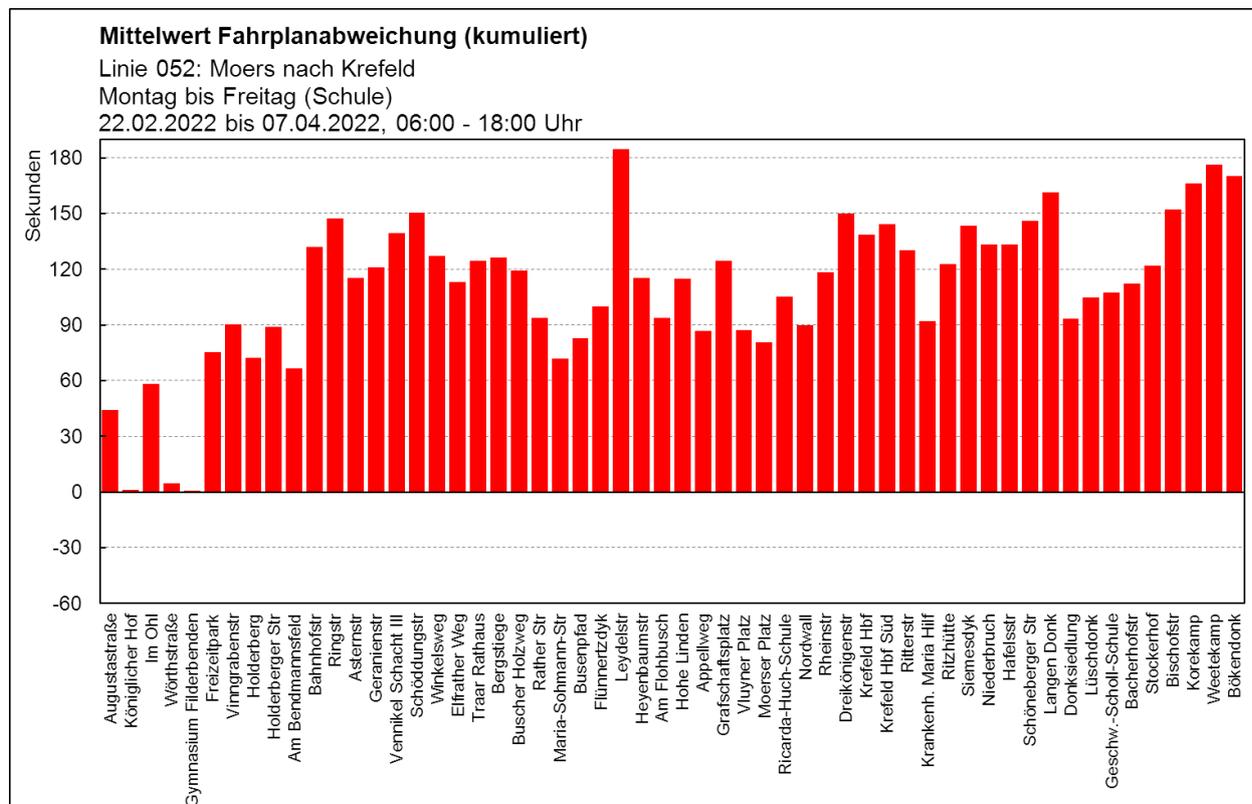


Abb. 7: Mittlere Abweichung zwischen Beförderungszeit und Fahrtzeitvorgabe, Linie 052, Moers nach Krefeld, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 18:00 Uhr

Für die weitere Analyse der Fahrtzeitmessung im Kontext des Forschungsprojektes ergibt sich daraus die Schlussfolgerung, dass die Fahrplanlage in Richtung Krefeld zu einem stärkeren Druck auf die Fahrer führt, möglichst kurze Fahrtzeiten anzustreben. In Richtung Moers ist das zumindest im Überlandabschnitt weniger zu erwarten. Die mittleren Fahrtzeiten könnten hier etwas erhöht sein bzw. einen größeren Abstand zu den theoretisch möglichen Fahrtzeiten aufweisen.

Verlustzeiten

Nachfolgend werden die Verlustzeiten anhand ihres Anteils an den Beförderungszeiten betrachtet. Für eine qualitative Aussage eignet sich die Aufteilung der Beförderungszeit wie in der Abb. 8 dargestellt. Aufgrund der Unterschiedlichkeit der Abschnitte wurden die städtischen Abschnitte und der Überlandabschnitt getrennt ausgewertet. Links ist jeweils die Situation in Richtung Moers und rechts in Richtung Krefeld angegeben.

Die Darstellung gibt jeweils an:

- Fahrtzeit ohne Slow&Go
- Fahrgastwechselzeit
- Verlustzeit

Die Verlustzeiten setzen sich wie folgt zusammen (siehe Abb. 9):

- Halt an Lichtsignalanlagen
- Halt am Punkt
- Halt auf der Strecke
- Slow&Go

Der Slow&Go wurde unabhängig von den Halten an Haltestellen berechnet. Eine Betrachtung mit nur den Fahrten, die an allen Haltestellen gehalten haben, ist mangels Vorhandenseins nicht möglich. Die Fahrtzeit wurde um den Slow&Go reduziert.

In die Verlustzeiten sind auch betrieblich bedingte Zeitanteile eingegangen, z.B. im Zusammenhang mit der geplanten Haltezeit an der Haltestelle Krefeld, Hauptbahnhof und der Vermeidung von Verfrühungen im Überlandabschnitt in Richtung Moers.

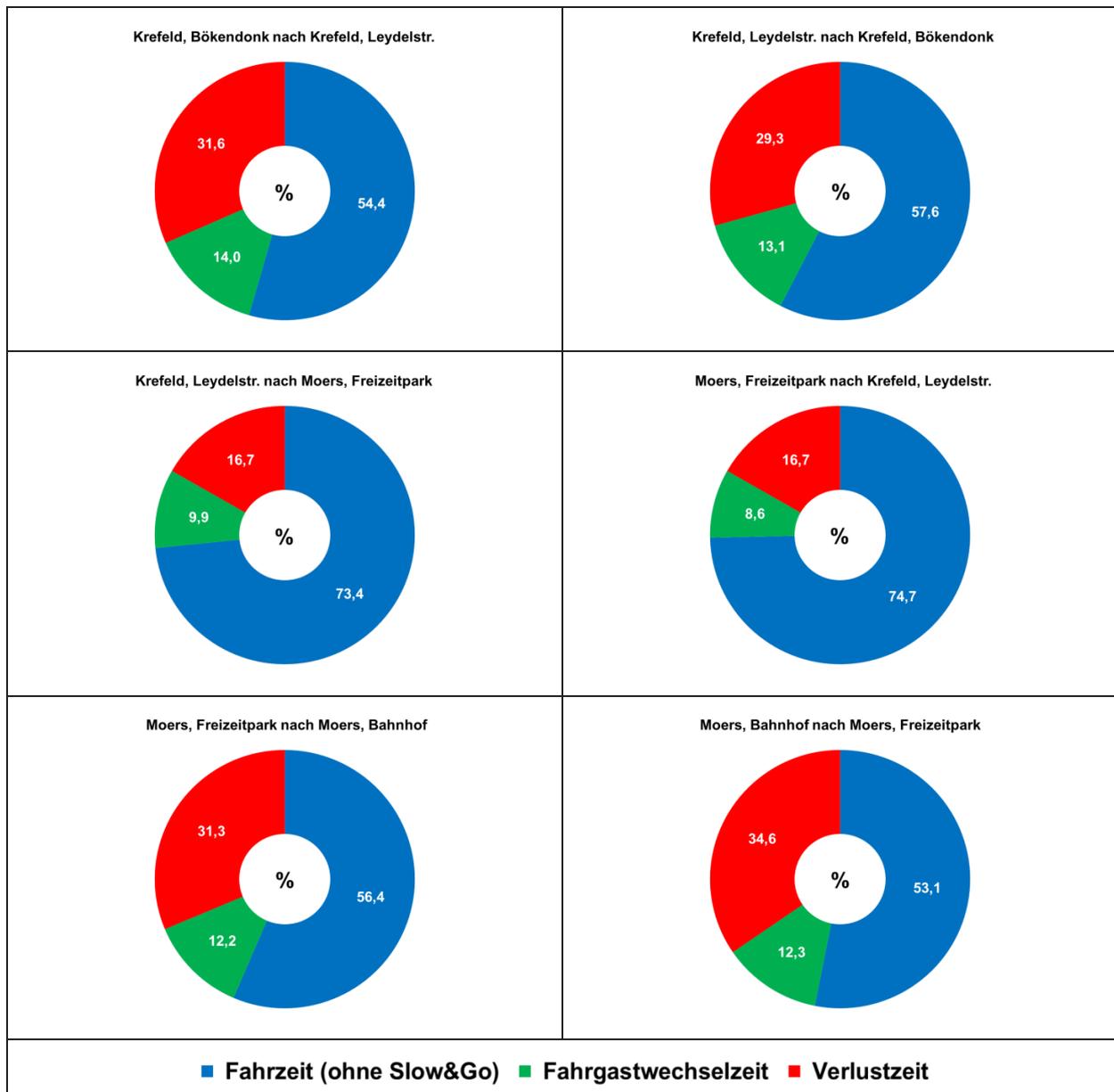


Abb. 8: Aufteilung der Beförderungszeit nach Abschnitten, Linie 052, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 18:00 Uhr

Der Überlandabschnitt unterscheidet sich stark von den städtischen Abschnitten. Im Mittel beträgt der Anteil der Verlustzeiten an den Beförderungszeiten knapp 17 %. Dazu tragen die geringe Anzahl an Lichtsignalanlagen und die geringere Anzahl Halte an Haltestellen bei. In Richtung Moers sind in den Verlustzeiten auch Anteile enthalten, die sich aus der Vermeidung von Verfrühungen ergeben (langsamere Fahrtzeiten, Wartezeiten an Haltestellen).

Die städtischen Abschnitte in Krefeld und Moers weisen ähnliche Bedingungen auf. Der mittlere Anteil der Verlustzeiten an den Beförderungszeiten liegt von 06:00 bis 18:00 Uhr zwischen etwas mehr als 29 % und knapp 35 %. Während der Verkehrsspitzen ist der Anteil der Verlustzeiten höher. Für Krefeld ist zu berücksichtigen, dass längere Abschnitte eingeschlossen sind, die nur geringe Behinderungen aufweisen (z.B. die Zonen mit Tempo 30 im Stadtteil Bökendonk). Im unmittelbaren Zentrumsbereich sind die Anteile der Verlustzeiten deutlich höher.

Knapp ein Drittel des mittleren Zeitbedarfs wird von Behinderungen verursacht. Sie schränken die Attraktivität und Qualität des ÖPNV in doppelter Weise ein:

- niedrige Beförderungsgeschwindigkeit
- Unpünktlichkeit und Unregelmäßigkeit durch die Wirkung auf die Streuung der Beförderungszeiten

Das Niveau der Behinderungen in den städtischen Abschnitten ist hoch. Linien mit sehr umfassenden Maßnahmen zur Bevorzugung des ÖPNV bzw. zur Schaffung angemessener Rahmenbedingungen kommen auf verbleibende Verlustzeitanteile zwischen 15 % und 20 %. Bei Stadt- und Straßenbahnen können auch 10 % bis 15 % erreicht werden (Ergebnisse aus Untersuchungen der UVT GmbH, z.B. für CTS Strasbourg).

Bei der Betrachtung der Zusammensetzung der Verlustzeiten (Abb. 9) wird deutlich, dass in den städtischen Abschnitten die höchsten Verlustzeiten an den Lichtsignalanlagen auftreten. Diese Halte machen in den städtischen Abschnitten zwischen 45 % und 56 % der Verlustzeiten aus (bzw. mehr als 15 % der Beförderungszeit). Im Überlandabschnitt gibt es nur wenige Lichtsignalanlagen, die auch keine so starken Behinderungen verursachen.

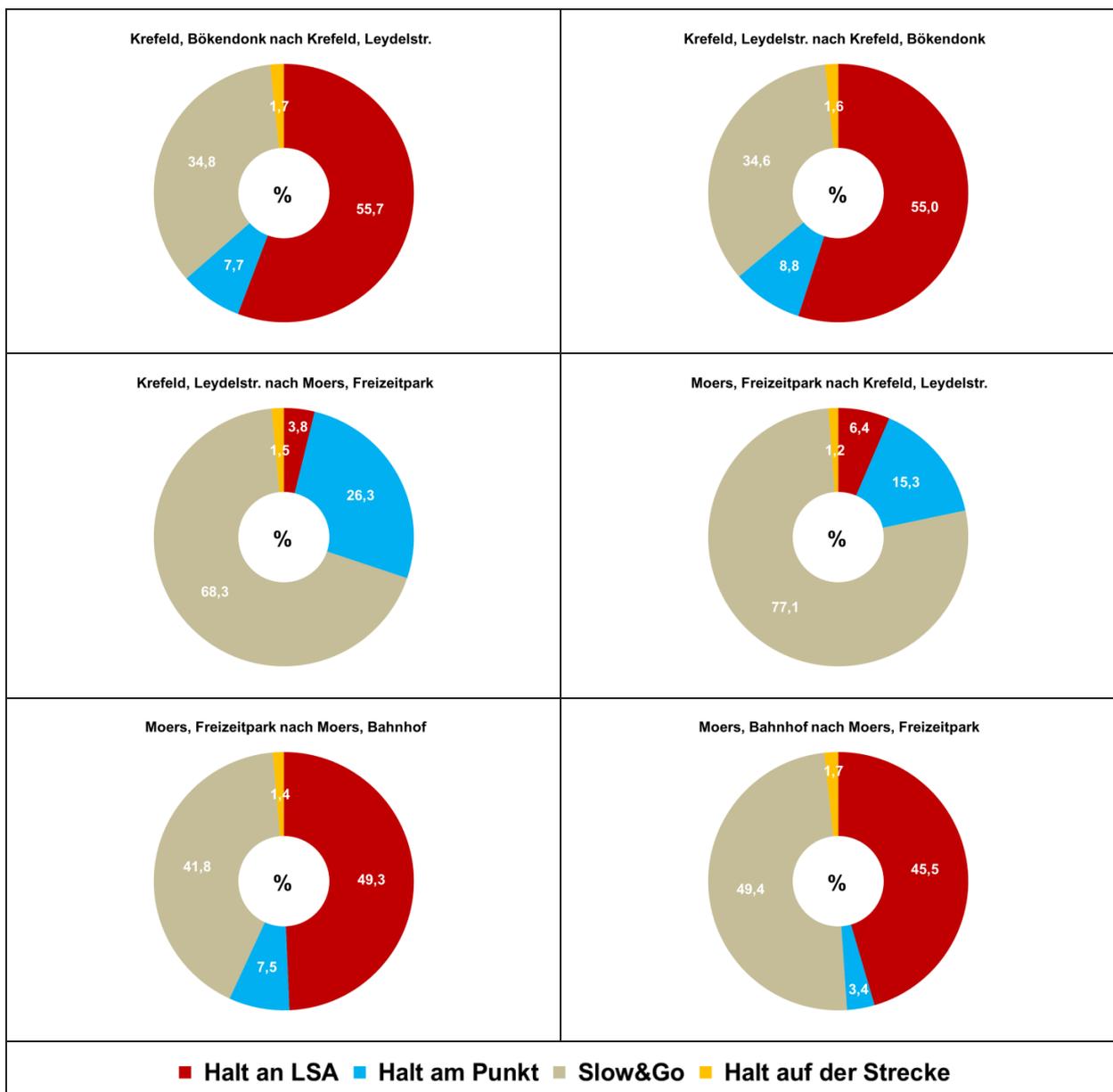


Abb. 9: Aufteilung der Verlustzeiten nach Abschnitten, Linie 052, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 18:00 Uhr

Der zweitgrößte Teil der Verlustzeiten zeigt sich anhand der Fahrzeitunterschiede. Diese haben sehr verschiedene Ursachen. Einen großen Einfluss haben wiederum die Lichtsignalanlagen. Neben den Standzeiten führen die Behinderungen auch zu starken Fahrzeitdifferenzen. Es gibt jeweils (weitgehend) störungsfreie Fahrten, die die Referenz für den Slow&Go bilden und die Fahrten, die durch einen oder mehrere

Halte, Fahrt gegen das rot zeigende Signal und/oder das Auffahren auf den Rückstau eine längere Fahrtzeit als nötig aufweisen. Vergleichbare Effekte können sich an nicht signalisierten Knoten ergeben. Weitere Fahrtzeitdifferenzen entstehen u.a. durch hohes Verkehrsaufkommen in den gemeinsamen Querschnitten mit dem Individualverkehr, durch Engstellen oder durch Liefer-, Park bzw. Parksuchverkehr. Zur Vervollständigung sei ergänzt, dass auch die Fahrtzeitvorgaben und unterschiedliche Fahrstile zu Differenzen beitragen.

Halte am Punkt sind nur an ausgewählten Orten von Bedeutung (Vorfahrt/Stopp, Engstellen, Haltestellen). Halte auf der Strecke spielen kaum eine Rolle. Das ist u.a. auf die detaillierte Festlegung der Messpunkte zurückzuführen.

Haltezeiten an Lichtsignalanlagen

In der Übersicht zur Behinderungssituation auf der Linie 052 werden abschließend die Haltezeiten an den Lichtsignalanlagen betrachtet. Diese sind in den folgenden Abbildungen mit den stündlichen Mittelwerten dargestellt.

Die Farben geben das Niveau der mittleren Haltezeit an und beziehen sich dabei auf die Wertebereiche der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) für die Lichtsignalanlagen gemäß Tab. S4-1 des HBS 2015. Für die QSV A wurde ein Übergang von dunkelgrün zu hellgrün für die mittleren Standzeiten zwischen 0 und 20 s gewählt. Für die weiteren QSV wurden keine Farbabstufungen zur weiteren Differenzierung innerhalb der QSV verwendet.

Bei der Orientierung an den QSV des HBS 2015 ist zu berücksichtigen, dass die Mittelwerte nicht aus einer Bemessungsstunde stammen. Es handelt sich um die Mittelwerte der Messungen an mehreren Tagen.

Die jeweils auf die Haltestelle Krefeld, Hauptbahnhof folgende Lichtsignalanlage (zusammen der Ort HL_Krefeld Hbf) ist in die Darstellung einbezogen. Die Werte werden jedoch nicht verwendet, weil eine Abgrenzung zwischen betrieblich bedingter Standzeit (geplante Standzeit, Fahrerwechsel) und von der Lichtsignalanlage verursachter Standzeit nicht möglich ist.

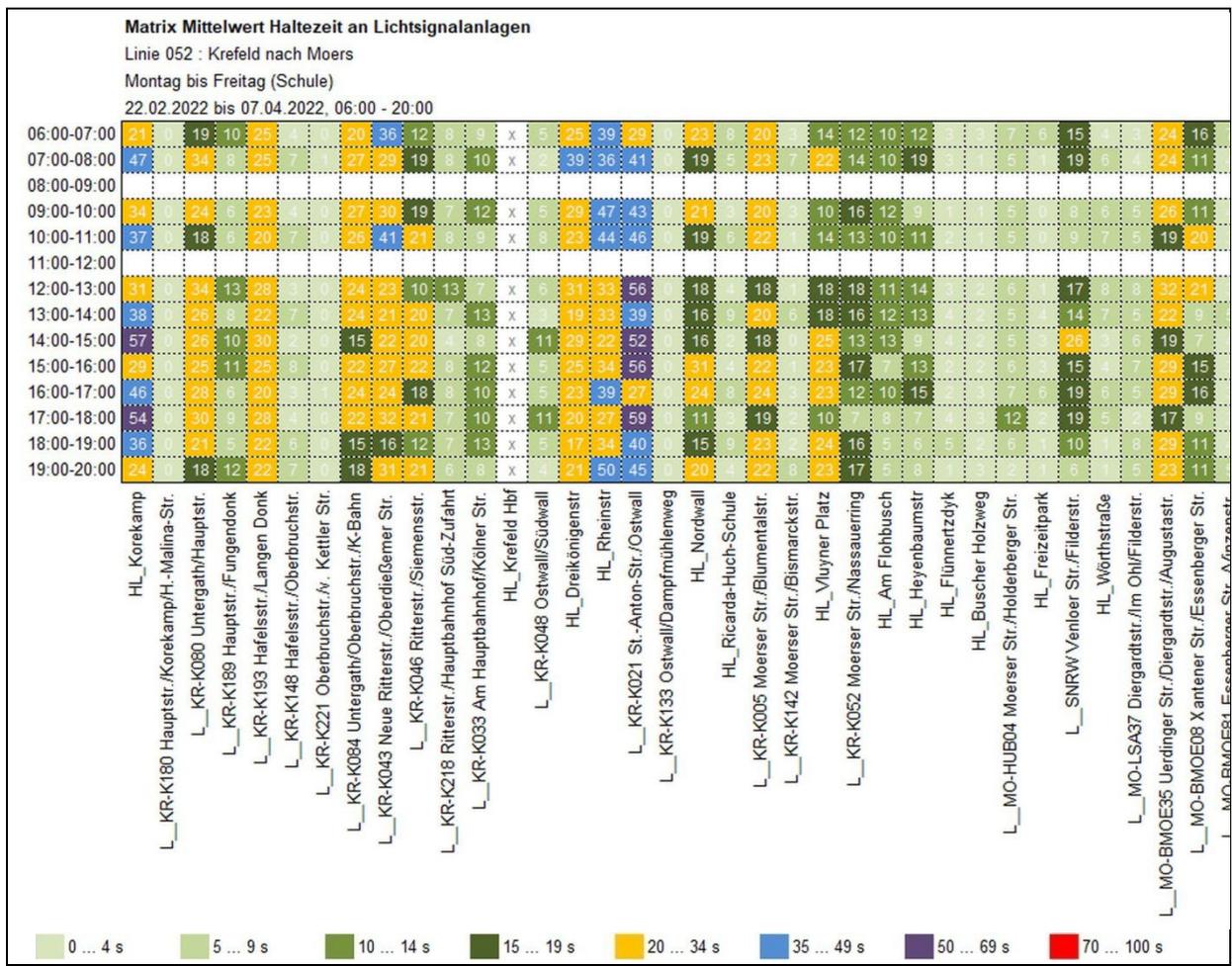


Abb. 10: Standzeiten an Lichtsignalanlagen in Richtung Moers (stundenbezogene Mittelwerte), Linie 052, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

In Richtung Moers weisen mehrere Lichtsignalanlagen hohe mittlere Standzeiten auf. Nicht selten liegen die Stundenmittelwerte über 35 s und teilweise über 60 s. Damit ist auch eine hohe Streuung verbunden. Hervorzuheben sind die Lichtsignalanlagen nach der Haltestelle Korekamp und im Verlauf des Ostwalls.

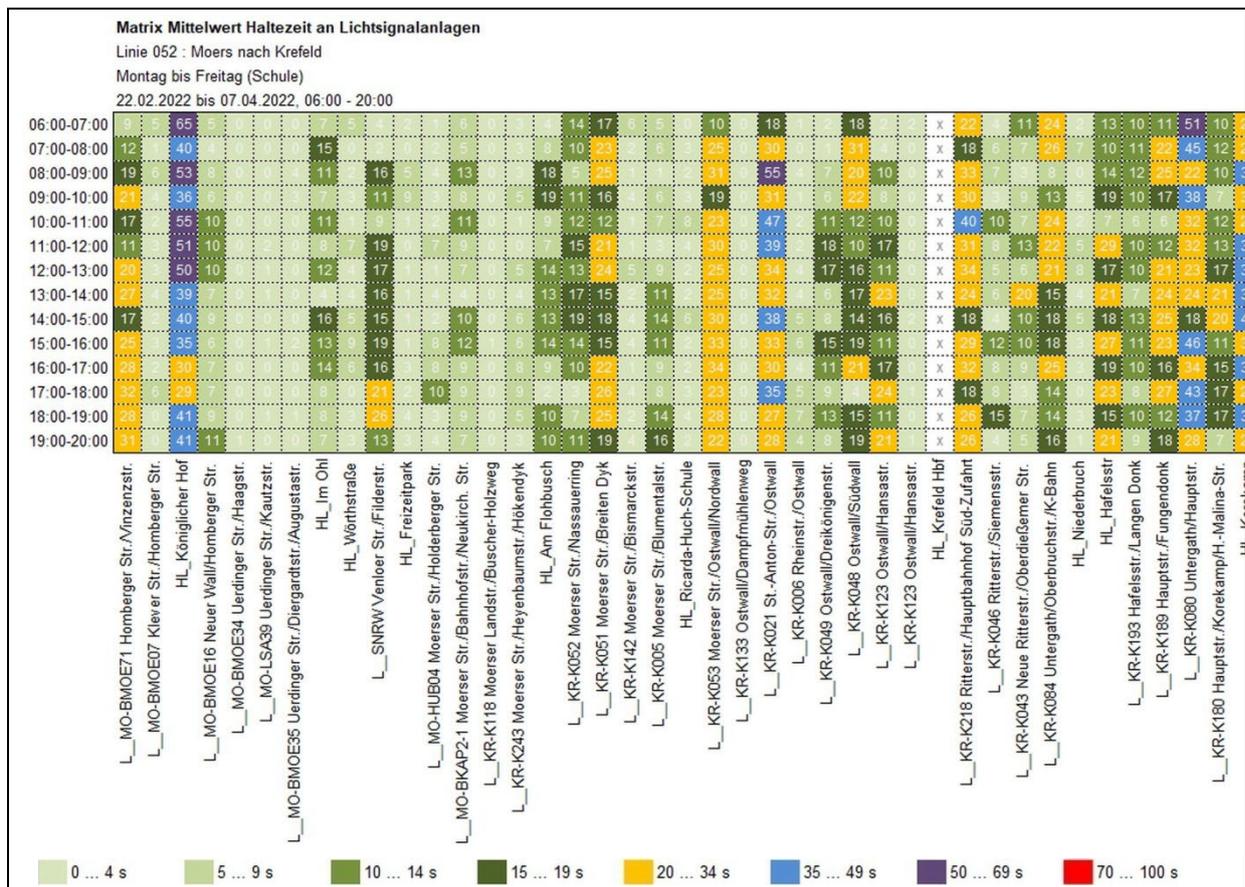


Abb. 11: Standzeiten an Lichtsignalanlagen in Richtung Krefeld (stundenbezogene Mittelwerte), Linie 052, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

In Richtung Krefeld ist die Situation vergleichbar. Die Stundenmittelwerte der Standzeit erreichen nicht selten 35 s und mehr. Sehr starke Behinderungen gehen von der Lichtsignalanlage nach der Haltestelle Königlicher Hof in Moers aus.

4.2.5 Ideale Fahrtzeit

4.2.5.1 Allgemeines

Der „idealen Fahrtzeit“ kommt im Rahmen des Bewertungsverfahrens gemäß Kapitel S7 des HBS 2015 eine wesentliche Bedeutung zu. Zusammen mit den erwarteten Fahrgastwechselzeiten ergibt sie die Beförderungszeit, aus der die ideale Beförderungsgeschwindigkeit berechnet wird. Nachfolgend wird der Begriff „ideale Fahrtzeit“ verwendet, der im HBS nicht eingeführt ist.

Wenn die Fahrgastwechselzeiten mit den gleichen Werten in die ideale Beförderungsgeschwindigkeit und in die zu erwartenden bzw. gemessene Beförderungsgeschwindigkeit eingehen, wird klar, dass die ideale Fahrtzeit der eigentliche Referenzwert für die Qualitätsbewertung ist. Die Bedingungen für den Fahrgastwechsel, die Einfluss auf den entsprechenden Zeitbedarf haben, sind kein Gegenstand der Bewertungen durch das HBS.

Im Kapitel S7 des HBS 2015 ist ein Verfahren zur Berechnung der idealen Fahrtzeit beschrieben. Im Experten-Workshop und insbesondere aus der Arbeit von Bergelt (2018) wurde deutlich, dass das Verfahren im gegenwärtigen Zustand zu keinen nützlichen Ergebnissen führt, wenn der nach aktuellem Stand ermittelten idealen Beförderungsgeschwindigkeit Messdaten gegenübergestellt werden (alternatives Verfahren). Mit der erwarteten Beförderungsgeschwindigkeit, rechnerisch ermittelt, würden sich die bestehenden Probleme neutralisieren, weil auf beiden Seiten der Bewertung (ideale und erwartete Fahrtzeiten) die gleichen Annahmen zu den Abschnitten, Geschwindigkeiten etc. angewendet werden.

Die Messungen mit dem System FadaPlus boten die Möglichkeit, die ideale Fahrtzeit auf einer sehr detaillierten Basis zu berechnen. Dazu wurden bei der bereits beschriebenen Vermessungsfahrt neben den

Haltestellen, Lichtsignalanlagen, Vorfahrt-Regelungen etc. alle Punkte im Liniennetz erfasst, an denen eine Änderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit vorlag. Entsprechende Angaben mussten somit nicht aus anderen Quellen ermittelt werden.

Auf Basis der detaillierten Abbildung der Linienverläufe wurden die idealen Fahrtzeiten mit der Software des Systems FadaPlus berechnet. Nachfolgend werden diese Ergebnisse der Nachfahrt und den Messdaten gegenübergestellt.

4.2.5.2 Berechnung der idealen Fahrtzeiten

Bei der Linienvermessung wurden mit FadaPlus die Messpunkte und die Entfernungen zwischen diesen erfasst. Den *Messpunkten* wurden die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten bzw. unter den örtlichen Gegebenheiten erreichbare Geschwindigkeiten im Punkt zugeordnet:

- Haltestelle: 0 km/h
Das HBS-Verfahren geht vom Halt an jeder Haltestelle aus.
- Stopp: 0 km/h
- Vorfahrt: 10-15 km/h
- Abbiegen nach rechts: 5-15 km/h,
Zu beachten ist, dass die Straßenverkehrsordnung für Fahrzeuge über 3,5 t seit 2020 „Schrittgeschwindigkeit“ vorgibt.
- Abbiegen nach links: 10-15 km/h
Es wurde ein höherer Wert als für das Abbiegen nach rechts gewählt, weil in der Regel ein größerer Kurvenradius gegeben ist.
- Kreisverkehr: 10-15 km/h
Die Situationen sind sehr verschieden. Die Geschwindigkeiten hängen vom Radius, von der Spurweite bzw. der Überfahrbarkeit des inneren Bereichs und von den Radien der Ein- und Ausfahrten ab.
- Beginn und Ende Fußgängerzone: 10 km/h
- Kurven: 20-40 km/h
- Wechsel der zulässigen Höchstgeschwindigkeit:
Für den Übergangspunkt wurde immer die geringere Geschwindigkeit verwendet.

Wenn kein exakter Wert als Vorgabe existierte, wurde ein für die räumliche Situation angemessen erscheinender Wert verwendet. Die berechneten Fahrtzeiten und die gemessenen Fahrtzeiten wurden verglichen (Nachfahrt, unterer Bereich der Streuung der Messungen im Fahrgastbetrieb). Soweit sich größere Abweichungen zwischen den berechneten und den gemessenen Werten ergaben, erfolgte eine iterative Anpassung der Vorgaben für die Berechnung der idealen Fahrtzeit. Dabei wurde ein Raster von 5 km/h nicht unterschritten.

Soweit möglich, wurde bei Kurvenfahrten der Scheitelpunkt als Messpunkt festgelegt. An Lichtsignalanlagen und Kreisverkehren wurde fallweise davon abgewichen und die Haltlinie (LSA) bzw. die Einfahrt in den Kreisverkehr verwendet. Bei größeren Kreisverkehren konnten teilweise die Ein- und die Ausfahrt als getrennte Punkte erfasst werden.

Den *Abschnitten zwischen den Messpunkten* wurden die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten zugewiesen. Nur in wenigen Fällen wurde davon abgewichen, wenn das Erreichen dieser Geschwindigkeit nicht zu erwarten war (Beispiel: Wendeplatz Bökendonk, der in einer Tempo-30-Zone liegt und wie eine Wendeschleife befahren wird. Als höchste Streckengeschwindigkeit wurden hier 20 km/h verwendet).

Die zur Berechnung der idealen Fahrtzeit verwendete Festlegung der Messpunkte und Entfernungen wurde so gewählt, dass die Verarbeitung der Messdaten auf der gleichen Struktur erfolgen konnte. In einzelnen Fällen mussten dazu Messpunkte zusammengelegt werden, wenn die Abstände für eine zuverlässige Zuordnung der Halte-Ereignisse zu kurz waren.

Bei der Berechnung der idealen Fahrtzeiten wurden nach ersten Tests der Wert für die Verzögerung mit $1,2 \text{ m/s}^2$ konstant gehalten und für die Beschleunigung Werte verwendet, die sich an den Informationen des VDV in Ergänzung zum ersten Experten-Workshops orientieren:

- $0,8 \text{ m/s}^2$
- $1,0 \text{ m/s}^2$
- $1,2 \text{ m/s}^2$

Für die Vergleiche mit der Nachtfahrt und den Ergebnissen der Messungen standen somit drei beschleunigungsabhängige Varianten der idealen Fahrtzeit zur Verfügung.

Darüber hinaus wurde eine Berechnung der idealen Fahrtzeit mit ab 50 km/h abnehmender Beschleunigung vorgenommen. Die Unterschiede zu den Berechnungsergebnissen mit konstanter Beschleunigung waren so gering, dass auf eine weitere Betrachtung dieser Möglichkeit verzichtet wurde.

Die tatsächlich erreichbare Beschleunigung hängt weiterhin von der Motorisierung und dem Beschleunigungsvermögen der ÖV-Fahrzeuge ab. Dieser, die Fahrzeugtechnik betreffende Aspekt, wurde nicht betrachtet. Es wird unterstellt, dass die Verkehrsunternehmen Fahrzeuge zum Einsatz bringen, die unter den lokalen Rahmenbedingungen mindestens die hier diskutierten Merkmale erreichen.

Die idealen Fahrtzeiten wurden als Dezimalwerte berechnet.

4.2.5.3 Gegenüberstellung von idealer Fahrtzeit, Nachtfahrt und Messung

Gegenüberstellung pro Richtung

Abb. 12 und Abb. 13 stellen die Fahrtzeiten richtungsbezogen gegenüber. Verwendet werden diese Werte:

- ideale Fahrtzeit mit den drei beschleunigungsabhängigen Varianten
- Nachtfahrt mit modifiziertem Ergebnis
- 10. und 16. Perzentil sowie Mittelwert aus den Fahrten/Werten mit Halt an den Haltestellen und ohne Halt zwischen den Haltestellen (Summe der Abschnittswerte)
- 10. und 16. Perzentil sowie Mittelwert aus der kompletten Messung (Summe der Abschnittswerte)

Erläuterungen zur *idealen Fahrtzeit* wurden im Kap. 5.2.5.2 gegeben.

Die *Nachtfahrt* sollte nach folgenden Kriterien durchgeführt werden:

- Halten an jeder Haltestelle mit kurzer Öffnung der Tür 1
- keine Halten zwischen den Haltestellen
- Anfahren mit einer für Fahrgäste noch akzeptablen Beschleunigung
- Fahren mit Höchstgeschwindigkeit, soweit die Rahmenbedingungen und verkehrliche Verhältnisse das zulassen
- Bremsen mit einer für Fahrgäste noch akzeptablen Verzögerung
- Ignorieren der Anzeigen des Systems zur „Optimierung“ der Fahrweise, das zu einer Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und zur Verbesserung des Fahrkomforts für die Fahrgäste beitragen soll

Die Nachtfahrt wurde mit einem Gelenkbus durchgeführt, der auch im Rahmen der Erhebung von Messdaten zum Einsatz kam. Die Linie 052 wird mit Gelenkbussen bedient. Eventuelle fahrzeugtypbezogenen Unterschiede konnten somit ausgeschlossen werden.

Halte zwischen den Haltestellen konnten nicht vermieden werden. Ursache waren mehrere Lichtsignalanlagen insbesondere im Stadtgebiet von Krefeld. Damit waren auch Verzögerungen bei der Zufahrt verbunden („Kriechfahrt“ gegen Rot) und in einem Fall eine verzögerte Fahrt gegen Rot, bei der es nicht zum Halt kam. Die Fahrtzeiten der Nachtfahrt wurden in diesen Fällen durch die 16. Perzentile der Messungen ohne entsprechende Halte ersetzt.

Die weiteren Vorgaben wurden eingehalten. Lediglich das Bremsen erfolgte teilweise stärker als vorgesehen, weil selbstverständlich die Verkehrsregeln einzuhalten waren.

Die Nachtfahrt wurde mit einer Führungskraft der SWK Mobil Krefeld durchgeführt, die über umfassende Erfahrungen im Fahrdienst verfügt und regelmäßig Dienste fährt. Es ist zu beachten, dass es für viele Situationen keine absoluten Maßstäbe gibt. Beispielsweise die Geschwindigkeit bei Kurvenfahrten oder das Anfahren und Bremsen allgemein werden von der Situation und den subjektiven Erfahrungen beeinflusst.

In einem Abschnitt im Stadtgebiet von Moers galt in der Nacht eine reduzierte Höchstgeschwindigkeit. Hier ergab sich bei der Nachtfahrt eine längere Fahrtzeit als berechnet und gemessen.

Ein weiterer Abschnitt im Stadtgebiet von Moers führt durch eine Fußgängerzone. Im Vergleich mit den Messungen erfolgte die Nachtfahrt mit geringerer Geschwindigkeit.

In die Gegenüberstellung der richtungsbezogenen Fahrtzeiten wurden aus den *Messungen* die bereits angegebenen Werte aufgenommen. Das 10. und 16. Perzentil wurde verwendet, weil die Werte aus

Auswertungen teilweise direkt vorlagen. Die Perzentil-Werte wurden für die Abschnitte von Messpunkt zu Messpunkt ermittelt und anschließend für die jeweilige Richtung addiert. Die Verwendung der fahrtbezogenen Werte der Fahrzeit anstelle der abschnittsbezogenen Werte kann aufgrund der unterschiedlichen Bedingungen über eine Fahrt zu keinen nützlichen Ergebnissen führen.

Um die Vergleichbarkeit der Messungen mit der berechneten idealen Fahrzeit und der Nachtfahrt zu ermöglichen, wurden abschnittsweise die Fahrten herausgefiltert, die den Ansatz für die ideale Fahrzeit nicht erfüllten (Halt nur an Haltestellen). Das konnte abschnittsweise zu einer deutlichen Reduzierung der verwendbaren Messdaten führen.

Die Werte, die alle gemessenen Fahrten einschließen, berücksichtigen Fahrten, die an Haltestellen durchgefahren sind und außerhalb der Haltestellen gehalten haben. Diese Werte werden zur Orientierung angegeben. Sie sind nicht mit der idealen Fahrzeit, der Nachtfahrt und den gefilterten Messdaten vergleichbar.

Die gemessenen Fahrzeiten (Fahrgastbetrieb und Nachtfahrt) liegen als Werte aus Einzelfahrten in Sekunden vor. Mittelwerte werden als Dezimalzahlen dargestellt.

Zur Unterstützung des Vergleichs wurde in den Abbildungen auf Höhe der modifizierten Nachtfahrt eine gestrichelte Linie eingefügt.

In beiden Richtungen ergeben sich für die betrachteten Werte übereinstimmende Situationen. Dabei ist hervorzuheben, dass die Fahrplanlage unterschiedlich ist, was sich auch auf die Fahrweise und die Fahrzeiten auswirkt. In Richtung Moers sind die Fahrzeitvorgaben im Abschnitt zwischen Krefeld und Moers im Mittel eher großzügig. Von Moers nach Krefeld besteht über den gesamten Verlauf eine Tendenz zu Verspätungen (siehe Kap. 5.2.4).

In beiden Richtungen sind die betrachteten Werte für die Fahrzeiten über alle gemessenen Fahrten kürzer als die Werte für die Fahrten, die nur an Haltestellen gehalten haben. Dabei wirkt sich aus, dass es an fast allen Haltestellen eine nicht unwesentliche Anzahl an Fahrten gibt, die nicht halten. Die Differenzen zwischen dem 10. und 16. Perzentil sind relativ gering. In vielen Fällen handelt es sich um „ungestörte“ Fahrten. Der Abstand zu den Mittelwerten ist größer.

Die modifizierten Nachtfahrten haben nicht zu den kürzesten Fahrzeiten geführt. Es war nicht das Ziel dieser Fahrten, den Grenzbereich der Fahrzeit zu bestimmen. Ein für die Fahrgäste akzeptables Beschleunigen und Verzögern wurde angestrebt. Die Fahrzeiten der Nachtfahrten sind etwas höher als die 16. Perzentile der Fahrten, die nur an Haltestellen gehalten haben (bei abschnittsbezogener Betrachtung). Sie sind ebenfalls etwas höher als die berechnete ideale Fahrzeit bei einer Beschleunigung von $0,8 \text{ m/s}^2$.

Die mit einer stärkeren Beschleunigung berechneten idealen Fahrzeiten korrespondieren mit dem 10. Perzentil der Messungen mit Halt nur an Haltestellen.

In beiden Richtungen nähern sich das 16. Perzentil der gemessenen Fahrten mit Halten nur an Haltestellen, die modifizierte Nachtfahrt und die einer Beschleunigung von $0,8 \text{ m/s}^2$ berechnete ideale Fahrzeit stark an.

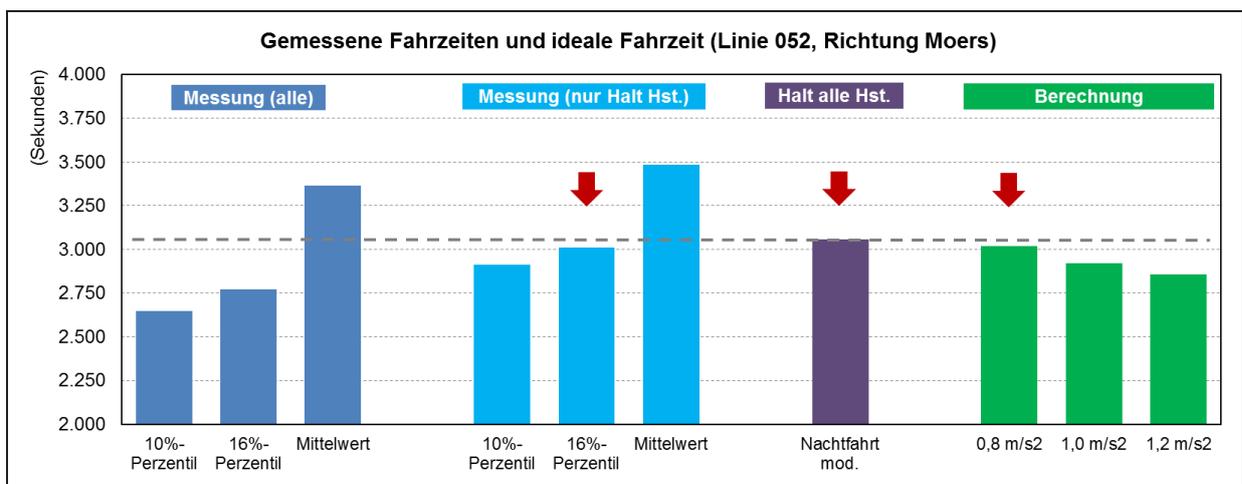


Abb. 12: Gegenüberstellung der Fahrzeiten in Richtung Moers, Linie 052, Montag bis Freitag, Messdaten der Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

In Richtung Moers ist das 16. Perzentil der Messungen mit Halt nur an Haltestellen um 0,2% kleiner als die mit einer Beschleunigung von 0,8 m/s² berechnete ideale Fahrzeit. Die modifizierte Nachtfahrt ist um 1,3% länger als ideale Fahrzeit bei einer Beschleunigung von 0,8 m/s².

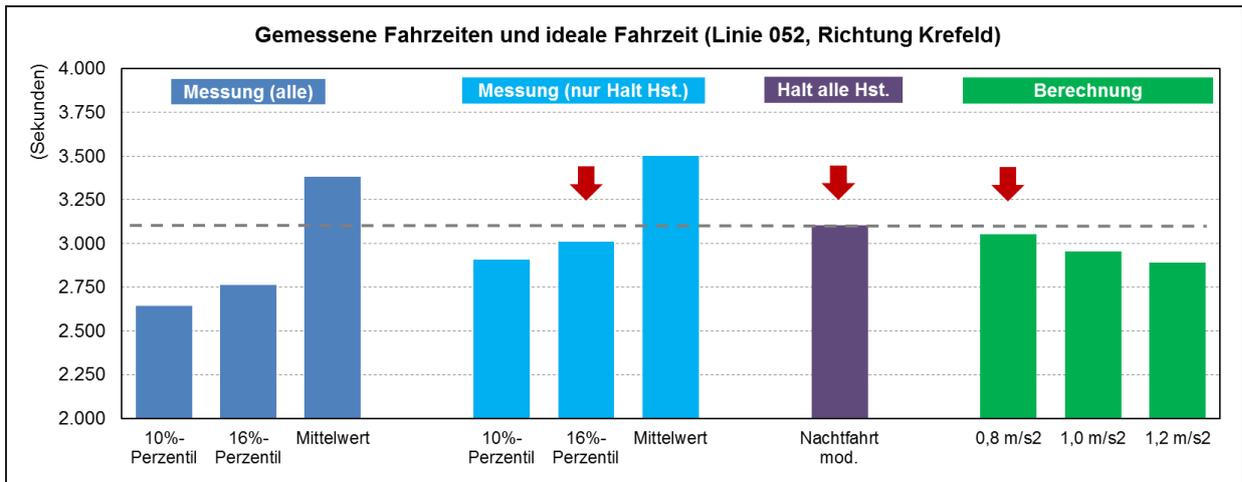


Abb. 13: Gegenüberstellung der Fahrzeiten in Richtung Krefeld, Linie 052, Montag bis Freitag, Messdaten der Abfahrten 05:00 bis 19:00 Uhr (ohne Fußgängerzone in Moers)

In Richtung Krefeld ist das 16. Perzentil der Messungen mit Halt nur an Haltestellen um 1,4% kleiner als die mit einer Beschleunigung von 0,8 m/s² berechnete ideale Fahrzeit. Die modifizierte Nachtfahrt ist um 1,7% länger als ideale Fahrzeit bei einer Beschleunigung von 0,8 m/s².

Ergänzend wurden die Werte pro Richtung und Abschnitt in Moers bzw. Krefeld sowie im Überlandbereich gegenübergestellt. Diese zeigen die gleichen Proportionen, wobei die Abweichung zwischen dem 16. Perzentil der Fahrten, die nur an Haltestellen gehalten haben, und der berechneten ideale Fahrzeit bei einer Beschleunigung von 0,8 m/s² im Überlandbereich etwas größer sind als für die gesamten Richtungen.

Nachfolgend werden die Absolutwerte der Abweichungen in Bezug auf die Abschnittslängen aufgezeigt. Das Diagramm zeigt die Abweichungen zwischen dem 16. Perzentil der Fahrzeiten der Fahrten mit Halt nur an Haltestellen sowie den Fahrzeiten der Nachtfahrt im Vergleich mit der idealen Fahrzeit bei einer Beschleunigung von 0,8 m/s². Um bei unterschiedlich hohen Abweichungen und unterschiedlich langen Abschnitten eine Verallgemeinerung zu erreichen, werden die zeitlichen Abweichungen auf die Streckenlängen bezogen und in der folgenden Abbildung durch den Anteil an der Gesamtlänge der Linie dargestellt. Beide Richtungen wurden zusammengefasst. Die Fußgängerzone in Moers blieb unberücksichtigt. Betrachtet wird eine Streckenlänge von 50,7 km.

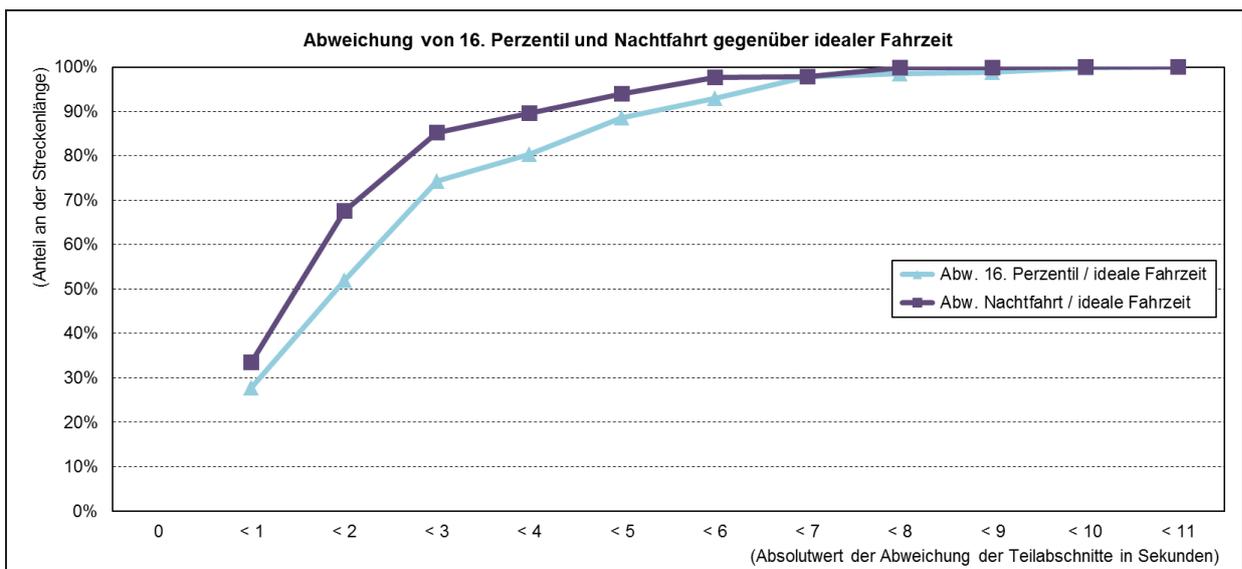


Abb. 14: Abweichungen zwischen dem 16. Perzentil der Fahrzeiten der Fahrten mit Halt nur an Haltestellen sowie den Fahrzeiten der Nachtfahrt im Vergleich mit der idealen Fahrzeit bei einer Beschleunigung von 0,8 m/s² im Verhältnis zum Anteil an der Streckenlänge, Linie 052, Montag bis Freitag, Messdaten der Abfahrten 05:00 bis 20:00 Uhr (ohne Fußgängerzone in Moers)

Beispielsweise beträgt für 74 % der Linienlänge die Abweichung zwischen dem 16. Perzentil der Fahrzeiten der Fahrten mit Halt nur an Haltestellen und der idealen Fahrzeit bei einer Beschleunigung von $0,8 \text{ m/s}^2$ weniger als 3 s. Die Abweichung zwischen den Fahrzeiten der Nachtfahrt und der idealen Fahrzeit ist sogar auf 85% der Linienlänge kleiner als 3 s.

Die Übereinstimmung zwischen der Nachtfahrt und der idealen Fahrzeit ist deutlich höher als die Übereinstimmung zwischen dem 16. Perzentil der Messungen und idealen Fahrzeit. Abweichungen größer 8 s können vernachlässigt werden, weil diese faktisch kaum aufgetreten sind.

Die höchste Abweichung von 10,4 s tritt zwischen dem 16. Perzentil der Messungen und idealen Fahrzeit auf einem sehr kurzen Abschnitt auf, der den Beginn einer Umleitung bildet. Die Messungen sind deutlich langsamer als die Berechnung erwarten lässt. Die Nachtfahrt bestätigt mit einer Abweichung von 3 s die Messungen. Für die hohe Abweichung gibt es keine (offensichtliche) Erklärung.

Mehrere höhere Abweichungen zwischen dem 16. Perzentil der Messungen einerseits und der Nachtfahrt bzw. der idealen Fahrzeit andererseits treten im Zusammenhang mit zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 30 km/h auf. In anderen Fällen werden die idealen Fahrzeiten von den Messungen aufgrund der Rahmenbedingungen (z.B. Fahrbahnzustand, Einschränkungen des Querschnitts durch Halten und Parken) nicht erreicht.

Gegenüberstellung pro Teilabschnitt (Beispiele)

Nachfolgend werden die Fahrzeiten ausgewählter Abschnitte gegenübergestellt. Die Auswahl der Werte entspricht der richtungsbezogenen Betrachtung. Die ideale Fahrzeit wurde jeweils mit der Beschleunigung von $0,8 \text{ m/s}^2$ und der Verzögerung von $1,2 \text{ m/s}^2$ berechnet.

Der Fokus der Kommentierung liegt auf den drei Werten, die richtungsbezogen eine große Übereinstimmung aufweisen (16. Perzentil der Fahrten mit Halt nur beiden Haltestellen, Nachtfahrt, ideale Fahrzeit).

Beispiel 1:

Haltestelle „Appellweg“ (Bucht) nach Haltestelle „Grafschaftsplatz“ (Fahrbahnrand)

- Länge: 377 m
- relativ geradliniger Streckenverlauf bzw. kein Einfluss durch Kurvenfahrten
- zulässige Höchstgeschwindigkeit: 50 km/h
- 10. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 28 s
- 16. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 29 s
- Mittelwert der Messungen mit allen Fahrten: 34,9 s
- 10. Perzentil der Fahrten mit Halt an beiden Haltestellen: 40 s
- **16. Perzentil der Fahrten mit Halt an beiden Haltestellen: 41 s**
- Mittelwert der Fahrten mit Halt an beiden Haltestellen: 43,2 s
- **Nachtfahrt: 41 s**
- **ideale Fahrzeit: 41,6 s**

Die Übereinstimmung der hervorgehobenen Werte ist sehr hoch.

Beispiel 2:

Haltestelle „Grafschaftsplatz“ nach Haltestelle „Appellweg“

- Länge: 384 m
- relativ geradliniger Streckenverlauf, leichte Links-Kurve mit Fahrbahnteiler/Querungshilfe im Bereich einer Einmündung
- zulässige Höchstgeschwindigkeit: 50 km/h
- 10. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 33 s
- 16. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 33 s
- Mittelwert der Messungen mit allen Fahrten: 39,6 s
- 10. Perzentil der Fahrten mit Halt an beiden Haltestellen: 44 s
- **16. Perzentil der Fahrten mit Halt an beiden Haltestellen: 44 s**
- Mittelwert der Fahrten mit Halt an beiden Haltestellen: 48,8 s
- **Nachtfahrt: 41 s**
- **ideale Fahrzeit: 42,1 s**

Beim Vergleich von Nachtfahrt und idealer Fahrzeit ist zu beachten, dass die gemessene Fahrzeit auf vollen Sekunden basiert.

Der hervorgehobene Wert aus den Messungen ist etwas höher als die Nachtfahrt und die ideale Fahrtzeit. Möglicherweise handelt es sich um eine Auswirkung der leichten Linkskurve mit Fahrbahnteiler bzw. der Querungshilfe. Die Wegfahrt bzw. die Zufahrt an den Haltestellen kann ebenfalls zur höheren Fahrtzeit der Messung beitragen.

Beispiel 3:

Haltestelle „Ritzhütte“ nach Haltestelle „Krankenh. Maria Hilf“

- Länge: 396 m
- relativ geradliniger Streckenverlauf, Haltestellen am Fahrbahnrand, Wegfahrt bzw. Zufahrt teilweise durch Parken behindert, aufgrund des beidseitigen Parkens/Haltens ist abschnittsweise kein Begegnungsverkehr möglich
- zulässige Höchstgeschwindigkeit: 30 km/h
- 10. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 55 s
- 16. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 59 s
- Mittelwert der Messungen mit allen Fahrten: 68,4 s
- 10. Perzentil der Fahrten mit Halt an beiden Haltestellen: 56 s
- **16. Perzentil der Fahrten mit Halt an beiden Haltestellen: 59 s**
- Mittelwert der Fahrten mit Halt an beiden Haltestellen: 68,8 s
- **Nachtfahrt: 54 s**
- **ideale Fahrtzeit: 56,2 s**

Die Behinderungen führen dazu, dass das 16. Perzentil der Messungen deutlich langsamer als Nachtfahrt und ideale Fahrtzeit ist. Die Nachtfahrt, die den Teilabschnitt ohne Behinderung durchfahren konnte, ist etwas schneller als die ideale Fahrtzeit. Das ist mit hoher Wahrscheinlichkeit die Folge einer etwas stärkeren Beschleunigung und Verzögerung.

Das Beispiel zeigt, dass die Ableitung von der idealen Fahrtzeit aus der Verteilung der Messungen ungeeignet ist, weil (fast) alle Fahrten von Behinderungen betroffen sein können.

Die Werte aus den Messdaten, die auf allen Fahrten bzw. auf Fahrten nur mit Halt an Haltestellen basieren, stimmen im Beispiel 3 weitgehend überein. Die beiden Gruppen unterscheiden sich nur durch sehr wenige Fahrten.

Beispiel 4:

Haltestelle „Siemesdyk“ nach Messpunkt 100 m vor der Lichtsignalanlage „KR-K084 Untergath/Oberbruchstr./K-Bahn“

- Länge: 33 m
- unmittelbar nach der Haltestelle folgendes Linksabbiegen (90 °), danach Rechts-Kurve (90 °)
- zulässige Höchstgeschwindigkeit: 50 km/h
- 10. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 6 s
- 16. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 6 s
- Mittelwert der Messungen mit allen Fahrten: 13,3 s
- 10. Perzentil der Fahrten mit Halt an der Haltestelle: 14 s
- **16. Perzentil der Fahrten mit Halt an der Haltestelle: 14 s**
- Mittelwert der Fahrten mit Halt an der Haltestelle: 15,8 s
- **Nachtfahrt: 13 s**
- **ideale Fahrtzeit: 9,1 s**

Aufgrund der kurzen Länge des Teilabschnitts kann die zulässige Höchstgeschwindigkeit aus dem Halt an der Haltestelle nicht erreicht werden. Bei geradliniger Fahrt wären am Ende des kurzen Abschnitts 26,1 km/h möglich. Auf dieser Basis wurde die ideale Fahrtzeit berechnet. Die Abfolge von Links- und Rechtskurve lässt das allerdings nicht zu. Daraus resultiert die relativ hohe Differenz von Messung (16. Perzentil der Fahrten mit Halt an der Haltestelle) und Nachtfahrt gegenüber der idealen Fahrtzeit. Eine realistischere ideale Fahrtzeit könnte mit einer Vorgabe deutlich unter der zulässigen Höchstgeschwindigkeit berechnet werden (wie beispielsweise beim Abbiegen).

Die Nachtfahrt und die Messung stimmen dagegen gut überein. Die 10. und 16. Perzentile der Messungen (alle Fahrten bzw. nur die Fahrten mit Halt an der Haltestelle) weichen deutlich voneinander ab.

Beispiel 5:

Messpunkt „Ortsausgang Holderberg“ (Änderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 80 km/h) nach Messpunkt „Filder Str./Niederfeldweg“ (Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 70 km/h)

- Länge: 340 m
- geradliniger Streckenverlauf
- zulässige Höchstgeschwindigkeit: 80 km/h
- 10. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 18 s
- **16. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 19 s**
- Mittelwert der Messungen mit allen Fahrten: 20,7 s
- **Nachtfahrt: 19 s**
- **ideale Fahrtzeit: 17,4 s**

Im Abschnitt gibt es keine Haltestelle. Die Messungen weisen an den Messpunkten keine Halte auf. Damit entfällt die Differenzierung der Messdaten.

Die Übereinstimmung ist relativ gut, auch wenn das 16. Perzentil der Messung und die Nachtfahrt die ideale Fahrtzeit in diesem Teilabschnitt nicht erreichen.

Beispiel 6:

Messpunkt „Filder Str.“ (Änderung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 70 km/h) nach Messpunkt „Filder Str./Vinner Str.“ (Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 50 km/h)

- Länge: 599 m
- geradliniger Streckenverlauf
- zulässige Höchstgeschwindigkeit: 70 km/h
- 10. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 31 s
- **16. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 32 s**
- Mittelwert der Messungen mit allen Fahrten: 36,4 s
- **Nachtfahrt: 37 s**
- **ideale Fahrtzeit: 34,4 s**

Im Abschnitt gibt es keine Haltestelle. Die Messungen weisen an den Messpunkten keine Halte auf. Damit entfällt die Differenzierung der Messdaten.

62 m vor dem betrachteten Teilabschnitt befindet sich die Haltestelle „Vinngabenstr.“ Nach dem Halt an der Haltestelle kann bis zum Beginn des betrachteten Teilabschnitts auf 36 km/h beschleunigt werden. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h wird von diesen Fahrten noch nicht erreicht. Im betrachteten Teilabschnitt ist kalkulatorisch von 36 km/h auf 70 km/h zu beschleunigen und zum Ende des Teilabschnitts auf 50 km/h zu verzögern.

Die Nachtfahrt ist langsamer als die ideale Fahrtzeit. Aus dem Ablauf der Nachtfahrt liegt kein spezifischer Grund vor. Die Möglichkeit, einer nachlassenden Beschleunigung im höheren Geschwindigkeitsbereich kann nicht ausgeschlossen werden.

Die kürzeren Fahrtzeiten der Messung resultieren mit hoher Wahrscheinlichkeit aus Fahrten, die an der Haltestelle durchgefahren sind und mit 50 km/h in den betrachteten Teilabschnitt einfahren konnten.

Beispiel 7:

Haltestelle „Nordwall“ nach Messpunkt „Moerser Str./Ostwall“ (Beginn 30 km/h)

- Länge: 214 m
- Haltestelle in Mittellage zugleich Haltelinie der Lichtsignalanlage eines großen Knotens, aus der Haltestelle schräg nach rechts, wobei eine Knotenzufahrt zu queren ist danach geradlinig
- zulässige Höchstgeschwindigkeit: 50 km/h
- 10. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 30 s
- 16. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 31 s
- Mittelwert der Messungen mit allen Fahrten: 34,3 s
- 10. Perzentil der Fahrten mit Halt an der Haltestelle: 30 s
- **16. Perzentil der Fahrten mit Halt an der Haltestelle: 31 s**
- Mittelwert der Fahrten mit Halt an der Haltestelle: 34,4 s
- **Nachtfahrt: 27 s**
- **ideale Fahrtzeit: 25,0 s**

Aus der Haltestelle kann aufgrund des unmittelbaren Abbiegens nach rechts und der räumlichen Ausdehnung des Knotens nicht voll beschleunigt werden. Diese Verzögerung bildet die Berechnung der idealen Fahrtzeit nicht ab. In der Folge ist die berechnete ideale Fahrtzeit etwas zu gering und es kommt zu den Differenzen gegenüber der Nachtfahrt und der Messung.

Die Berechnung der idealen Fahrtzeit könnte durch eine weitere Unterteilung des Teilabschnitts verbessert werden. Für die Ausfahrt aus Haltestelle und Knoten müsste dabei ein Schätzwert unterhalb der zulässigen Höchstgeschwindigkeit angesetzt werden.

Bei den Messungen gibt es keine Unterscheidung der Werte, da fast alle gemessenen Fahrten an der Haltestelle halten.

Beispiel 8:

Im Beispiel 8 werden zwei aufeinanderfolgende Teilabschnitte betrachtet, die am dazwischenliegenden Messpunkt eine Vorfahrtgewährung mit Rechtsabbiegen aufweisen. Bei der Berechnung der idealen Fahrtzeit wurde für das Abbiegen eine Geschwindigkeit von 15 km/h in der Kurve angenommen.

8a) Haltestelle „Ringstr“ nach Messpunkt „Nieper Str./Ringstr.“ (Vorfahrt, Rechtsabbiegen, Ende Zone 30, Beginn T50)

- Länge: 141 m
- nach Ausfahrt Haltestellenbucht geradlinig, Haltlinie am Knoten
- zulässige Höchstgeschwindigkeit: 30 km/h
- 10. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 20 s
- 16. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 22 s
- Mittelwert der Messungen mit allen Fahrten: 25,6 s
- 10. Perzentil der Fahrten mit Halt an der Haltestelle: 22 s
- **16. Perzentil der Fahrten mit Halt an der Haltestelle: 23 s**
- Mittelwert der Fahrten mit Halt an der Haltestelle: 26,5 s
- **Nachtfahrt: 22 s**
- **ideale Fahrtzeit: 23,0 s**

8b) Messpunkt „Nieper Str./Ringstr.“ nach Messpunkt „Nieper Str. Ortseingang“ (Ortseingang Holderberg)

- Länge: 147 m
- nach Haltlinie am Knoten Abbiegen mit 90°, danach fast geradliniger Verlauf
- zulässige Höchstgeschwindigkeit: 50 km/h
- 10. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 16 s
- **16. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten: 16 s**
- Mittelwert der Messungen mit allen Fahrten: 17,5 s
- **Nachtfahrt: 15 s**
- **ideale Fahrtzeit: 14,8 s**

In der Zufahrt zum Knoten stimmen das 16. Perzentil der Messung und die ideale Fahrtzeit überein. Die Nachtfahrt war geringfügig schneller. Auf dem anschließenden Teilabschnitt liegt die Übereinstimmung bei Nachtfahrt und idealer Fahrtzeit. Die Übereinstimmung kann aufgrund mehrerer „unsicherer“ Kriterien als gut angesehen werden (Beschleunigung aus der Haltestellenbucht heraus, Verzögerung bei der Zufahrt zur Haltlinie, Geschwindigkeit bei der Kurvenfahrt und Beschleunigung nach dem Abbiegen).

Beispiel 9:

Das Beispiel 9 betrachtet wiederum zwei aufeinanderfolgende Teilabschnitte. Der dazwischenliegende Messpunkt ist eine Lichtsignalanlage mit Vorfahrtgewährung beim Linksabbiegen. Bei der Berechnung der idealen Fahrtzeit wurde für das Abbiegen eine Geschwindigkeit von 15 km/h in der Kurve angenommen.

9a) Haltestelle „Krankenh. Maria Hilf“ nach Lichtsignalanlage „KR-K043 Neue Ritterstr./Oberdießemer Str.“ (Linksabbiegen, Ende 30 km/h)

• Länge:	246 m
• geradlinig bis zur Haltlinie am Knoten	
• zulässige Höchstgeschwindigkeit:	30 km/h
• 10. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten:	36 s
• 16. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten:	37 s
• Mittelwert der Messungen mit allen Fahrten:	43,5 s
• 10. Perzentil der Fahrten mit Halt an der Haltestelle:	34 s
• 16. Perzentil der Fahrten mit Halt an der Haltestelle:	36 s
• Mittelwert der Fahrten mit Halt an der Haltestelle:	43,7 s
• Nachtfahrt:	40 s
• ideale Fahrtzeit:	35,6 s

9b) Lichtsignalanlage „KR-K043 Neue Ritterstr./Oberdießemer Str.“ nach Haltestelle „Ritterstr.“

• Länge:	86 m
• nach Haltlinie am Knoten Abbiegen mit 90 °, danach fast geradliniger Verlauf	
• zulässige Höchstgeschwindigkeit:	50 km/h
• 10. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten:	13 s
• 16. Perzentil der Messungen mit allen Fahrten:	15 s
• Mittelwert der Messungen mit allen Fahrten:	21,2 s
• 10. Perzentil der Fahrten mit Halt an der Haltestelle:	14 s
• 16. Perzentil der Fahrten mit Halt an der Haltestelle:	15 s
• Mittelwert der Fahrten mit Halt an der Haltestelle:	17,4 s
• Nachtfahrt:	18 s
• ideale Fahrtzeit:	14,9 s

Auf beiden Teilabschnitten stimmen das 16. Perzentil der Messung und die ideale Fahrtzeit überein. Die Nachtfahrt war jeweils etwas langsamer. Möglicherweise erfolgte das Linksabbiegen aufgrund der Vorfahrtgewährung langsamer als erwartet.

Geradlinige Zu- und Abfahrten an Haltestellen

Um das Verständnis für die Beschleunigungs- und Verzögerungswerte zu verbessern, erfolgte ein (zusätzlicher) Vergleich der berechneten idealen Fahrtzeit sowie der Fahrtzeiten aus den Messungen (unterer Streubereich) und der Nachtfahrt für Haltestellen, die relativ geradlinige Zu- bzw. Abfahrten aufweisen.

Für diese Situationen hat sich gezeigt, dass mit der Beschleunigung von $1,0 \text{ m/s}^2$ eine bessere Übereinstimmung besteht als mit der Beschleunigung von $0,8 \text{ m/s}^2$. Die Geradlinigkeit der Abfahrt hat einen messbaren Einfluss auf die realisierten Beschleunigungen.

Bei geradlinigen Zufahrten zu Haltestellen ergaben sich mit der Verzögerung von $1,2 \text{ m/s}^2$ keine Unterschiede gegenüber anderen Konstellationen.

Schlussfolgerungen zu den idealen Fahrtzeiten

Für die Vergleichszwecke wurde die ideale Fahrtzeit mit pauschal $0,8 \text{ m/s}^2$ für die Beschleunigung und $1,2 \text{ m/s}^2$ für die Verzögerung berechnet. Die Gegenüberstellung ergab eine insgesamt gute Übereinstimmung der berechneten idealen Fahrtzeit mit der modifizierten Nachtfahrt und dem 16. Perzentil der Abschnittswerte, die die Bedingungen erfüllten, nur Halte an Haltestellen aufzuweisen. Im Detail gibt es größere Differenzen, die teilweise erklärbar sind. Nicht erklärbare Differenzen würden weitergehende Analysen vor Ort erfordern, die den geplanten Bearbeitungsumfang übersteigen.

Punktuell könnten leicht abweichende Werte angemessen sein. Beispielsweise konnte für geradlinige Abfahrten von Haltestellen festgestellt werden, dass eine Beschleunigung von $1,0 \text{ m/s}^2$ realistisch ist. Verfahrenstechnisch gedacht, würde eine Differenzierung den Aufwand stark erhöhen. Weiterhin könnte die Variante $0,9 \text{ m/s}^2$ für die Beschleunigung und $1,1 \text{ m/s}^2$ für die Verzögerung zu ähnlichen Werten führen.

Für die Berechnung der idealen Fahrzeit im Sinne des Kapitels S7 des HBS sollte im Mittel eine Beschleunigung von $1,0 \text{ m/s}^2$ verwendet werden. Werden durch Messungen geringere Werte ermittelt, sind diese in

der Regel auf ungünstige Bedingungen bei der Abfahrt von den Haltestellen zurückzuführen (keine geradlinige Abfahrt) und als Einschränkung der geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität zu werten.

Die Verwendung von Messdaten erfordert eine möglichst exakte Berechnung der idealen Fahrtzeit. Für Teilabschnitte und Punkte, an denen die zulässige Höchstgeschwindigkeit objektiv nicht erreichbar ist, müssen Annahmen getroffen werden. Die berechnete ideale Fahrtzeit ist auf Plausibilität zu prüfen. Ausgehend vom Beispiel der Linie 052 in Krefeld kann eingeschätzt werden, dass die Berechnung eines eindeutigen Wertes für die ideale Fahrtzeit für viele Teilabschnitte nicht realistisch ist. Das betrifft z.B. Fälle, in denen Anfahren und Bremsen mit Verzögerungen verbunden sind (Haltestellen, Kurvenfahrten an großen Knoten sowie das Abbiegen generell, Fußgängerzonen etc.) Bei kurzen Untersuchungsabschnitten können ungünstige Annahmen zu den möglichen Geschwindigkeiten größere Auswirkungen haben. Über viele Teilabschnitte hinweg sollte sich das Problem durch Ausgleichseffekte vermindern, wenn die Vorgaben zu den möglichen Geschwindigkeiten keine systematische Verzerrung aufweisen.

Die Bedingungen in Fußgängerzonen sind schwer zu bewerten. Die Berechnung der idealen Fahrtzeit ist mit hohen Unsicherheiten verbunden. Die gemessenen Werte können eine hohe Streuung aufweisen. Entsprechende Abschnitte eignen sich vermutlich nur bei einer sehr individualisierten Vorbereitung für Untersuchungen im Sinne des Kapitels S7 des HBS 2015.

Bei Untersuchungen im Sinne des Kapitels S7 des HBS 2015 sollte der Einfluss der Fahrplanlage berücksichtigt werden. Gegebenenfalls sollte die Bewertung der Infrastruktur nur mit Fahrten durchgeführt werden, die eine Mindestverspätung von beispielsweise 60 s aufweisen.

Die nach überwiegend technischen Kriterien (z.B. der zulässigen Höchstgeschwindigkeit) berechnete ideale Fahrtzeit sollte mit einem Zuschlag versehen werden, um einerseits einen angemessenen Komfort für die Fahrgäste zu berücksichtigen (akzeptables Beschleunigen und Verzögern) und andererseits die Situation der Fahrer zu beachten, die nicht über eine gesamte Schicht am „Limit“ fahren können. Über diesen Zuschlag kann auch berücksichtigt werden, ob in den Fahrzeugen ein System zur Beeinflussung des Fahrerverhaltens bezüglich Fahrgastkomfort und Kraftstoffverbrauch zum Einsatz kommt. Wenn die statistischen Auswertungen solcher Systeme in die Mitarbeiterbewertung eingehen oder Prämienzahlungen beeinflussen, sollte deren Einfluss auf die zu gemessenen Fahrtzeiten unbedingt beachtet werden.

4.2.6 Halte an Haltestellen

Das Halten an den Haltestellen hat einen großen Einfluss auf den Zeitbedarf der ÖPNV-Fahrten. Beim Vergleich der idealen und der auf Messungen basierenden Beförderungsgeschwindigkeit ist zu beachten, dass nicht jede Fahrt an jeder Haltestelle hält. Der Hauptgrund ist die Nachfrage in Bezug auf das konkrete Vorliegen von Aussteigern und Einsteigern an der jeweiligen Haltestelle.

Pro Halt sind die Zeiten für das Verzögern, die Dauer des Halts und die Zeit für das Beschleunigen einzurechnen. Die Zeiten für das Verzögern und das Beschleunigen sind berechenbar. Abhängig von der Verwendung der Daten sollte eine Mindestaufenthaltszeit von 5 s in die Betrachtung einbezogen werden (Fahrgastwechselzeit und Reaktionszeit bis zur Abfahrt). Die nachfolgende Tabelle gibt die Zeiten für verschiedene Geschwindigkeiten an.

Zulässige Höchstgeschwindigkeit (km/h)	10	20	30	40	50	60	70	80
Verlängerung der Fahrtzeit durch Verzögerung und Beschleunigung (s)	2,9	5,8	8,7	11,6	14,5	17,4	20,3	23,1
Minstdauer des Halts (s)	5	5	5	5	5	5	5	5
Zusätzlicher Zeitaufwand gegenüber Durchfahrt mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit (s)	7,9	10,8	13,7	16,6	19,5	22,4	25,3	28,1

Tab. 4: Zeit für Verzögerung (bei 1,2 m/s²) und Beschleunigung (bei 0,8 m/s²) pro Halt sowie Minstdauer des Halts

Bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von beispielsweise 50 km/h sollte bei einem Halt an einer Haltestelle mit einem zusätzlichen Zeitaufwand von mindestens 20 s gegenüber der Durchfahrt gerechnet werden. In der Realität können die Zeiten für Verzögerung und Beschleunigung durch die Bauform der Haltestelle höher sein. Während bei einem Haltestellenkap die oben angegebenen Werte passend sind, sollte bei

einer Haltestellenbuchung von zusätzlichen Zeiten bei Verzögerung und Beschleunigung ausgegangen werden.

Die folgende Tabelle zeigt die Situation der erhobenen Stichprobe der Linie 052 anhand des Anteils der Fahrten mit Türöffnung pro Haltestelle. Zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Bedingungen im Linienverlauf erfolgt eine Unterteilung in die beiden Städte und den Abschnitt dazwischen. Die Endhaltestellen Krefeld, Bökendonk und Moers Bahnhof sind in den Werten nicht enthalten, da ein Halt unterstellt werden kann. Ausgewertet wurden 512 Fahrten mit 27.897 potentiellen Haltestellenanfahrten.

Richtung / Abschnitt	Krefeld	Überland	Moers	total
Moers (%)	54	55	58	55
Krefeld (%)	54	52	63	54
Linie gesamt (%)	54	54	61	55

Tab. 5: Anteil der Fahrten mit Türöffnung (Montag bis Freitag, Abfahrten von 05:00 bis 20:00 Uhr).

Im städtischen Abschnitt in Krefeld erfolgt auf der Linie 052 bei ca. 54 % der fahrtbezogenen Haltestellenbedienungen eine Türöffnung. In Moers ist der Anteil mit 61 % höher, was aufgrund der Linienführung nachvollziehbar ist. Der Abschnitt in Krefeld entspricht einer Durchmesserlinie. In Moers ist dieser Abschnitt als eine Radiallinie anzusehen.

Haltestellenbezogen ist die Situation sehr unterschiedlich. An wenigen wichtigen Haltestellen, die in den Städten liegen, weisen alle oder fast alle Fahrten eine Türöffnung auf. Die geringste Häufigkeit an Türöffnungen liegt an Haltestellen im Überlandabschnitt bei 16 % und in den beiden Städten bei 18 %.

Wenn es um die Betrachtung der Fahrtzeiten geht, können neben den Halten mit Türöffnung auch weitere Halte an bzw. im unmittelbaren Bereich von Haltestellen einbezogen werden. Diese können durch Behinderungen entstehen (Lichtsignalanlagen, Vorfahrt/Stopp) oder betrieblich bedingt sein (Abwarten der korrekten Fahrplanlage). Für die Linie 052 erhöht sich der Anteil der fahrtbezogenen Halte an Haltestellen auf 59 %, wenn diese Situationen zusätzlich berücksichtigt werden. Der Effekt kommt eher in den Städten als in der Region zum Tragen.

4.2.7 Mittlere Fahrgastwechselzeiten

Die folgende Tabelle gibt die durchschnittlichen Türöffnungszeiten für die beiden Städte und den Abschnitt dazwischen an. In die Mittelwerte gehen haltestellenbezogen nur die Fahrten ein, bei denen eine Türöffnung erfolgte. Es konnten 15.219 entsprechende Haltestellen-Anfahrten berücksichtigt werden. Die Endhaltestellen Krefeld, Bökendonk und Moers Bahnhof werden nicht berücksichtigt.

Richtung / Abschnitt	Krefeld	Überland	Moers	total
Moers (s)	20	14	14	18
Krefeld (s)	17	12	20	16
Linie gesamt (s)	19	13	17	17

Tab. 6: Fahrgastwechselzeiten (Dauer der Türöffnung, Montag bis Freitag, Abfahrten von 05:00 bis 20:00 Uhr).

Die mittlere Fahrgastwechselzeit der hier betrachteten Stichprobe beträgt 17 s. Die höheren Werte treten in den beiden Städten auf.

Die Unterschiede in Moers sind vermutlich Ausdruck unterschiedlicher Fahrgastströme. In Richtung Moers, Bahnhof sollten die Aussteiger überwiegen und in Richtung Krefeld die Einsteiger.

Die Fahrgastwechselzeiten werden durch die Fahrplanlage und die lokalen Behinderungen beeinflusst. In Richtung Moers sind die Fahrtzeitvorgaben großzügiger bemessen als in der Gegenrichtung. In Moers kommt es an der Haltestelle „Königlicher Hof“ mit durchschnittlich fast 43 s zu sehr hohen Fahrgastwechselzeiten, u.a. beeinflusst von Fahrplanlage, Nachfrage (Anzahl der Einsteiger) und nachfolgende Lichtsignalanlage mit hohen Verlustzeiten.

In Krefeld sind am Hauptbahnhof Pufferzeiten eingeplant, die sich u.a. in erhöhten Fahrgastwechselzeiten ausdrücken. Ohne die Haltestelle „Krefeld Hbf.“ reduziert sich die mittlere Fahrgastwechselzeit in den Abschnitten in Krefeld von 19 s auf 14 s. Betriebliche Faktoren können bei einer globalen Betrachtung relativ große Auswirkungen haben.

Es ist von Vorteil, wenn reale Werte vorliegen und verwendet werden können. Das ermöglicht auch die Berücksichtigung tageszeitabhängiger Unterschiede. Die Werte aus Messungen sollen bezüglich der Definition und der Erfassung korrekt und nachvollziehbar sein.

Allgemein wirken sich der Fahrzeugtyp, die Anzahl der Türen und die Nachfrage auf die Fahrgastwechselzeit aus. Die Höhe kann von Haltestelle zu Haltestelle große Unterschiede aufweisen. Mittel- bis längerfristig ist von höheren Fahrgastwechselzeiten auszugehen, wenn die angestrebten Steigerungen der Nachfrage eintreten.

Die Fahrgastwechselzeit ist Teil der Haltestellenaufenthaltszeit.

4.2.8 Haltezeit nach dem Fahrgastwechsel

An den Haltestellen kommt es zu einem Zeitanteil, den das Kapitel S7 des HBS 2015 bei der Berechnung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit bisher nicht (explizit) berücksichtigt. Es handelt sich um die Reaktionszeit des Fahrers zwischen dem Schließen der Türen und dem Anfahren. Der Fahrer hat beim Türschließen die Türen zu beobachten und sich vor dem Abfahren zu vergewissern, dass keine Fahrgäste außen und innen zu Schaden kommen können. Darüber hinaus muss sich der Fahrer davon überzeugen, dass der Bereich vor dem Fahrzeug frei ist bzw. überprüfen, ob und wie er sich in den Verkehr einordnen kann.

Die Reaktionszeit des Fahrers ist Teil der Haltestellenaufenthaltszeit.

In den Ergebnissen der technischen Messungen (alternatives Verfahren) sind diese Zeitanteile enthalten. Es sollte sichergestellt werden, dass diese Zeiten auch in die ideale Beförderungsgeschwindigkeit eingehen.

Die Reaktionszeit wurde für ausgewählte Haltestellen der Linie 052 untersucht. Allgemein beträgt die Mindestdauer von 2-3 s. Wenn nur die erste Tür (beim Fahrer) geöffnet wird, kann die Reaktionszeit mit 1-2 s etwas kürzer sein. In unübersichtlichen Lagen kann regelmäßig mehr Zeit benötigt werden.

4.2.9 Haltestellenaufenthaltszeit

Das Kapitel S7 des HBS 2015 sieht eine mittlere Haltestellenaufenthaltszeit von 15 s als Pauschalwert vor. Diese ist als Zeitdauer des Haltevorgangs eines Fahrzeugs an einer Haltestelle einschließlich der Wartezeit bis zum Verlassen der Haltestelle definiert.

Im Sinne der idealen Beförderungsgeschwindigkeit gehen die Fahrgastwechselzeit und die Reaktionszeit des Fahrers in die Haltestellenaufenthaltszeit ein. Sie darf nicht auf die Dauer des Fahrgastwechsels oder die Dauer der Türöffnung reduziert werden.

Ausgehend von den Messungen der Linie 052, ist der Pauschalwert von 15 s als knapp anzusehen. Für die städtischen Abschnitte deckt der Pauschalwert nur die Fahrgastwechselzeit ab, wenn für Haltestellen mit Sondereinflüssen individuelle Werte oder Zuschläge festgelegt werden. Mit der Reaktionszeit des Fahrers sind 18 s ein zutreffenderer Wert für die Linie 052. Für den Überlandbereich sind die 15 s passend.

4.2.10 Verlustzeiten an Lichtsignalanlagen

Lichtsignalanlagen verursachen für den straßengebundenen ÖPNV einen großen Teil der Verlustzeiten. Mit technischen Lösungen zur Überwachung der Positionen der ÖPNV-Fahrzeuge und der Verknüpfung dieser Informationen mit der Steuerung der Lichtsignalanlagen wird versucht, Verlustzeiten zu reduzieren und den ÖPNV ggf. zu priorisieren.

Mit FadaPlus werden die Standzeiten in den Zufahrten zur Haltlinie einer Lichtsignalanlage erfasst und in den Auswertungen ausgewiesen. Die Verlustzeiten an den Lichtsignalanlagen sind jedoch weiter zu fassen. Einzubeziehen sind auch die Verzögerung bis zum Halt und das Beschleunigen bis zum Erreichen der

zulässigen Höchstgeschwindigkeit. Entsprechende Zeitanteile entstehen auch dann, wenn es nicht zum Halt kommt, die Durchfahrt aber nicht mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erfolgen kann.

Zur Bestimmung der Verlustzeiten wurden an ausgewählten Lichtsignalanlagen zusätzliche Teilabschnitte gebildet, um die Fahrtzeiten vor und nach der Haltlinie zu messen. In der Regel wurden dafür Messpunkte 100 m vor und 50 m hinter die Haltlinie gesetzt. Mit den Erkenntnissen aus der Analyse der Fahrtzeiten muss eingeschätzt werden, dass die Abschnittslänge nach der Haltlinie nicht ausreichend ist, um das Erreichen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zu erfassen. Die realen mittleren Verlustzeiten sind daher höher als nachfolgend angegeben. Die methodischen Aussagen, die Verlustzeiten aus dem Vergleich der idealen Fahrtzeit und der gemessenen Fahrtzeit zzgl. Haltezeit zu bestimmen und die möglicherweise beachtliche Zeitdifferenz bei einer verzögerten Fahrt auch ohne Halt zu berücksichtigen, werden dadurch nicht eingeschränkt.

Bei der Bestimmung der idealen Fahrtzeit war zu beachten, dass für Abbiegevorgänge in der Regel nicht die zulässige Höchstgeschwindigkeit anwendbar ist. (siehe Kap. 5.2.5).

Die Ergebnisse der Messungen werden anhand von Beispielen aufgezeigt.

Beispiel 1: KR-K046 Ritterstr./Siemensstr.

Teilabschnitt	Abstand (m)	ideale Fahrtzeit (s)	Nachfahrt (s)	Mittel: alle Fa. (s)	Mittel: Fa. ohne Halt (s)	Mittel: Fa. mit Halt (s)
<i>Fahrtzeit</i>						
H Ritterstr	-	-	-	-	-	-
D Zufahrt KR-K046	256	24	26	27	27	27
L KR-K046 Ritterstr./Siemensstr.	100	7	7	15	14	16
D Ausfahrt KR-K046	50	4	4	9	6	11
<i>Standzeit an der LSA</i>						
L KR-K046 Ritterstr./Siemensstr.	-	-	-	17	0	29
<i>Verlustzeit an der LSA</i>						
L KR-K046 Ritterstr./Siemensstr.	-	-	-	30	9	45

Tab. 7: Zeiten an der Lichtsignalanlage KR-K046 in Krefeld (Fahrrichtung Moers).

Der Abschnitt wird geradlinig passiert. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h.

Die mittlere Verlustzeit aller Fahrten beträgt 30 s. Das sind 176% der Standzeit. Bei Fahrten ohne Halt beträgt die Verlustzeit 9 s. Fahrten, die zum Stehen kommen, weisen die Fünffache Verlustzeit auf. Neben der absoluten Höhe der Verlustzeit stellt die Streuung für den ÖPNV ein großes Problem dar.

Beispiel 2: KR-K084 Untergath/Oberbruchstr.

Teilabschnitt	Abstand (m)	ideale Fahrtzeit (s)	Nacht-fahrt (s)	Mittel: alle Fa. (s)	Mittel: Fa. ohne Halt (s)	Mittel: Fa. mit Halt (s)
<i>Fahrtzeit</i>						
D Zufahrt KR-K084	-	-	-	-	-	-
L KR-K084 Untergath/Oberbruchstr.	100	9	13	19	16	20
D Ausfahrt KR-K084	50	4	5	9	6	10
<i>Standzeit an der LSA</i>						
L KR-K084 Untergath/Oberbruchstr.	-	-	-	22	0	31
<i>Verlustzeit an der LSA</i>						
L KR-K084 Untergath/Oberbruchstr.	-	-	-	(37)	(9)	(48)

Tab. 8: Zeiten an der Lichtsignalanlage KR-K084 in Krefeld (Fahrrichtung Moers).

Die berechnete ideale Fahrtzeit auf den 100 m vor der Haltlinie ist nicht erreichbar, weil aufgrund der vorherigen Kurven-Situation nicht mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h in den Abschnitt eingefahren werden kann (hier der Anschluss zu Beispiel 4 im Kap. 5.2.5.3). Die angegebenen Verlustzeiten sind rechnerisch korrekt, aber aufgrund der nicht erreichbaren Geschwindigkeit zu hoch und daher in Klammern gesetzt.

Beispiel 3: KR-K052 Moerser Str./Nassauerring

Teilabschnitt	Abstand (m)	ideale Fahrtzeit (s)	Nacht-fahrt (s)	Mittel: alle Fa. (s)	Mittel: Fa. ohne Halt (s)	Mittel: Fa. mit Halt (s)
<i>Fahrtzeit</i>						
H Hohe Linden	-	-	-	-	-	-
D Zufahrt KR-K052	80	14	13	8	9	8
L KR-K052 Moerser Str./Nassauerring	100	8	11	14	12	15
D Ausfahrt KR-K052	50	4	4	9	5	11
<i>Standzeit an der LSA</i>						
L KR-K052 Moerser Str./Nassauerring	-	-	-	15	0	23
<i>Verlustzeit an der LSA</i>						
L KR-K052 Moerser Str./Nassauerring	-	-	-	26	5	37

Tab. 9: Zeiten an der Lichtsignalanlage KR-K052 in Krefeld (Fahrrichtung Moers).

Der Abschnitt von der Haltestelle „Hohe Linden“ bis zum Messpunkt 100 m vor der Haltlinie wird bei der Berechnung der Verlustzeiten nicht berücksichtigt. Die Fahrten sind in diesem Abschnitt schneller als die ideale Fahrtzeit, weil für diesen Zweck keine Unterscheidung erfolgte, ob an der Haltestelle gehalten wurde oder nicht. Ein relativ großer Anteil an Fahrten ohne Halt führt zu der großen Differenz. Die wesentliche Aussage besteht darin, dass sich die Werte nicht wesentlich unterscheiden.

Die weiteren Werte sind mit der Situation im Beispiel 1 vergleichbar.

Beispiel 4: KR-K243 Moerser Str./ Heyenbaumstr./Hökendyk

Teilabschnitt	Abstand (m)	ideale Fahrtzeit (s)	Nacht-fahrt (s)	Mittel: alle Fa. (s)	Mittel: Fa. ohne Halt (s)	Mittel: Fa. mit Halt (s)
<i>Fahrtzeit</i>						
D Zufahrt KR-K243	-	-	-	-	-	-
L KR-K243 Moerser Str./ Heyenbaumstr./Hökendyk	100	7	8	13	12	16
H Heyenbaumstr	70	11	12	10	8	13
<i>Standzeit an der LSA</i>						
L KR-K243 Moerser Str./ Heyenbaumstr./Hökendyk	-	-	-	5	0	17
<i>Verlustzeit an der LSA</i>						
L KR-K243 Moerser Str./ Heyenbaumstr./Hökendyk	-	-	-	(10)	(2)	(28)

Tab. 10: Zeiten an der Lichtsignalanlage KR-K243 in Krefeld (Fahrrichtung Krefeld).

Auf die Lichtsignalanlage KR-K243 folgt eine Haltestelle. Beim Abstand von 70 m muss der Bremsenansatz bereits vor der Haltlinie erfolgen. Bei der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h und der Verzögerung von $1,2 \text{ ms}^2$ beträgt der Bremsweg bis zur Haltestelle 80 m. Das ist in der idealen Fahrtzeit berücksichtigt.

Die kürzeren mittleren Fahrtzeiten zwischen Haltlinie und Haltestelle ergeben sich durch Fahrten, die nicht an der Haltestelle halten. Aus diesem Grund gibt der Vergleich der Messungen mit der idealen Fahrtzeit nicht die Verlustzeiten an, die dem Ansatz der idealen Fahrtzeit entsprechen (Halt an allen Haltestellen).

Beispiel 5: KR-K043 Moerser Str./Nassauerring

Teilabschnitt	Abstand (m)	ideale Fahrtzeit (s)	Nacht-fahrt (s)	Mittel: alle Fa. (s)	Mittel: Fa. ohne Halt (s)	Mittel: Fa. mit Halt (s)
<i>Fahrtzeit</i>						
H Ritterstr	-	-	-	-	-	-
L KR-K043 Neue Ritterstr./ Oberdießemer Str.	76	16	(14)	15	14	16
H Krankenh. Maria Hilf	272	38	(34)	42	39	48
<i>Standzeit an der LSA</i>						
L KR-K043 Neue Ritterstr./ Oberdießemer Str.	-	-	-	8	0	25
<i>Verlustzeit an der LSA</i>						
L KR-K043 Neue Ritterstr./ Oberdießemer Str.	-	-	-	(11)	(-1)	(35)

Tab. 11: Zeiten an der Lichtsignalanlage KR-K043 in Krefeld (Fahrrichtung Krefeld).

Für das Beispiel 5 wurden keine zusätzlichen Messpunkte vorgesehen. Damit ergibt sich eine Datensituation, wenn nur die Haltestellen und Lichtsignalanlagen bekannt sind. Darüber hinaus wird nach der Haltlinie nach rechts abgebogen. Für die Berechnung der idealen Fahrtzeit wurden 10 km/h in der Kurve angenommen. Die Differenz zu einem Halt ist nicht mehr groß. Auf dem Abschnitt vor der Lichtsignalanlage beträgt

die zulässige Höchstgeschwindigkeit 50 km/h. Nach der Lichtsignalanlage sind es 30 km/h. Hier gibt es bis zur Haltestelle „Krankenh. Maria Hilf“ Begegnungsprobleme. Die Fahrzeit unterliegt somit weiteren Störeinflüssen.

Die Fahrzeiten der Nachtfahrt wurden aus der Messung übernommen (16. Perzentil der Fahrten mit Halt an den Haltestellen und ohne Halt an der Lichtsignalanlage). Die Nachtfahrt war mit einer Standzeit an der Lichtsignalanlage verbunden.

Die mittleren Fahrzeiten in der Zufahrt zur Haltlinie weisen keine großen Differenzen auf. Die Fahrten ohne Halt an der Haltestelle sind 2 s schneller als die ideale Fahrzeit. Hier wirkt sich aus, dass nicht alle Fahrten an der Haltestelle halten und die Vergleichbarkeit mit der idealen Fahrzeit eigentlich nicht gegeben ist. Rechnerisch führt das für die Fahrten ohne Halt an der Lichtsignalanlage zu einer negativen Verlustzeit.

Die mittleren Fahrzeiten nach der Lichtsignalanlage weisen für die Fahrten mit Halt an der Lichtsignalanlage eine relativ hohe Differenz zur idealen Fahrzeit auf. Die Kurvengeschwindigkeit von 10 km/h und die folgende zulässige Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h lassen eine geringere haltbezogene Differenz erwarten. Vermutlich wirken sich andere Störeinflüsse aus.

Schlussfolgerungen

Die Beispiele zeigen, dass die gesamte Verlustzeit im Umfeld einer Lichtsignalanlage ermittelt werden kann, d.h. unter Einschluss der Zeitanteile durch Verzögerung und Beschleunigung, wenn die möglichen bzw. vorgesehenen Geschwindigkeiten nicht erreicht werden.

Der Lichtsignalanlage vorgelagerte und nachgelagerte Haltestellen müssen berücksichtigt werden. Maßgebend sind dabei die Abstände für das Beschleunigen bis zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit bzw. die entsprechende Verzögerung bis zum Halt, wenn die Berechnung der idealen Fahrzeit auf dem Halt der Fahrten an den Haltestellen basiert.

Bei Haltestellen, die sich unmittelbar vor der Haltlinie befinden, sollte die Türöffnung für die Differenzierung der Standzeit verwendet werden. Bei Haltestellen, die sehr nah an der Haltlinie der Lichtsignalanlage liegen, und bei denen zusätzlich zum Halt an der Haltestelle noch ein Halt vor der Lichtsignalanlage möglich ist, ist die technische Erfassung der Zeitanteile nicht einfach.

Soweit die Datenerfassung das zulässt, sollte eine Eingrenzung der Lichtsignalanlagen durch zusätzliche Messpunkte erfolgen. Diese können in der Zufahrt auch eventuelle Rückstaus abdecken und an die Positionen in der Zufahrt gesetzt werden, an denen die Anmeldetelegramme versendet werden. Die Funkanmeldungen an den Lichtsignalanlagen sind mit den zusätzlichen Messpunkten vergleichbar. Nachteilig ist, dass nicht erkennbar ist, ob es zum Halt kommt, welchen konkreten Einfluss die Haltestellen haben und ob nach der Haltlinie (Abmeldung) noch Behinderungen auftreten (Linksabbiegen mit Vorfahrtgewährung oder Spurreduzierung nach dem Knoten).

Neben den zulässigen Höchstgeschwindigkeiten sind bei der Berechnung der idealen Fahrzeit realistische Kurvengeschwindigkeiten mit den entsprechenden Verzögerungen und Beschleunigungen zu beachten.

4.3 Leitsystemdaten der VAG Nürnberg

4.3.1 Beschreibung der Daten und der Ergebnisgrößen

Aus dem Leitsystem der VAG stehen bereits gebildete Fahrten zur Verfügung. Diese beinhalten neben einigen Planwerten pro Haltestelle diese Angaben:

- Ankunftszeit (im Haltestellenbereich)
- Abfahrtszeit (im Haltestellenbereich)

Im Kap. 5.3.5 werden die aus Ankunfts- und Abfahrtszeit ermittelten Haltezeiten den separat ermittelten Fahrgastwechselzeiten gegenübergestellt. Da die Haltezeiten auch bei unbehinderten Abfahrten von den Haltestellen deutlich größer als die Fahrgastwechselzeiten sind, ist davon auszugehen, dass die Ankunftszeit das Erreichen des Haltestellenbereichs im Kontext der Fahrzeug-Lokalisierung angibt und dabei Halte vor der Haltestelle und zwischenliegende Zufahrtszeiten einschließen kann.

Wenn Ankunfts- und die Abfahrtszeiten übereinstimmen, ist davon auszugehen, dass kein Halt erfolgte. An der Start-Haltestelle einer Fahrt gibt es nur die Abfahrtszeit und an der Endhaltestelle nur die Ankunftszeit.

Das Leitsystem der VAG erfasst detailliertere Daten, die allerdings nur auf LOG-Niveau vorliegen und nicht in standardisierte Auswertungen einfließen. Die Verwertung solcher Daten ist mit einem hohen Aufwand verbunden (manuelle Auswertung oder spezifische Softwareentwicklung).

Die Auswertungen verwenden die Differenzen zwischen den beiden verfügbaren Zeitpunkten. In der Tabelle werden die berechneten Größen erläutert.

Abkürzung	Bezeichnung	Erläuterungen
BZ	Beförderungszeit	Zeit von Haltestelle zu Haltestelle, berechnet aus der Abfahrtszeit. <i>Hinweis:</i> Trotz der Verwendung des gleichen Begriffs wie bei der Auswertung der Daten aus Krefeld ergibt sich ein Unterschied. In den Daten aus Krefeld ist der Bezug das letzte Türschließen an der Haltestelle.
SZ	Streckenzeit	Zeit von der Abfahrt an einer Haltestelle bis zur Ankunft an der folgenden Haltestelle. Der Wert wird der Ankunfts-Haltestelle zugeordnet.
HZ	Haltezeit	Zeit von der Ankunft an einer Haltestelle bis zur Abfahrt an der gleichen Haltestelle. Die Ankunftszeit kann Halte unmittelbar vor der Haltestelle einbeziehen (z.B. an einer Lichtsignalanlage, wenn die Haltestelle in Fahrtrichtung kurz hinter dem Knoten liegt). Wartezeiten an einer Lichtsignalanlage, die die Ausfahrt aus einer Haltestelle regelt, gehen immer in die Haltezeit ein.

Tab. 12: Übersicht über die aus den Leitstellendaten ermittelbaren Ergebnisgrößen

4.3.2 Merkmale der Untersuchungsstrecke

Für die Auswertung von Leitsystemdaten wurde die Straßenbahnlinie 4 der VAG Nürnberg ausgewählt. Diese verkehrt im Stadtgebiet von Nürnberg. Über den Linienvverlauf bestehen verschiedene Rahmenbedingungen. Merkmale sind:

Die Linie verkehrt in Nord-Süd-Richtung überwiegend im städtischen Umfeld. Das Stadtzentrum wird dabei auf der Westseite tangiert. Abschnittsweise gibt es unabhängigen oder straßenbündigen Bahnkörper. Der unabhängige Bahnkörper betrifft vor allem die Abschnitte zwischen Gibitzenhof und Brehmstraße sowie zwischen Thon und Am Wegfeld. Der straßenbündige Bahnkörper ist teilweise als Sperrfläche markiert. Der Bahnkörper befindet sich überwiegend in Mittellage. Die Haltestellen sind als Inseln ausgeführt.

Die Lichtsignalanlagen im Verlauf der Linie 4 werden durch die Fahrzeuge beeinflusst. Der Umfang der Bevorrechtigung ist anlagenspezifisch unterschiedlich (absolute oder bedingte Bevorrechtigung).

Die Linie 4 bedient pro Richtung 19 Haltestellen.

Betriebliche Besonderheiten sind die geplante Standzeit von jeweils einer Minute an der Haltestelle Plärrer sowie die Möglichkeit, an Haltestellen durchzufahren, wenn im Fahrzeug keine Türanforderung vorliegt und an der Haltestelle keine Fahrgäste warten. Durchfahrten werden regelmäßig nicht mit der jeweils gültigen Höchstgeschwindigkeit erfolgen.

Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf der Linie 4.

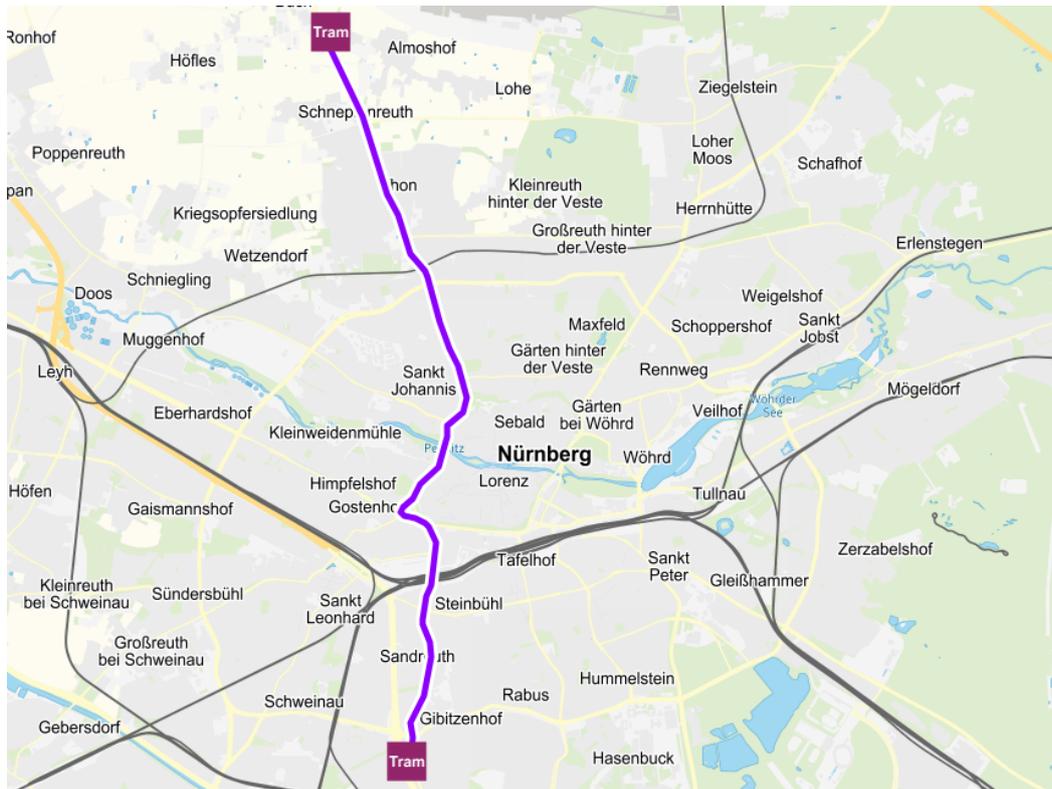


Abb. 15: Verlauf der Linie 4 (Quelle: <https://www.vgn.de>, Kartendaten: © PTV AG / HERE | © OpenStreetMap-Mitwirkende)

Die Linienlänge beträgt ca. 8,35 km pro Richtung.

Im Tagesverkehr Montag bis Freitag zwischen 06:00 und 20:00 Uhr werden unterschiedliche Takte angeboten:

- ca. 06:00 bis 06:30 Uhr: 10 min.-Takt
- ca. 06:30 bis 08:45 Uhr: 5 min.-Takt
- ca. 08:45 bis 11:45 Uhr: 10 min.-Takt
- ca. 11:45 bis 18:00 Uhr: 5 min.-Takt
- ca. 18:00 bis 20:00 Uhr: 10 min.-Takt

Die Fahrtzeitvorgaben betragen:

- 25 min in Richtung Am Wegfeld
- 26 min in Richtung Gibitzenhof

Zum Einsatz kommen Niederflurstraßenbahnen verschiedener Typen. Sie unterscheiden sich in Bezug auf die Anzahl der Türen und die Kapazität.

4.3.3 Durchgeführte Arbeiten

Die VAG Nürnberg hat die Daten in CSV-Dateien zur Verfügung gestellt. Diese wurden nach FadaPlus importiert und standen als auswertbare Fahrten zur Verfügung. Mit der FadaPlus-Software wurden auch die Messungen auf der Linie 052 in Krefeld verarbeitet und ausgewertet. Die Auswertungen selbst konnten daher vergleichbar mit den Messungen in Krefeld erfolgen. Aufgrund der geringeren Detaillierung und der abweichenden Bedeutung der Werte sind die Ergebnisse trotzdem nicht unmittelbar vergleichbar.

Linien-Vermessung

Es wurde keine Vermessungsfahrt durchgeführt. Die im Leitsystem generierten Daten standen bereits als lokalisierte und dem Fahrplan zugeordnete Fahrten zur Verfügung. Für die Datenverarbeitung war somit keine Vermessung erforderlich. Die Stammdaten des Leitsystems verfügen nicht über die Detailangaben, die für die Berechnung der idealen Fahrtzeit benötigt würden.

Stammdaten und Fahrplandaten (Entfernungen, Fahrzeitvorgaben) wurden aus dem Planungssystem der VAG übernommen.

Nachtfahrt

Es wurde keine Nachtfahrt durchgeführt. Dem organisatorischen Aufwand für die Planung und Durchführung der Fahrt stand kein zu erwartender Erkenntnisgewinn gegenüber. Für die Gewinnung der Daten einer Nachtfahrt (außerhalb der planmäßigen Betriebszeit) hätten Leitsystem und Fahrzeug mit einem Fahrplan versorgt werden müssen. Die Ergebnisse wären zudem auf die Streckenzeit und die Haltezeit beschränkt gewesen. In Krefeld wurde die Nachtfahrt durchgeführt, um die Fahrzeiten u.a. im Zusammenhang mit der detaillierten Vermessung der Linie auszuwerten. Durch die Nutzung des Messsystems FadaPlus gab es dabei keine besonderen Anforderungen wie bei einem Leitsystem.

Verwendete Messdaten

Von der VAG wurden die vom Leitsystem erfassten Fahrten auf der Linie 4 in der Zeit vom 09.01.2023 bis zum 13.01.2023 zur Verfügung gestellt. In den Auswertungen wurde der Uhrzeitbereich 06:00 bis 20:00 Uhr betrachtet.

Für die Auswertungen verfügbare Daten

Die verfügbaren Fahrten, die die gesamte Betriebszeit zwischen 04:45 und 25:00² Uhr abdecken, verteilen sich wie folgt:

Teillinie	Anzahl Fahrten	Anmerkungen
Gibitzenhof nach Am Wegfeld	771	Drei Fahrten wurden als Ausreißer ausgeschlossen.
Am Wegfeld nach Gibitzenhof	749	Eine Fahrt wurde als Ausreißer ausgeschlossen.

Tab. 13: Übersicht der verfügbaren Messfahrten

Auswertung

Die Daten wurden im Kontext der Fragestellungen des Forschungsprojektes ausgewertet. Eine detaillierte Analyse der Situation der Linie erfolgte nicht.

Zur Unterstützung des grundsätzlichen Verständnisses der erfassten Daten und ausgewertete Ergebnisse wird jedoch eine Übersicht gegeben (Kap. 5.3.4).

4.3.4 Allgemeine Ergebnisse der Messungen

Nachfolgend wird ein Überblick über Ergebnisse gegeben, die sich mit den verwendeten Daten auswerten lassen. Es ist nicht das Ziel, eine detaillierte Untersuchung der verkehrlichen Situation der Linie 4 vorzunehmen. Der allgemeine Überblick soll das Verständnis der Werte in Bezug auf das Thema des Forschungsprojektes unterstützen.

Beförderungszeiten

Die Fahrten der Linie 4 im Zeitbereich 06:00 und 20:00 Uhr benötigen zwischen Gibitzenhof und Am Wegfeld im Mittel 24:55 min. Bei der Fahrzeitvorgabe von 25:00 min bedeutet das eine mittlere Ankunfts-Verfrühung von 00:05 min.

Die Streuung der Beförderungszeiten (Abb. 16) ist gering. Neben der guten Pünktlichkeit ist eine hohe Regelmäßigkeit gegeben. Die 667 ausgewerteten Fahrten zwischen 06:00 und 18:00 Uhr decken einen Streubereich von 12 Minuten ab (21:00 ... 33:00 min). Der kleinste Streubereich, in dem 90 % der Fahrten liegen, erstreckt sich auf 5 Minuten (23:00 ... 28:00 min).

² Im ÖPNV ist es üblich, die Stunden zwischen Mitternacht und dem Betriebstagswechsel, der beispielsweise um 03:00 Uhr erfolgen kann, auf 24:00 Uhr zu addieren. Beispiel: 01:00 Uhr wird mit 25:00 Uhr bezeichnet.

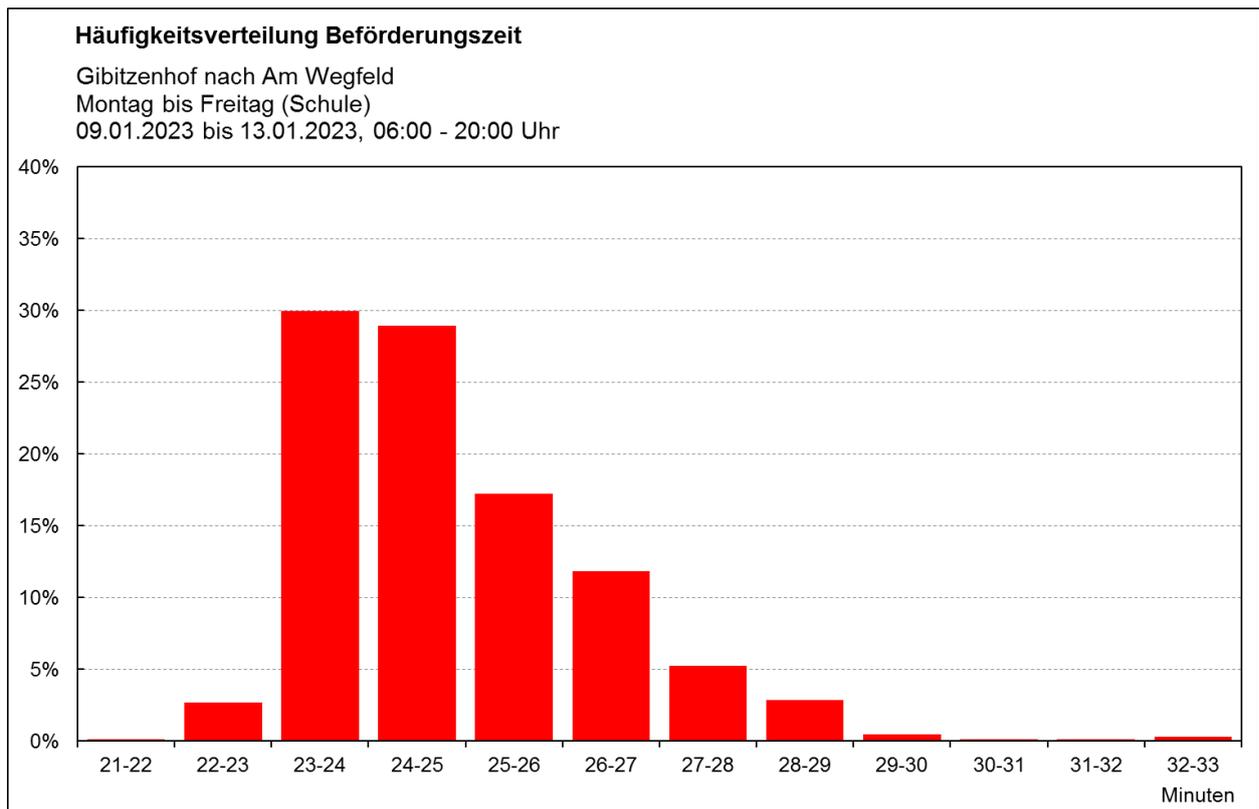


Abb. 16: Verteilung der Beförderungszeiten, Linie 4, Nürnberg, Gibitzenhof nach Am Wegfeld, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

In der Gegenrichtung von Am Wegfeld nach Gibitzenhof werden zwischen 06:00 und 20:00 Uhr im Mittel 26:50 min benötigt (Abb. 17). Die Beförderungszeit übersteigt die Fahrtzeitvorgabe um 00:50 min. Der Streubereich ist mit 10 Minuten (23:00 ... 33:00 min) etwas kleiner. 90 % der Fahrten liegen in einem Bereich von 4 Minuten (25:00 ... 29:00 min).

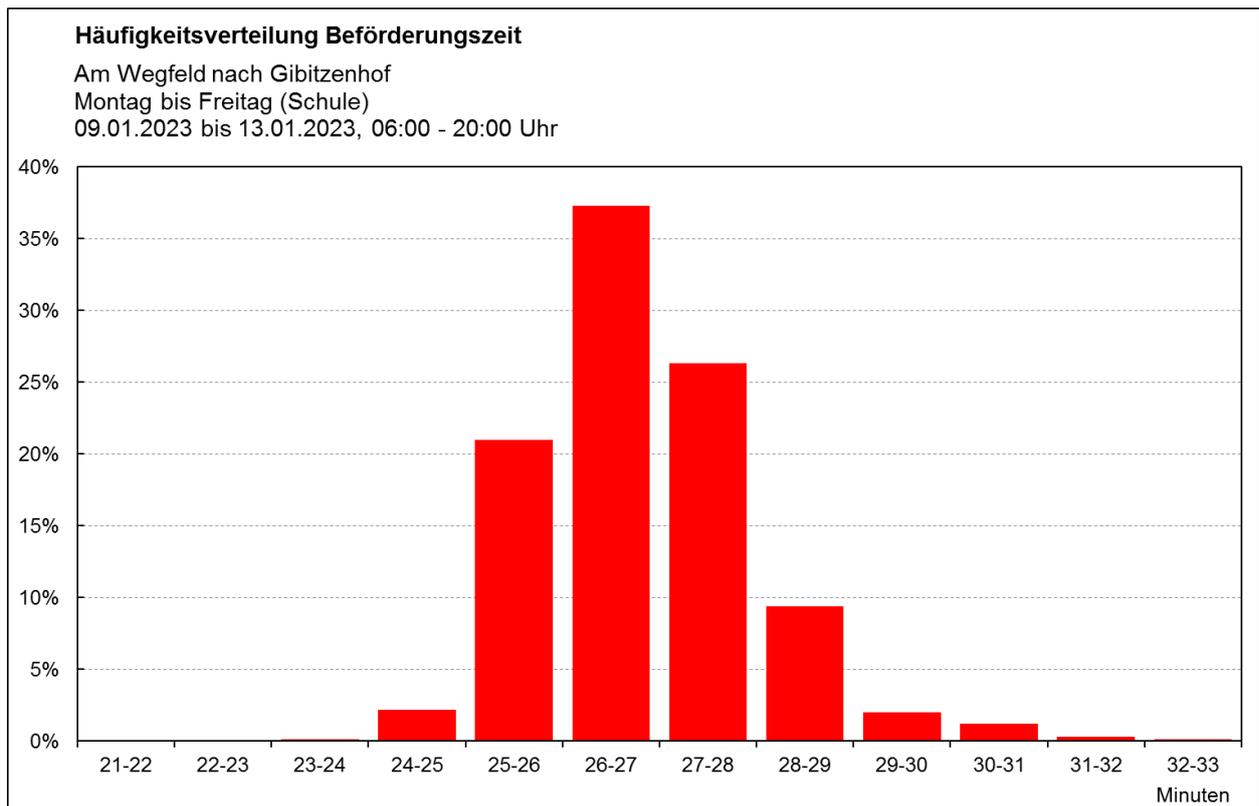


Abb. 17: Verteilung der Beförderungszeiten, Linie 4, Nürnberg, Am Wegfeld nach Gibitzenhof, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Die Linie 4 weist im Vergleich mit der Linie 052 der SWK Krefeld eine erheblich geringere Streuung auf. Gründe dafür sind vor allem die kürzere Linienlänge und eine gut funktionierende Bevorrechtigung an den Lichtsignalanlagen. Weiterhin haben die geplante Standzeit am Plärrer, die im gesamten Tagesverlauf passenden Fahrzeitvorgaben (unabhängig vom angebotenen Takt) und die Straßenbahn an sich einen positiven Einfluss.

Abweichungen von den Fahrzeitvorgaben

Im Zusammenhang mit den Beförderungszeiten wurden die Differenzen zwischen den Beförderungszeiten und den Fahrzeitvorgaben über die gesamte Fahrt bereits angegeben. Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die haltestellebezogenen Werte. Der Vergleich bezieht sich jeweils auf die ab Fahrtbeginn kumulierten Werte.

Die Skalierung der Y-Achse stimmt zur besseren Vergleichbarkeit der beiden Richtungen überein. Positive Abweichungen geben eine Verspätung an (Beförderungszeit größer als die Fahrzeitvorgabe. Negative Werte stehen umgekehrt für eine Verfrühung, d.h. der Zeitbedarf ist kleiner als geplant.

Zwischen Gibitzenhof und Am Wegfeld sind die kumulierten mittleren Beförderungszeiten fast über den gesamten Verlauf höher als die Fahrzeitvorgabe. Zunächst liegen die Abweichungen zwischen 30 und 60 s (Brehmstraße bis Juvenellstraße). Danach steigt die Differenz bis zur vorletzten Haltestelle noch etwas an.

Der letzte Haltestellen-Abschnitt zwischen Bamberger Straße und Am Wegfeld weist eine gegenüber dem Zeitbedarf hohe Fahrzeitvorgabe auf. Dadurch kommt es zur Übereinstimmung bei der Ankunft an der Endhaltestelle. Eine höhere Fahrzeitvorgabe auf dem letzten Haltestellen-Abschnitt ist eine übliche Praxis, um einen Ausgleich am Fahrtende zu schaffen, wenn die Fahrzeitvorgaben über den Streckenverlauf zu einer einkalkulierten Verspätung führen.

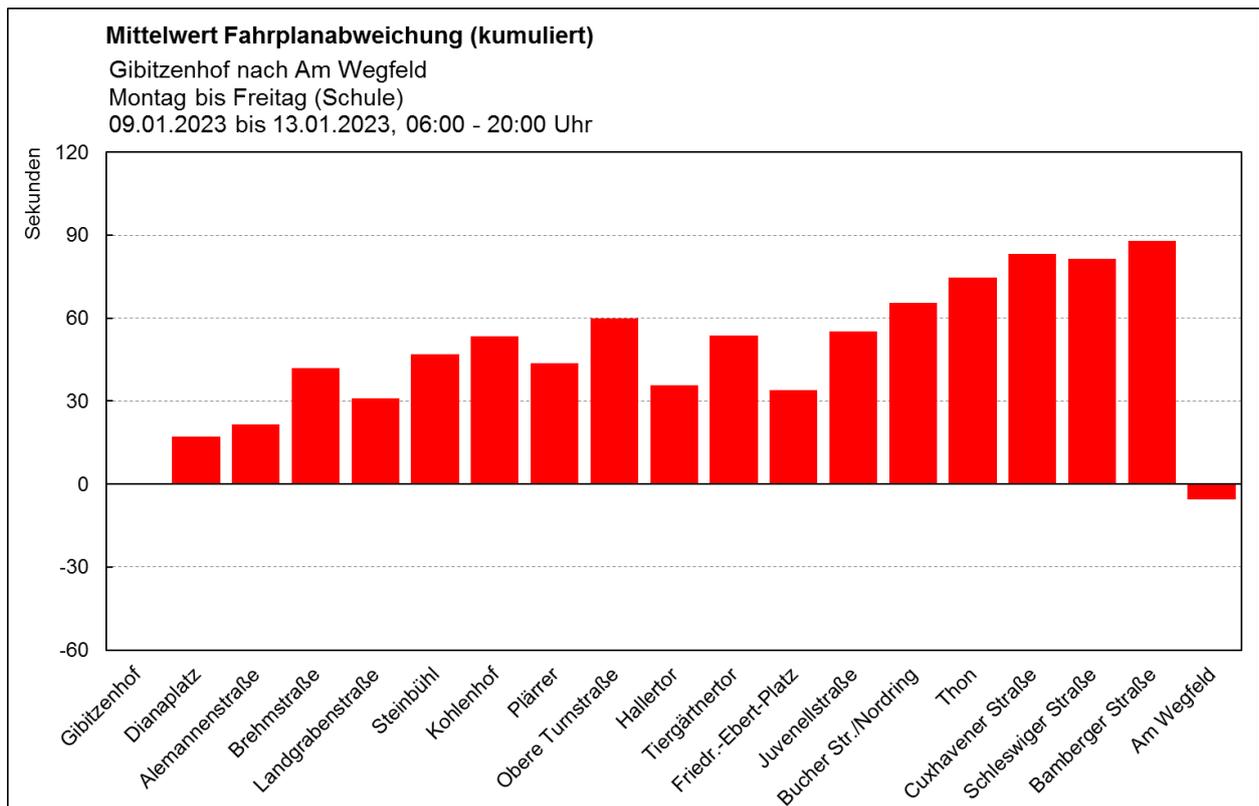


Abb. 18: Mittlere Abweichung zwischen Beförderungszeit und Fahrtzeitvorgabe, Linie 4, Nürnberg, Gibitzenhof nach Am Wegfeld, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

In Richtung Gibitzenhof schwanken die haltestellenbezogenen Abweichungen zwischen den kumulierten Beförderungszeiten und Fahrtzeitvorgaben etwas stärker. An den Haltestellen Bucher Str./Nordring und Juvenellstraße steigt die mittlere Abweichung auf über 60 s (Verspätung). Im weiteren Verlauf geht die Abweichung wieder zurück, bevor sie im letzten Drittel wieder ansteigt und in der Spitze fast 105 s erreicht (Dianaplatz). Die wiederum erhöhte Vorgabe für den letzten Haltestellenabschnitt sorgt für eine mittlere Verspätung von 50 s bei der Ankunft an der Endhaltestelle Gibitzenhof.

In beiden Richtungen trägt die geplante Standzeit von 60 s an der Haltestelle Plärrer zu einer guten Pünktlichkeit bei. Eventuelle höhere Abweichungen können damit kompensiert oder zumindest gemindert werden. Die Wirkung zeigt sich auch in den geringen Streuungen der Beförderungszeiten.

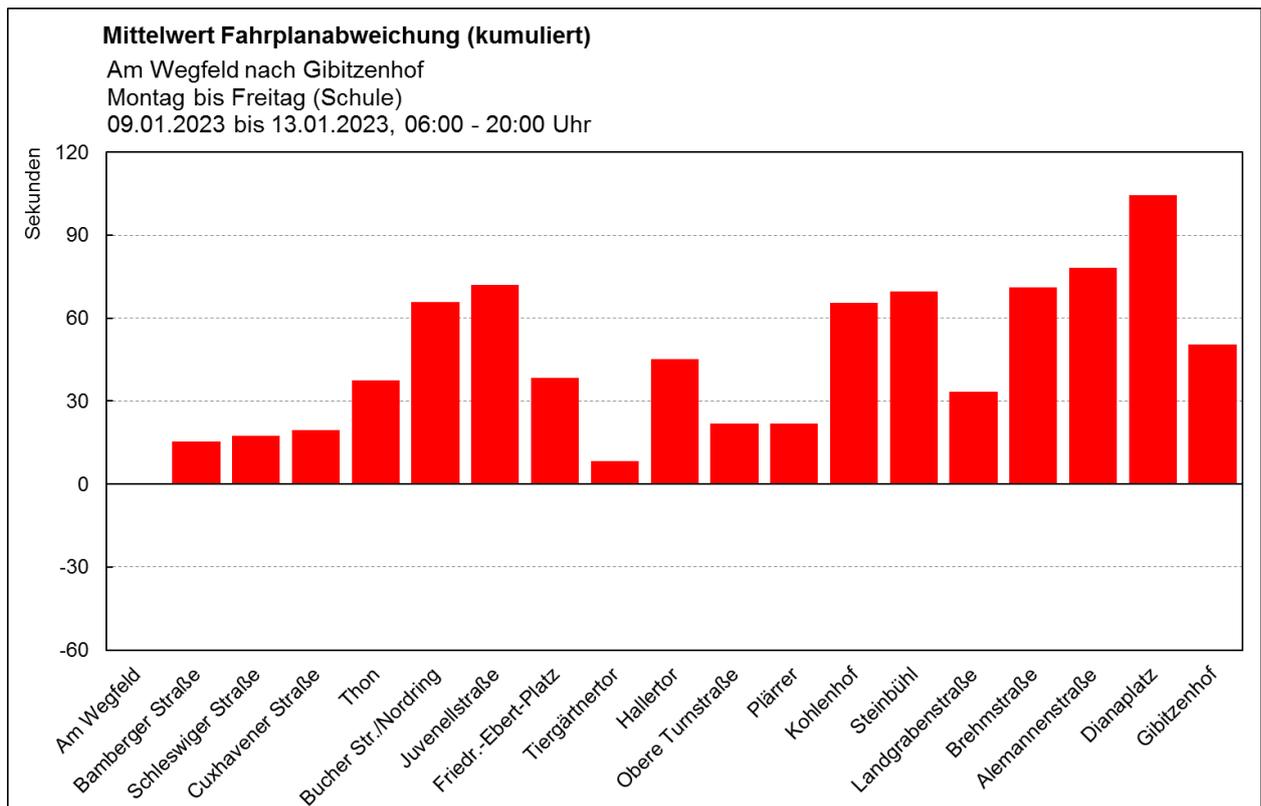


Abb. 19: Mittlere Abweichung zwischen Beförderungszeit und Fahrtzeitvorgabe, Linie 4, Nürnberg, Am Wegfeld nach Gibitzenhof, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Verlustzeiten

Verlustzeiten können aus den verfügbaren Daten nicht bestimmt werden.

Die Streckenzeiten beinhalten Zeiten des Fahrens und gegebenenfalls auch Standzeiten (z.B. an Lichtsignalanlagen oder bei Behinderungen zwischen den Haltestellen).

Die Haltezeiten im Bereich der Haltestellen betragen im Mittel etwas mehr als 30 s (alle Haltestellen beider Richtungen). Die Haltestelle Plärrer zieht diesen Wert aufgrund der geplanten Standzeit etwas nach oben. Ohne die Haltestelle Plärrer liegt die mittlere Haltezeit bei ca. 28 s. Als Zeit zwischen Ankunft und Abfahrt handelt es sich nicht um die Fahrgastwechselzeit. Siehe auch Kap. 5.3.1.

Anteile der Beförderungszeit

Aus den verfügbaren Daten konnten die Streckenzeit und die Haltezeit im Bereich der Haltestellen bestimmt werden. Die Anteile an der Beförderungszeit gehen aus den folgenden Abbildungen hervor.

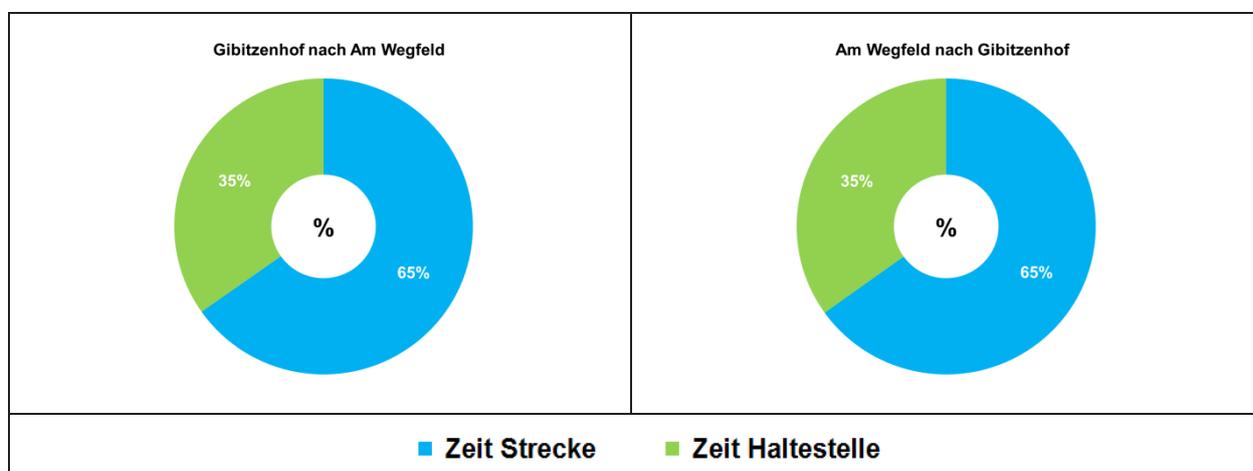


Abb. 20: Aufteilung der Beförderungszeit, Linie 4, Nürnberg, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Die beiden Richtungen der Linie 4 unterscheiden sich nicht bei den Zeitanteilen auf der Strecke und an den Haltestellen. Jeweils 65 % entfallen auf die Strecken und 35 % auf die Haltestellen.

Eine Bewertung ist kaum möglich, auch wenn anhand der Werte und der Proportionen eingeschätzt werden kann, dass die Haltezeiten im Bereich der Haltestellen mehr als die Fahrgastwechselzeiten umfassen muss.

Bei der Linie 052 aus Krefeld/Moers beträgt der Anteil der Haltezeiten an der Beförderungszeit ca. 25 %. Im Stadtgebiet von Krefeld sind es ca. 32 % (bei vielen Standzeiten an Lichtsignalanlagen). Auch wenn die Linien nicht gut miteinander verglichen werden können (u.a. ist für Nürnberg der Anteil eventueller Halte zwischen den Haltestellen nicht bekannt, erscheint die vom Leitsystem in Nürnberg ermittelte Haltezeit relativ hoch).

4.3.5 Gegenüberstellung von Haltezeit und Fahrgastwechselzeit

Für die Linie 4 bestand die Möglichkeit, zusätzlich die vom Fahrgastzählsystem ermittelten Fahrgastwechselzeiten auszuwerten und mit den Leitsystem-Daten zu vergleichen. Die Werte gehen aus den beiden folgenden Abbildungen hervor.

Für die Endhaltestellen Gibitzenhof und Am Wegfeld kann der Vergleich nicht durchgeführt werden. Die Haltezeiten und die Fahrgastwechselzeiten liegen nicht vor bzw. wären aufgrund des längeren Halts nicht aussagefähig.

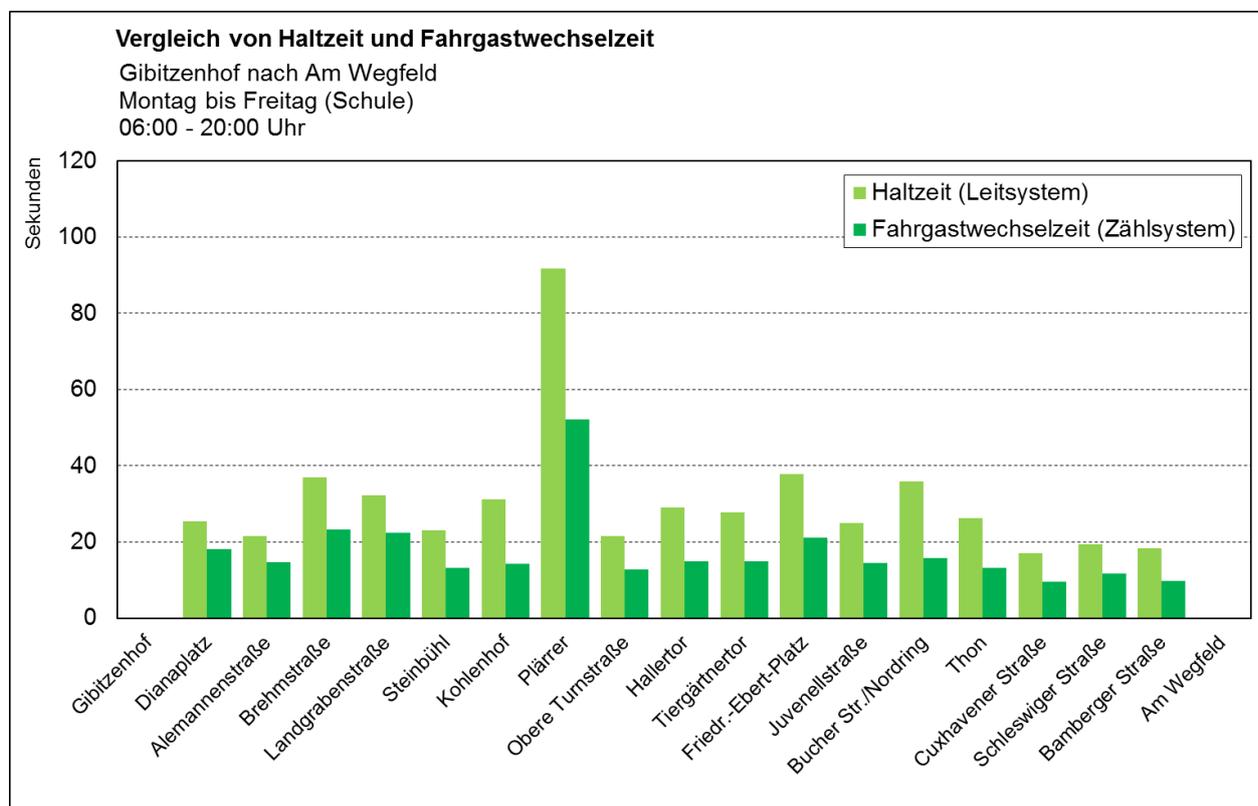


Abb. 21: Vergleich von Haltezeit und Fahrgastwechselzeit, Linie 4, Nürnberg, Gibitzenhof nach Am Wegfeld, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

An allen Haltestellen ist die mittlere Haltezeit der Leitsystemdaten größer als die mit den Daten des Fahrgastzählsystems berechnete mittlere Fahrgastwechselzeit. Das ist korrekt, denn die Fahrgastwechselzeit muss als die Zeit zwischen der ersten Türöffnung und dem letzten Schließen einer Tür kleiner sein.

Auffällig ist die Höhe der Differenz. Diese beträgt in Richtung Am Wegfeld in Summe 185 s ohne die Haltestelle Plärrer, die aufgrund der geplanten Standzeit höhere Werte aufweist.

Haltestellenbezogen liegen die Abweichungen zwischen 5 s und 20 s. Bei den Differenzen kann es sich um Verlustzeiten handeln, wenn beispielsweise der Fahrgastwechsel abgeschlossen ist und für das Verlassen der Haltestelle die Freigabe an einer Lichtsignalanlage abgewartet werden muss. Bei einer

Haltestelle mit Zufahrt und Abfahrt ohne Behinderungen sollte die Standzeit mit geschlossenen Türen allerdings nur die Reaktionszeit vor der Abfahrt umfassen (ca. 2-3 s).

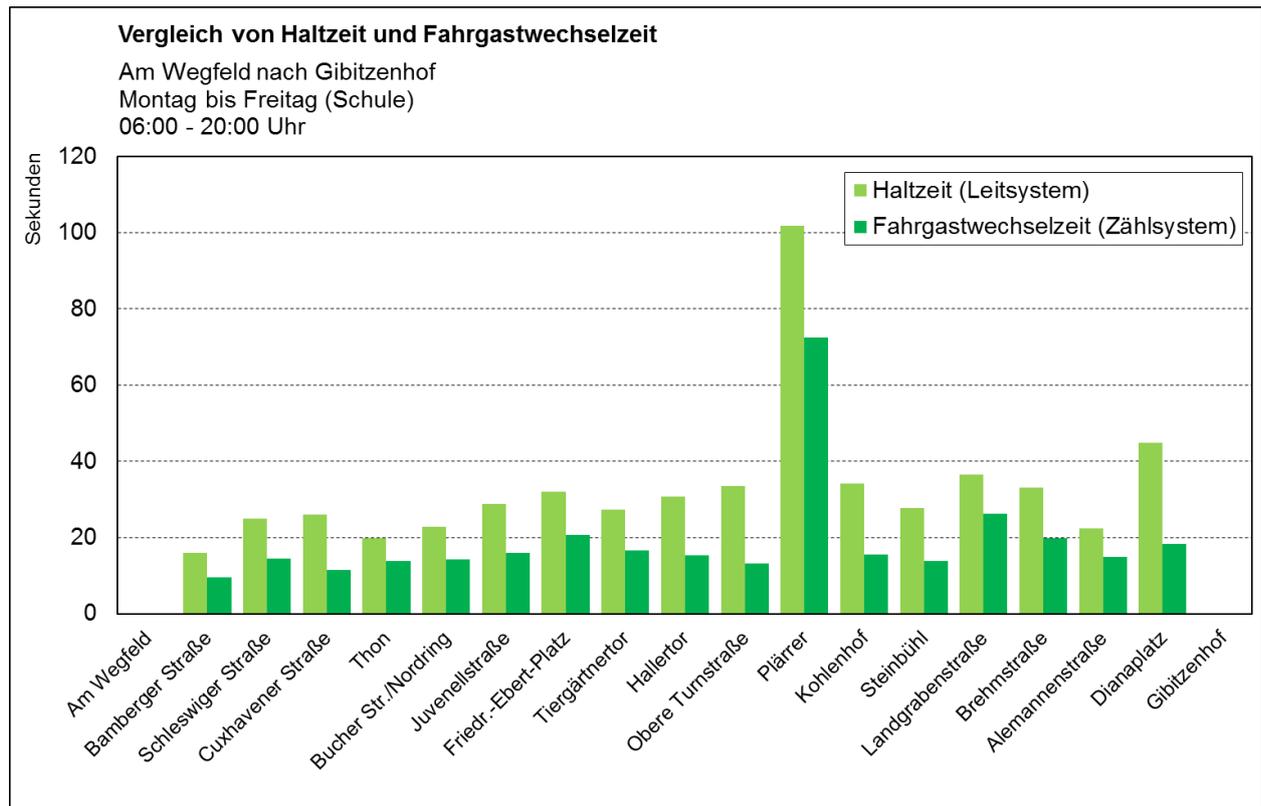


Abb. 22: Vergleich von Haltezeit und Fahrgastwechselzeit, Linie 4, Nürnberg, Am Wegfeld nach Gibitzenhof, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

In Richtung Gibitzenhof ergibt sich die gleiche Situation. Ohne die Haltestelle Plärrer sind die Haltezeiten um 206 s größer als die Fahrgastwechselzeiten. Die haltestellenbezogenen Differenzen liegen zwischen 6 und 26 s.

Es ist davon auszugehen, dass sich die vom Leitsystem bereitgestellte Ankunftszeit bereits auf Halte vor der Haltestelle beziehen kann. Die Abfahrtszeit schließt auf jeden Fall Verlustzeiten nach dem Fahrgastwechsel ein (z.B. Wartezeiten an Lichtsignalanlagen).

4.3.6 Ideale Fahrtzeit

Die ideale Fahrtzeit kann mit den vorliegenden Daten nicht berechnet und nicht verifiziert werden.

Die VAG nutzt intern das 15. Perzentil der Beförderungszeit als Referenz, wenn eine theoretische Zeit benötigt wird.

4.4 Anmeldedaten an Lichtsignalanlagen der VAG Nürnberg

4.4.1 Beschreibung der Daten und der Ergebnisgrößen

An den Lichtsignalanlagen der VAG werden die von den Fahrzeugen zur An- und Abmeldung gesendeten Datenfunktelegramme aufgezeichnet und für Auswertungen verwendet. Daten von vier Lichtsignalanlagen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen konnten im Kontext der vorliegenden Untersuchung ausgewertet werden.

Die VAG setzt ein Bake-Funk-System ein. Die Fahrzeuge werden bei der Vorbeifahrt an einer stationären Infrarotbake mit den Angaben für das Senden der Telegramme zur An- und Abmeldung an der oder den nächsten Lichtsignalanlagen versorgt. Die Angaben enthalten die Meldepunktnummern und die jeweilige Entfernung ab der Infrarotbake, bei deren Erreichen das Datenfunktelegramm zu senden ist.

Auf der stationären Seite werden die Datenfunktelegramme empfangen und gespeichert. Für die Beeinflussung der Schaltung der jeweiligen Lichtsignalanlage und die statistische Auswertung ist bekannt, welcher Meldepunkt zu welcher Lichtsignalanlage gehört und welche Bedeutung dieser hat (Voranmeldung, Hauptanmeldung, Abfahrbereitschaft an einer Haltestelle oder Abmeldung).

Die VAG nutzt für die Auswertungen der gespeicherten Datenfunktelegramme eine kommerzielle Software. Die nachfolgenden Beispiele wurden auf der Basis der Rohdaten ausgewertet. Dabei wurden verwendet:

- Uhrzeit des Sendens der Hauptanmeldung
- Uhrzeit des Sendens der Abmeldung
- Fahrzeug-Umlauf

Die Hauptanmeldung befindet sich in einem Abstand zur Haltlinie, der sich aus verkehrstechnischen Parametern und den Bedingungen im Umfeld ergibt. In Fällen mit einer Haltestelle in der Zufahrt zur Lichtsignalanlage wurde die Hauptanmeldung auf die Einfahrt in die Haltestelle festgelegt. Der Punkt der Abmeldung liegt in der Regel 10 Meter hinter der Haltlinie der Lichtsignalanlage.

Der Fahrzeug-Umlauf wird zur Kontrolle der Paarbildung zusammengehörender An- und Abmeldungen verwendet. Neben dem Datum stehen bei der VAG weitere Daten zur Verfügung, die u.a. einen Zusammenhang zu den Schaltprogrammen herstellen. Diese Informationen wurden nicht verwendet.

In den Auswertungen wurden die Zeitdifferenzen zwischen An- und Abmeldung verwendet. In der folgenden Tabelle wird die berechnete Größe erläutert.

Abkürzung	Bezeichnung	Erläuterungen
DZ	Durchfahrtzeit	Zeitdifferenz zwischen Hauptanmeldung und Abmeldung. Die Durchfahrtzeit schließt Fahren und Stehen (u.a. an Haltestellen) ein. <i>Hinweis:</i> Die Meldepunkte (An-/Abmeldung) können allgemein als Messpunkte angesehen werden. Die Uhrzeiten des Passierens lassen sich auch mit anderen Messungen erfassen. Dabei muss kein Zusammenhang mit einer Lichtsignalanlage bestehen. In gleicher Weise könnte auch die Befahrung eines Straßenabschnitts ausgewertet werden.

Tab. 14: Übersicht über die aus den LSA-Anmeldedaten ermittelbaren Ergebnisgrößen

Mit der Durchfahrtzeit kann die mittlere Geschwindigkeit im Abschnitt berechnet werden.

Für den Abschnitt zwischen Hauptanmeldung und Abmeldung kann die ideale Fahrtzeit berechnet werden. Zu beachten ist dabei, dass Punkte außerhalb des Abschnitts die Geschwindigkeiten im Abschnitt beeinflussen können. Beispielsweise kann eine Haltestelle nach der Lichtsignalanlage dazu führen, dass der Punkt für den Bremseninsatz zum Halt an der Haltestelle im Abschnitt zwischen Hauptanmeldung und Abmeldung liegt.

Beim Vergleich der idealen Fahrtzeit mit den Durchfahrtzeiten ist zu beachten, dass u.a. der Zeitpunkt des Anzeigens der Freigabe der von den ÖPNV-Fahrzeugen benötigten Richtung darüber entscheidet, ob die ideale Fahrtzeit erreicht wird. Dafür müsste die Freigabe spätestens dann erscheinen, wenn sich das Fahrzeug am Bremseninsatzpunkt für eine normale betriebliche Bremsung bis zum Halt an der Haltlinie befindet.

Die Daten lassen keine Aussage darüber zu, ob im Abschnitt bzw. an der Haltlinie der Lichtsignalanlage gehalten wurde oder ob es an Haltestellen einen Fahrgastwechsel gab bzw. wie lange die Türen geöffnet waren.

4.4.2 Durchgeführte Arbeiten

Die VAG Nürnberg hat die Daten für vier Lichtsignalanlagen in CSV-Dateien sowie ergänzende Informationen zur Verfügung gestellt. Die Auswertungen wurden mit Excel durchgeführt. Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung wurden u.a. Doubletten (mehrfach enthaltene Telegramme zu gleichen Durchfahrtsvorgängen) und Ausreißer ermittelt und ausgeschlossen.

Die überlassenen Daten stammen aus dem Zeitraum 09.01.2023 bis zum 12.01.2023. In den Auswertungen wurde die gesamte Betriebszeit zwischen 04:00 bis 25:00 Uhr betrachtet.

Pro Lichtsignalanlage und Richtung standen für die Auswertungen zu den Lichtsignalanlagen im Verlauf der Erlanger Straße zwischen 635 und 660 Fahrten sowie für die Lichtsignalanlage 626 ca. 460 Fahrten zur Verfügung (bereits nach dem Ausschluss von Doubletten, Ausreißern und sonstigen nicht plausiblen Datensätzen). Die Daten geben die Anmeldungen der Straßenbahnlinie 4 an. Für die Lichtsignalanlage 626 stammen die Daten von der Straßenbahnlinie 6.

Für die Diagramm-Darstellung der Durchfahrzeiten wurden zusätzlich berechnet:

- ideale Fahrtzeit, wobei beim Vorhandensein einer Haltestelle im Abschnitt oder nach dem Knoten von einem Halt ausgegangen wurde
- Fahrtzeit mit Halt an der Haltlinie und einer Dauer des Halts von 0 s (bei Zufahrten ohne Haltestelle)
- ideale Fahrtzeit mit mittlerer Haltestellenaufenthaltszeit, soweit ein Wert für die Fahrgastwechselzeit aus dem Fahrgastzählssystem bekannt war (bei Zufahrten mit Haltestelle)

Am Beispiel der Lichtsignalanlage 315 wird nachfolgend gezeigt, wie sich die Abschnittsbildungen für die Berechnung der idealen Fahrtzeit ergeben: Der Null-Punkt der Entfernungen ist jeweils der Ort der Hauptanmeldung.

Richtung nach „Am Wegfeld“ (Anmeldeabschnitt ohne Haltestelle, diese folgt nach dem Knoten):

- Hauptanmeldung (0 m)
- Bremseninsatz für Halt an der Haltestelle (244 m)
- Haltlinie mit Wechsel der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 60 auf 50 km/h (275 m)
- Abmeldung (285 m)
- Haltestelle (360 m)

Die Haltestelle liegt außerhalb des Anmeldeabschnitts, führt aber zum Einsetzen des Bremsens innerhalb des Abschnitts.

Richtung nach „Gibitzenhof“ (Anmeldeabschnitt mit Haltestelle an der Haltlinie der LSA):

- Bremseninsatz für Halt an der Haltestelle (-81 m)
- Hauptanmeldung (0 m)
- Haltlinie mit Wechsel der zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 60 auf 50 km/h (35 m)
- Abmeldung (45 m)

Das Bremsen für den Halt an der Haltestelle muss bereits vor dem Anmeldeabschnitt beginnen.

4.4.3 Lichtsignalanlage 314: Erlanger Straße / Marienbergstraße

Richtung Am Wegfeld

Die Tabelle gibt die Merkmale der Zufahrtstrecke sowie die ermittelte mittlere Durchfahrtzeit an.

Merkmal	Werte	Erläuterungen
Linie	4	Montag bis Freitag (Schule)
Meldepunkte	Hauptanmeldung Abmeldung	Abstand 385 m
Haltestelle	keine	Haltestelle nach dem Knoten Bremseninsatz im Anmeldeabschnitt
zulässige Höchstgeschwindigkeit	50 bzw. 60 km/h	60 km/h im Bereich des eigenen Bahnkörpers 50 km/h bei der Befahrung des Knoten
ideale Fahrtzeit	23,3 s	Verzögerung: 1,2 m/s ² Beschleunigung: 1,0 m/s ² (Strecke von 10 m)
theoretische Fahrtzeit bei einem Halt	33,9 s	Bei Halt an der Haltlinie mit der Dauer 0 s
mittlere Durchfahrtzeit	34,8 s	

Tab. 15: Merkmale der Zufahrt zur LSA 314, Nürnberg, in Richtung Am Wegfeld

Das folgende Diagramm zeigt alle Durchfahrtzeiten, die in der Auswertung berücksichtigt wurden.

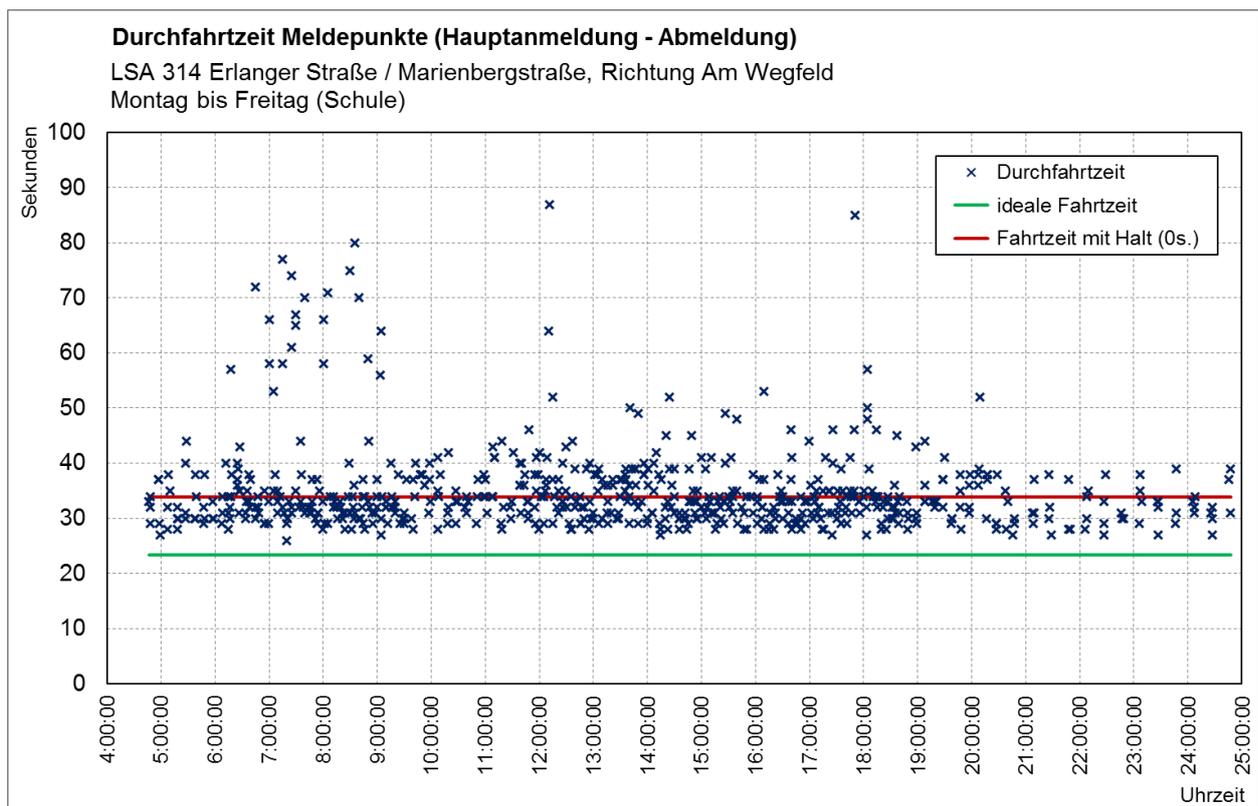


Abb. 23: Durchfahrtzeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 314, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

Das Diagramm zeigt eine überwiegend stabile Situation. Insbesondere am Morgen gibt es mehrere Fahrten die teils längere Zeit zum Stehen gekommen sind (Durchfahrtzeit größer 45 bis 50 s). Am Nachmittag und frühen Abend kommt es zu etwas höheren Durchfahrtzeiten.

Die mittlere Durchfahrtzeit beträgt 34,8 s. Die ideale Fahrtzeit wird nicht erreicht (grüne Linie). Bei den Fahrten, deren Durchfahrtzeiten unter bzw. etwas über der roten Linie liegen, kann davon ausgegangen werden, dass die Zufahrt zur Lichtsignalanlage verzögert erfolgte, ohne dass es zum Halt kam.

Richtung Gibitzenhof

Die Tabelle gibt die Merkmale der Zufahrtstrecke sowie die ermittelte mittlere Durchfahrtzeit an.

Merkmal	Werte	Erläuterungen
Linie	4	Montag bis Freitag (Schule)
Meldepunkte	Hauptanmeldung Abmeldung	Abstand 420 m
Haltestelle	keine	Haltestelle nach dem Knoten Bremseninsatz im Anmeldeabschnitt
zulässige Höchstgeschwindigkeit	50 bzw. 60 km/h	60 km/h im Bereich des eigenen Bahnkörpers 50 km/h bei der Befahrung des Knoten
ideale Fahrtzeit	25,4 s	Verzögerung: 1,2 m/s ² Beschleunigung: 1,0 m/s ² (Strecke von 10 m)
theoretische Fahrtzeit bei einem Halt	36,0 s	Bei Halt an der Haltlinie mit der Dauer 0 s
mittlere Durchfahrtzeit	34,7 s	

Tab. 16: Merkmale der Zufahrt zur LSA 314, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

Das folgende Diagramm zeigt alle Durchfahrtzeiten, die in der Auswertung berücksichtigt wurden.

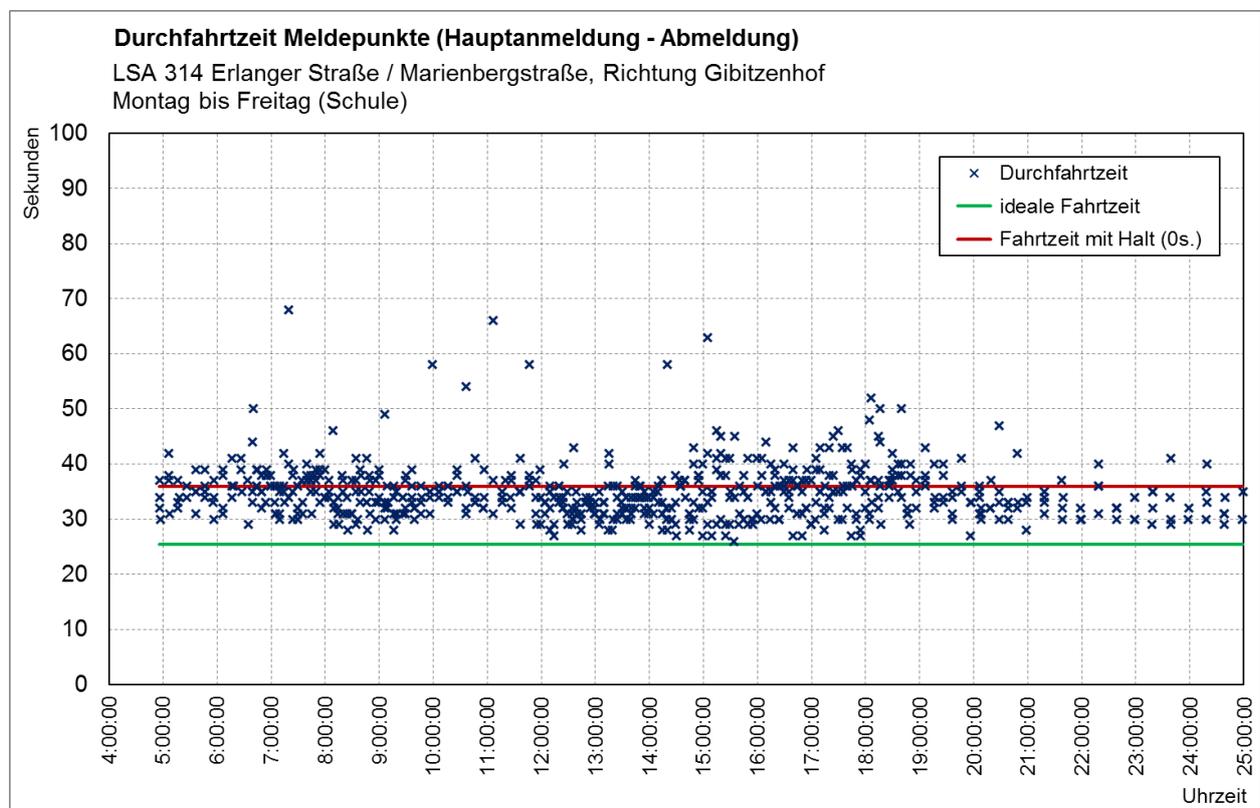


Abb. 24: Durchfahrtzeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 314, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

Das Diagramm zeigt eine stabile Situation. Bei wenigen Fahrten kann angenommen werden, dass diese zum Stehen gekommen sind (Durchfahrtzeit größer 45 bis 50 s). Am Nachmittag und frühen Abend kommt es zu etwas höheren Durchfahrtzeiten.

Die mittlere Durchfahrtzeit beträgt 34,7 s. Die Durchfahrtzeiten der schnellsten Fahrten erreichen fast die ideale Fahrtzeit (grüne Linie). Die rote Linie macht deutlich, dass nur wenige Fahrten halten müssen.

4.4.4 Lichtsignalanlage 315: Erlanger Straße / Schleswiger Straße

Richtung Am Wegfeld

Die Tabelle gibt die Merkmale der Zufahrtstrecke sowie die ermittelte mittlere Durchfahrtzeit an.

Merkmal	Werte	Erläuterungen
Linie	4	Montag bis Freitag (Schule)
Meldepunkte	Hauptanmeldung Abmeldung	Abstand 285 m
Haltestelle	keine	Haltestelle nach dem Knoten Bremseninsatz im Anmeldeabschnitt
zulässige Höchstgeschwindigkeit	50 bzw. 60 km/h	60 km/h im Bereich des eigenen Bahnkörpers 50 km/h bei der Befahrung des Knoten
ideale Fahrtzeit	17,4 s	Verzögerung: 1,2 m/s ² Beschleunigung: 1,0 m/s ² (Strecke von 10 m)
theoretische Fahrtzeit bei einem Halt	27,9 s	Bei Halt an der Haltlinie mit der Dauer 0 s
mittlere Durchfahrtzeit	29,7 s	

Tab. 17: Merkmale der Zufahrt zur LSA 315, Nürnberg, in Richtung Am Wegfeld

Das folgende Diagramm zeigt alle Durchfahrtzeiten, die in der Auswertung berücksichtigt wurden.

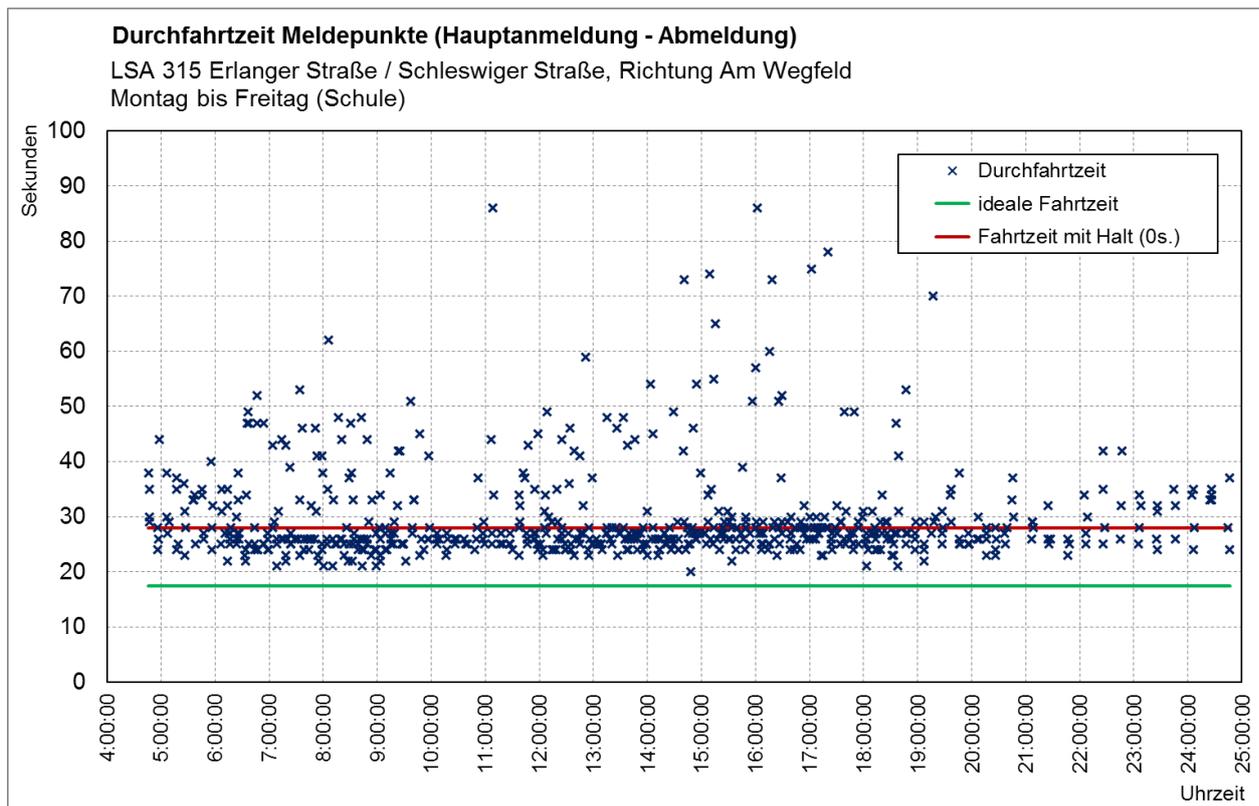


Abb. 25: Durchfahrtszeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 315, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

Gegenüber der Lichtsignalanlage 314 in der gleichen Richtung fällt die etwas stärkere Streuung auf. Trotzdem kann der überwiegende Teil der Fahrten den Knoten mit nur geringen Verzögerungen passieren.

Die mittlere Durchfahrtszeit beträgt 34,8 s. Die ideale Fahrtzeit wird nicht erreicht (grüne Linie).

Richtung Gibitzenhof

Die Tabelle gibt die Merkmale der Zufahrtstrecke sowie die ermittelte mittlere Durchfahrtszeit an.

Merkmal	Werte	Erläuterungen
Linie	4	Montag bis Freitag (Schule)
Meldepunkte	Hauptanmeldung Abmeldung	Abstand 45 m
Haltestelle	an Haltlinie	
zulässige Höchstgeschwindigkeit	50 bzw. 60 km/h	60 km/h im Bereich des eigenen Bahnkörpers 50 km/h bei der Befahrung des Knoten
ideale Fahrtzeit	12,1 s	Halt an Haltlinie/Haltestelle Verzögerung: 1,2 m/s ² Beschleunigung: 1,0 m/s ² (Strecke von 10 m)
ideale Fahrtzeit mit mittlerer Haltestellenaufenthaltszeit (theoretische Durchfahrtszeit)	29,6 s	06:00 bis 20:00 Uhr
mittlere Durchfahrtszeit	33,7 s	

Tab. 18: Merkmale der Zufahrt zur LSA 315, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

Das folgende Diagramm zeigt alle Durchfahrtszeiten, die in der Auswertung berücksichtigt wurden.

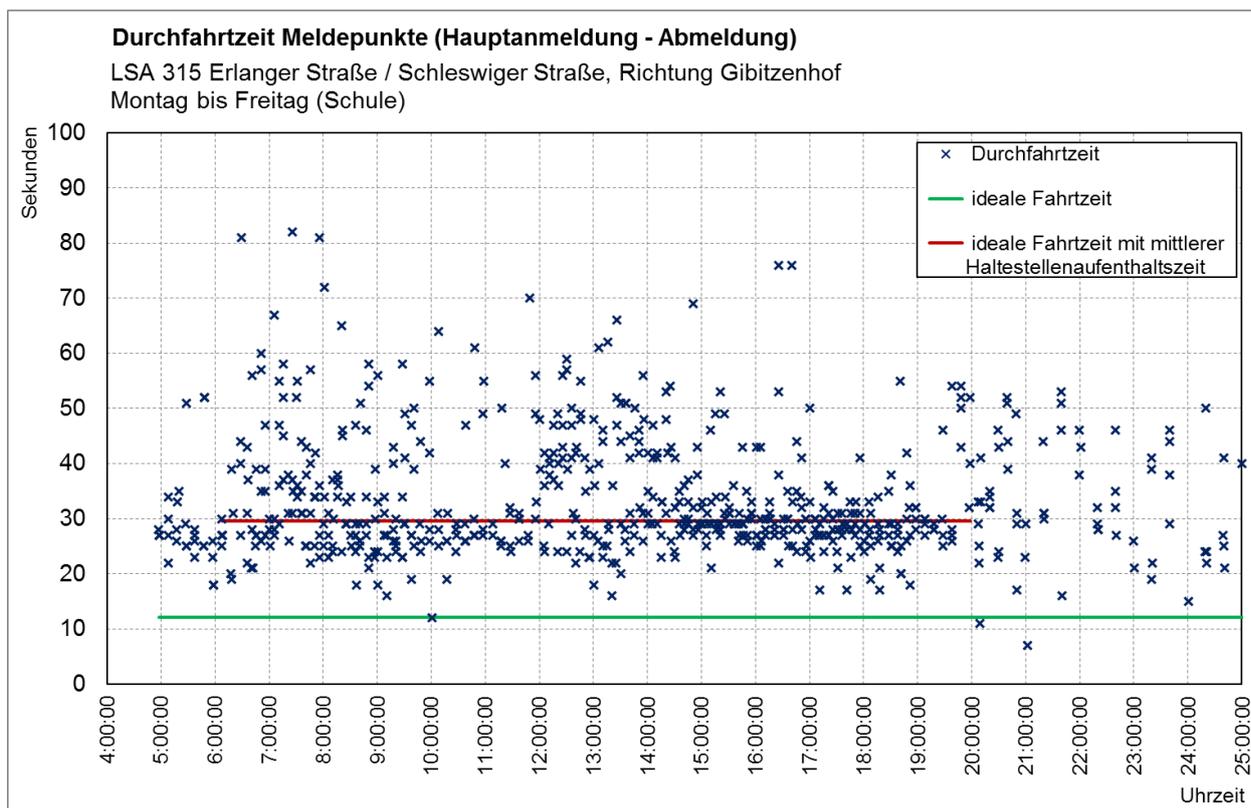


Abb. 26: Durchfahrtszeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 315, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

Gegenüber den zuvor dargestellten Beispielen gibt es im Anmeldeabschnitt eine Haltestelle. Diese liegt an der Haltlinie der Lichtsignalanlage. Die Hauptanmeldung wird bei der Einfahrt in die Haltestelle gesendet.

Die Streuung der Durchfahrtszeiten ist hoch. Zwischen 06:00 und 20:00 Uhr gibt es eine gewisse Konzentration der Werte um die theoretische Durchfahrtszeit (ideale Fahrzeit zzgl. mittlerer Haltestellenaufenthaltszeit – rote Linie). Die betreffenden Fahrten könnten einen Fahrgastwechsel einschließen. Eine zuverlässige Aussage dazu ist aber nicht möglich, da das Anmeldeverfahren mit dem kurzen Abstand zwischen Hauptanmeldung und Abmeldung zu einem Halt führen muss, wenn nicht zufällig eine Freigabe ansteht.

Die mittlere Haltestellenaufenthaltszeit wurde für den Zeitraum 06:00 und 20:00 Uhr bestimmt, da in dieser Zeit fast alle Fahrten einen Fahrgastwechsel aufweisen. Das ist die Voraussetzung für den Vergleich mit der theoretischen Durchfahrtszeit. Entsprechend deckt die rote Linie nur diesen Zeitraum ab. Außerhalb des Zeitbereichs ist der Anteil an Fahrten ohne Fahrgastwechselzeit höher und der Vergleich nicht mehr zweckmäßig.

Schnellere Fahrten als die ideale Fahrtszeit sind möglich. In diesen Fällen wird kein Fahrgastwechsel benötigt und die Freigabe für eine Durchfahrt ohne Halt steht an.

4.4.5 Lichtsignalanlage 316: Erlanger Straße / Cuxhavener Straße

Richtung Am Wegfeld

Die Tabelle gibt die Merkmale der Zufahrtstrecke sowie die ermittelte mittlere Durchfahrtszeit an.

Merkmak	Werte	Erläuterungen
Linie	4	Montag bis Freitag (Schule)
Meldepunkte	Hauptanmeldung Abmeldung	Abstand 220 m
Haltestelle	keine	Haltestelle nach dem Knoten Bremseninsatz im Anmeldeabschnitt

zulässige Höchstgeschwindigkeit	50 bzw. 60 km/h	60 km/h im Bereich des eigenen Bahnkörpers 50 km/h bei der Befahrung des Knoten
ideale Fahrtzeit	13,4 s	Verzögerung: 1,2 m/s ² Beschleunigung: 1,0 m/s ² (Strecke von 10 m)
theoretische Fahrtzeit bei einem Halt	24,0 s	Bei Halt an der Haltlinie mit der Dauer 0 s
mittlere Durchfahrtzeit	23,4 s	

Tab. 19: Merkmale der Zufahrt zur LSA 316, Nürnberg, in Richtung Am Wegfeld

Das folgende Diagramm zeigt alle Durchfahrtzeiten, die in der Auswertung berücksichtigt wurden.

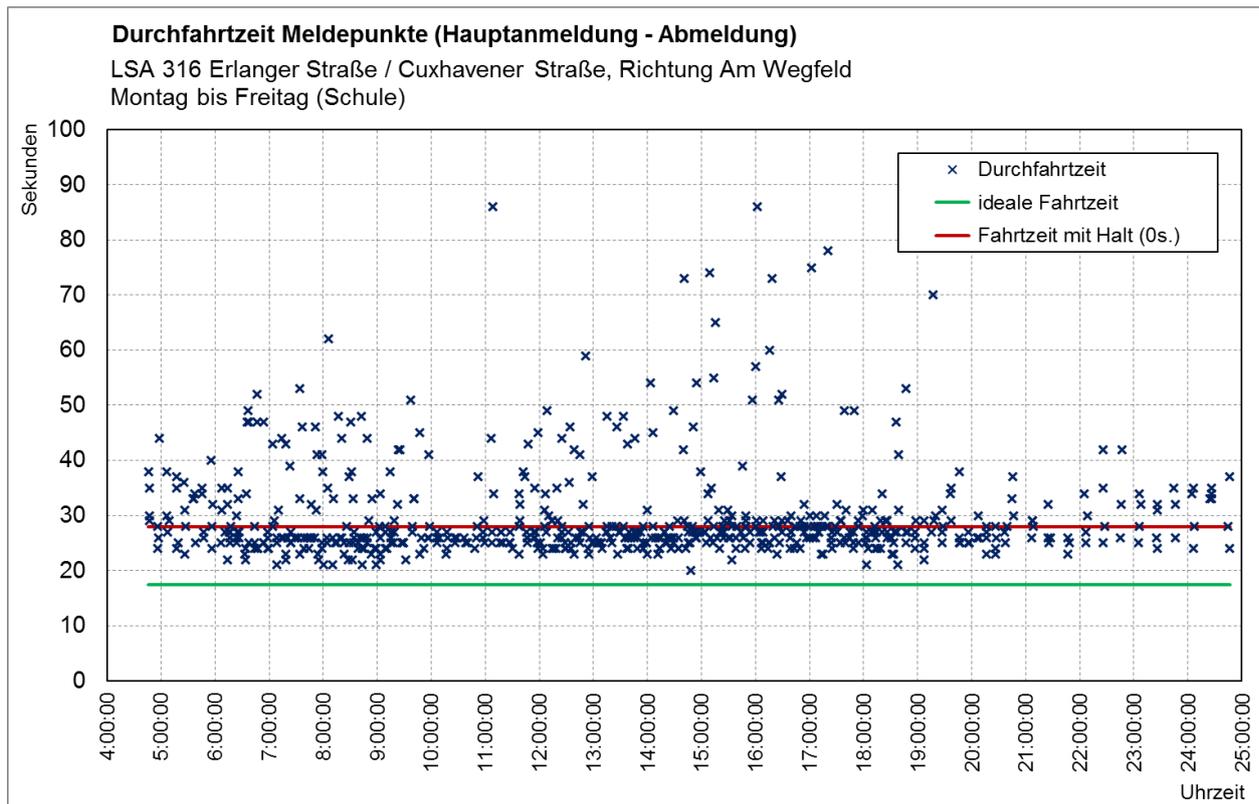


Abb. 27: Durchfahrtzeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 316, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

Für die Lichtsignalanlage 316 ergibt sich in Richtung Am Wegfeld eine Situation, wie sie bereits bei den vorherigen Beispielen vorlag. Der größte Teil der Fahrten weist eine geringe Verzögerung auf. Die Fahrten kommen vermutlich nicht zum Stehen. Nur wenige Fahrten kommen auf hohe Durchfahrtzeiten, wobei diese Fälle eher am Nachmittag auftreten.

Die mittlere Durchfahrtzeit beträgt 23,4 s, was fast dem Zeitbedarf bei einem Halt mit der Dauer 0 s entspricht.

Richtung Gibitzenhof

Die nachfolgende Tabelle gibt die Merkmale der Zufahrtstrecke sowie die ermittelte mittlere Durchfahrtzeit an.

Merkmal	Werte	Erläuterungen
Linie	4	Montag bis Freitag (Schule)
Meldepunkte	Hauptanmeldung Abmeldung	Abstand 45 m

Haltestelle	an Haltlinie	
zulässige Höchstgeschwindigkeit	50 bzw. 60 km/h	60 km/h im Bereich des eigenen Bahnkörpers 50 km/h bei der Befahrung des Knoten
ideale Fahrtzeit	12,1 s	Halt an Haltlinie/Haltestelle Verzögerung: 1,2 m/s ² Beschleunigung: 1,0 m/s ² (Strecke von 10 m)
ideale Fahrtzeit mit mittlerer Haltestellenaufenthaltszeit (theoretische Durchfahrzeit)	25,6 s	06:00 bis 20:00 Uhr
mittlere Durchfahrzeit	33,6 s	

Tab. 20: Merkmale der Zufahrt zur LSA 316, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

Das folgende Diagramm zeigt alle Durchfahrzeiten, die in der Auswertung berücksichtigt wurden.

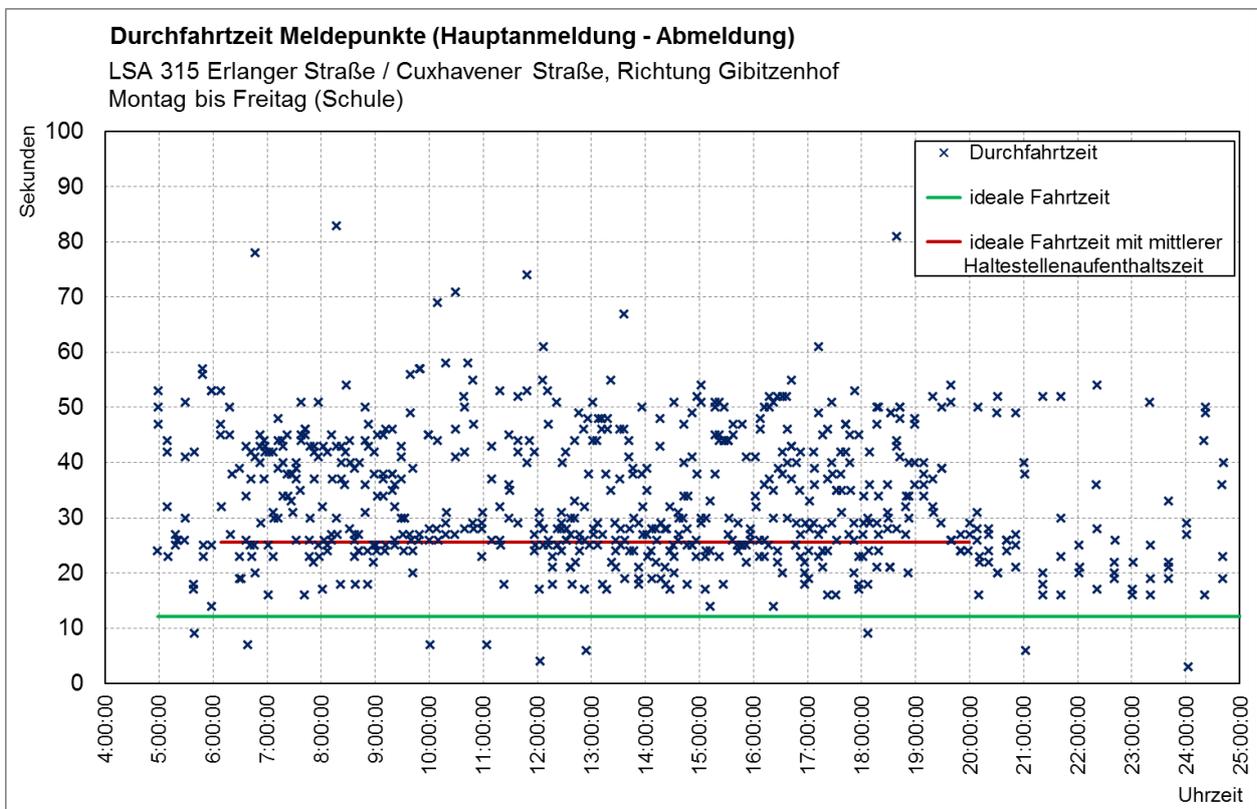


Abb. 28: Durchfahrzeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 316, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

Die Durchfahrzeiten an der Lichtsignalanlage 316 in Richtung Gibitzenhof weisen im gesamten Tagesverlauf eine starke Streuung auf. Relativ viele Fahrten werden über die Fahrgastwechselzeit hinaus eine weitere Standzeit mit geschlossener Tür haben.

Es gibt auch einige Fahrten, die schneller sind als die ideale Fahrtzeit, die mit einem Halt an der Haltestelle berechnet wurde. Bei diesen Fahrten kombiniert sich der Wegfall des Fahrgastwechsels mit der Freigabe zum Befahren des Knotens, die vermutlich unabhängig von der Anmeldung anliegt.

4.4.6 Lichtsignalanlage 626: Wölkernstraße / Pillenreuther Straße

Für die Lichtsignalanlage 626 wird nur eine Richtung betrachtet, die durch Linksabbieger in der Gleistrasse eine Besonderheit aufweist. Die Tabelle gibt die Merkmale der Zufahrtstrecke sowie die ermittelte mittlere Durchfahrtszeit an (Richtung von der Haltestelle Hummelsteiner Weg zur Haltestelle Aufseßplatz).

Merkmals	Werte	Erläuterungen
Linie	6	Montag bis Freitag (Schule)
Meldepunkte	Hauptanmeldung Abmeldung	Abstand 230 m
Haltestelle	keine	
zulässige Höchstgeschwindigkeit	50 km/h	Gleistrasse im Bereich der unmittelbaren Zufahrt zum Knoten dient als Spur für das Linksabbiegen. Die Straßenbahnen fahren geradeaus.
ideale Fahrtszeit	16,6 s	Verzögerung: 1,2 m/s ² Beschleunigung: 1,0 m/s ² (Strecke von 10 m)
theoretische Fahrtszeit bei einem Halt	26,1 s	Bei Halt an der Haltlinie mit der Dauer 0 s.
mittlere Durchfahrtszeit	45,0 s	

Tab. 21: Merkmale der Zufahrt zur LSA 626, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

Das folgende Diagramm zeigt alle Durchfahrtszeiten, die in der Auswertung berücksichtigt wurden.

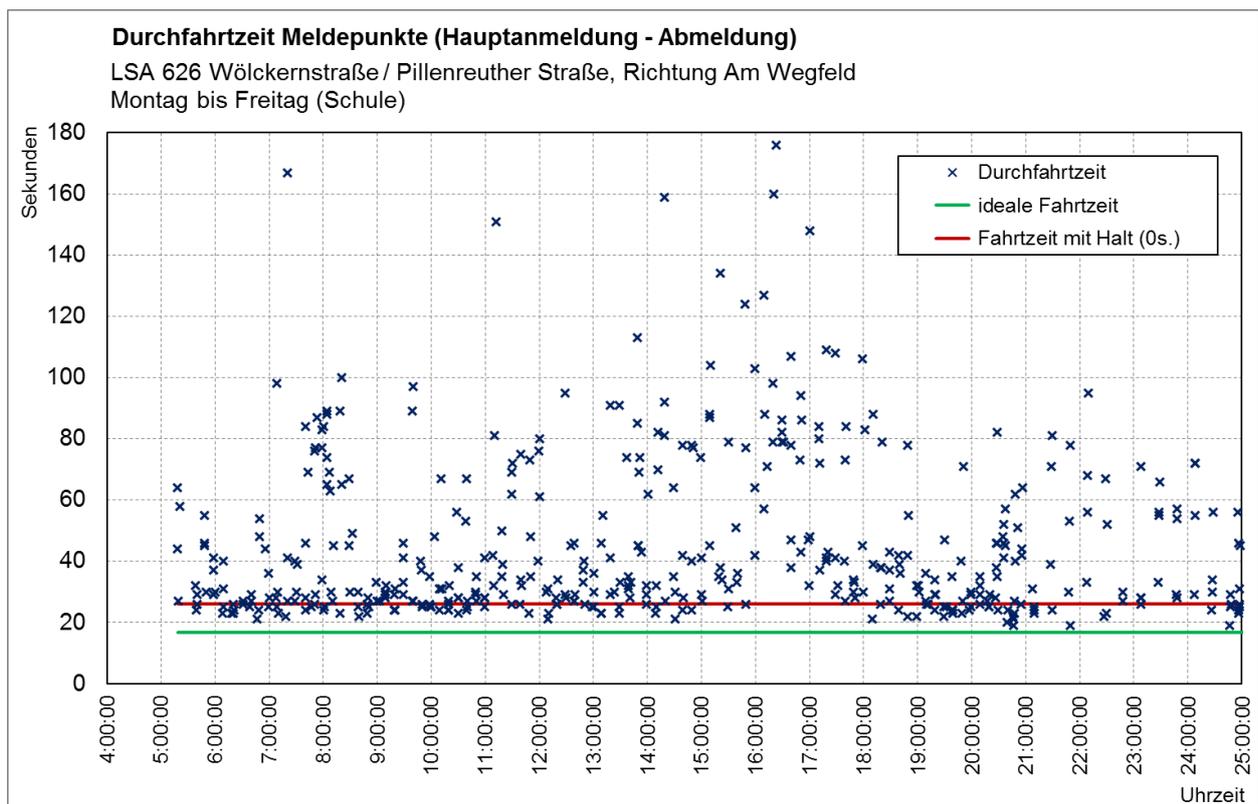


Abb. 29: Durchfahrtszeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 626, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

Die Durchfahrtszeiten weisen eine große Streuung auf (bis zu knapp drei Minuten). Nur bei wenigen Fahrten nach 18:00 Uhr nähert sich die Durchfahrtszeit der idealen Fahrtszeit an. Die Werte um die rote Linie (theoretische Fahrtszeit mit einem Halt der Dauer 0 s) sollten überwiegend Verzögerungen bei der Zufahrt aufweisen. Höhere Werte sollten mit einem oder mehreren Halten verbunden sein. Auffällig sind die hohen

Durchfahrtszeiten um ca. 16:30 Uhr. Möglicherweise liegt hier die regelmäßige kurzzeitige Spitze der Verkehrsbelastung im Individualverkehr.

Die im Vergleich zu den vorherigen Beispielen andere Skalierung der Y-Achse ist zu beachten. Aufgrund der Werte wurde ein Maximum von 180 s benötigt.

4.5 Leitsystemdaten der Hamburger Hochbahn AG (HHA)

4.5.1 Beschreibung der Daten

Aus dem Leitsystem der HHA stehen bereits gebildete Fahrten zur Verfügung. Die Daten geben pro Fahrt und Haltestelle diese gemessenen Zeitpunkte an:

- Einfahrt in den Fangbereich der Haltestelle (normalerweise ca. 30 m vor dem Mast)
- früheste Türöffnung
- späteste Türschließung
- Ausfahrt aus dem Fangbereich der Haltestelle (normalerweise ca. 10 m hinter dem Mast)

Der Mast soll sich in der Regel an der Halteposition befinden.

Unter dem Fangbereich wird der Bereich um die Haltestelle verstanden, in dem die Halte der Haltestelle zugeordnet werden.

Die Zeitpunkte der Türöffnung entsprechen der Systematik im System FadaPlus, mit dem die Messungen in Krefeld durchgeführt wurden. Die Fahrgastwechselzeiten sind vergleichbar.

Der pro Fahrt eingesetzte Fahrzeugtyp ist bekannt.

4.5.2 Durchgeführte Arbeiten

Die Auswertung der Daten war ursprünglich nicht vorgesehen. Es wurde aber die Möglichkeit genutzt, diese zur Verifizierung von Erkenntnissen aus den Messungen in Krefeld zu verwenden. Ausgewertet wurden:

- die Fahrgastwechselzeiten
- die Zeit zwischen dem letzten Türschließen und dem Verlassen des Fangbereichs der Haltestelle
- die Fahrzeit in zwei geradlinigen Abschnitten

4.5.3 Fahrgastwechselzeiten

Die Auswertung wurde mit Daten der Linien 181 und 183 an den Wochentagen Montag bis Freitag im Zeitbereich 06:00 bis 18:00 Uhr im Januar 2023 durchgeführt. Bei der Auswertung der Fahrgastwechselzeiten wurden nur Fahrten berücksichtigt, die beim Halt eine Türöffnung hatten. Extremwerte und die Fahrgastwechselzeiten an Haltestellen mit langen Halten wurden nicht berücksichtigt. Die Auswertung erfolgte differenziert nach Fahrzeugtypen. Fahrzeugtypen mit geringer Stichprobe wurden nicht berücksichtigt. Es erfolgte keine Unterscheidung nach den Richtungen der Linien. Die folgenden Tabellen geben die mittleren Fahrgastwechselzeiten nach Fahrzeugtyp an.

Fahrzeugtyp	Türen	Mittelwert der Fahrgastwechselzeit	Höhe der Stichprobe
Schnellbus kurz	zweitürig	14,8 s	14.921
Standardbus	zweitürig/dreitürig	15,5 s	16.960

Tab. 22: Mittlere Fahrgastwechselzeiten, Linie 181, Hamburg

Fahrzeugtyp	Türen	Mittelwert der Fahrgastwechselzeit	Höhe der Stichprobe
Schnellbus kurz	zweitürig	18,0 s	12.141
Standardbus	zweitürig/dreitürig	18,1 s	10.118
Gelenkbus	dreitürig/viertürig	17,7 s	1.015

Tab. 23: Mittlere Fahrgastwechselzeiten, Linie 183, Hamburg

Die Übereinstimmung der Fahrgastwechselzeiten der Fahrzeugtypen innerhalb der Linien ist hoch. Der Unterschied zwischen den beiden Linien könnte sich aus der Nachfrage ergeben. Die Ergebnisse aus Krefeld werden damit bestätigt (in einem städtischen Umfeld).

4.5.4 Reaktionszeit bei der Abfahrt von einer Haltestelle

Die Abfahrten von den Haltestellen wurden ausgewertet, um Erkenntnisse über die Reaktionszeit zwischen dem Schließen der Tür und der Abfahrt zu gewinnen. Die Datenlage ist dabei nicht mit Krefeld vergleichbar, weil der Zeitpunkt der Abfahrt nicht bekannt ist.

Die kürzesten Differenzen zwischen den Zeitpunkten der spätesten Türschließung und Ausfahrt aus dem Fangbereich der Haltestelle (vorgesehene Strecke von 10 m) betragen regelmäßig zwischen 4 s und 5 s. Bei einer Beschleunigung von $0,8 \text{ m/s}^2$ werden für die 10 m rechnerisch 5 s benötigt. Bei $1,0 \text{ m/s}^2$ sind es 4,5 s und bei $1,2 \text{ m/s}^2$ 4 s.

Die Übereinstimmung der gemessenen und der berechneten Werte könnte in der Weise interpretiert werden, dass es in den ausgewerteten Daten keine Reaktionszeit gibt. Das wäre aber unrealistisch.

Bei der Bewertung sind gewisse Unsicherheiten zu berücksichtigen, da der Zeitpunkt des Verlassens der Haltestelle auf GPS-Basis bestimmt wird. Damit die Distanz von 10 m eingehalten wird, müssten die Halteposition des Busses bezogen auf die Position des GPS-Empfängers im bzw. am Fahrzeug und die Mast-Position übereinstimmen sowie der Fehler der ermittelten GPS-Koordinate des Halts gegen Null gehen. Aus den Messungen wurden wiederum nur die kürzesten Zeitdifferenzen ermittelt. Daher ist vorstellbar, dass der gemessene Zeitpunkt der Ausfahrt aus den Haltestellen bei den kurzen Zeitdifferenzen eher der Abfahrt als einer zurückgelegten Strecke von 10 m zuzurechnen ist.

Die in Krefeld ermittelten Reaktionszeiten können aufgrund der Merkmale der verfügbaren Daten weder bestätigt noch widerlegt werden.

4.5.5 Fahrzeiten und Beschleunigung

Zur Bewertung der Beschleunigung und Verzögerung wurden die Fahrzeiten über zwei geradlinige Abschnitte von Haltestelle zu Haltestelle ausgewertet (Linie 142: Lohmannsweg nach Eißendorfer Pferdeweg (Mitte) sowie Linien 145/245/345: Marmstorfer Kirche nach Nymphenweg). Die betrachteten Abschnitte beginnen und enden jeweils in Haltestellenbuchten. Die Berechnung der idealen Fahrzeit erfolgte mit der Planentfernung.

Die fahrtbezogenen gemessenen Fahrzeiten wurden aus den Zeitpunkten des Türschließens an der Anfangshaltestelle und dem Erreichen des Einfangbereichs der nachfolgenden Haltestelle (ca. 30 m vor der Halteposition) zzgl. der theoretischen Fahrzeit für die letzten 30 m ermittelt (bei Verzögerung von $1,2 \text{ m/s}^2$). Auf diese Weise wurden eventuelle Verzögerungen bei der Einfahrt in die Haltestelle und bis zur ersten Türöffnung ausgeschlossen.

Die schnellsten Fahrten sollten einen Hinweis darauf geben, welche Fahrzeiten bei angenommen störungsfreier Fahrt erreicht werden. Bei einer Annahme des Fahrens mit Höchstgeschwindigkeit können Differenzen zur idealen Fahrzeit auf die Beschleunigung und Verzögerung zurückgeführt werden. Die Messungen in Krefeld haben eine hohe Plausibilität der Verzögerung von $1,2 \text{ m/s}^2$ ergeben. Aus diesem Grund wurde nur die Beschleunigung in den Stufen $0,8 / 1,0 / 1,2 \text{ m/s}^2$ variiert.

Im Abschnitt Lohmannsweg nach Eißendorfer Pferdeweg (Mitte) ist die schnellste ermittelte Fahrzeit weniger als eine Sekunde kürzer als die ideale Fahrzeit bei der Beschleunigung mit $1,2 \text{ m/s}^2$. Das erste Perzentil

ist bereits länger als die ideale Fahrzeit bei der Beschleunigung mit $0,8 \text{ m/s}^2$. Für die Auswertung standen 1.558 Fahrten (Gelenkbus) zur Verfügung (Türöffnung an beiden Haltestellen des Abschnitts).

Zwischen Marmstorfer Kirche nach Nymphenweg ist die schnellste ermittelte Fahrzeit eine Sekunde kürzer als die ideale Fahrzeit bei der Beschleunigung mit $1,2 \text{ m/s}^2$. Das erste Perzentil stimmt mit der idealen Fahrzeit bei der Beschleunigung mit $1,0 \text{ m/s}^2$ überein. Das zehnte Perzentil entspricht der idealen Fahrzeit bei einer Beschleunigung mit $0,8 \text{ m/s}^2$. Diese Auswertung konnte mit 881 Fahrten (Schnellbus kurz und Solobus) durchgeführt werden.

Die aus Hamburg vorliegenden Daten erforderten eine andere Vorgehensweise bei der Schätzung der Beschleunigung als die Daten aus Krefeld. Trotzdem zeigt sich eine gute Übereinstimmung bei der Herleitung realistischer Werte für die Beschleunigung. Für die beiden Beispiele aus Hamburg sei nochmals darauf verwiesen, dass die Abschnitte jeweils mit der Ausfahrt aus einer Haltestellenbucht beginnen.

4.6 Leitsystemdaten der Kölner Verkehrs-Betriebe AG (KVB)

Aus Köln standen Daten der Stadtbahnlinie 1 (West-Abschnitt zwischen Heumarkt und Weiden West) zur Verfügung. Die bereits aggregierten Daten stammten aus einer Reisezeitauswertung.

Von Haltestelle zu Haltestelle lagen die Durchfahrtszeiten für alle 10 m vor. Im Bereich der Haltestellen gab es den letzten Wert in diesem Raster vor dem Halt bzw. vor der Unterschreitung der Geschwindigkeit von 2 km/h . Bei der Abfahrt bzw. der Überschreitung der Geschwindigkeit von 2 km/h wurde das Raster von 10 m neu aufgenommen. Die Zeitpunkte der Türöffnung bzw. des Türschließens sind nicht vorhanden.

Leider waren die aggregierten Daten nicht dazu geeignet, eine Schätzung der möglichen Beschleunigung vorzunehmen, wie sie für die Messungen in Krefeld und Hamburg durchgeführt wurden. Die von den KVB bereits ausgewerteten 16. Perzentile lassen aber vermuten, dass eine Beschleunigung mit $1,2 \text{ m/s}^2$ nicht erreicht wird.

In der Auswertung rechnen die KVB bei der Annäherung an die Höchstgeschwindigkeit mit einer abnehmenden Beschleunigung. Als Wert für die Verzögerung wird $1,0 \text{ m/s}^2$ verwendet.

5 Zwischenfazit/Mängelanalyse

Bei der Anwendung des Kapitels S7 des HBS 2015 haben sich in der Praxis einige Probleme herauskristallisiert, in deren Folge das Verfahren in Deutschland bisher kaum Anwendung findet. Das Verfahren ist nicht durchgängig bekannt und wird von mehr als der Hälfte der im Expertenworkshop vertretenen Städte und Verkehrsunternehmen nicht genutzt. Das Wissen darüber ist in den Kommunen eher gegeben als in den ÖPNV-Unternehmen bzw. Aufgabenträgern. Dabei stehen verschiedene Gründe einer Anwendung entgegen.

5.1 Einschränkungen in Verfahren aus anderen Kapiteln des HBS

Das Kapitel S7 verweist an mehreren Stellen auf andere Kapitel des HBS, da die darin beschriebenen Verfahren auch als Teilschritte zu Berechnungen der idealen Beförderungsgeschwindigkeit herangezogen werden müssen (vgl. unten stehende Tabelle).

So ist das Verfahren nach Kapitel S4 des HBS zur Bestimmung der Verkehrsqualität an lichtsignalgeregelten Knotenpunkten nicht für verkehrsunabhängige LSA-Steuerungen anwendbar. Da diese allerdings sehr stark verbreitet sind, kann das bisherige Verfahren nach Kapitel S7 des HBS häufig nicht angewendet werden. Alternative Verfahren (u.a. Simulationen) sind möglich, stellen aber aufgrund des erhöhten Aufwandes ein praktisches Anwendungshindernis dar. Diese Einschränkung in Kapitel S4 des HBS selbst kann in diesem Projekt nicht gelöst werden, da die Beschränkungen der Anwendbarkeit des Kapitels S4 des HBS nicht Gegenstand des vorliegenden Projekts sind. Daher sollte im Kapitel S7 des HBS ein Vorschlag für ein alternatives Verfahren mit möglichst einfacher Anwendungsmöglichkeit aufgenommen werden. Auch in Kapitel S3 des HBS gibt es einzelne Einschränkungen, die sich auf die Anwendbarkeit von Kapitel S7 des HBS (Führung des ÖPNV im Mischverkehr) auswirken können. So gilt das Verfahren des Kapitels S3 nur für anbaufreie Hauptverkehrsstraßen der Kategoriengruppe VS mit den Verbindungsfunktionsstufen II und III und Strecken von angebauten Hauptverkehrsstraßen der Kategoriengruppe HS mit den Verbindungsfunktionsstufen III und IV gemäß den RIN (2008) bei zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 70 km/h oder 50 km/h (anbaufrei) bzw. 50 km/h (angebaut). Für Strecken mit zulässiger Höchstgeschwindigkeit unter 50 km/h (z.B. 30er-Zonen) oder Erschließungsstraßen, in denen auch der ÖPNV verkehrt, kann das Verfahren somit nicht angewandt werden. Mit dieser und weiteren Einschränkungen können komplette Linienverläufe damit in der Regel nicht mit dem aktuellen rechnerischen Verfahren bewertet werden. Diese Einschränkungen können in diesem Projekt nicht behoben werden.

Verweise in HBS Kap. S7 auf andere Kapitel des HBS nach Verweisziel

Verweisziel	Fundstelle	Thema	Einschränkungen				
S2	S7.3.3	Bestimmung Bemessungsverkehrsstärke ÖPNV und Kfz	keine				
S3	S7.1.1, S7.4.3	Teilabschnitte mit Mischverkehr: zu erwartende mittlere Fahrtgeschwindigkeit Kfz-Verkehr (= ÖPNV)	Verfahren S3 gilt nur für anbaufreie Hauptverkehrsstraßen der Kategoriengruppe VS mit den Verbindungsfunktionsstufen II und III und Strecken von angebauten Hauptverkehrsstraßen der Kategoriengruppe HS mit den Verbindungsfunktionsstufen III und IV gemäß den RIN (2008)				
			zul. Höchstgeschwindigkeit 70km/h o. 50km/h (anbaufrei) bzw. 50km/h (angebaut)				
			gilt nicht bei gemeinsam genutztem straßenbündigem Bahnkörper				
			gilt nicht bei regelmäßiger und erheblicher gemeinsamer Nutzung mit Radverkehr				
			nicht anwendbar bei mehr als zwei Richtungsfahrstreifen				
			Störungen durch Linksabbieger ohne separaten Abbiegestreifen müssen nach Anzahl und Dauer unerheblich sein				
			Querungen durch Fußgänger an Fußgängerüberwegen oder lichtsignalgeregelten Querungen müssen nach Anzahl und Dauer unerheblich sein				
S3	S7.3.1	Beförderungsgeschwindigkeit des ÖPNV auf Mischverkehrsstrecken (Erschließungsfunktion, Fahrstreifenanzahl, Verkehrsstärke Kfz und Rad)	s.o.				
			S7.3.2	Festlegung der Netzabschnitte und Teilabschnitte (Nebenknotenpunkte)	neue Teilstrecke, wenn sich eine der unter S3.3.1 genannten Einflussgrößen wesentlich ändert; Mindestlänge und Abschnittwechsel an Knoten und Haltestellen müssen beachtet werden		
					S7.5	spezifische Parameter	keine
					S7.6	Teilabschnitte mit Mischverkehr: Hinweise	keine
					S4	S7.1.1, S7.4.3	Teilabschnitte mit Mischverkehr: mittlere Wartezeit an Knotenpunkten mit LSA
gesondertes Verfahren bei Koordinierung mehrerer LSA-Knoten oder sich gegenseitig beeinflussender Knoten							
S4	S7.5	spezifische Parameter	keine				
			S5	S7.1.1, S7.4.3	Teilabschnitte mit Mischverkehr: mittlere Wartezeit an Knotenpunkten ohne LSA	nicht anwendbar, wenn durchgehende Hauptstraße mehr als zwei Fahrstreifen pro Richtung aufweist	
S7.5	spezifische Parameter	keine					

Tab. 24: Verweise im Kapitel 7 auf andere Kapitel des HBS

5.2 Einschränkungen aufgrund fehlender Daten

Eine weitere Hürde bei der Anwendung des Verfahrens nach Kapitel S7 des HBS 2015 ist eine mangelnde Datenverfügbarkeit. Die Anwendung des Verfahrens zur Qualitätssicherung im Bestand findet bisher häufig

nur punktuell statt und nur im Fall vorhandener Messdaten. Häufig liegen die dafür notwendigen Daten allerdings nicht vor. Daten zur Bestimmung der erwarteten Beförderungsgeschwindigkeit sind allerdings schwer zu beschaffen bzw. in der Gewinnung sehr aufwendig. Dadurch ist zum Beispiel bei fehlender Datenverfügbarkeit die Berechnung der zu erwartenden Beförderungsgeschwindigkeit für komplette Linien kaum realistisch. Dies stellt somit ein großes Hindernis für die Anwendung des Kapitels S7 des HBS dar.

Für das alternative Verfahren stehen bei vielen Verkehrsunternehmen Messdaten zur Verfügung. Diese weisen jedoch eine unterschiedliche Detaillierung und Qualität auf. In der Folge können die Daten nicht oder nur eingeschränkt verwertbar sein. Die Messdaten müssen auf ihre Eignung und eine eventuelle Anreicherung um fehlende Informationen (z.B. Fahrgastwechselzeit oder Haltestellenaufenthaltszeit) geprüft werden. Dabei sind auch die Berechnungsmethoden der die Daten liefernden Systeme zu beachten.

Bei der Auswertung dürfen nur Messfahrten berücksichtigt werden, die an Haltestellen einen Halt mit Türöffnung aufweisen. Die ideale Beförderungsgeschwindigkeit wird unter dieser Voraussetzung bestimmt. Die gemessenen Daten müssen dem entsprechen. Messdaten ohne die Haltestellenaufenthaltszeit sind dabei ungeeignet. Geplante Standzeiten und Verzögerungen können die Messergebnisse beeinflussen. Entsprechende Effekte sollten herausgerechnet werden, soweit das möglich ist.

Die meisten Sachverhalte sind in Kap. 5 im Detail ausgeführt.

5.3 Mängel des bisherigen Verfahrens

Im bisherigen Verfahren des Kapitels S7 des HBS findet bisher keine Unterscheidung nach Anwendungsfällen statt. Allerdings werden an die Anwendungsfälle Qualitätssicherung und Planung unterschiedliche Anforderungen gestellt, wie auch im Expertenworkshop betont wurde.

Wie sich im Expertenworkshop und insbesondere aus der Arbeit von Bergelt (2018) gezeigt hat, führt das Verfahren zur Bestimmung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit im gegenwärtigen Zustand in verschiedenen Situationen zu keinen realitätsnahen Ergebnissen, wenn der nach aktuellem Stand ermittelten idealen Beförderungsgeschwindigkeit Messdaten gegenübergestellt werden (alternatives Verfahren).

Die Linienverläufe im ÖPNV weisen eine Vielzahl an Punkten auf, an denen sich die Geschwindigkeiten ändern. Das betrifft die zulässige Höchstgeschwindigkeit ebenso wie die möglichen und zulässigen Geschwindigkeiten in Kurven oder beim Ein- und Abbiegen. Für die Berechnung der idealen Fahrtzeit ist eine entsprechend detaillierte Abbildung der Linienverläufe und der Höchstgeschwindigkeiten sowie des Beschleunigens und Verzögerns notwendig. Vorgaben im Kapitel S3 des HBS, wie beispielsweise die Geradlinigkeit von Strecken und deren Mindestlänge von 200 m, stehen dem entgegen. Zu beachten ist weiterhin, dass bei abschnittsbezogenen Auswertungen die Berechnung der idealen Fahrtzeit unter Umständen auch Punkte außerhalb des Abschnitts berücksichtigen muss. Das gilt beispielsweise für das Verzögern bei der Anfahrt einer Haltestelle, wenn der Bremsenanzugszeitpunkt vor dem Abschnitt liegt.

Der aktuell verwendete Wert für die mittlere Beschleunigung wurde nicht bestätigt. Die Messungen in Krefeld haben einen geringeren Wert von durchschnittlich $0,8 \text{ m/s}^2$ ergeben. Beim Anfahren im geradlinigen Verlauf ist die Beschleunigung mit $1,0 \text{ m/s}^2$ etwas höher und beim nicht geradlinigen Anfahren niedriger (z.B. bei der Ausfahrt aus einer Haltestellenbuchte).

Die bisherige Abschnittsbildung von Knotenpunktmitte zu Knotenpunktmitte, die sich an der Abschnittsbildung des Kapitels S3 des HBS orientiert, wird den Perspektiven und Belangen des ÖPNV nicht ausreichend gerecht. Diese erweist sich z.B. bei Kreisverkehren als unpraktisch. Weiterhin kann dies bei Haltestellen, die direkt an abschnittstrennenden Knotenpunkten liegen zu Problemen bei der Zuordnung von Verlustzeiten führen. Eine stärkere Berücksichtigung von Haltestellen und eine Abschnittsbildung von Haltestelle zu Haltestelle erscheinen vor diesem Hintergrund sinnvoll.

Die mittlere Haltestellenaufenthaltszeit ist höher anzusetzen als gegenwärtig erwartet. Das betrifft einerseits die mittlere Fahrgastwechselzeit, die nur aus Fahrten mit Halt und Fahrgastwechsel an Haltestellen berechnet werden darf, sowie eine bisher unbeachtete Reaktionszeit des Fahrers bei der Abfahrt von einer Haltestelle. Darüber hinaus können Zeiten aufgrund der Bedienung von Tritten und Stufen auftreten.

Die Gesamtverlustzeiten an Lichtsignalanlagen sind höher als die Wartezeiten. Sie schließen Zeitanteile durch eine mögliche Reduzierung der Geschwindigkeit bis zum Halt ein. So wird u.a. für diese Betrachtung die Bildung von Abschnitten benötigt, deren Grenzen keine Knoten oder Haltestellen sind. Das lässt auch die Verwendung von Daten aus der Funkanmeldung der ÖPNV-Fahrzeuge an den Lichtsignalanlagen zu.

Die meisten Sachverhalte sind in Kap. 5 im Detail ausgeführt.

Somit zeigt sich, dass Einschränkungen zur Anwendung des Verfahrens in verschiedenen Bereichen zu finden sind. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse werden Überarbeitungsvorschläge abgeleitet (Kap. 7).

6 Überarbeitungsvorschläge für das Kapitel S7 des HBS 2015

In diesem Abschnitt werden Vorschläge für Änderungen und Ergänzungen des Kapitels S7 des HBS auf Basis der Ergebnisse der bisherigen Arbeiten (Experten-Workshop, Messungen in Krefeld, Daten aus Nürnberg und Hamburg) dargestellt.

Zur eindeutigen Unterscheidung der Vorgehensweise bei der Bestimmung der erwarteten bzw. tatsächlichen Beförderungsgeschwindigkeit wird die rechnerische Vorgehensweise nach dem Kapitel S7 des HBS 2015 als „Berechnungsverfahren“ bezeichnet.

6.1 Übersicht der künftigen Anwendungsfälle

Für das Kapitel S7 des HBS kommen drei unterschiedliche Anwendungsfälle in Betracht bzw. werden von Fachleuten aus der Praxis gewünscht:

1. **Planung neuer und Umbau vorhandener Anlagen:** Hier geht es um die Errichtung neuer oder den Umbau bestehender Infrastruktur, bei der der ÖPNV betroffen ist. Die geschwindigkeitsbezogene Angebotsqualität ist dabei die Grundlage für die Dimensionierung und Bemessung der neu- bzw. umgebauten Infrastrukturanlagen aus Sicht des ÖPNV.
2. **Planung neuer Linien bzw. Linienabschnitte auf bestehenden Anlagen:** Hier soll eine neue Linie auf Basis der vorhandenen Infrastruktur eingeführt werden. Um eine angemessene geschwindigkeitsbezogene Angebotsqualität zu gewährleisten, sind i.d.R. Änderungen bei vorhandenen LSA-Steuerungen erforderlich. Die geschwindigkeitsbezogene Angebotsqualität ist in diesen Fällen ein wichtiger Indikator bei der Anpassung und Bewertung der LSA-Steuerungen. Wenn bei der Planung neuer Linien die Infrastruktur angepasst wird – zum Beispiel durch den Umbau von LSA-gesteuerten Knoten zur Bevorrechtigung des ÖPNV –, gilt der Anwendungsfall 1.
3. **Qualitätssicherung im Bestand:** In diesem Fall geht es um die Bewertung der im realen ÖPNV-Betrieb erreichten geschwindigkeitsbezogenen Angebotsqualität bei unveränderter Linienführung auf unveränderter Infrastruktur. Dies dient der regelmäßigen oder anlassbezogenen Prüfung der Frage, ob die gewünschte geschwindigkeitsbezogene Angebotsqualität im ÖPNV-Betrieb tatsächlich erreicht wird.

In allen drei Fällen kann der räumliche Betrachtungsrahmen einzelne Knotenpunkte, Linienabschnitte oder ganze Linien umfassen. Die ideale Beförderungsgeschwindigkeit wird bei allen Anwendungsfällen nach der bestehenden Formel berechnet, wobei allerdings identifizierte Schwächen reduziert werden (siehe dazu die Kap. 7.2.1 bis 7.2.4). Die zu erwartende bzw. tatsächliche Beförderungsgeschwindigkeit kann ebenfalls für alle drei Fälle auf Basis des Berechnungsverfahrens ermittelt werden. Da die zu erwartende bzw. tatsächliche Beförderungsgeschwindigkeit auf Formeln anderer HBS-Kapitel zurückgreift, müssen die Einsatzgrenzen bei der Anwendung des Berechnungsverfahrens berücksichtigt werden (u.a. keine verkehrsabhängige LSA-Steuerung, nur Abschnitte mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h). Alternativ können bei der Planung neuer Linien bzw. Linienabschnitte auf bestehenden Anlagen und bei der Qualitätssicherung im Bestand Ergebnisse von Messungen genutzt werden. Messdaten aus dem realen Betrieb ermöglichen eine Berechnung der zu erwartenden bzw. tatsächlichen Beförderungsgeschwindigkeit ohne die o.g. Einsatzgrenzen. Da die ersten beiden Anwendungsfälle klassische Bemessungsaufgaben sind, wird entsprechend der HBS-Logik der Beförderungsgeschwindigkeitsindex für Bemessungsstunde ermittelt. Bei der Qualitätssicherung im Bestand ergibt sich der Untersuchungszeitraum aus der konkreten Aufgabenstellung (vgl. Kap. 7.3.3). Die folgende Tabelle stellt die drei Anwendungsfälle hinsichtlich wesentlicher methodischer Festlegungen gegenüber (Tab. 25).

	Planung neuer und Umbau vorhandener Anlagen	Planung neuer Linien bzw. Linienabschnitte auf bestehenden Anlagen	Qualitätssicherung im Bestand
Ermittlung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit	verbessertes Berechnungsverfahren	verbessertes Berechnungsverfahren	verbessertes Berechnungsverfahren
Ermittlung der zu erwartenden bzw. tatsächlichen Beförderungsgeschwindigkeit	verbessertes Berechnungsverfahren	verbessertes Berechnungsverfahren Messverfahren	verbessertes Berechnungsverfahren Messverfahren
Betrachtungszeitraum	Bemessungsstunde	Bemessungsstunde, ggf. Bedienungszeit	abhängig von der Aufgabenstellung

Tab. 25: Vergleich der drei Anwendungsfälle

Die Anwendungsfälle „Planung neuer Linien bzw. Linienabschnitte auf bestehenden Anlagen“ und „Qualitätssicherung im Bestand“ können als Verfahren mit Messdaten auch für Linienabschnitte auf Landstraßen und Autobahnen angewendet werden.

Die Anwendungsfälle führen zu einem erweiterten Bereich der Anwender und Mitwirkenden. Vorbehaltlich der jeweiligen konkreten Zuständigkeit und Arbeitsorganisation kann sich die Beteiligung wie folgt ergeben:

- Planung neuer und Umbau vorhandener Anlagen: Straßenbaulastträger, Verantwortliche für die LSA-Steuerung und Aufgabenträger. Verkehrsunternehmen können in diesem Anwendungsfall in unterstützender Funktion einbezogen werden (z.B. zur Bereitstellung lokaler Werte für die Haltestellenaufenthaltszeit oder für die Beschleunigung/Verzögerung).
- Planung neuer Linien bzw. Linienabschnitte auf bestehenden Anlagen: Straßenbaulastträger, Verantwortliche für die LSA-Steuerung und Aufgabenträger. Verkehrsunternehmen können zuarbeiten wie im Anwendungsfall zuvor und ggf. Messfahrten außerhalb des Fahrgastbetriebs durchführen. Diese haben prinzipiell auch einen Nutzen für die Bestimmung der anfänglichen Fahrzeitvorgaben für neue Abschnitte.
- Qualitätssicherung im Bestand: Straßenbaulastträger, Verantwortliche für die LSA-Steuerung, Aufgabenträger und Verkehrsunternehmen, wobei den Verkehrsunternehmen regelmäßig die Erhebung der Daten obliegen wird.

Im Folgenden werden zunächst Vorschläge zur Verbesserung der in Kapitel S7 beschriebenen Verfahren unabhängig vom Anwendungsfall sowie spezifische Vorschläge und Anwendungshinweise für die einzelnen Anwendungsfälle aufgeführt. Anschließend werden Vorschläge zur Qualitätssicherung für ein auf Messdaten basierendes Verfahren dargestellt.

6.2 Vorschläge zur Verbesserung der Verfahren nach Kapitel S7 unabhängig von den Anwendungsfällen

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem Expertenworkshop (Kap. 4.3) und aus dem VDV-Unterausschuss „Operatives Verkehrsmanagement“ (Kap. 4.4) sowie der Mängelanalyse (Kap. 6) soll das Verfahren gemäß HBS 2015 in einigen Punkten verbessert werden, um Restriktionen in der Anwendbarkeit zu beseitigen und einen stärkeren Realitätsbezug zu erreichen, wo dies möglich erscheint. Die Verbesserungsvorschläge werden im Folgenden skizziert; sie gelten übergreifend für alle Anwendungsfälle.

6.2.1 Definition der Abschnitte

Um der Perspektive und den Anforderungen des ÖPNV gerecht zu werden, soll sich die Bildung der Abschnitte grundsätzlich an den Haltestellen statt an den Knoten orientieren; zur begrifflichen Unterscheidung von den Abschnitten gemäß Kapitel S3 bis S5 werden diese Abschnitte in Kapitel S7 als „ÖV-Netzabschnitte“ bezeichnet. Eine flexible feinere Unterteilung in ÖV-Netzteilabschnitte soll alle relevanten Änderungen der Streckencharakteristik berücksichtigen, die einen Einfluss auf die Geschwindigkeit haben, z.B. Abbiegen/Kurvenfahrten, Stopp/Vorfahrt beachten, bauliche Besonderheiten wie Engstellen, Wechsel der

zulässigen Höchstgeschwindigkeit und Wechsel der mittleren Fahrgeschwindigkeit nach Kapitel S3 ebenso wie Unterteilungen wegen anderer Verweise auf Kapitel S3. Dies erfordert eine detaillierte Aufnahme aller derartigen Punkte. Eine beispielhafte Unterteilung in ÖV-Netzabschnitte und -teilabschnitte ist in Abb. 30 dargestellt.

An allen Haltestellen ist der Bezug beim Vergleich der Beförderungszeiten die Abfahrt, so dass die Haltestellenaufenthaltszeit zum vorangehenden Abschnitt gerechnet wird. Das gilt auch am Beginn einer Fahrt (Start-Haltestelle). Lediglich bei der letzten Haltestelle einer Fahrt (End-Haltestelle) ist die Ankunftszeit der Bezugszeitpunkt.

Es hängt von der Aufgabenstellung ab, für welche Abschnitte der Beförderungsgeschwindigkeitsindex ermittelt werden soll. Möglich sind komplette Linienverläufe, Teile von Linienverläufen, kürzere Teilabschnitte (z.B. ein Straßenverlauf) oder Abschnitte, die sich auf einzelne Punkte beziehen (z.B. eine Lichtsignalanlage). In jedem Fall muss für den oder die Abschnitte die ideale Beförderungsgeschwindigkeit bestimmt werden.

Durch eine Vorab-Untersuchung, die das Vorhandensein von Verlustzeiten und deren Bedeutung ermittelt, können Linienabschnitte identifiziert werden, in denen eine Bewertung gemäß HBS durchgeführt werden soll.

Werden längere Linienabschnitte betrachtet, soll der Beförderungsgeschwindigkeitsindex für jeden Abschnitt von Haltestelle zu Haltestelle bestimmt werden. So wird vermieden, dass ÖV-Netzabschnitte mit guten Bedingungen die Verhältnisse in ÖV-Netzabschnitten mit schlechten Bedingungen relativieren. Die Bewertung pro ÖV-Netzabschnitt schließt nicht aus, auch eine (aggregierte) Bewertung über längere Abschnitte durchzuführen. Dabei sollte wiederum von den abschnittsbezogenen Beförderungszeiten ausgegangen werden.

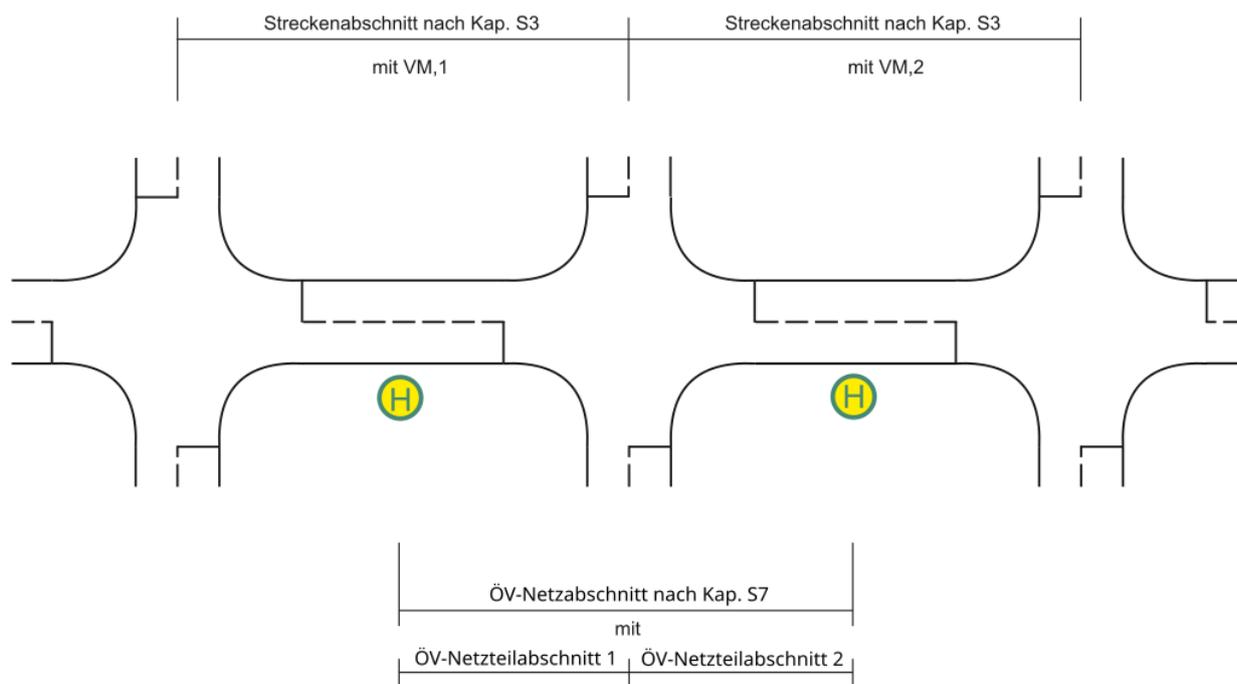


Abb. 30: ÖV-Netzabschnitt nach der Überarbeitungsempfehlung für Kapitel S7 (neu) mit Unterteilung in ÖV-Netzteilabschnitte gemäß Kapitel S3 des HBS

Für den Anwendungsfall „Qualitätssicherung im Bestand“ soll eine flexible und detaillierte Unterteilung des Weiteren ermöglichen, bei der Datenanalyse wiederkehrende Behinderungen räumlich genauer einzugrenzen. Für punktuelle Bewertungen (speziell an Lichtsignalanlagen) können auch Abschnitte unabhängig von Haltestellen zwischen geeigneten Messpunkten, insbesondere Meldepunkten bei der Funkanmeldung (Vorwarnmeldung, Hauptanmeldung, Abmeldung), zur Ermittlung der Gesamtverlustzeiten (Haltezeit und Verlustzeit durch verminderte Geschwindigkeit) betrachtet werden. Dies ermöglicht die Auswertung von Telegrammen für die Anmeldung an Lichtsignalanlagen. Eine beispielhafte derartige Unterteilung ist in Abb. 31 dargestellt. Die QSV für die Gesamtverlustzeiten soll im Rahmen von Kapitel S7 des HBS ermittelt werden.

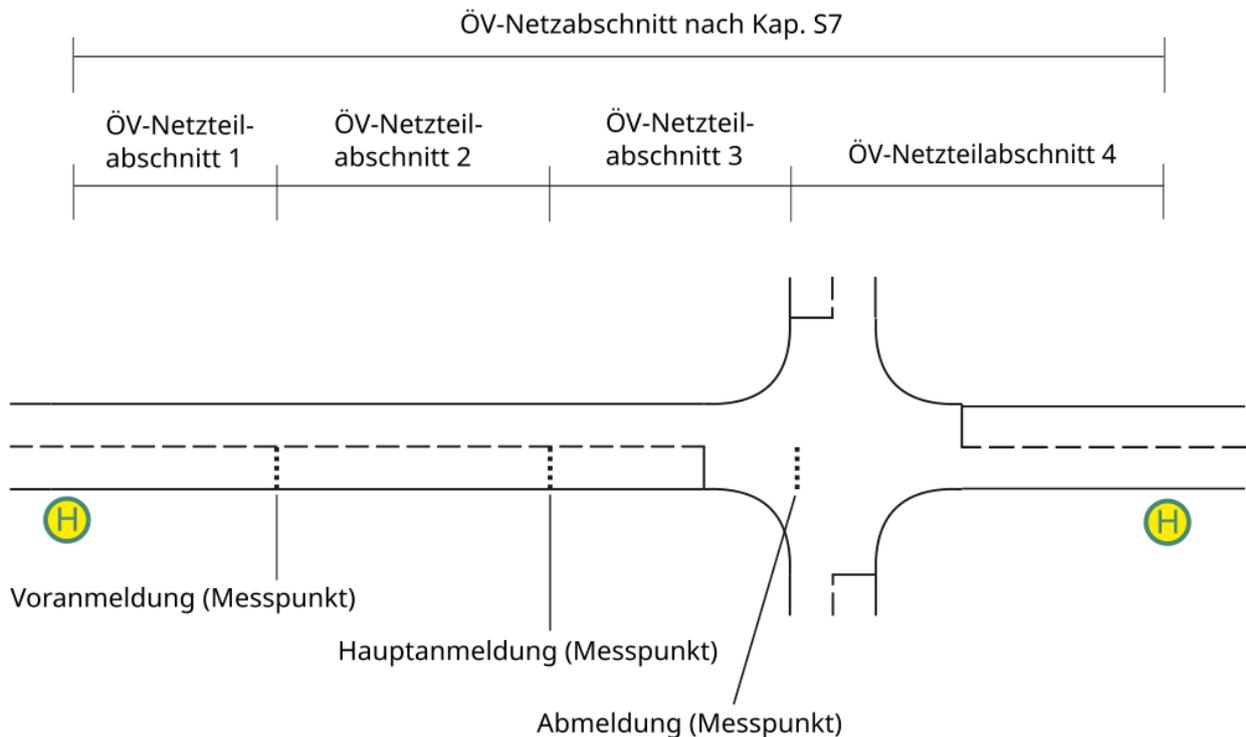


Abb. 31: Unterteilung in ÖV-Netzteilabschnitte an Meldepunkten

Bei Knoten mit Lichtsignalanlagen soll der (Haupt-)Abschnittswechsel an die Haltposition statt an die Knotenmitte gelegt werden. Unabhängig davon ist ein Abschnittswechsel in der Knotenmitte auch in den Fällen nicht praktikabel, in denen die Knotenmitte nicht durchfahren wird, z.B. bei Kreisverkehren und Rechtsabbiegern.

6.2.2 Anpassung der Beschleunigungs- und Verzögerungswerte

Die Beschleunigungs- und Verzögerungswerte für die Berechnung der Fahrzeit sollen angepasst werden, um die realen Verhältnisse besser abzubilden und die Belange des Fahrgastkomforts zu berücksichtigen (vgl. Kap. 4.4, 5.2.5 und 5.5.5). Als Richtwerte sollen $1,0 \text{ m/s}^2$ für die Beschleunigung (Idealfall geradlinige Anfahrt, vgl. Abschnitt 5.2.5.3) und $1,2 \text{ m/s}^2$ für die Verzögerung angesetzt werden; falls örtlich spezifische Werte bekannt sind, sollen diese verwendet werden.

6.2.3 Berücksichtigung der reduzierten Geschwindigkeit bei Kurvenfahrten und Abbiegevorgängen sowie bei „Vorfahrt beachten“

Bei Kurvenfahrten und Abbiegevorgängen kann selbst im Idealfall nicht die zulässige Höchstgeschwindigkeit gefahren werden. Vielmehr ist hier für die Ermittlung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit abhängig von der Knotengeometrie im Hinblick auf die Sicherheit und Fahrgastverträglichkeit eine entsprechend geringere Geschwindigkeit anzusetzen, die durch die maximal zulässige Querschleunigung $a_{q,max} = 0,65 \text{ m/s}^2$ begrenzt wird (Input des VDV-Unterausschusses „Operatives Verkehrsmanagement“, vgl. Kap. 4.4). Demnach ist die maximal erreichbare Geschwindigkeit V_{err} bei Kurvenradius r und Querneigung q (etwa zur Entwässerung) gemäß elementarer physikalischer Gesetze durch folgende Formel gegeben:

$$V_{err} = \sqrt{(a_{q,max} + q \cdot g) \cdot r}$$

Dabei ist das Vorzeichen von q negativ zu wählen, falls die Außenseite der Kurve niedriger liegt als die Innenseite; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ist die Erdbeschleunigung.

Für die Ermittlung der zu erwartenden Beförderungsgeschwindigkeit kann dieser Vorschlag jedoch aktuell nicht angewendet werden, da dies im Konflikt mit der Berechnung der mittleren Fahrtgeschwindigkeit des

ÖPNV gemäß Kapitel S3 des HBS stünde (vergl. auch Kap. 6.3). Alternativ wäre eine entsprechende Anpassung des Kapitels S3 des HBS möglich.

Bei Rechtsabbiegen ist zu berücksichtigen, dass nach StVO ohnehin Schrittgeschwindigkeit vorgeschrieben ist. Beim Linksabbiegen ergeben sich für übliche Kurvenradien nach obiger Formel Geschwindigkeiten, die in guter Übereinstimmung mit den Messwerten im Bereich von 10 bis 15 km/h liegen.

Bei „Vorfahrt beachten“ bleibt es für die Ermittlung der zu erwartenden Beförderungszeit bei dem Verweis auf Kapitel S5 des HBS; für die Ermittlung der idealen Beförderungszeit wird davon ausgegangen, dass dieser Fall nicht auftritt (im Idealfall könnte die Vorfahrtregelung etwa durch eine LSA mit Bevorrechtigung für den ÖPNV in Nebenrichtung ausgestattet werden, so dass idealerweise der Knoten mit unverminderter Geschwindigkeit passiert werden kann, sofern nicht abgelenkt wird).

6.2.4 Haltestellenaufenthaltszeit

Die Aufenthaltszeit an einer Haltestelle setzt sich i.d.R. (sofern im Fahrplan keine reguläre Standzeit etwa zur Anschlussherstellung oder zum Wechsel des Fahrpersonals eingeplant ist) aus der Türöffnungszeit, technisch bedingten Zeiten und der Reaktionszeit des Fahrpersonals bis zur Abfahrt zusammen. Als Richtwert für die mittlere Haltestellenaufenthaltszeit sollen für Busse in städtischen Gebieten 20 s, in ländlichen Gebieten 15 s und für Straßenbahnen grundsätzlich 22 s angesetzt werden (vgl. Kap. 5.2.7, 5.2.8, 5.2.9 und 5.5.3 dieses Berichts). Liegen lokale Messwerte oder zumindest nach Liniencharakteristik und Fahrzeugtyp differenzierte Werte vor, sind diese zu verwenden.

6.2.5 Verkehrsabhängige LSA-Steuerungen

Im Berechnungsverfahren soll für verkehrsabhängige LSA-Steuerungen entsprechend dem Verweis auf Kapitel S4 des HBS ein Festzeitmodell verwendet werden, d.h. es wird ein durchschnittlicher Umlauf als Berechnungsgrundlage verwendet. Im Anwendungsfall „neue Linie auf bestehenden Anlagen“ sollen zur Bestimmung der zu erwartenden Geschwindigkeit Test- oder Messfahrten im Realbetrieb durchgeführt werden. Die Anforderungen an derartige Messdaten werden in Kap. 7.4 spezifiziert.

6.3 Spezifische Anwendungshinweise für die einzelnen Anwendungsfälle

6.3.1 Anwendungshinweise für Anwendungsfall „Infrastrukturmaßnahmen“

Für diesen Anwendungsfall wird vorgeschlagen, das Verfahren in den Grundzügen wie bisher zu belassen (mit den Verbesserungen bei der Ermittlung der idealen und der zu erwartenden Beförderungsgeschwindigkeit aus Kap. 7.2).

Es verbleiben jedoch die Grenzen des Verfahrens, die in Verweisen auf andere Kapitel des HBS begründet liegen. Daher wird das Verfahren auch nach Aufnahme der Vorschläge aus Kap. 7.2 praktisch nur für kurze Abschnitte von Linien anwendbar sein.

6.3.2 Anwendungshinweise für Anwendungsfall „Neue Linie auf bestehender Infrastruktur“

Zur Ermittlung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit soll hier das verbesserte Verfahren wie in Kap. 7.2 beschrieben angewendet werden.

Die zu erwartende Beförderungsgeschwindigkeit kann ebenfalls mittels des verbesserten Berechnungsverfahrens oder aber alternativ mit einem auf Messdaten beruhenden Verfahren ermittelt werden. Da in diesem Anwendungsfall die Linie noch nicht eingerichtet ist, müssen bei der Anwendung des Messverfahrens definierte Messfahrten auf der untersuchten Linie durchgeführt werden.

6.3.3 Anwendungshinweise für Anwendungsfall „Qualitätssicherung im Bestand“

Bei diesem Anwendungsfall wird die im realen Betrieb tatsächlich erreichte Beförderungsgeschwindigkeit ins Verhältnis zur idealen Beförderungsgeschwindigkeit gesetzt und bewertet. Dieses Verhältnis gibt in diesem (für das HBS neuen) Anwendungsfall die geschwindigkeitsbezogene Angebotsqualität analog zum

bisher einzigen Anwendungsfall „Infrastrukturmaßnahmen“ an.³ Für die Ermittlung der tatsächlichen Beförderungsgeschwindigkeit bietet sich ein auf Messdaten beruhendes Verfahren an, um die reale Situation (inklusive Verlustzeiten durch Verzögerung und Beschleunigung ohne Stillstand an Knotenpunkten, Haltestelle direkt vor oder nach einem Knotenpunkt, Störungen durch links abbiegende Fahrzeuge und Radverkehr auf der Fahrbahn) abzubilden.

Ziel ist hier eine gute bzw. ausreichende Betriebsqualität über den gesamten Bedienungszeitraum hinweg. Deshalb soll in diesem Fall keine Bemessungsstunde verwendet werden, sondern die Verteilung der realen Geschwindigkeiten aus dem Produktivbetrieb über die einzelnen Linienfahrten betrachtet werden. Hierbei sollte nach Tageszeit und Wochentagtyp geschichtet werden. Eventuell genügt es, den Teilzeitraum mit den größten Verlustzeiten zu betrachten. Die ideale Beförderungsgeschwindigkeit wird mittels des bestehenden Verfahrens inklusive der in Kap. 7.2 genannten Verbesserungen ermittelt. Falls orts- bzw. fahrzeugtypspezifische Richtwerte aus Messungen ermittelt werden, sollte hier allerdings bei der Haltestellenaufenthaltszeit die Zeitspanne von i.d.R. einigen Sekunden berücksichtigt werden, die zwischen Ankunft und Abfahrt zusätzlich zur Fahrgastwechselzeit auftreten (Bedienung technischer Komponenten und Reaktionszeit des Fahrpersonals, vgl. Kap. 7.2.4).

Eine Herausforderung bei einem auf Messdaten basierenden Verfahren liegt in den sehr unterschiedlichen Detaillierungsgraden, in denen die Messdaten vorliegen können. Das Spektrum reicht hier von sehr groben Daten, die nur die Fahrtzeit von Haltestelle zu Haltestelle (Abfahrt/Durchfahrt) enthalten, über Daten mit mittlerem Detaillierungsgrad mit Erfassung der Zeiten der Türfreigabe oder Türöffnung (hierbei ist der Unterschied zu beachten) bis hin zu sehr detaillierten Daten, wie sie von Systemen wie FadaPlus erfasst werden, die beispielsweise Wechsel der zulässigen Geschwindigkeit, Spurwechsel, Engstellen, Ein- und Ausfahrt in/aus Kreisverkehr u.v.a.m. beinhalten. Zur möglichst genauen räumlichen Eingrenzung punktueller Behinderungen sind Messdaten mit hohem Detaillierungsgrad wünschenswert.

6.4 Vorschläge zur Qualitätssicherung für ein auf Messdaten basierendes Verfahren

6.4.1 Übersicht zu Messdaten

Das HBS 2015 lässt die Verwendung von Messdaten aus dem ÖPNV unter dem Begriff „alternative Verfahren“ zu. Es gibt bisher keine umfassende Ausarbeitung zu den damit verbundenen Anforderungen und Fragestellungen.

Im ÖPNV liegen viele Daten vor. Fast jedes Unternehmen verfügt im Zusammenhang mit einem Leitsystem (RBL/ITCS), durch die Nutzung von Bordrechnern, durch die Beeinflussung der Lichtsignalanlagen und weitere Systeme über Daten. Darüber hinaus gibt es spezialisierte Messsysteme sowie die Möglichkeit, Messungen von Hand durchzuführen. Die verfügbaren Daten unterscheiden sich hinsichtlich der Detaillierung, der Qualität und des Umfangs. Nicht alle verfügbaren Daten sind für Auswertungen im Kontext des HBS und einer darauf aufbauenden Qualitätssicherung geeignet.

Es ist notwendig, sich bereits bei der Planung der Datenverwendung mit den Merkmalen der verfügbaren Daten im Detail auseinanderzusetzen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Begriffe nicht konsistent verwendet werden. Aggregierte Ergebnisse lassen oft keinen Rückschluss auf die Erhebungssystematik und die Eignung der Daten zu.

Von der Detaillierung der Daten hängt ab, für welche Anwendungsfälle diese geeignet sind. Daten aus Leitsystemen, die nur die Abfahrtszeiten an den Haltestellen liefern, können beispielsweise nicht für die Bewertung der Behinderung an Lichtsignalanlagen verwendet werden. Umgekehrt ist mit den Daten aus der Beeinflussung der Lichtsignalanlagen eine Bewertung von haltestellenbezogenen Abschnitten bis zu vollständigen Linienverläufen nicht oder nur mit einem erheblichen Zusatzaufwand möglich.

Eventuell bestehende Nachteile verfügbarer Daten, z.B. eine geringe Detaillierung, könnten durch die Kombination mit weiteren Daten ausgeglichen werden. Darüber hinaus bietet sich in diesen Fällen die Verwendung von Richtwerten an.

³ Zur Qualitätssicherung im ÖPNV-Betrieb ist es zusätzlich sinnvoll, als Maß für die Pünktlichkeit die tatsächlich erreichte Beförderungsgeschwindigkeit mit der Soll-Beförderungsgeschwindigkeit laut Fahrplan zu vergleichen, der üblicherweise nicht auf der idealen Beförderungsgeschwindigkeit basiert, sondern bereits Verlustzeiten berücksichtigt. Dies liegt jedoch außerhalb des Betrachtungsrahmens des HBS.

Umfangreiche Messdaten würden es ermöglichen, ÖPNV-bezogene Bemessungsstunden zu ermitteln. Dabei wird sich am Zeitbedarf im ÖPNV orientiert und nicht an den Verkehrsstärken im Kfz-Verkehr. Eigene Bemessungsstunden haben ihre Berechtigung u.a. in der Tatsache, dass der ÖPNV aufgrund der Halte an den Haltestellen von den typischen Fahrabläufen des Kfz-Verkehrs abweicht. Das wirkt sich besonders an den Lichtsignalanlagen aus. Weiterhin verkehrt der ÖPNV auch in Abschnitten, die von der Systematik des HBS nicht erfasst werden (nachrangiges Straßennetz, Knotenzufahrten aus der Nebenrichtung etc.). Bemessungsstunden auf der Basis der Verkehrsstärken korrelieren nicht unbedingt mit den stärksten Behinderungen, denen der ÖPNV ausgesetzt ist.

Bewertungen der Angebotsqualität im Kontext des HBS sind nicht dafür geeignet, Aspekte des operativen Betriebs zu betrachten, auch wenn dafür die gleiche Datenbasis verwendet würde. Das betrifft vor allem die Pünktlichkeit, die sich aus dem Vergleich der geplanten mit den tatsächlichen Ankunfts- und Abfahrtszeiten an den Haltestellen bzw. dem geplanten und dem tatsächlichen Zeitbedarf auf der Strecke und an den Haltestellen ergibt.

6.4.2 Datenquellen

Die Abb. 32 gibt einen Überblick über möglichen Quellen für Messdaten, die bei einer Bewertung gemäß HBS verwendet werden könnten.

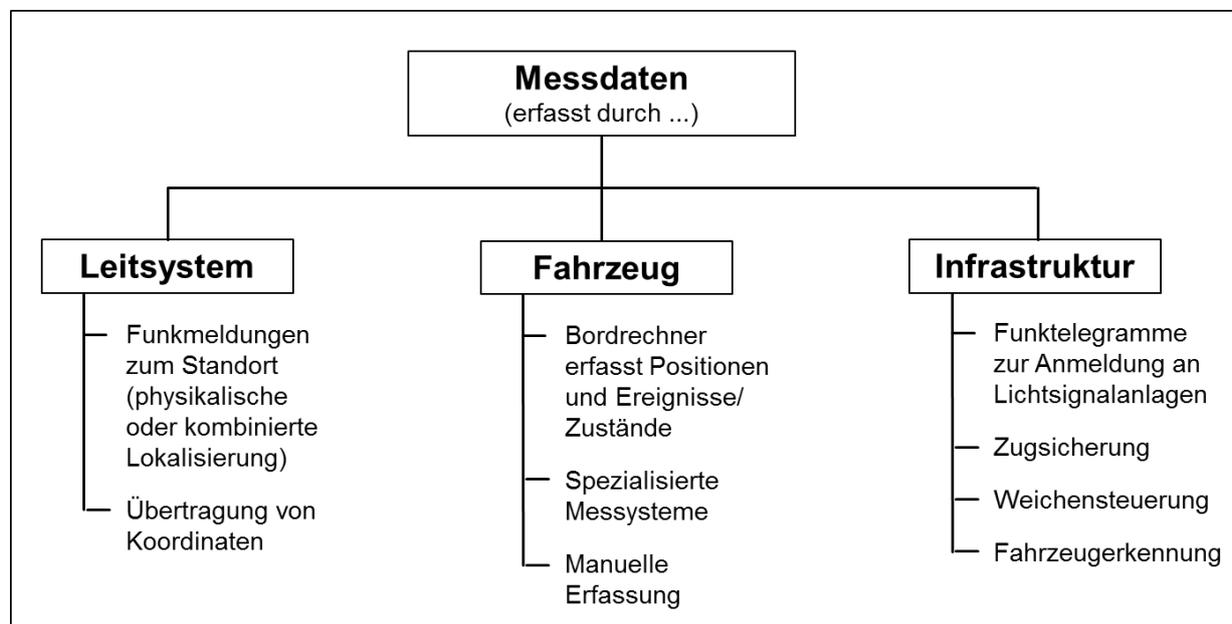


Abb. 32: Messdaten im ÖPNV für das Messverfahren

Die verschiedenen Datenquellen weisen große Unterschiede bei Detaillierung, Qualität und Systematik der Datenerfassung der auf.

Manuelle Erhebungen werden nachfolgend nicht betrachtet. Sie sind als Datenquelle zulässig und können anhand der gewählten Detaillierung der Daten wie ein vergleichbares automatisiertes Verfahren betrachtet werden. Die erreichbare Qualität nimmt mit der Detaillierung und der Größe des ÖPNV-Fahrzeugs ab (z.B. bei der Erfassung der Dauer der Türöffnung bei größeren Fahrzeugen mit automatischen Türen). Der erreichbare Datenumfang ist in der Regel auf wenige Messfahrten beschränkt.

Die Datenquellen Zugsicherung, Weichenanforderungen sowie Sensoren zur differenzierten Fahrzeugerkennung werden nachfolgend ebenfalls nicht betrachtet.

6.4.3 Anforderung an die Detaillierung der Daten

Die Detaillierung der Daten hat einen großen Einfluss auf ihre Verwendbarkeit. Die nachfolgend genannten Mindestanforderungen ermöglichen die Bewertung, lassen aber zumeist keine Detailanalyse zum Bewertungsergebnis zu (Ursachen einer schlechten bzw. von Vorgaben abweichenden Bewertung).

Bewertung der Beförderungsgeschwindigkeit

Bei der Bewertung der Beförderungsgeschwindigkeit im Kontext des HBS müssen die Daten die folgende Detaillierung im Sinne einer Mindestanforderung erfüllen:

- Ankunftszeit und Abfahrtszeit an den Haltestellen
- Fahrgastwechselzeit oder eine Information über die erfolgte Türöffnung bzw. den Halt an der Haltestelle
- Berechnung nur mit Fahrten, die an Haltestellen gehalten und die Türen geöffnet haben (abschnittsbezogen)

Die Abfahrtszeiten an den Haltestellen werden im Zusammenhang mit der Bildung der ÖV-Netzabschnitte benötigt, die in der Regel ihren Beginn bzw. ihr Ende an Haltestellen haben sollen. Mindestens an Endhaltestellen von Fahrten sowie an Haltestellen mit langen geplanten Aufenthaltszeiten und ggf. bei Anschlussicherung mit relativ variablen Aufenthaltszeiten werden auch die Ankunftszeiten benötigt. Falls die Fahrgastwechselzeit nicht verfügbar ist, hat die Differenz zwischen Ankunftszeit und Abfahrtszeit eine Bedeutung bei der Plausibilisierung möglicher Ersatzwerte (Daten aus anderen Quellen oder Richtwerte). Darüber hinaus lassen Ankunfts- und Abfahrtszeit eine Aussage über den Halt an Haltestellen zu.

Die Fahrgastwechselzeiten der Messfahrten oder zumindest die Information über Halt und/oder die Türöffnung werden benötigt, um die Daten zu finden, die bei der Bewertung verwendet werden können. Die Dauer des Fahrgastwechsels lässt zudem den Vergleich mit den entsprechenden Werten zu, mit denen die Berechnung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit erfolgte. Differenzen können zu einem systematischen Fehler bei der Bestimmung des Beförderungsgeschwindigkeitsindex führen. Idealerweise werden die tatsächlichen Fahrgastwechselzeiten bereits bei der Berechnung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit verwendet.

Ersatzweise kann die gemessene Fahrgastwechselzeit auf einer aggregierten Ebene durch Werte anderer Datenerfassungssysteme oder durch Richtwerte ersetzt werden.

Das datenliefernde System muss im Fall der Bereitstellung aggregierter Werte in Lage sein, diese abschnittsweise nur mit den Fahrten zu berechnen, die an den Haltestellen gehalten haben.

Bewertung der abschnittsbezogenen Verlustzeiten an Lichtsignalanlagen

Für die abschnittsbezogene Bewertung der Verlustzeiten an Lichtsignalanlagen bestehen diese Mindestanforderungen an die Daten:

- Zeitpunkte des Sendens der Funktelegramme zur Anmeldung und Abmeldung des jeweiligen ÖPNV-Fahrzeugs oder Durchfahrtzeiten an definierten Querschnitten bei der Zufahrt zum Knoten und an der Haltlinie
- Fahrgastwechselzeit an Haltestellen im Abschnitt zwischen Anmeldung und Abmeldung oder eine Information über die erfolgte Türöffnung bzw. den Halt

Für die Funktelegramme soll der Zeitpunkt des Sendens maßgebend sein.

Für die Fahrgastwechselzeiten gelten die Erklärungen, die für die Bewertung der Beförderungsgeschwindigkeit gemacht wurden.

Bewertung von Abschnitten, deren Beginn bzw. Ende keine Haltestellen sind

Für die abschnittsbezogene Bewertung der Verlustzeiten in betreffenden Abschnitten bestehen diese Mindestanforderungen an die Daten:

- Durchfahrtzeiten an den Querschnitten, die den Beginn bzw. das Ende des Abschnitts bilden und keine Haltestellen sind
- Ankunftszeit bzw. Abfahrtszeit, soweit ein Abschnitt an einer Haltestelle beginnt oder endet
- Fahrgastwechselzeit an Haltestellen im Abschnitt oder eine Information über die erfolgte Türöffnung bzw. den Halt

Die Durchfahrtzeiten können auch anhand von Funktelegrammen wie bei der Beeinflussung der Lichtsignalanlagen bestimmt werden. Für die Funktelegramme soll wiederum der Zeitpunkt des Sendens maßgebend sein.

Für die Fahrgastwechselzeiten gelten die Erklärungen, die für die Bewertung der Beförderungsgeschwindigkeit gemacht wurden.

Datenquellen und deren Detaillierung

Leitsysteme bzw. Bordrechner verfügen zumeist über die Möglichkeit, die Ankunfts- und die Abfahrtszeiten an den Haltestellen zu liefern. Sind beide Zeiten gleich, kann von einer Durchfahrt ohne Halt ausgegangen werden. Teilweise stehen Fahrgastwechselzeiten zur Verfügung, dabei oft nur als Dauer innerhalb der Zeit zwischen Ankunft und Abfahrt. Höherwertige Systeme oder Sonderlösungen erfassen auch die Zeiten von Halten im Linienverlauf außerhalb der Haltestellen.

Teilweise werden in den ÖPNV-Fahrzeugen mobile Geräte als Interface zum Leitsystem verwendet. Diese sind in der Regel nicht mit der Fahrzeugelektronik verbunden. Zumeist stehen von diesen Geräten die Abfahrtszeiten an Haltestellen oder Durchfahrtszeiten zur Verfügung, die aus der satellitenbasierten Lokalisierung der Basisgeräte abgeleitet werden.

Spezialisierte Messsysteme, die in Fahrzeuge eingebaut werden und mit der Fahrzeugelektronik verbunden sind, unterscheiden in der Regel das Fahren und Stehen anhand des Wegimpulses (Tachosignal). So können alle Halte erfasst werden. Ebenfalls erfasst werden die Zeitpunkte des Öffnens und Schließens der Türen. In der Regel werden die Messpunkte in den Linienverläufen in Übereinstimmung mit den Methoden und Möglichkeiten bei der Verarbeitung und Auswertung der Daten festgelegt. Das soll bzw. kann zugleich die Basis für die detaillierte Berechnung der idealen Fahrtzeit sein.

Zu beachten ist weiterhin der Zusammenhang zwischen Datenerfassung, Datenverarbeitung und Auswertung innerhalb des jeweiligen datenerfassenden Systems. Es ist zu betrachten, ob die verwendeten Methoden zu einer Diskrepanz zwischen der tatsächlichen und der in den Ergebnissen ausgewiesenen Detaillierung führen.

Zeiten an Haltestellen

Zu beachten ist, dass die Differenz zwischen den zur Verfügung gestellten Ankunfts- und Abfahrtszeiten an Haltestellen nicht mit der Haltestellenaufenthaltszeit gleichgesetzt werden kann. Diese Zeiten können Verlustzeiten vor und nach der Haltestelle bzw. dem Fahrgastwechsel einschließen. In diesem Fall ist kein Vergleich mit dem haltestellenbezogenen Zeitanteil möglich, der in die ideale Beförderungszeit eingeht.

6.4.4 Anforderung an die Datenqualität

Neben der Detaillierung ist die Qualität der Daten von großer Bedeutung, die als Messdaten zur Bewertung der Beförderungsgeschwindigkeit, der Verlustzeiten an Lichtsignalanlagen oder zwischen Messpunkten verwendet werden.

Es ist zudem notwendig, die messtechnische Bedeutung der verfügbaren Werte im Detail zu klären. Das betrifft auch das Verhalten bei Durchfahrten an Haltestellen, Halt ohne Türöffnung, Türöffnungen außerhalb einer Haltestelle, die Situation bei ungeplanten Umleitungen etc.

Im Zweifelsfall sollte durch Test bzw. Beobachtung festgestellt werden, was die verfügbaren Daten tatsächlich angeben und wie sich unterschiedliche Rahmenbedingungen und betriebliche Fälle auswirken.

Lokalisierung

Die Lokalisierung muss genau und zuverlässig sein. Bewährt hat sich die Verwendung des Wegimpulses (Tachosignals) zur Unterscheidung von Halten und Stehens sowie zur Bestimmung zurückgelegter Distanzen. Eine allein satellitenbasierte Lokalisierung sollte auf ihre Genauigkeit geprüft werden. Dabei sind Sachverhalte zu berücksichtigen, die bekannter Weise zu Einschränkungen führen (z.B. Reflexion).

Die Anmeldungen an den Lichtsignalanlagen erfordern eine hohe Genauigkeit. Wenn das gewährleistet ist, sollten die Daten im HBS-Kontext verwendet werden können. Das Senden der Telegramme durch die fahrzeugseitigen Systeme sollte jeweils der Bezugszeitpunkt für die Berechnung der Durchfahrtszeiten zwischen den Meldepunkten sein. Im Analogfunk kann davon ausgegangen werden, dass die Zeitpunkte von Senden und Empfangen/Speichern nahezu übereinstimmen. Im Digitalfunk können Laufzeitverzögerungen auftreten, bis die Telegramme für die Verwertung und Speicherung verfügbar sind. Diese Verzögerungen sollen den Verlustzeiten und damit der Infrastruktur als Verursacherin zugerechnet werden.

Ankunft und Abfahrt an Haltestellen

Die Ankunfts- und Abfahrtszeiten an Haltestellen sollen sich auf den unmittelbaren Haltestellenbereich beziehen und die Zeitpunkte des Halts und des Anfahrens angeben. Trotzdem kann damit nicht garantiert werden, dass die Differenz zwischen Ankunfts- und Abfahrtszeit keine Verlustzeiten einschließt.

Wie zuvor angegeben, unterstützt der Wegimpuls die Erkennung der richtigen Zeitpunkte. Das Erreichen und Verlassen des GPS-Bereichs für die Haltestellen-Lokalisierung sollte nicht als Ankunfts- bzw. Abfahrtszeiten verwendet werden.

Das Öffnen und Schließen der Türen oder die Türfreigabe dürfen nicht als Ankunfts- und Abfahrtszeiten interpretiert werden.

Verlustzeiten zwischen der Ankunft, dem Fahrgastwechsel und der Abfahrt sollen den Abschnitten korrekt zugeordnet werden können. Dabei ist zu beachten, dass der logisch zutreffende Übergang zwischen Abschnitten von Haltestelle zu Haltestelle das letzte Türschließen ist.

Fahrgastwechselzeit

Die Fahrgastwechselzeit ist als Zeit zwischen der ersten Türöffnung und dem letzten Schließen einer Tür an einer Haltestelle definiert. Sie muss alle Türen einschließen sowie die richtigen Zeitpunkte für Beginn und Ende des türbezogenen Vorgangs verwenden.

Für die Ermittlung der gemessenen Beförderungsgeschwindigkeit ist die Dauer des Fahrgastwechsels ausreichend. Minimal genügt die Information, dass eine oder mehrere Türen geöffnet waren, weil nur diese Fahrten berücksichtigt werden dürfen. Vorteilhaft ist auch die Kenntnis des Zeitpunktes des letzten Türschließens für die logische Aufteilung von Abschnitten an Haltestellen.

Die Fahrgastwechselzeit ist mehr als die Dauer vom ersten bis zum letzten Fahrgast. Die Türfreigabe als ein in den Fahrzeugen erfassbares technisches Kriterium ist kein geeigneter Ersatz. Beginn und Ende der Türfreigabe können von den Zeitpunkten des Türöffnens und -schließens abweichen.

6.4.5 Anforderungen an die Auswertung

Die Auswertung der Messdaten muss sich am Anwendungsfall orientieren. Das bedeutet, dass datenliefernde Systeme unter Umständen darauf angepasst werden müssen. Zu beachten sind vor allem:

- Plausibilitätsprüfungen
- Umgang mit Ausreißern
- Verwendung von Daten mit Halt an Haltestellen
- Schichtung
- Umfang der Messungen

Plausibilitätsprüfungen

Die zu verwendenden Daten sollten entweder bei der unmittelbaren Verarbeitung der Messdaten oder bei deren Auswertungen auf ihre Plausibilität geprüft werden. Umfang und Vorgehen hängen vom Erhebungsverfahren und von der Detaillierung der Daten ab. Auch Daten, die allgemein als qualitativ geeignet angesehen werden, sind bezüglich der konkreten Messdaten in die Prüfung einzubeziehen.

Prüfungen können sich beispielsweise auf die Lokalisierung der Daten und die Einhaltung der planmäßigen Fahrwege, die Höhe der Fahrt- und/oder Beförderungsgeschwindigkeiten oder das Verhältnis von Fahrgastwechselzeit zu Standzeit an Haltestellen beziehen.

Regelmäßige Datenverluste, die beispielsweise durch Fahrabbrüche aufgrund hoher Verspätungen auftreten, können die Ergebnisse verzerren. Wenn solche Situationen gegeben sind, sollte angestrebt werden, dass die Daten betroffener Fahrten für den noch planmäßig gefahrenen Abschnitt verfügbar sind.

Nicht plausible Daten sollen nicht in die Auswertungen eingehen. Ist der Umfang nicht plausibler Daten hoch, sollen die Ursachen ermittelt und die Verwendbarkeit der Daten neu geprüft werden.

Ausreißer

Die Auswertungen sollen sich auf die üblichen verkehrlichen Verhältnisse beziehen, wenn nicht bereits vom Ansatz her eine Systematik verfolgt wird, die auf die stärksten Behinderungen des ÖPNV orientiert ist (Bemessungsstunde). Ausreißer können neben sehr hohen Werten auch sehr geringe Werte annehmen. Die Schichtung hat einen Einfluss auf den Umgang mit Ausreißern.

Entsprechend sind Werte außerhalb einer zu erwartenden Streuung, in der Regel durch atypische Bedingungen verursacht, von den Auswertungen auszuschließen. Werte an den Rändern der Streuung, die keine Einzelfälle sind und einheitliche Merkmale aufweisen (z.B. zu gleichen Tageszeiten oder in vergleichbaren verkehrlichen Konstellationen auftreten) sind eher nicht als Ausreißer anzusehen. Allgemein als Ausreißer anzusehende Situationen könnten auch Gegenstand einer Analyse sein, um beispielsweise die Auswirkungen von Verkehrsverlagerungen bzw. unmittelbare Umleitungsverkehre durch häufige operative Autobahnsperrungen zu bewerten.

Die Prüfung auf Ausreißer und deren Ausschluss von den Auswertungen soll vorgenommen werden, um mögliche Verzerrungen der Ergebnisse zu vermeiden. Zugleich darf aber auch der Ausschluss vermeintlicher Ausreißer nicht zu Verzerrungen führen.

Tage oder Perioden mit besonderen Bedingungen infolge von Baustellen, Umleitungen, Linienanpassungen etc. sollten unberücksichtigt bleiben, soweit diese nicht Gegenstand der Analyse sein sollen.

Halt an den Haltestellen

Soweit die Detaillierung der Daten es zulässt, sollen die Auswertungen nur mit Daten durchgeführt werden, die einen Halt und Fahrgastwechsel an den Haltestellen einschließen. Das ist notwendig, weil die ideale Beförderungsgeschwindigkeit unter dieser Voraussetzung bestimmt wird und die zu erwartende bzw. gemessene Beförderungsgeschwindigkeit gleiche Voraussetzungen erfüllen muss, wenn der Beförderungsgeschwindigkeitsindex plausible Werte liefern soll.

Sollten die Messdaten die Differenzierung nicht zulassen, könnte alternativ die Berechnung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit so modifiziert werden, dass die zu erwartenden Durchfahrten bzw. Halte ohne Fahrgastwechsel berücksichtigt werden. Hierfür ist allerdings eine detaillierte Kenntnis über die Halte an den Haltestellen erforderlich.

Bei der Bewertung der gesamten Verlustzeit an Lichtsignalanlagen (Wartezeit und reduzierte Geschwindigkeit) sollte eine differenzierte Betrachtung möglich sein, wenn sich eine Haltestelle im Abschnitt zwischen Anmeldung und Abmeldung befindet. Damit lässt sich bewerten, ob und wie gut die Beeinflussung/Bevorrechtigung des ÖPNV auf die betrieblichen Fälle abgestimmt ist (Durchfahrt oder Fahrgastwechsel an der betreffenden Haltestelle).

Schichtung

Bei der Planung einer Bewertung ist zeitliche Schichtung festzulegen. Berücksichtigt werden sollte dabei, dass die regelmäßigen Spitzen der Behinderungen in der Regel tages- und uhrzeitabhängig sind und oft nur kurzzeitig auftreten. Voruntersuchungen können dabei helfen, die passende Schichtung zu finden.

Kriterien bei der Schichtung sind:

- Ebene Tag (Tagesart)
 - Montag bis Freitag an Schultagen
 - Montag bis Freitag an Ferientagen
 - Samstag
 - Sonn- und Feiertag
- Ebene Tageszeit

Für die Ebene Tageszeit sind geeignete Stundengruppen vorzugeben; dabei ist im Einzelfall zu beachten, dass jede Schicht mindestens drei Planfahrten enthalten soll, damit die Berechnungen auf hinreichenden Stichproben basieren. Weisen die Stichproben allerdings bedeutende tageszeitabhängige Unterschiede auf, können kürzere Zeitintervalle mit geringeren Stichproben angemessen sein. Welche Tagesarten in die Bewertung eingeschlossen werden, richtet sich nach der Aufgabenstellung. Sollen z.B. alle Montage bis Freitage ausgewertet werden, wäre nach Schul- und Ferientagen zu differenzieren. Eventuell erfordern die lokalen Bedingungen weitere Differenzierungen (Vorlesungszeit an Universitäten oder Hochschulen, Betriebsferien in der Industrie etc.).

Bei der Entscheidung über Uhrzeit-Intervalle sollte berücksichtigt werden, dass es Zusammenhänge mit der Länge des Abschnitts sowie dem Takt im ÖPNV gibt. In längeren Abschnitten kann es eine Tendenz zur „Egalisierung“ von Behinderungen geben. Der Takt stellt einerseits eine Untergrenze für die Intervalle dar (ein Takt von 60 min und ein Auswertungs-Intervall von 60 min bedeutet eine Schichtung pro Planfahrt). Andererseits sollten bei einem dichten Intervall (10 min und weniger) keine Schichtung pro Planfahrt vorgenommen werden.

Mit der Schichtung soll mindestens vermieden werden, dass Tage und Zeiten mit guten Bedingungen zu einer Relativierung von Tagen und Zeiten mit regelmäßig schlechteren Bedingungen führen. Die pauschale Betrachtung von beispielsweise 06:00 bis 09:00 Uhr als morgendliche Hauptverkehrszeit würde zumeist eine Relativierung kurzzeitig bestehender Behinderungen zur Folge haben.

Soweit das aufgrund der Verfügbarkeit möglich ist, können die verfügbaren Daten zur Planung und Verifizierung der Schichtung vorab ausgewertet werden.

Umfang der Messungen

Der Umfang der Messungen richtet sich nach der Aufgabenstellung. Für den Anwendungsfall der Qualitätssicherung ist eine permanente Bestimmung des Beförderungsgeschwindigkeitsindex vorstellbar. Auch wenn die Werte pro Tag und Zeitbereich berechnet werden, sollten dabei Aggregationen auf Wochen- und Monatebenen erfolgen. Dieses Vorgehen ist geeignet, wenn verwertbare Leitsystem-Daten bzw. Daten zu den Anmeldungen an den Lichtsignalanlagen vorliegen, die regelmäßig einer Vollerhebung entsprechen.

Die Bewertung der Ist-Situation kann auch mit einer Stichprobe erfolgen, die über einen begrenzten Zeitbereich ermittelt wird. Verlustzeitanalysen zeigen, dass die verkehrlichen Verhältnisse oft relativ stabil sind, was eine permanente Auswertung nicht erforderlich macht⁴. Im Rahmen einer Stichprobenerhebung sollten 5-10 Messfahrten pro planmäßige Fahrt angestrebt werden, bei dichten Takten ggf. etwas weniger. Entsprechende Messungen bzw. Auswertungen sollten eher in Zeiten mit höherem Verkehrsaufkommen durchgeführt werden (Winterhalbjahr) und in den gleichen Perioden der Folgejahre wiederholt werden können.

In jedem Fall sollte eine gleichmäßige Abdeckung des Analysezeitraums und des Fahrplanangebots angestrebt werden. Systematischer Lücken (Zeitbereiche, für die keine Messfahrten vorliegen) sind zu vermeiden, z.B. aufgrund von durch Subunternehmer gefahrene Leistungen.

Wenn bei dichten Takten nicht jede geplante Fahrt einbezogen werden soll, ist ebenfalls auf die Vermeidung größerer Lücken zu achten. Soweit möglich, sollte in diesem Fall die vollständige Abdeckung aller Planfahrten höher gewichtet werden als die absolute Höhe der Stichprobe.

Auswertung über Haltestellenabschnitte

Die Durchführung einer Bewertung wird in vielen Fällen für Abschnitte erfolgen, die an Haltestellen beginnen und enden. Gegebenenfalls soll die Angebotsqualität (SAQ) für jeden Abschnitt von Haltestelle zu Haltestelle ermittelt werden. Aufgrund der Möglichkeit, dass es im Bereich der Haltestelle zu Verlustzeiten kommen kann, ist eine logisch korrekte Aufteilung der Zeiten erforderlich.

Verlustzeiten zwischen Ankunft und Abfahrt entstehen durch Behinderungen, die sich unmittelbar vor oder kurz nach der Haltestelle befinden (Fußgängerüberweg, LSA, Vorfahrt, Stopp, ..., ggf. Rückstau im IV). Weiterhin kann alleine die Ausfahrt der Haltestelle betroffen sein, wenn sich das ÖPNV-Fahrzeug in den fließenden Verkehr einordnen muss.

Die korrekte Aufteilung der Zeiteile zwischen Ankunft und Abfahrt ist möglich, wenn der Zeitpunkt des letzten Türschließens bekannt ist. Die Beförderungszeit soll die Dauer vom letzten Türschließen an einer Haltestelle bis zum letzten Türschließen an der folgenden Haltestelle umfassen. Wenn an einer Haltestelle lediglich die Zeitpunkte der Ankunft und Abfahrt oder vielleicht nur der Abfahrt vorhanden sind, kann mit den Behinderungen nicht sachgerecht umgegangen werden.

Bei wenig detaillierten Messdaten ergibt sich bei der Bestimmung der Angebotsqualität über den gesamten Verlauf von Fahrten kein Problem. Die an den Haltestellen bestehenden falschen Zuordnungen gleichen sich aus. An der Ankunfts-Endhaltestelle darf nur die Ankunftszeit betrachtet werden. Keine gravierenden Effekte sind zu erwarten, wenn die Haltestellen am Beginn und am Ende eines Abschnitts keine Behinderungen aufweisen. Bestehen Behinderungen am Beginn und/oder Ende eines gewünschten Abschnitts würde es bei der Aufteilung anhand der Abfahrtszeit zu Fehlern kommen. In diesem Fall würden Verlustzeiten, die am Beginn eines neuen Abschnitts auftreten, fälschlicherweise dem vorangehenden Abschnitt zugeordnet. Soweit möglich, ist dann die Ausdehnung der Abschnitte zu empfehlen. Das kann wiederum zu sehr langen Abschnitten führen und Einschränkungen der angestrebten Aussage zur Folge haben.

⁴ Erfahrung der UVT GmbH aus Messungen, die im Abstand von einem oder mehreren Jahren wiederholt wurden.

6.4.6 Weitere Hinweise zur Anwendung

Detailanalysen

Wenn die Bewertung der Beförderungsgeschwindigkeit auf der Basis von Messdaten erfolgen soll, kommt der detaillierten Berechnung der idealen Beförderungszeit eine große Bedeutung zu. Die ideale Fahrtzeit als Teil der idealen Beförderungsgeschwindigkeit ist auf der Basis einer genauen exakten Abbildung des Linienverlaufs zu berechnen, wobei alle Punkte berücksichtigt sein müssen, die zu einer Änderung der Geschwindigkeit führen. Es ist vom Halt und Fahrgastwechsel an allen Haltestellen auszugehen. Für die Fahrgastwechselzeit sind bekannte Werte oder Richtwerte zu verwenden.

Die Bewertung kann durchgeführt werden, auch wenn die zu verwendenden Messfahrten nicht über die gleiche Detaillierung verfügen. Als gemeinsame Bezüge von idealer und berechneter/gemessener Beförderungsgeschwindigkeit werden in diesen Fällen die Abfahrten von den Haltestellen verwendet. Die Fahrgastwechselzeiten sind auf beiden Seiten konsistent zu behandeln bzw. einzufügen. Das birgt allerdings das Risiko in sich, dass größere Differenzen zwischen den angenommenen und tatsächlichen Fahrgastwechselzeiten zu fehlerhaften Bewertungsergebnissen beitragen können. Eine Verifizierung sollte daher immer erfolgen, wenn die Messdaten keine Fahrgastwechselzeiten einschließen.

Bei der Verwendung wenig detaillierter Messdaten beschränken sich Detailanalysen, die das Bewertungsergebnis erklären können, auf die haltestellenbezogenen Abschnitte. Wo genau die Ursachen für Abweichungen allgemein bzw. für eine schlechte Bewertung, liegen, kann aus den Daten nicht ermittelt werden. Detaillierte Daten bieten den Vorteil, dass zusätzlich zur Bewertung auch die Analyse der Problempunkte unterstützt wird.

Pünktlichkeit und Fahrtzeitvorgaben

Die im Kontext der Bewertung gemäß HBS verwendeten berechneten/gemessenen Beförderungsgeschwindigkeiten können nicht zur Berechnung der Pünktlichkeit und nicht (direkt) für die Planung der Fahrtzeitvorgaben verwendet werden. Aufgrund der Bedingung des Halts und Fahrgastwechsels an allen Haltestellen werden die Werte oft über den Beförderungsgeschwindigkeiten liegen, die für die Planung der Fahrtzeitvorgaben maßgebend sind.

Halt und Fahrgastwechsel an Haltestellen

Es besteht die Möglichkeit, dass die Bedingung des Halts und Fahrgastwechsels an allen Haltestellen dazu führt, dass für Abschnitte mit einer geringen Nachfrage an der oder den Haltestellen nur wenige oder in bestimmten Zeitschichten gar keine Messfahrten verwendet werden können. Sollten betroffene Abschnitte keine Behinderungen aufweisen, könnten diese aus der Bewertung von Linien oder längeren Abschnitten ausgeschlossen werden. Ist das nicht möglich, könnten die haltestellenbezogenen Werte für die Berechnung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit so gewichtet werden, dass der Situation der Messdaten entsprochen wird. Bei diesem Vorgehen können alle Messdaten verwendet werden. Der Aufwand für die Bestimmung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit erhöht sich. Wenn die Gewichtungen unzureichend mit der Realität übereinstimmen, besteht das Risiko einer fehlerhaften Bewertung.

Bei der Umsetzung der Bedingung Halt und Fahrgastwechsel an allen Haltestellen ist ein weiterer Effekt zu beachten, der zu einer systematischen Verzerrung der Bewertung führen kann. Betroffen sind vor allem Haltestellen, die in Abschnitten mit einer Koordinierung der Lichtsignalanlagen liegen. Wenn es einen Zusammenhang zwischen dem Halt an einer Haltestelle und der Verlustzeit an nachfolgenden Lichtsignalanlagen gibt, kann das Weglassen von Fahrten ohne Halt zu anderen Verlustzeiten im weiteren Verlauf führen. In diesen Fällen kann ebenfalls die zuvor beschriebene Gewichtung der haltestellenbezogenen Werte für die Berechnung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit angewendet werden.

Einfügen von Fahrgastwechselzeiten

Soweit Messdaten mit Fahrgastwechselzeiten aus anderen Systemen zusammengeführt werden, sollte das auf einer höheren Aggregationsstufe als der Einzelfahrt erfolgen, es sei denn für jede Messfahrt und Haltestelle liegen die entsprechenden Werte vor.

Standzeiten an Haltestellen

Es gibt Haltestellen, für die längere Standzeiten geplant sind. Diese dienen der Herstellung von Anschlüssen, dem Abbau eventueller Verspätungen, dem Fahrerwechsel, dem Abwarten des Gegenverkehrs in eingleisigen bzw. einspurigen Abschnitten etc. Ungeplante verlängerte Standzeiten sind auch durch Verfrühungen möglich.

Beispielsweise beim Verspätungsabbau können diese Situationen zu einer falschen Aussage der Bewertung führen, wenn Haltestellenabschnitte betrachtet werden. Die Zeit von Haltestelle zu Haltestelle entspricht aufgrund des Verspätungspuffers der idealen Beförderungszeit. Tatsächlich ist die pünktliche Abfahrt vielleicht nur durch den im Fahrplan eingebauten Puffer möglich und die verspätete Ankunft bleibt unerkannt.

Soweit die Fahrplandaten und die Messdaten das zulassen, sollten solche Effekte herausgerechnet werden.

Fahrtzeitvorgaben

Die Fahrtzeitvorgaben können einen Einfluss auf das Bewertungsergebnis haben. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn die Verkehrsunternehmen oder Aufgabenträger im Interesse der Pünktlichkeit und von Anschlussbeziehungen mit größeren Reserven planen. Bonus-Malus-Regelungen in Verkehrsverträgen können zu vergleichbaren Effekten führen. Die eingeplanten Reserven erhöhen die gemessenen Beförderungszeiten und führen zu einer schlechteren Bewertung.

In diesem Zusammenhang sollte beachtet werden, dass die Planung größerer Reserven zumeist eine Reaktion auf ungünstige verkehrliche Rahmenbedingungen und starke Behinderungen ist. Wenn ein pünktlicher Taktverkehr erwartet wird bzw. vorgegeben ist, müssen sich die Fahrtzeitvorgaben an den im Tagesverlauf ungünstigsten Bedingungen orientieren.

Werden knappe Vorgaben geplant, enthalten die gemessenen Zeiten geringere oder keine Anteile, die auf die Vermeidung von Verfrühungen zurückzuführen sind.

Bei der Interpretation der ermittelten Stufen der Angebotsqualität (SAQ) sollten die Vorgehensweise bei der Planung der Fahrtzeitvorgaben und eventuelle tageszeitabhängige Differenzierungen berücksichtigt werden.

6.5 Umsetzung der Verbesserungsvorschläge in einen Formulierungsvorschlag für Kapitel S7 des HBS

Die in den Kapiteln 7.1 bis 7.4 dargestellten Verbesserungs- und Überarbeitungsvorschläge wurden in einen zusammenhängenden Formulierungsvorschlag für die Neufassung des Kapitels S7 des HBS umgesetzt, der als Anhang beigefügt ist. Die folgende Tabelle stellt die geänderten bzw. ergänzten Abschnitte des Formulierungsvorschlags für die Neufassung des Kapitels S7 des HBS den Abschnitten dieses Abschlussberichts gegenüber, so dass erkennbar wird, worauf sich die geänderten bzw. ergänzten Abschnitte im Formulierungsvorschlag stützen bzw. umgekehrt, wie und wo die in diesem Bericht dargelegten Verbesserungsvorschläge in den Formulierungsvorschlag überführt wurden. Nicht genannte Abschnitte des Formulierungsvorschlags sind (i. W.) unverändert.

Formulierungsvorschlag für Kapitel S7 des HBS			Abschlussbericht		
Ab-schnitt	Überschrift	Inhalt der Überarbei-tung/Ergänzung	Ab-schnitt	Überschrift	Bemerkungen zum Inhalt
7.1.2	Begriffe	Einführung Begriffe ÖV-Netzabschnitt, ÖV-Netzteilabschnitt	7.2.1	Definition Ab-schnitte	
7.3.1	Anwendungsfälle	neue Anwendungsfälle, Beschreibung	7.1	Übersicht der künftigen Anwendungs-fälle	
7.3.2	Einflussgrößen auf die Beförderungsgeschwindigkeit	Ergänzung Streckencharakteristika	7.2.3	Berücksichtigung der reduzierten Ge-schwindigkeit bei Kurvenfahrten etc.	neue Formeln
7.3.3	Festlegung der ÖV-Netz(teil)abschnitte	Haltestellen, Sonderfahrstreifen, Änderung der Streckencharakteristik, Meldepunkte	7.2.1	Definition Ab-schnitte	
7.3.5	Anforderungen an Messdaten	Anforderungen an Detaillierung der Messdaten und Hinweise zur Auswertung der Daten	7.4.3	Anforderungen an die Detaillierung der Daten	
			7.4.4	Anforderungen an die Datenqualität	Lokalisierung, Erkennung der Ankunft, Abfahrt und Fahrgastwechselzeit
			7.4.5	Anforderungen an die Auswertung	Plausibilitätsprüfung, Ausreißer
7.4.1	Verfahrensablauf	Aufzählung der zu bestimmenden Größen: maximal erreichbare Geschwindigkeit, Zeit für Beschleunigung/Verzögerung bei Änderung der zulässigen Geschwindigkeit	(div.)		
7.4.2	ideale Beförderungsgeschwindigkeit	Berechnung: maximal erreichbare Geschwindigkeit, Zeit für Beschleunigung/Verzögerung bei Änderung der zulässigen Geschwindigkeit, Geschwindigkeit in Kurven; Werte für Beschleunigung/Verzögerung, Haltestellenaufenthaltszeit	7.2.2	Anpassung Beschleunigungs-/Verzögerungswerte	neue Werte
			7.2.3	Berücksichtigung der reduzierten Geschwindigkeit bei Kurvenfahrten etc.	neue Formeln
			7.2.4	Haltestellenaufenthaltszeit	neue Werte
7.4.3	zu erwartende Beförderungsgeschwindigkeit (Berechnungsverfahren)	Festzeitmodellumlauf für verkehrsabhängige LSA-Steuerung, für Anwendungsfall 2: Verweis auf Abschnitt zu Messungen	7.2.5	verkehrsabhängige LSA-Steuerungen	Festzeitmodellumlauf, für Anwendungsfall 2: Verweis auf Abschnitt zu Messungen

7.4.4	zu erwartende Beförderungsgeschwindigkeit (Messverfahren)	grundlegende Formel zur Ermittlung, Betrachtungszeitraum / Anzahl Messfahrten			
7.4.5	tatsächliche Beförderungsgeschwindigkeit (Messverfahren)	Anforderungen an Detaillierung & Qualität der Daten, Verfahrensablauf, Fahrtenstichprobe, Schichtung;	7.3.3	Anwendungshinweise für den Anwendungsfall "Qualitätssicherung im Bestand"	Schichtung
			7.4.3	Anforderungen an die Detaillierung der Daten	
			7.4.4	Anforderungen an die Datenqualität	Lokalisierung, Erkennung der Ankunft, Abfahrt und Fahrgastwechselzeit
			7.4.5	Anforderungen an die Auswertung	Plausibilitätsprüfung, Ausreißer

Tab. 26: Gegenüberstellung der vorgeschlagenen Änderungen/Ergänzungen an Abschnitten des Kapitels S7 und der Abschnitte des Abschlussberichts

7 Überarbeitungsvorschläge für das Kapitel S4 des HBS 2015

In diesem Abschnitt werden Vorschläge für Änderungen und Ergänzungen des Kapitels S4 des HBS 2015 dargestellt. Das Kapitel S4 beschreibt die Bewertung der Verkehrsqualität an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen. Im HBS 2015 sind Vorgaben enthalten, die den ÖPNV betreffen. Die Überarbeitungsvorschläge basieren auf den nachfolgend erläuterten Überlegungen.

Der Überarbeitungsvorschlag für das Kapitel S7 des HBS stellt eine Methodik zur Verfügung, die auch für die Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage angewendet werden kann. Die abschnittsbezogene Bewertung der Verkehrsqualität wurde von Experten und Verkehrsunternehmen angeregt. Diese soll es ermöglichen, die gesamten Verlustzeiten in die Bewertung einzubeziehen (Verzögerung, Halt, Beschleunigung). Das ist mit dem aktuellen Verfahren nicht gegeben. Die gesamthafte Betrachtung ist erforderlich, weil die Verlustzeiten in der Regel mehrere Fahrten mit wiederum jeweils mehreren Fahrgästen betreffen.

Mit dem erweiterten Verfahren aus dem Kapitel S7 wird eine breitere Anwendbarkeit erreicht. Restriktionen, die für die Anwendung des Kapitels S4 des HBS bestehen, entfallen. Messdaten, u.a. aus der An- und Abmeldung der ÖPNV-Fahrzeuge an den Lichtsignalanlagen oder aus spezialisierten Messsystemen, können für eine umfängliche Abdeckung der gesamten Betriebszeit des ÖPNV genutzt werden.

Darüber hinaus werden Widersprüche vermieden, die sich aus der parallelen Anwendung des erweiterten Verfahrens aus einem neu formulierten Kapitels S7 und dem bisherigen Kapitel S4 des HBS ergeben könnten.

Damit der ÖPNV in die Bewertung der Verkehrsqualität an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen einbezogen bleibt, sollen die nach Kapitel S7 (neu) für einen Abschnitt über eine Lichtsignalanlage ermittelten Stufen der Angebotsqualität (SAQ) den mit Kapitel S4 ermittelten Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) gleichgesetzt werden.

Der Anhang B umfasst das Kapitel S4 des HBS 2015. Die vorgeschlagenen Anpassungen sind eingearbeitet und farbig hervorgehoben.

8 Bewertung der Vorschläge

8.1 Multikriterielle Bewertung der Vorschläge

Die Verbesserungsvorschläge aus dem Kap. 7 wurden einer multikriteriellen Bewertung anhand der Kriterien „erreichbare Genauigkeit in der Praxis“, „Breite der Anwendungsmöglichkeiten (Wegfall bisheriger Einschränkungen)“, „praktische Eignung“ sowie „Kompatibilität mit den bisherigen Verfahren nach HBS und RIN“ unterzogen. Zum Kriterium „Klimawirkung“ wurden keine Einzelbewertungen vorgenommen, da die vorgeschlagenen Änderungen des Verfahrens keine (direkte) Wirkung auf das Klima haben. Eine verbesserte Anwendbarkeit des Verfahrens für die Qualitätssicherung könnte jedoch indirekt einen positiven Effekt auf den Klimaschutz haben.

Die Ergebnisse der multikriteriellen Bewertung sind in Tab. 27 zusammengefasst.

Vorschläge	betroffene Anwendungsfälle	erreichbare Genauigkeit in der Praxis	Breite der Anwendungsmöglichkeiten (Wegfall bisheriger Beschränkungen)	praktische Eignung	Kompatibilität mit den bisherigen Verfahren nach HBS
Differenzierung in 3 Anwendungsfälle: Neubau (NB), neue Linie auf bestehender Infrastruktur (NL), Qualitätssicherung im Bestand (QB)		(nicht anwendbar)	+	+	+
Definition der Abschnitte an Haltestellen orientieren	alle	(nicht anwendbar)	(nicht anwendbar)	+	o
detailliertere & flexiblere Einteilung in Teilabschnitte	alle	+	+	+	o
Anpassung der Beschleunigungs- und Verzögerungswerte	alle	+	(nicht anwendbar)	+	+
reduzierte Geschwindigkeit in Kurven und beim Abbiegen	alle	+	+	+	o
Kreisverkehr	alle	+	+	+	o
Vorfahrt beachten	alle	+	+	+	o
Aufenthaltszeit an Haltestellen	alle	+	o	+	+
Festzeitmodellentwurf für verkehrsabhängige LSA-Steuerungen	alle	+	+	+	o
Test-/Messfahrten im Realbetrieb zur Bestimmung der zu erwartenden Beförderungsgeschwindigkeit	NL	o	+	+	o
messdatenbasiertes Verfahren: Festlegung von Mindestanforderungen an Datenqualität, Datenumfang/Detaillierung, Stichprobenumfang	QB, NL	+	+	+	+

Tab. 27: Multikriterielle Bewertung der Verbesserungsvorschläge zu Kap. S7 HBS. NL = Planung neuer Linien(abschnitte), QB = Qualitätssicherung im Bestand.

8.2 Ergebnisse des zweiten Expertenworkshops

Die im Kap. 7 dargestellten Verbesserungsvorschläge sowie deren multikriterielle Bewertung wurden am 07.02.2023 in einem zweiten Expertenworkshop Fachleuten von Verkehrsunternehmen und kommunalen Behörden vorgestellt und mit diesen diskutiert. Eingeladen war derselbe Personenkreis wie beim ersten Expertenworkshop, auch der Kreis der tatsächlich Teilnehmenden deckte sich weitgehend mit dem ersten Workshop (vgl. Kap. 4.1 und Tab. 1).

Institution/Unternehmen	Arbeitsbereich/Sachgebiet
Hamburger Hochbahn	Systementwicklung und Angebotsplanung / Verkehrstechnik / ÖPNV-Bevorrechtigung an LSA
Kölner Verkehrsbetriebe	Angebotsplanung, Abstimmung LSA-Steuerung/ÖPNV-Bevorrechtigung
Leipziger Verkehrsbetriebe	Verkehrswegeplanung, Marketing
Stadtwerke Krefeld	Verkehrsplanung
Stadt Kassel	Straßenverkehrsamt
Bochum-Gelsenkirchener Straßenbahnen AG	Strategische Verkehrsplanung; Fahrplanung & Fahrgastinformation
Stadt Offenburg	Tiefbau und Verkehr / Verkehrsplanung & -steuerung
Stadt Nürnberg	Verkehrsplanungsamt / Verkehrstechnik
Stadt Hamburg	Landesbetrieb Straßen, Brücken & Gewässer / Intelligente Verkehrssteuerung
traffiQ Lokale Nahverkehrsgesellschaft Frankfurt (Main)	Planung Nahverkehr / ÖPNV-Bevorrechtigung
Stadt Frankfurt am Main	Straßenverkehrsamt / LSA-Steuerung
Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz Berlin (*)	LSA-Steuerung, Qualitätsmanagement, ÖPNV-Bevorrechtigung

Tab. 28: Vertretene Institutionen und Unternehmen beim Workshop am 7.2.2023, (*) : schriftlicher Input anstelle der direkten Teilnahme am Workshop

In den folgenden Abschnitten werden die Diskussionspunkte beim zweiten Expertenworkshop dokumentiert.

8.2.1 Begriffliche Klärungen

Die Definitionen der Begriffe „Haltestellenaufenthaltszeit“ (= Fahrgastwechselzeit + Reaktion technischer Komponenten und der Fahrerin / des Fahrers) sowie „relevanter Messpunkt“ sollen präzisiert werden.

8.2.2 Genaue Definition/Operationalisierung der idealen Beförderungszeit

Es wird verschiedentlich diskutiert, welche Arten von Verzögerungen bei der Berechnung der idealen Beförderungszeit als unvermeidbar zu akzeptieren und somit zu berücksichtigen sind. Dies betrifft:

- verlängerte Fahrgastwechselzeit bei hohem Passagieraufkommen: Sollte die anzusetzende Fahrgastwechselzeit tageszeitabhängig (differenziert nach Hauptverkehrszeit (HVZ) und Nebenverkehrszeit (NVZ)) variiert werden?
- Fälle, bei denen die betrachtete ÖPNV-Linie an einem nicht signalisierten Knoten in Nebenrichtung verkehrt und demzufolge wartepflichtig ist (Vorfahrt gewähren oder Stopp): Soll die dadurch entstehende Verzögerung bei der idealen Fahrtzeit berücksichtigt werden? Mit anderen Worten, ist die bestehende Vorfahrtregelung als gegeben hinzunehmen oder sollte für die ideale Fahrtzeit eine theoretisch

denkbare Neuregelung des Knotens (Signalisierung mit ÖPNV-Vorrangschaltung oder Umkehrung der Vorfahrtregelung) vorausgesetzt werden?

- Selbstbehinderung des ÖPNV durch hohes ÖPNV-Verkehrsaufkommen in einer Richtung (mehrere ÖPNV-Fahrzeuge nacheinander an einer Haltestelle) oder durch querenden ÖPNV auf anderen Linien.

Für die beiden letztgenannten Fälle soll für die ideale Beförderungszeit von Wartezeit Null ausgegangen werden, da die ideale Beförderungsgeschwindigkeit einen Idealzustand beschreibt, der u.U. nur theoretisch erreichbar ist (etwa durch entsprechenden Infrastrukturausbau). Im Übrigen kann die zu erwartende Fahrtzeit bei Einfahrt des ÖPNV aus Nebenrichtung ohnehin im Berechnungsverfahren nicht ermittelt werden. Dafür wird hier kein Verbesserungsvorschlag präsentiert, da die Kapitel S3, S4 und S5 des HBS für diesen Fall auch nicht anwendbar sind und somit eine Anwendung auf längeren Linienabschnitten oder ganzen Linien wegen dieser Einschränkungen ohnehin nicht möglich ist.

Tageszeitabhängige Haltestellenaufenthaltszeiten können verwendet werden, falls örtliche Messwerte vorliegen. Allerdings wird sich der Einfluss verlängerter Fahrgastwechselzeiten in der HVZ bei der Berechnung des Beförderungsgeschwindigkeitsindex wenig auswirken, da sich sowohl Zähler als auch Nenner um den gleichen Betrag verändern und Zähler und Nenner die gleiche Größenordnung haben.

8.2.3 Messungen zur Beförderungszeit

8.2.3.1 Fahrgastwechselzeit

Bei der Auswertung von Messdaten ist bei Haltestellen, die unmittelbar vor einer LSA liegen, die Abgrenzung zwischen der Fahrgastwechselzeit und einer eventuellen LSA-bedingten Verlustzeit u.U. schwierig.

Falls lokal Messdaten zu Fahrgastwechselzeiten vorliegen, sollten diese vorrangig vor allgemeinen Richtwerten genutzt werden.

Zeiten für Fahrscheinverkauf durch den Fahrer oder die Fahrerin zählen normalerweise zur Fahrgastwechselzeit. Wenn die Zeit für Fahrscheinverkauf sowohl bei der idealen als auch bei der zu erwartenden bzw. gemessenen Beförderungszeit mitgerechnet wird, ist der Einfluss auf den Beförderungsgeschwindigkeitsindex gering. Eine Quantifizierung des Optimierungspotenzials durch Einstellung des Fahrscheinverkaufs beim Fahrer / bei der Fahrerin würde den Rahmen des HBS sprengen.

8.2.3.2 Halteposition an Haltestellen

Bei längeren Haltestellen (insbesondere Doppelhaltestellen) soll die vorderste Halteposition zu Grunde gelegt werden, es sei denn, es sind einzelnen Linien verschiedene Haltepositionen fest zugeordnet.

8.2.4 Vorschläge zur Überarbeitung des Kapitels S7 des HBS

Vorbemerkung: Die Beschränkungen der Anwendbarkeit von Kapitel S7 des HBS beziehen sich im Wesentlichen nur auf die Ermittlung der zu erwartenden, nicht jedoch der idealen Geschwindigkeit. Daher sind diese Restriktionen für den Anwendungsfall Qualitätssicherung im Bestand irrelevant; somit ist für diesen Anwendungsfall grundsätzlich eine breitere Anwendungsmöglichkeit gegeben.

8.2.4.1 Aufenthaltszeit an Haltestellen

Die vorgeschlagenen erhöhten Richtwerte für die Aufenthaltszeit an Haltestellen werden als im Mittel zu hoch angesehen; außerdem wird eine Differenzierung nach Tageszeit (HVZ/NVZ) und Lage/Bedeutung der Haltestelle (Stadt/Land, hohes/niedriges Fahrgastaufkommen) angeregt.

8.2.4.2 Verkehrsabhängige LSA-Steuerungen

Der Realitätsbezug der vorgeschlagenen Behandlung verkehrsabhängiger LSA-Steuerungen durch ein Festzeitmodell wird kritisch diskutiert, da hierdurch die Wirkung der verkehrsabhängigen Steuerung ausdrücklich ausgeblendet wird und dies eine zu starke Vereinfachung darstelle.

Dies betrifft das Berechnungsverfahren für die Bestimmung der zu erwartenden Geschwindigkeit. Falls nicht nur die Bemessungsstunde, sondern der ganze Tag betrachtet werden soll, kann eine Simulation der verkehrsabhängigen Steuerung sinnvoll sein; dies bringt zwar einen höheren Aufwand mit sich, ermöglicht aber eine größere Genauigkeit. Ansonsten wird auf Kapitel S4 des HBS verwiesen; die dortigen Beschränkungen der Anwendbarkeit sind nicht Gegenstand des vorliegenden Projekts. In der Bemessungsstunde (relevant für Anwendungsfall Planung, d.h. die Anwendungsfälle 1 und 2 aus Kap. 7.1) wird aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens die Wirkung der verkehrsabhängigen Steuerung ohnehin geringer, da häufig alle Relationen stark nachgefragt werden und bedient werden müssen.

8.2.4.3 Reduzierte Geschwindigkeit in Kurven

Es wird dafür plädiert, die vorgeschlagene Formel (und nicht Richtwerte aus Messungen) zu verwenden.

8.2.4.4 Anforderungen an die Durchführung von Messungen für ein Verfahren auf Basis von Messdaten

Es wird die Frage aufgeworfen, wie bei der Auswertung von Messdaten Halte an Haltestellen mit Türfreigabe, aber ohne Türöffnung zu behandeln sind.

Zur Rolle von Messungen wird erörtert, ob Messungen auch zur Ermittlung der idealen Beförderungsgeschwindigkeit verwendet werden sollen. Dies wird von den Auftragnehmern allenfalls als mögliche Näherungslösung angesehen (15. Perzentil als Referenzwert), da ein solches Vorgehen das Risiko birgt, dass dauerhaft auftretende Verlustzeiten zur Normalität deklariert werden.

Für die Ermittlung der Haltestellenaufenthaltszeit bzw. Fahrgastwechselzeit werden unterschiedliche technische Operationalisierungen diskutiert: Zeit mit Geschwindigkeit 2 km/h (Problem: Dies kann dazu führen, dass auch Kriechfahrten fälschlich als Haltestellenaufenthaltszeit gewertet werden können); Nutzung der Grünschleife (Türsicherungssystem) (Problem: Der hierbei erfasste Zeitraum umfasst sowohl die Türfreigabe – die bereits vor dem Halt erteilt werden kann – als auch die reale Türöffnung, erlaubt also keine exakte Aussage über die reale Dauer der Türöffnung).

8.2.5 Vorschläge der Fachleute zur Verbesserung des Kapitels S7 des HBS

Es wird vorgeschlagen, je nach Tageszeit differenzierte Zielwerte für die QSV zu definieren (z.B. QSV B für HVZ, QSV A sonst).

Es wird die Frage aufgeworfen, wie für einen Fahrtzeitvergleich Planfall/Vergleichsfall bei Einrichtung eines Sonderfahrstreifens mit Verlegung von Haltestellen mit der Unterteilung der Abschnitte umzugehen ist. Ein derartiger Fahrtzeitvergleich (vor/nach Umbau) ist jedoch kein Anwendungsfall des HBS.

Dessen ungeachtet kann es beim Vergleich unterschiedlicher Planfälle vorkommen, dass die Abschnittsgrenzen in den einzelnen Planfällen nicht übereinstimmen. Für einen Vergleich der Beförderungszeiten bzw. -geschwindigkeiten müssen dann die an den abweichenden Abschnittsgrenzen anliegenden Abschnitte zusammengelegt werden, so dass in beiden Planfällen ein Abschnitt gleicher Länge entsteht.

8.2.6 Multikriterielle Bewertung der Vorschläge

Generell treffen die Vorschläge und ihre Bewertung durch die Auftragnehmer auf weitgehende Zustimmung bei Verkehrsunternehmen und städtischen Behörden.

Mehrere Verkehrsunternehmen bieten an, Daten zur Validierung der Messdaten aus Krefeld und zur Prüfung der vorgeschlagenen Richtwerte für die Haltestellenaufenthaltszeiten zu liefern (vgl. Kapitel 5.5 und 5.6).

Literatur

- Anderson, R.; Condry, B.; Findley, N.; Brage-Ardao, R.; Haojie, L (2013): Measuring and Valuing Convenience and Service Quality - A review of global practices and challenges from the public transport sector. Discussion Paper. International Transport Forum 2016.
- Bergelt, J. (2018): Beurteilung der Eignung geschwindigkeitsbezogener Angebotsqualität nach HBS 2015 für das Qualitätsmanagement im ÖPNV. Bachelorthesis, Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft.
- Bischofsberger, N. (1997): Leistungsfähigkeit von Verkehrssystemen. IVT-Schriftenreihe 113. Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT). ETH Zürich. Zürich.
- dell'Olio, L., Ibeas, A., Cecin, P. (2011): The quality of service desired by public transport users. Transport Policy, Volume 18. Issue 1. Pages 217-227. ISSN 0967-070X. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.08.005>
- Dresdner Verkehrsbetriebe (DVB) (2013): Broschüre Beschleunigung ÖPNV, <https://www.dvb.de/-/media/files/die-dvb/dvb-broschuere-nahverkehr.pdf>, Abruf 30.05.2022
- Europäische Norm 13816 (2002): Transport – Logistik und Dienstleistungen – öffentlicher Personenverkehr – Definition, Festlegung von Leistungszielen und Messung der Servicequalität
- Europäische Norm 15140 (2006) Öffentlicher Personennahverkehr – Grundlegende Anforderungen und Empfehlungen für Systeme zur Messung der erbrachten Dienstleistungsqualität.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2008): Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN). Köln: FGSV Verlag GmbH (FGSV R1 - Richtlinien, 121).
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2015): HBS Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen. Köln: FGSV Verlag GmbH (FGSV R1 - Richtlinien, 299).
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2018): Hinweise zu Bevorrechtigungsmaßnahmen für den ÖPNV im städtischen Verkehrsmanagement. Köln: FGSV Verlag GmbH (FGSV W1 - Wissensdokumente, 361).
- Forschungsgesellschaft Straße, Schiene, Verkehr Österreich (FSV) (2019): RVS 02.03.11 Optimierung des Öffentlichen Personennahverkehrs – Freie Strecke und Haltestellen. Wien.
- Fu, L.; Xin, Y. (2007) A New Performance Index for Evaluating Transit Quality of Service, Journal of Public Transportation, 10, No.3, pp. 47-69.
- Government of India (2013a): Service Level Benchmark in Urban Transport for Indian Cities. Ministry of Urban Development. https://mohua.gov.in/upload/uploadfiles/files/Voulmel_Methodologyreport_final03.pdf, abgerufen am 28.09.2023
- Government of India (2013b): Service Level Benchmark for Urban Transport at a Glance. https://mohua.gov.in/upload/uploadfiles/files/Service_level.pdf, Abgerufen am 28.09.2023
- Kühler, U.; Strauss, S.; Wichmann, S. (1998): Auswirkungen von Haltestellen auf Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität innerstädtischer Hauptverkehrsstraßen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik 57, 1998.
- Schneider, B.; Seifert, V.; Heipp, G. (2018): Beschleunigung auf dem Prüfstand – Qualitätssicherung des ÖPNV an Lichtsignalanlagen. In: Straßenverkehrstechnik 4/2018.
- Schweizerischer Verband der Straßen- und Verkehrsfachleute (VSS) (2022): Normenwerk des VSS. VSS 41002
- Stadt Hamburg (2012): Busbeschleunigungsprogramm Hamburg, Beschleunigung der Metrobuslinie 3, Teil A.
- Stadt Hamburg (2017): Busbeschleunigungsprogramm Hamburg, Messfahrten Metrobuslinie 7
- Sümmermann, A.; Lank, C.; Steinauer, B.; Baier, M. M.; Baier, R.; Klemps-Kohnen, A. (2009): Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Verkehrstechnik Heft V182. Bergisch-Gladbach.
- Transportation Research Board TRB (2016): Highway Capacity Manual, 2016 Edition

Verband deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) (2019): Verkehrserschließung, Verkehrsangebot und Netzqualität im ÖPNV. VDV-Schrift 4. Köln

Weidmann, U.; Orth, H.; Dorbritz, R.; Schwertner, M.; Carrasco, N. (2013): Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH); Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK); Bundesamt für Strassen, Schweiz (ASTRA). Zürich.

Abbildungen

Abb. 1: Beförderungsgeschwindigkeiten im Streckenverlauf einer Linie (Bergelt 2018)

Abb. 2: Verlauf der Linie 052 (Quelle: <https://efa.vrr.de>, Kartendaten: Bereitsteller: Land NRW (2019) Lizenz: dl-de/by-2-0, © OpenStreetMap-Mitwirkende)

Abb. 3: Ausschnitt Linienvermessung (Quelle: Bildschirmausgabe der FadaPlus-Software)

Abb. 4: Verteilung der Beförderungszeiten, Linie 052, Krefeld nach Moers, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 18:00 Uhr

Abb. 5: Verteilung der Beförderungszeiten, Linie 052, Moers nach Krefeld, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 18:00 Uhr

Abb. 6: Mittlere Abweichung zwischen Beförderungszeit und Fahrtzeitvorgabe, Linie 052, Krefeld nach Moers, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 18:00 Uhr

Abb. 7: Mittlere Abweichung zwischen Beförderungszeit und Fahrtzeitvorgabe, Linie 052, Moers nach Krefeld, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 18:00 Uhr

Abb. 8: Aufteilung der Beförderungszeit nach Abschnitten, Linie 052, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 18:00 Uhr

Abb. 9: Aufteilung der Verlustzeiten nach Abschnitten, Linie 052, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 18:00 Uhr

Abb. 10: Standzeiten an Lichtsignalanlagen in Richtung Moers (stundenbezogene Mittelwerte), Linie 052, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Abb. 11: Standzeiten an Lichtsignalanlagen in Richtung Krefeld (stundenbezogene Mittelwerte), Linie 052, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Abb. 12: Gegenüberstellung der Fahrtzeiten in Richtung Moers, Linie 052, Montag bis Freitag, Messdaten der Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Abb. 13: Gegenüberstellung der Fahrtzeiten in Richtung Krefeld, Linie 052, Montag bis Freitag, Messdaten der Abfahrten 05:00 bis 19:00 Uhr (ohne Fußgängerzone in Moers)

Abb. 14: Abweichungen zwischen dem 16. Perzentil der Fahrtzeiten der Fahrten mit Halt nur an Haltestellen sowie den Fahrtzeiten der Nachtfahrt im Vergleich mit der idealen Fahrtzeit bei einer Beschleunigung von $0,8 \text{ m/s}^2$ im Verhältnis zum Anteil an der Streckenlänge, Linie 052, Montag bis Freitag, Messdaten der Abfahrten 05:00 bis 20:00 Uhr (ohne Fußgängerzone in Moers)

Abb. 15: Verlauf der Linie 4 (Quelle: <https://www.vgn.de>, Kartendaten: © PTV AG / HERE | © OpenStreetMap-Mitwirkende)

Abb. 16: Verteilung der Beförderungszeiten, Linie 4, Nürnberg, Gibitzenhof nach Am Wegfeld, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Abb. 17: Verteilung der Beförderungszeiten, Linie 4, Nürnberg, Am Wegfeld nach Gibitzenhof, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Abb. 18: Mittlere Abweichung zwischen Beförderungszeit und Fahrtzeitvorgabe, Linie 4, Nürnberg, Gibitzenhof nach Am Wegfeld, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Abb. 19: Mittlere Abweichung zwischen Beförderungszeit und Fahrtzeitvorgabe, Linie 4, Nürnberg, Am Wegfeld nach Gibitzenhof, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Abb. 20: Aufteilung der Beförderungszeit, Linie 4, Nürnberg, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Abb. 21: Vergleich von Haltezeit und Fahrgastwechselzeit, Linie 4, Nürnberg, Gibitzenhof nach Am Wegfeld, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Abb. 22: Vergleich von Haltezeit und Fahrgastwechselzeit, Linie 4, Nürnberg, Am Wegfeld nach Gibitzenhof, Montag bis Freitag, Abfahrten 06:00 bis 20:00 Uhr

Abb. 23: Durchfahrtszeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 314, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

Abb. 24: Durchfahrtszeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 314, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof

- Abb. 25: Durchfahrtszeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 315, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof
 Abb. 26: Durchfahrtszeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 315, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof
 Abb. 27: Durchfahrtszeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 316, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof
 Abb. 28: Durchfahrtszeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 316, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof
 Abb. 29: Durchfahrtszeiten zwischen An- und Abmeldung, LSA 626, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof
 Abb. 30: ÖV-Netzabschnitt nach der Überarbeitungsempfehlung für Kapitel S7 (neu) mit Unterteilung in ÖV-Netzteilabschnitte gemäß Kapitel S3 des HBS
 Abb. 31: Unterteilung in ÖV-Netzteilabschnitte an Meldepunkten
 Abb. 32: Messdaten im ÖPNV für das Messverfahren

Tabellen

- Tab. 1: Vertretene Institutionen und Unternehmen beim Workshop am 26.04.2022
 Tab. 2: Ergebnisgrößen FadaPlus
 Tab. 3: Übersicht der verfügbaren Messfahrten
 Tab. 4: Zeit für Verzögerung (bei $1,2 \text{ m/s}^2$) und Beschleunigung (bei $0,8 \text{ m/s}^2$) pro Halt sowie Mindestdauer des Halts
 Tab. 5: Anteil der Fahrten mit Türöffnung (Montag bis Freitag, Abfahrten von 05:00 bis 20:00 Uhr)
 Tab. 6: Fahrgastwechselzeiten (Dauer der Türöffnung, Montag bis Freitag, Abfahrten von 05:00 bis 20:00 Uhr).
 Tab. 7: Zeiten an der Lichtsignalanlage KR-K046 in Krefeld (Fahrtrichtung Moers).
 Tab. 8: Zeiten an der Lichtsignalanlage KR-K084 in Krefeld (Fahrtrichtung Moers).
 Tab. 9: Zeiten an der Lichtsignalanlage KR-K052 in Krefeld (Fahrtrichtung Moers).
 Tab. 10: Zeiten an der Lichtsignalanlage KR-K243 in Krefeld (Fahrtrichtung Krefeld).
 Tab. 11: Zeiten an der Lichtsignalanlage KR-K043 in Krefeld (Fahrtrichtung Krefeld).
 Tab. 12: Übersicht über die aus den Leitstellendaten ermittelbaren Ergebnisgrößen
 Tab. 13: Übersicht der verfügbaren Messfahrten
 Tab. 14: Übersicht über die aus den LSA-Anmeldedaten ermittelbaren Ergebnisgrößen
 Tab. 15: Merkmale der Zufahrt zur LSA 314, Nürnberg, in Richtung Am Wegfeld
 Tab. 16: Merkmale der Zufahrt zur LSA 314, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof
 Tab. 17: Merkmale der Zufahrt zur LSA 315, Nürnberg, in Richtung Am Wegfeld
 Tab. 18: Merkmale der Zufahrt zur LSA 315, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof
 Tab. 19: Merkmale der Zufahrt zur LSA 316, Nürnberg, in Richtung Am Wegfeld
 Tab. 20: Merkmale der Zufahrt zur LSA 316, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof
 Tab. 21: Merkmale der Zufahrt zur LSA 626, Nürnberg, in Richtung Gibitzenhof
 Tab. 22: Mittlere Fahrgastwechselzeiten, Linie 181, Hamburg
 Tab. 23: Mittlere Fahrgastwechselzeiten, Linie 183, Hamburg
 Tab. 24: Verweise im Kapitel 7 auf andere Kapitel des HBS
 Tab. 25: Vergleich der drei Anwendungsfälle
 Tab. 26: Gegenüberstellung der vorgeschlagenen Änderungen/Ergänzungen an Abschnitten des Kapitels S7 und der Abschnitte des Abschlussberichts
 Tab. 27: Multikriterielle Bewertung der Verbesserungsvorschläge zu Kap. S7 HBS. NL = Planung neuer Linien(abschnitte), QB = Qualitätssicherung im Bestand.
 Tab. 28: Vertretene Institutionen und Unternehmen beim Workshop am 7.2.2023, (*): schriftlicher Input anstelle der direkten Teilnahme am Workshop

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen Unterreihe „Verkehrstechnik“

2024

V 380: Maßnahmen zum Umgang mit japanischem Staudenknocherich

Molder, Gaar, Münch, Alberternst

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 381: Akustische Wirksamkeit abknickender und gekrümmter Lärmschirme

Lindner, Ruhnau, Schulze

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 382: Potenziale für Photovoltaik an Bundesfernstraßen

Ludwig, Tegeler, Schmedes, Tomhave, Hensel, Forster, Kleinhans, Heinrich, John, Schill

€ 19,50

V 383: Analyse und Entwicklung leistungsfähiger Einfahrtstypen ohne Fahrstreifenaddition für Autobahnen

Geistefeldt, Brandenburg, Sauer

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 384: Wirksamkeit von Verkehrsbeeinflussungsanlagen – Methoden zur Untersuchung und Metaanalyse

Maier, Leonhardt, Ehm

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 385: HBS-konforme Simulation des Verkehrsablaufs auf einbahnigen Landstraßen

Geistefeldt, Hohmann, Finkbeiner, Sauer, Vortisch, Buck, Weyland, Weiser, Giuliani

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2025

V 386: Pilothafte Anwendung des Bridge-WIM Verfahrens zur Ergänzung des Achslastmessstellennetzes

Firus, Petschacher

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 387: Akustische Wirksamkeit von Vegetation

Lindner, Schulze

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 388: Hochaufgelöste multisensorielle Verkehrsdaten in der Streckenbeeinflussung

Schwietering, Löbbbering, Weinreis, Maier, Feldges

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 389: Lärmwetter in der Praxis – Erprobung und Weiterentwicklung der Methodik zur Anwendung meteorologischer Korrekturen auf die Schallausbreitung

Skowronek, Liepert, Müller, Schady, Elsen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 390: Wirkung von Fahrstreifenbegrenzungen an Einfahrten von Autobahnen auf das Fahrverhalten und auf die Verkehrssicherheit

Geistefeldt, Sauer, Brandenburg

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 391: Erprobung psychoakustischer Parameter für innovative Lärminderungsstrategien

Oehme, Böhm, Horn, Pourpart, Schweidler, Weinzierl, Fiebig, Schuck

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 392: Evaluierung der Wirksamkeit bestehender Überflughilfen für Fledermäuse an Straßen
Albrecht, Reers, Scharf, Grimm, Radford, Namyslo, Günther, Martin, Behr
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/>
heruntergeladen werden.

V 393: Optimierung der Abstände von Anzeigequerschnitten und Messquerschnitten in Streckenbeeinflussungsanlagen
Schwietering, Löbbering, Abarghooie, Geistefeldt, Marnach
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/>
heruntergeladen werden.

V 394: Optimierte Steuerungsstrategien für Lichtsignalanlagen durch die Berücksichtigung der Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation (C2X)
Schendzielorz, Schneider, Künzelmann, Sautter, Höger
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/>
heruntergeladen werden.

V 395: Empfehlungen zur Breite von hochfrequentierten Radverkehrsanlagen unter Berücksichtigung der Verkehrsqualität
Geistefeldt, Brandenburg, Vortisch, Buck, Zeidler, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/>
heruntergeladen werden.

V 396: Wirkung von Behandlungsanlagen der Straßenentwässerung im Hinblick auf AFS63
Rüter, Grotehusmann, Lambert
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/>
heruntergeladen werden.

V 397: Gestaltung innerörtlicher Verkehrswegenetze
Friedrich, Wohnsdorf, Gerike, Koszowski, Baier, Wothge
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/>
heruntergeladen werden.

V 398: Verfahren für die Engpass- und Mängelanalyse im städtischen Hauptverkehrsstraßennetz
Vortisch, Buck, Fuchs, Grau, Friedrich, Hoffmann, Lelke, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/>
heruntergeladen werden.

V 399: Detektion von Radfahrern im signalgeregelten Bereich von Knotenpunkten in Verbindung mit Absetzung einer Warnmeldung für Kraftfahrzeuge
Kaiser, Schade, Czogalla, Abboud, Mischke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/>
heruntergeladen werden.

V 400: Aktualisierung der Verfahren zur Bewertung der Verkehrsqualität an Knotenpunkten mit LSA
Geistefeldt, Wu, Schmitz, Vieten, Stephan
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/>
heruntergeladen werden.

V 401: Verflechtungsstrecken zwischen Knotenpunkten an Autobahnen
Geistefeldt, Brandenburg, Sauer, Vortisch, Buck, Baumann, Grau
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/>
heruntergeladen werden.

V 402: Qualitätsgerechte Bewertung der LSA-Steuerung für den ÖPNV
Schmidt, Sommer, Briegel, Lambrecht
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/>
heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Telefon (04 21) 3 69 03 - 0 · E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de
Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.
www.schuenemann-verlag.de
Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.



ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-863-8
<https://doi.org/10.60850/bericht-v402>

www.bast.de