

DEGES

Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH

im Auftrag der



Freien und Hansestadt Hamburg

Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation
Auftragsverwaltung für die Bundesfernstraßen

A 26, Hafenpassage Hamburg

AK HH-Hafen (A7) bis AD HH-Süderelbe (A1)

Abschnitt 6b (VKE 7052):

AK HH-Moorburg – AS HH-Hohe Schaar

**Verkehrsuntersuchung
AS HH-Hohe Schaar/Rethebrücke**

Oktober 2018

Verkehrsuntersuchung AS HH-Hohe Schaar/Rethebrücke

Abschlussbericht

Auftraggeber: DEGES Deutsche Einheit Fernstraßenplanung- und -bau GmbH
Zimmerstraße 54
10117 Berlin

Auftragnehmer: **ARGUS**
STADT UND VERKEHR · PARTNERSCHAFT mbB
Admiralitätstraße 59
20459 Hamburg
Tel.: +49 (40) 309 709 - 0
Fax: +49 (40) 309 709 - 199
kontakt@argus-hh.de

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Tim Klein
Dipl.-Ing. Lasse Petersen
Dipl.-Ing. Christian Wiesner

Projektnummer: 2018060

Stand: 19.10.2018

INHALTSVERZEICHNIS

1	VERANLASSUNG UND AUSGANGSLAGE	6
2	METHODIK.....	8
3	BESTANDSANALYSE.....	9
3.1	Verkehrsmengen	9
3.2	Brückenöffnungen Rethhubbrücke.....	11
3.3	Brückenöffnungen Rethklappbrücke	14
3.4	Rückstaulängen.....	16
3.5	Befolgungsgrad der wegweisenden Beschilderung	19
4	PROGNOSE	24
4.1	Bezugsfall der Verkehrsinfrastruktur	24
4.2	Bemessungsverkehrsstärke	25
4.3	Rückstaulängen.....	26
5	VERKEHRSLENKENDE MAßNAHMEN	29
5.1	Analyse der Routenwahl.....	29
5.2	Definition von Entscheidungspunkten und Alternativrouten	31
5.3	Verkehrslenkende Maßnahmen	36
6	FAZIT	40
	LITERATURVERZEICHNIS	41

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Lage der Rethbrücke im Bundesfernstraßennetz des Jahres 2030	6
Abbildung 2:	Tagesganglinie Rethbrücke Fahrtrichtung Nord, Pkw und SV, 23.05.2018.....	10
Abbildung 3:	Tagesganglinie Rethbrücke Fahrtrichtung Nord, Pkw-E, 23.05.2018	10
Abbildung 4:	Tageszeitliche Verteilung der Brückenöffnungen der Rethhubbrücke	12
Abbildung 5:	Verteilung der Brückenöffnungsdauer der Rethhubbrücke.....	13

Abbildung 6:	Tageszeitliche Verteilung der Brückenöffnungsdauer der Rethehubbrücke während der Einzelstunden (Cyan) und des Gesamttagess (Magenta) für die vier Quartile sowie das 95-%-Quantil (Strichlinie in Magenta) mit Hervorhebung der Spitzenstundenintervalle	14
Abbildung 7:	Verteilung der Brückenöffnungsdauer der Retheklappbrücke	15
Abbildung 8:	Übersicht der Kamerastandorte	17
Abbildung 9:	Übersicht der erhobenen Rückstaulängen.....	18
Abbildung 10:	Regressionsgerade des Rückstaulängenindex im Bestand	19
Abbildung 11:	Standorte der DIVA-Tafeln in Fahrtrichtung Rethebrücke (Stand 2016)	20
Abbildung 12:	Knotenstromerhebungen zur Ermittlung des Befolgungsgrads.....	21
Abbildung 13:	Geplante Anschlussstelle AS-Hohe Schaar. Quelle: DEGES, Vorentwurf A 26 Abschnitt 6b, AS HH, Stand 03/2017	24
Abbildung 14:	Tagesverkehrsmengen entsprechend PTV-Modell für Analyse- und Prognosezustand	26
Abbildung 15:	Vergleich der Rückstaulängen in Bestand und Prognose	28
Abbildung 16:	Netzspinne der Rethebrücke, Prognose-Planfall 1 (2030). Quelle: PTV.	29
Abbildung 17:	Analyse der Pkw-Verkehrsströme im Prognosezustand 2030. Quelle Spinnendarstellung: PTV.	30
Abbildung 18:	Analyse der Lkw-Verkehrsströme im Prognosezustand 2030. Quelle Spinnendarstellung: PTV.	31
Abbildung 19:	Entscheidungspunkt, Ausweichrouten und Verkehrsmengen für den Zufluss A 1 Süd. Quelle Spinnendarstellung: PTV.....	32
Abbildung 20:	Entscheidungspunkt, Ausweichrouten und Verkehrsmengen für den Zufluss B 4/75. Quelle Spinnendarstellung: PTV.....	32
Abbildung 21:	Entscheidungspunkt, Ausweichrouten und Verkehrsmengen für den Zufluss A 7 Süd. Quelle Spinnendarstellung: PTV.....	33
Abbildung 22:	Entscheidungspunkt, Ausweichrouten und Verkehrsmengen für den Zufluss A 26 West. Quelle Spinnendarstellung: PTV.	34
Abbildung 23:	Entscheidungspunkt, Ausweichrouten und Verkehrsmengen für den Zufluss AS HH-Moorburg. Quelle Spinnendarstellung: PTV.	34
Abbildung 24:	Übersicht der Entscheidungspunkte und Ausweichrouten. Quelle Spinnendarstellung: PTV.	35
Abbildung 25:	Zunahme der Verkehrsstärke auf den Ausweichrouten bei Brückenöffnung und 100 % Befolgungsgrad. Quelle Spinnendarstellung: PTV.....	36
Abbildung 26:	Beispielhafte dWiSta-Anzeige für die Zufahrt A 7 Süd bei Sperrung der Rethebrücke	38
Abbildung 27:	Übersicht der erforderlichen dWiSta- und DIVA-Standorte	38

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Verkehrsaufkommen in den Spitzenstunden, Rethebrücke Fahrtrichtung Nord, 23.05.2018	10
------------	---	----

Tabelle 2:	Quantile der Brückenöffnungsdauerverteilung der Rethehubbrücke.....	13
Tabelle 3:	Quantile der Brückenöffnungsdauerverteilung der Retheklappbrücke	16
Tabelle 4:	Übersicht der beobachteten Brückenöffnungen. Kursive Werte: Rückstauende nicht unmittelbar sichtbar, Abschätzung anhand abfließender Fahrzeuge getroffen.....	17
Tabelle 5:	Direkter und indirekter Befolgungsgrad der DIVA-Tafeln für die erhobenen Brückenöffnungen	23
Tabelle 6:	Verkehrsaufkommen im Analyse- und Prognosefall	26

1 VERANLASSUNG UND AUSGANGSLAGE

Die DEGES plant im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg den Neubau der A 26 zwischen dem AK HH-Hafen (A 7) und dem AD Süderelbe (A 1). Die sogenannte „Hafenpassage Hamburg“ schließt als neue Ost-West-Verbindung eine Netzlücke mit überregionaler Verbindungsbedeutung.

Bei der Rethebrücke handelt es sich um eine bis 2017 in mehreren Schritten eröffnete Klappbrücke, die als kombinierte Straßen- und Eisenbahnbrücke die Rethe überspannt. Die Klappbrücke ersetzt eine aus dem Jahr 1934 stammende Hubbrücke. Im Zuge des Neubaus wurde die angrenzende Straßen- und Hafenbahninfrastruktur entflochten, sodass eine Sperrung für den Straßenverkehr nun ausschließlich bei Schiffsdurchfahrten, nicht jedoch für Zugfahrten, erfolgt. Die Rethebrücke verfügt nicht über feste Öffnungszeiten, sondern wird nach Bedarf geöffnet. Im Bestand wird die Wasserstraßenquerung von rd. 3.300 Kfz/24h mit einem Schwerververkehrsanteil von 37 % genutzt.

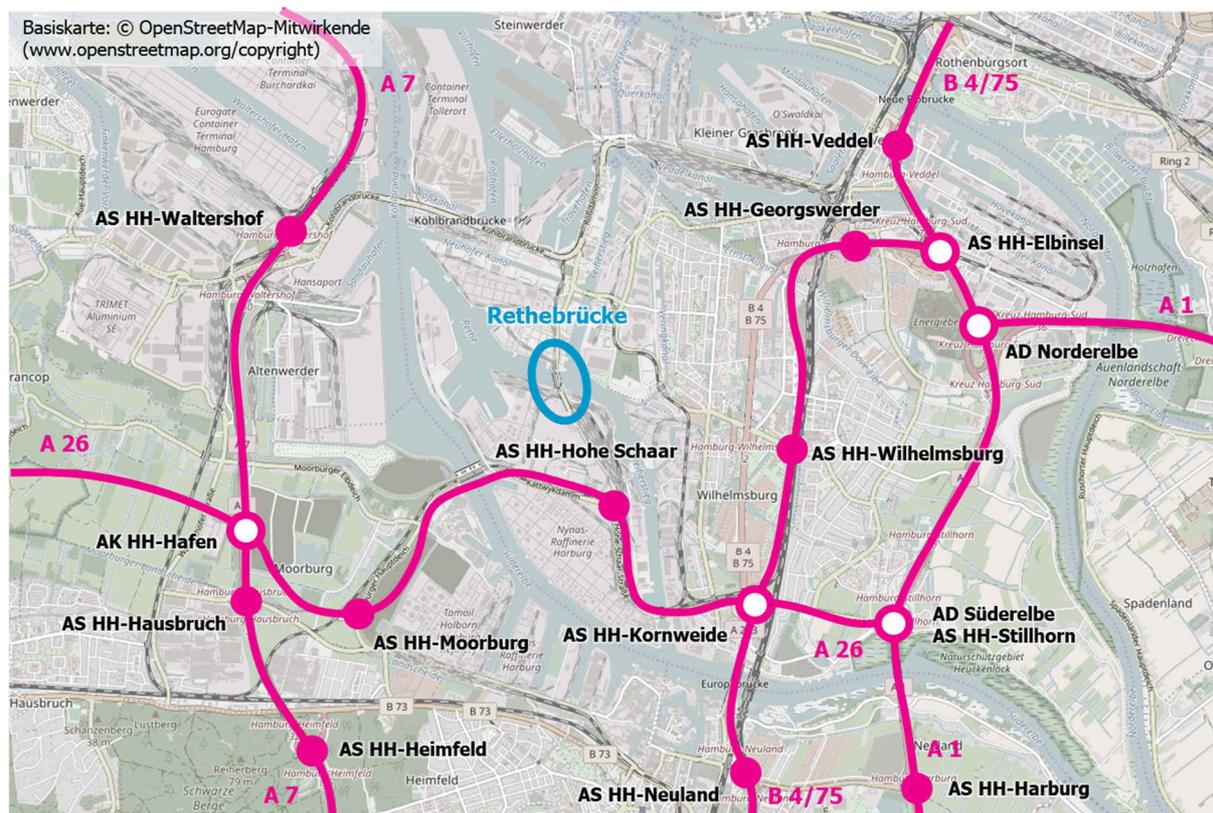


Abbildung 1: Lage der Rethebrücke im Bundesfernstraßennetz des Jahres 2030

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Prognose des Verkehrsablaufs im Zuge der Hohe-Schaar-Straße zwischen der AS HH-Hohe Schaar und der Rethebrücke in Fahrtrichtung Nord. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die zu erwartende Rückstaulänge im Fall einer Brückenöffnung in der maßgeblichen Morgenspitzenstunde.

Die vorliegende Untersuchung nimmt daher vor dem Hintergrund des Neubauvorhabens eine Analyse der Brückenöffnungszeiten, des Befolgungsgrads der wegweisenden Beschilderung und der resultierenden Rückstaulängen im Bestand vor und prognostiziert die Entwicklung nach Verkehrsfreigabe der A 26. Anschließend werden die Relationen analysiert, die die Brücke im Prognosefall nutzen, Entscheidungspunkte und Ausweichrouten definiert und Empfehlungen zur Umsetzung verkehrslenkender Maßnahmen formuliert.

2 METHODIK

Als Grundlage zur Untersuchung der Rückstaulängen der Hohe-Schaar-Straße südlich der Rethebrücke nach Inbetriebnahme der A 26 wurde eine umfassende Auswertung des Bestands vorgenommen. Diese umfasst neben der Auswertung der Brückenöffnungszeiten insbesondere Beobachtungen des Verkehrsablaufs während der Sperrungen der Hohe-Schaar-Straße für den Kfz-Verkehr unter Nutzung von Videoaufzeichnungen.

Zur Auswertung der Tagesganglinie und der Identifikation der maßgeblichen Spitzenstundenbelastung wurde eine Verkehrszählung am Mittwoch, den 23.05.2018 durchgeführt und in 15-Minuten-Intervallen getrennt für Pkw und Schwerverkehrsfahrzeuge ausgewertet. Wegen terminlicher Zwänge wurde die Durchführung der Erhebung in der Kalenderwoche des Pfingstmontags notwendig. Aufgrund der hohen Anzahl potenzieller Brückentage im Mai 2018 war jedoch nicht von einem relevanten Einfluss Pfingstens auf das Verkehrsaufkommen am Zähltag auszugehen, was durch den Abgleich mit Vergleichszählungen vorangegangener Jahre an Knotenpunkten im Umfeld bestätigt werden konnte.

Die Definition der maßgeblichen Brückenöffnungsdauer wurde durch Auswertung eines Datensatzes von rd. 2.100 Brückenöffnungen der Rethehubbrücke sowie rd. 600 Öffnungen der Retheklappbrücke durchgeführt. Die Verteilung der Brückenöffnungsdauer wurde in Form von Histogrammen und Quantilen in der Summe aller Werktagsöffnungen analysiert und die zeitliche Stationarität der Öffnungsdauerverteilung im Tagesverlauf untersucht.

Der Befolgungsgrad der wegweisenden Beschilderung im Bestand wurde mittels einer Videoerhebung an drei Knotenpunkten im Zulauf der Rethebrücke ermittelt. An drei Erhebungstagen konnten neun Brückenöffnungen ausgewertet werden. Zur Berechnung des Befolgungsgrads fand ein Abgleich der gezählten Fahrten in die Hohe-Schaar-Straße Nord mit der auf Basis von Vergleichsintervallen vor und nach der angezeigten Straßensperrung erwarteten Fahrzeugzahl statt. Zusätzlich wurden Wendevorgänge bei Erreichen des Rückstaus erfasst.

Zur Fortschreibung der Rückstaulängen für das Prognose-Planfall 2030 wurde die Bemessungsverkehrsstärke der Spitzenstunde unter Nutzung eines durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellten Verkehrsmodells ermittelt. Die Berechnung der resultierenden Rückstaulänge fand unter Nutzung von zwei verschiedenen Berechnungsansätzen statt, die die Fortschreibung der bestehenden sperrzeit- und verkehrsmengenabhängigen Rückstaulänge der Berechnung nach HBS gegenüberstellt.

Auf Basis der Ergebnisse der Bestandsanalyse und der Prognoseberechnungen wurde ein zu erreichender Befolgungsgrad der wegweisenden Beschilderung ermittelt und die zur Erreichung erforderlichen Maßnahmen definiert. Dies umfasste die Auswertung der Routen, die im Prognosefall 2030 die Rethebrücke nutzen, sowie die Definition von Entscheidungspunkten und Ausweichrouten für jede relevante Wegebeziehung.

3 BESTANDSANALYSE

3.1 Verkehrsmengen

Im Umfeld der Rethebrücke sind Verkehrszählungen aus den Jahren 2013 und 2015 für den Knotenpunkt Rethedamm/Neuhöfer Damm/Neuhöfer Straße vorhanden. Aufgrund der Verkehrseinschränkungen durch die Einbahnstraßenführung der Brücke in Fahrtrichtung Süd seit dem 24.08.2014 kann die jüngere Zählung nicht verwendet werden. Da sich die Zählstelle zudem rd. 1 km nördlich der Brücke befindet, wurde im Verlauf der Verkehrsuntersuchung stattdessen das Erhebungsvideo des Knotenpunkts Hohe-Schaar-Straße/Rethedamm unmittelbar südlich der Brücke für Mittwoch, den 23.05.2018 ausgezählt und so die aktuelle Verkehrsmenge erhoben. Aufgrund der Lage des Erhebungstages in einer Woche mit einem Ferientag (Pfingstmontag, 21.05.2018) entspricht die Zählung nicht den üblichen Standards, es ist jedoch nicht von für den Untersuchungsgegenstand signifikanten Reduktionen der Verkehrsmengen auszugehen. Zur Validierung fand zudem ein Abgleich der Verkehrsmengen mit älteren, umliegenden Zählungen statt.

Die Tagesganglinie der Rethebrücke in Fahrtrichtung Nord ist in Abbildung 2 dargestellt. Während der Schwerverkehr sein Maximum im Intervall 08:00 bis 09:00 Uhr erreicht und bis 18:00 Uhr vergleichsweise konstant verläuft, weist der Pkw-Verkehr einen unüblichen Verlauf mit stark ausgeprägte Spitzen in der Morgenspitzenstunde (7:15 – 8:15 Uhr) und Nachmittagsspitzenstunde (17:00 – 18:00 Uhr) auf. Die für die Untersuchung der Rückstaulänge relevante tageszeitliche Verteilung der Pkw-Einheiten¹ ist in Abbildung 3 dargestellt und zeigt eine deutliche Spitze im Intervall 07:15 – 08:15 Uhr. Die resultierenden Spitzenstundenbelastungen sind in Tabelle 1 dargestellt.

¹ Verwendete Definition: 1 Lkw entspricht 2,5 Pkw-Einheiten

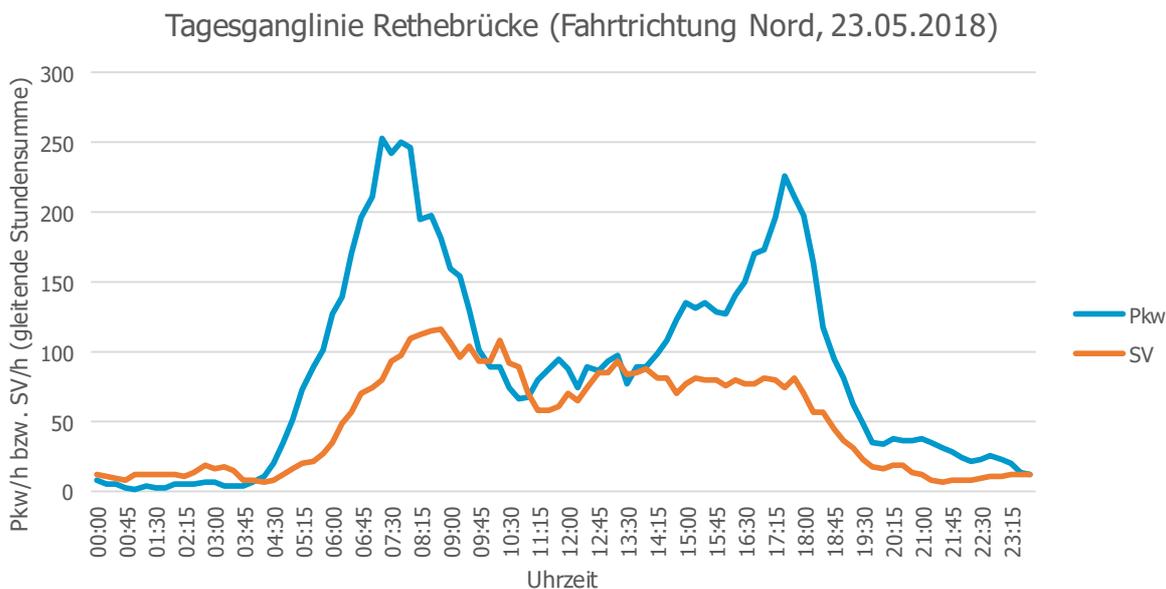


Abbildung 2: Tagesganglinie Rethebrücke Fahrtrichtung Nord, Pkw und SV, 23.05.2018

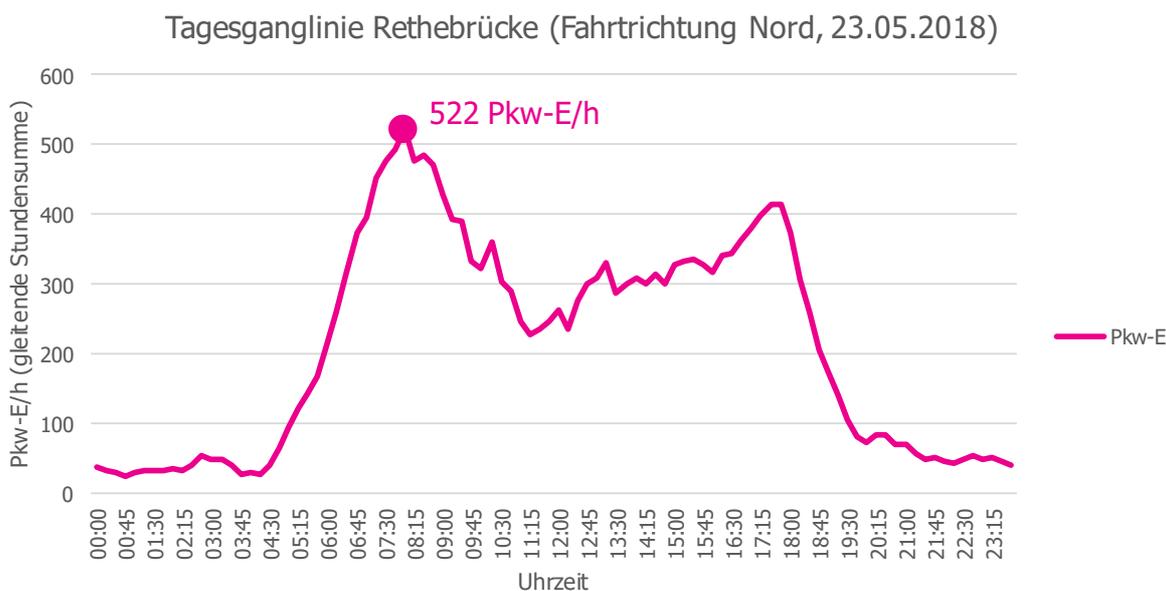


Abbildung 3: Tagesganglinie Rethebrücke Fahrtrichtung Nord, Pkw-E, 23.05.2018

Spitzenstunde	Pkw/h	Lkw/h	Pkw-E/h
7:15 – 8:15	247	110	522
17:00 – 18:00	212	81	415

Tabelle 1: Verkehrsaufkommen in den Spitzenstunden, Rethebrücke Fahrtrichtung Nord, 23.05.2018

3.2 Brückenöffnungen Rethehubbrücke

Zur Auswertung der Brückenöffnungszeiten der Rethebrücke im Bestand wurde durch die HPA zunächst ein Datensatz für die zwischenzeitlich außer Betrieb genommene Rethehubbrücke zur Verfügung gestellt. Eine Auswertung der neuen Klappbrücke erfolgte in einem späteren Schritt (vgl. Abschnitt 3.3).

Der Datensatz der Brückenöffnungen umfasst 5.548 Ereignisse zwischen dem 02.01.2016 und 16.01.2018 und beinhaltet Angaben zu Datum und Uhrzeit des Beginns und des Endes der Brückenöffnungen sowie zur Öffnungshöhe und eine Klassifizierung der die Öffnung nutzenden Schiffe. Bei rd. 53 % der Einträge handelte es sich um Duplikate mit identischen Öffnungszeiten, welche aus dem Datensatz entfernt wurden. Aufgrund der Verkehrsfreigabe der Retheklappbrücke für den Eisenbahnverkehr am 15.12.2017 (HPA, 2017) und der hiermit verbundenen endgültigen Außerdienststellung der Hubbrücke wurden Einträge ab diesem Datum aufgrund der unklaren Validität der Daten ebenfalls nicht berücksichtigt. Eine Prüfung der Öffnungsdauerverteilung führte zudem zur Entfernung von drei Einträgen mit unplausiblen Öffnungsdauern.

Die Auswertung beinhaltet somit ausschließlich die Werktage Montag bis Freitag zwischen dem 04.01.2016 und 10.12.2017 und berücksichtigt 2.121 Brückenöffnungen. Dies entspricht 4,2 Öffnungen pro Werktag mit einer durchschnittlichen Öffnungsdauer von rd. 27 Minuten. Insgesamt 28 % aller Öffnungen überschreiten eine Öffnungsdauer von 30 Minuten, eine Dauer von 45 Minuten wird von 7 % aller Öffnungen erreicht. Der Median der Öffnungsdauer beträgt 25 Minuten.

In Abbildung 4 ist die tageszeitliche Verteilung der Brückenöffnungen dargestellt. Es ist keine tageszeitliche Häufung der Öffnungseignisse erkennbar, lediglich während der Nachtstunden sinkt die Öffnungshäufigkeit deutlich. Ein Maximum tritt während der Nachmittagsstunden auf.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Straßenverkehrsteilnehmer eine geöffnete Brücke antrifft, beträgt während der Kfz-Morgenspitzenstunde der Fahrtrichtung Nord (7:15 – 8:15 Uhr) 9,5 %, während der entsprechenden Nachmittagsspitzenstunde (17:00 – 18:00 Uhr) sogar 11,4 %. Die Sperrung der Hohe-Schaar-Straße während der Spitzenstunden stellt somit einen regelmäßig auftretenden und nicht vernachlässigbaren Lastfall für die umliegende Straßeninfrastruktur dar.

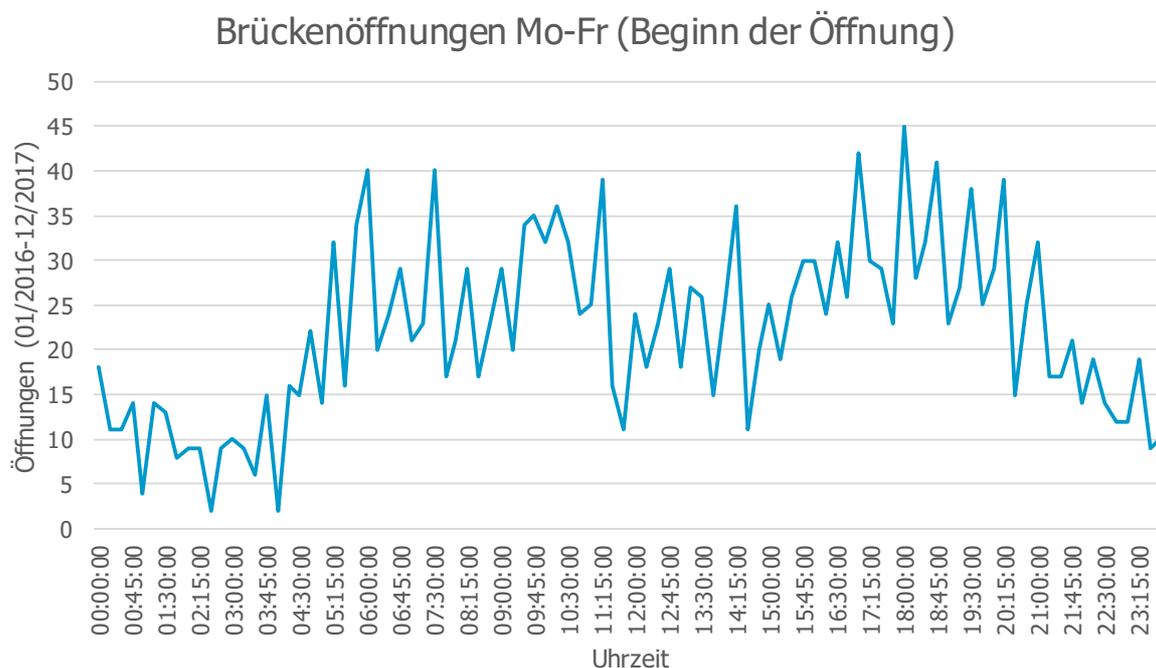


Abbildung 4: Tageszeitliche Verteilung der Brückenöffnungen der Rethehubbrücke

Die Verteilung der Brückenöffnungsdauer an den Werktagen des Betrachtungszeitraums ist in Abbildung 5 dargestellt und weist zwei lokale Maxima bei 10 Minuten sowie 25 Minuten Öffnungsdauer auf. Die Ursache für die bimodale Verteilung ist ungesichert, es wird jedoch ein Zusammenhang mit der variablen Hubhöhe der Brücke vermutet. Hierauf deutet die Verteilung der Hubhöhe hin, welche eine starke Häufung bei einer Höhe von 20 m (31 % aller Vorgänge) sowie bei 46 m (23 % aller Vorgänge) aufweist. Die jeweiligen durchschnittlichen Öffnungsdauern dieser Hubhöhen sind mit 21 Minuten bzw. 37 Minuten deutlich verschieden. Eine Beeinflussung der Öffnungsdauerverteilung durch die Inklusion von Zugfahrten auf der Brücke, welche aufgrund des sich bis zur Inbetriebnahme der Klappbrücke unmittelbar nördlich der Brücke befindlichen Bahnübergangs ebenfalls eine Sperrung der Hohe-Schaar-Straße für den Straßenverkehr erforderlich machte, kann auf Basis der verfügbaren Angaben zu Hubhöhe und passierenden Schiffen für alle Vorgänge ausgeschlossen werden.

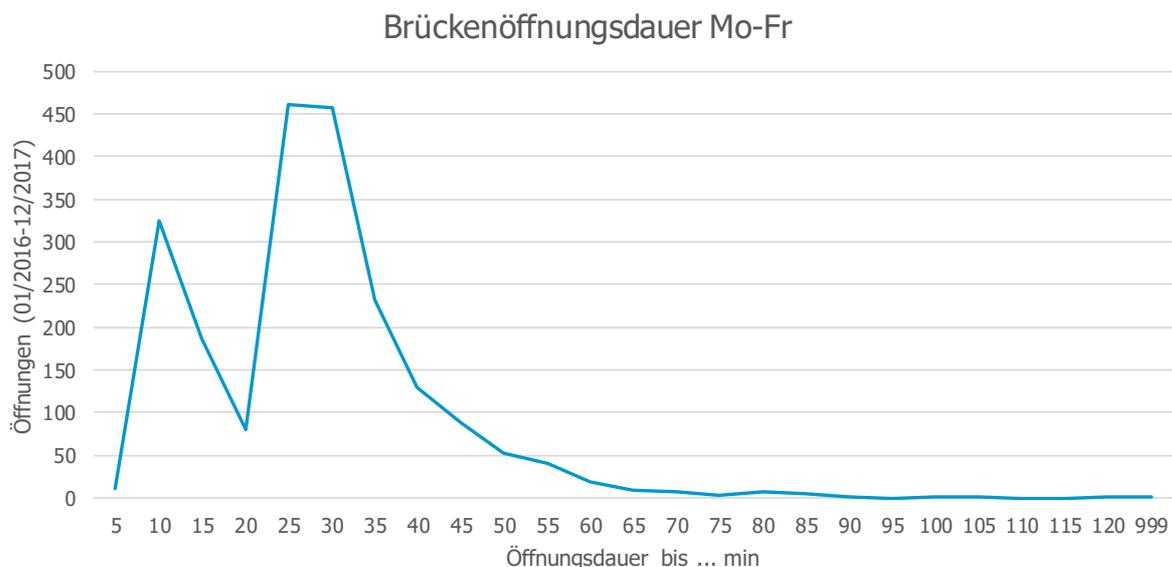


Abbildung 5: Verteilung der Brückenöffnungsdauer der Rethehubbrücke

Quantil	Brückenöffnungsdauer
50 %	25 min
85 %	37 min
90 %	42 min
95 %	50 min
99 %	71 min

Tabelle 2: Quantile der Brückenöffnungsdauerverteilung der Rethehubbrücke

Der durchschnittliche zeitliche Abstand zwischen dem Ende einer Brückenöffnung und dem Beginn des Folgeereignisses beträgt 6:17 Stunden (Auswertung Mo-So), während der Median bei nur 2:45 Stunden liegt. Ursächlich für die starke Abweichung beider Kennzahlen ist ein hoher Anteil sehr langer Zwischenzeiten. In rd. 33 % aller Fälle beträgt die Dauer zwischen zwei Öffnungen maximal eine Stunde, 17 % finden innerhalb von 30 Minuten nach Beendigung der vorangegangenen Öffnung statt.

Abschließend wurde die Öffnungsdauer der Rethehubbrücke im Tagesverlauf ausgewertet, um mögliche Differenzen während der Spitzenstunden gegenüber dem Tagesmittelwert zu identifizieren (vgl. Abbildung 6). Der Median der Öffnungsdauerverteilung überschreiten während der Morgen- und Nachmittagsspitzenstunde den Median der Gesamttagesverteilung um maximal 5 % (26 statt 25 Minuten), die 75%- und 95%-Quantile fallen in den Spitzenstunden geringfügig niedriger aus als im Tagesverlauf. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Veränderungen der Öffnungsdauerverteilung in den Spitzenstundenintervallen gegenüber dem Gesamtdatensatz nicht in einer relevanten Größenordnung abweichen. Ebenso treten keine bedeutsamen Zuwächse der Öffnungsdauer in anderen

Zeitbereichen auf, die eine separate Auswertung erforderlich machen würden. Für die Ermittlung der Rückstaulängen im Prognosefall kann somit eine im Tagesverlauf einheitliche Öffnungsdauer verwendet werden.

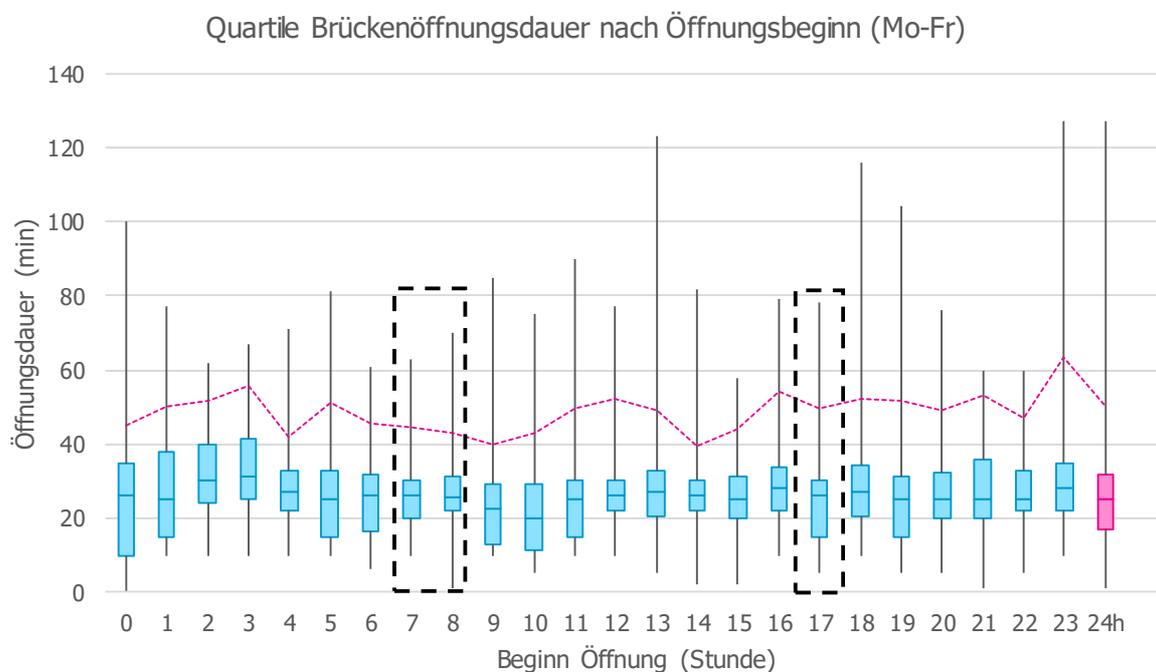


Abbildung 6: Tageszeitliche Verteilung der Brückenöffnungsdauer der Rethehubbrücke während der Einzelstunden (Cyan) und des Gesamttag (Magenta) für die vier Quartile sowie das 95%-Quantil (Strichlinie in Magenta) mit Hervorhebung der Spitzenstundenintervalle

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde für die weiteren Auswertungen eine Bemessungsdauer der Sperrung der Rethebrücke bzw. der Hohe-Schaar-Straße für den Straßenverkehr in Höhe von 25 Minuten festgelegt. Dies entspricht ebenfalls der Einschätzung der Öffnungsdauer der neuen Klappbrücke durch die HPA². Die Bemessungsdauer entspricht dem Median der Öffnungsdauer der Hubbrücke. Die Wahl höherer Quantile der Öffnungsdauerverteilung wurde aufgrund der ausgeprägten Rechtsschiefe der Verteilung mit einer Vielzahl einzelner Ereignisse mit langer Dauer verworfen, da die resultierenden langen Sperrdauern von beispielsweise 50 Minuten für das 95%-Quantil (vgl. Tabelle 2) nicht als Bemessungsfall geeignet sind.

3.3 Brückenöffnungen Retheklappbrücke

Im Nachgang der Auswertungen wurde durch die HPA ein Datensatz der neuen Klappbrücke zur Verfügung gestellt, welcher den Zeitraum vom 14.12.2017 bis 24.06.2018 umfasst. Die Verarbeitung des Datensatzes fand identisch zur im Abschnitt 3.2 beschriebenen Vorgehen statt. Nach Entfernen der

² E-Mail Fr. Statz (HPA) an Hrn. Martens (DEGES), 18.01.2018

Duplikate verblieben 614 Öffnungsereignisse. Auffallend ist, dass im Datensatz nur für rd. 70 % aller Werktage Brückenöffnungen enthalten sind, was zu einer Reduktion der mittleren Öffnungsanzahl je Werktag von 4,2 auf 3,2 beiträgt.

Die durchschnittliche Öffnungsdauer der Klappbrücke beträgt an Werktagen 23 Minuten, der Median 21 Minuten. Dies entspricht einer Reduktion um jeweils vier Minuten gegenüber der Hubbrücke. Statt 28 % überschreiten lediglich 12 % aller Öffnungen eine Dauer von 30 Minuten, ebenso nimmt die Häufigkeit sehr langer Öffnungen von mind. 45 Minuten von 7 % auf 3 % ab.

Im tageszeitlichen Verlauf der Brückenöffnungen ergeben sich keine maßgeblichen Änderungen gegenüber dem Datensatz der Hubbrücke. Die Wahrscheinlichkeit, während der Morgen- bzw. Nachmittagsspitzenstunde eine geöffnete Brücke anzutreffen, sinkt von 9,5 % auf 6,5 % bzw. von 11,4 % auf 9,5 %. Ursächlich hierfür ist jedoch insbesondere die hohe Zahl der Werktage ohne Öffnungsereignisse, sodass dem Ergebnis keine Aussagekraft zuteilwird.

Die Verteilung der Brückenöffnungsdauer der Klappbrücke ist in Abbildung 7 dargestellt. Im Gegensatz zur Verteilung der Hubbrücke (vgl. Abbildung 5) entfällt die bimodale Verteilung zugunsten eines absoluten Maximums der Verteilung bei einer Öffnungsdauerklasse von 20 Minuten. Die Öffnungsdauern der höheren Quartile der Verteilung sinken gegenüber den entsprechenden Quartilen der Hubbrücke deutlich (vgl. Tabelle 3), sodass die zuvor definierte Bemessungsöffnungsdauer von 25 Minuten nur von 25 % aller Brückenöffnungen überschritten wird. Die Verwendung der Öffnungsdauerverteilung der Hubbrücke entspricht der Verwendung eines Sicherheitsfaktors von rd. 20 %.

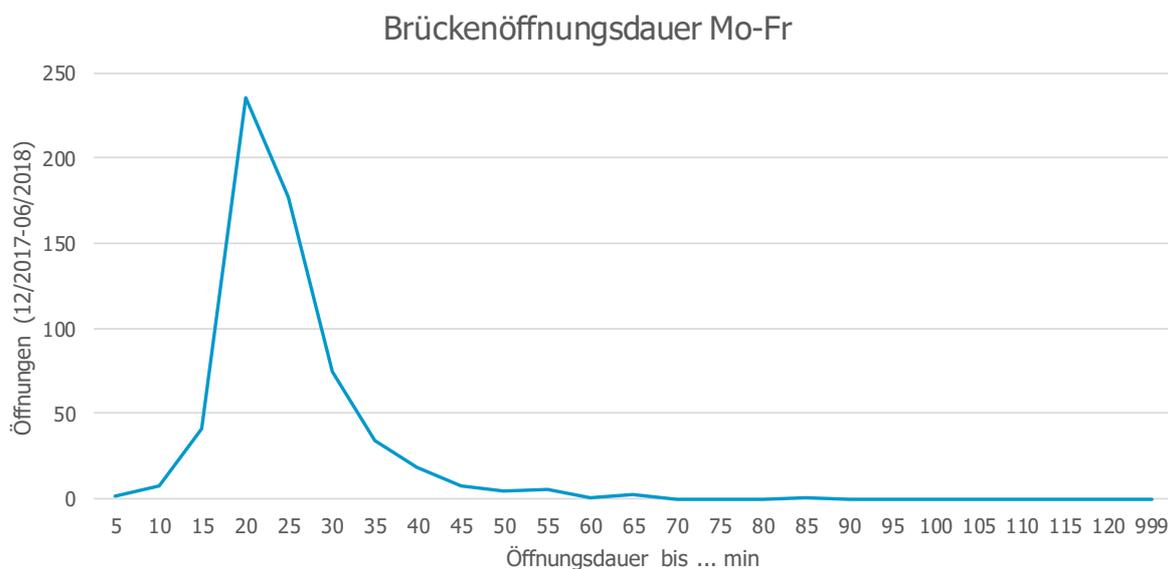


Abbildung 7: Verteilung der Brückenöffnungsdauer der Rethelklappbrücke

Quantil	Brückenöffnungsdauer Klappbrücke	Brückenöffnungsdauer Hubbrücke
50 %	21 min	25 min
85 %	30 min	37 min
90 %	32 min	42 min
95 %	38 min	50 min
99 %	55 min	71 min

Tabelle 3: Quantile der Brückenöffnungsdauerverteilung der Retheklappbrücke

Die tageszeitliche Verteilung der Brückenöffnungsdauer weist auch für die Retheklappbrücke keine Abweichungen in einer Größenordnung auf, die eine separate Betrachtung einzelner Stundengruppen erforderlich machen würden. Der Median der Öffnungsdauer überschreitet in den Spitzenstunden den Wert des Gesamttagess um lediglich eine Minute, während die höheren Quartile in den Spitzenstunden sinken.

Im Rahmen der Videoaufzeichnungen im Umfeld der Retheklappbrücke wurden am 22.05.2018 bis 24.05.2018 insgesamt neun Brückenöffnungen zwischen 6 und 19 Uhr erfasst (vgl. Tabelle 4). Der Durchschnitt der Sperrzeit für den Straßenverkehr dieser vergleichsweise kleinen Stichprobe beträgt 20 Minuten, der Median entsprechend 16 Minuten. Nur eine der neun Öffnungen überschreitet die angesetzte Bemessungsöffnungsdauer von 25 Minuten.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Inbetriebnahme der Retheklappbrücke eine Reduktion der Brückenöffnungsdauern um im Mittel wenige Minuten zur Folge hatte. Insbesondere sehr lange Öffnungen treten mit deutlich geringeren Häufigkeiten auf. Eine Veränderung der tageszeitlichen Verteilung der Brückenöffnungen oder deren Dauer im Tagesverlauf ist jedoch nicht zu beobachten. Die angesetzte Bemessungsöffnungsdauer von 25 Minuten wird von 70 % aller Öffnungsvorgänge der Klappbrücke unterschritten.

3.4 Rückstaulängen

Zur Erhebung der Rückstaulängen im Bestand wurde an drei Tagen vom 22.05.2018 bis 24.05.2018 eine Videoerhebung an drei Standorten entlang der Hohe-Schaar-Straße südlich der Rethebrücke durchgeführt (Kamerastandorte K1 bis K3, vgl. Abbildung 8). Neben der Auswertung der jeweiligen Sperrzeit, die anhand der Beobachtung des Beginns und Endes von Fahrzeugabflüssen beider Fahrrichtungen am rd. 500 m südlich der Brücke positionierten Kamerastandort K3 ermittelt wurden, fand eine Erhebung der resultierenden Rückstaulänge statt. In vier Fällen konnte das Rückstauende anhand der Videoaufzeichnungen direkt identifiziert werden (Öffnungen 2, 5, 6, 8), in den fünf übrigen Fällen wurde die Rückstaulänge anhand der am letzten überstauten Kamerastandort abfließenden Fahrzeugzahl (differenziert nach Pkw, Lkw und Last-/Sattelzug) die Gesamtrückstaulänge abgeschätzt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt.

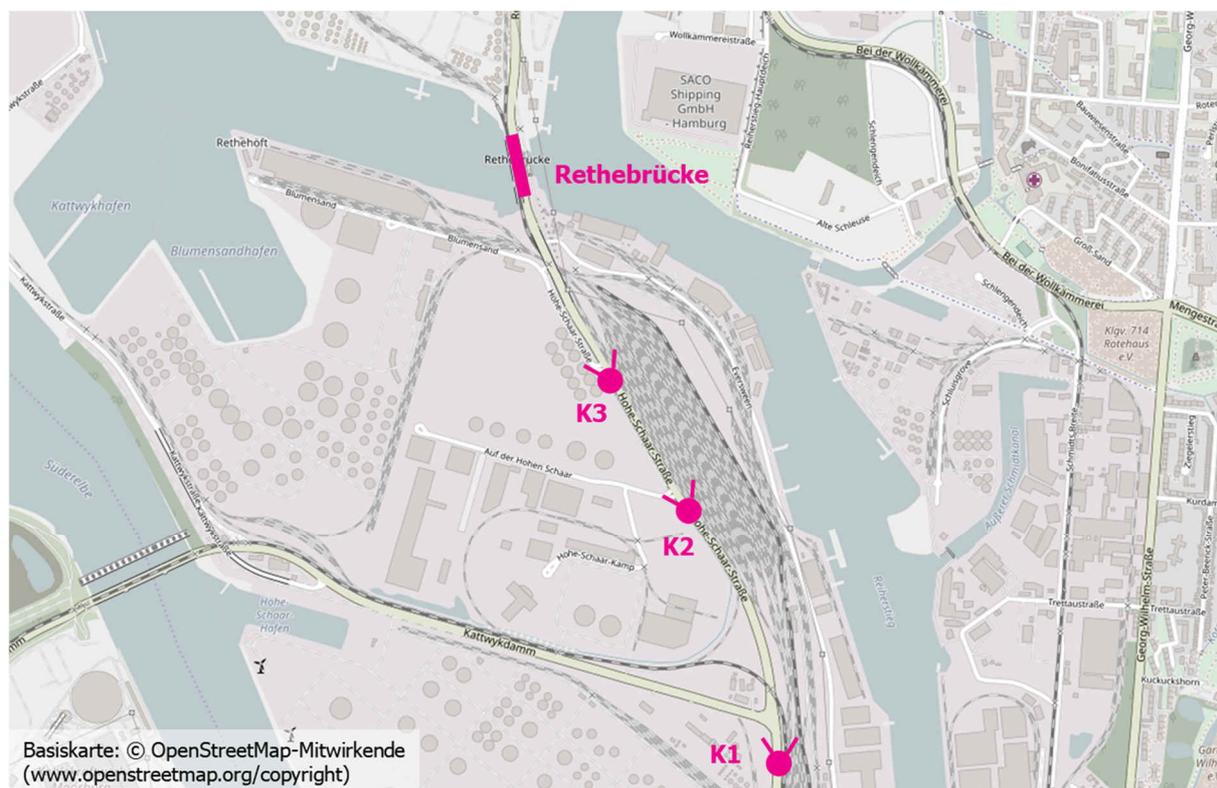


Abbildung 8: Übersicht der Kamerastandorte

Öffnung	Tag	Sperrung für Kfz-Verkehr	Dauer (min)	Rückstaulänge (m)
#1	22.05.2018	07:56 – 08:12	23	<i>1.270</i>
#2	22.05.2018	10:35 – 10:50	15	450
#3	23.05.2018	08:11 – 08:22	11	<i>750</i>
#4	23.05.2018	10:32 – 10:54	22	<i>730</i>
#5	23.05.2018	11:42 – 11:56	14	550
#6	24.05.2018	08:39 – 08:55	16	850
#7	24.05.2018	09:32 – 10:10	38	<i>1.270</i>
#8	24.05.2018	11:34 – 11:43	9	250
#9	24.05.2018	12:50 – 13:12	22	<i>600</i>

Tabelle 4: Übersicht der beobachteten Brückenöffnungen. Kursive Werte: Rückstauende nicht unmittelbar sichtbar, Abschätzung anhand abfließender Fahrzeuge getroffen.

Die verfügbare Rückstaulänge zwischen der südlichen Haltelinie der Rethebrücke und dem Bestandsknotenpunkt Hohe-Schaar-Straße/Kattwykdamm beträgt rd. 1.500 m. In zwei der beobachteten Fälle wird der Rückstauraum somit bereits zu rd. 85 % beansprucht. Eine grafische Übersicht der Rückstaulängen ist in Abbildung 9 dargestellt.

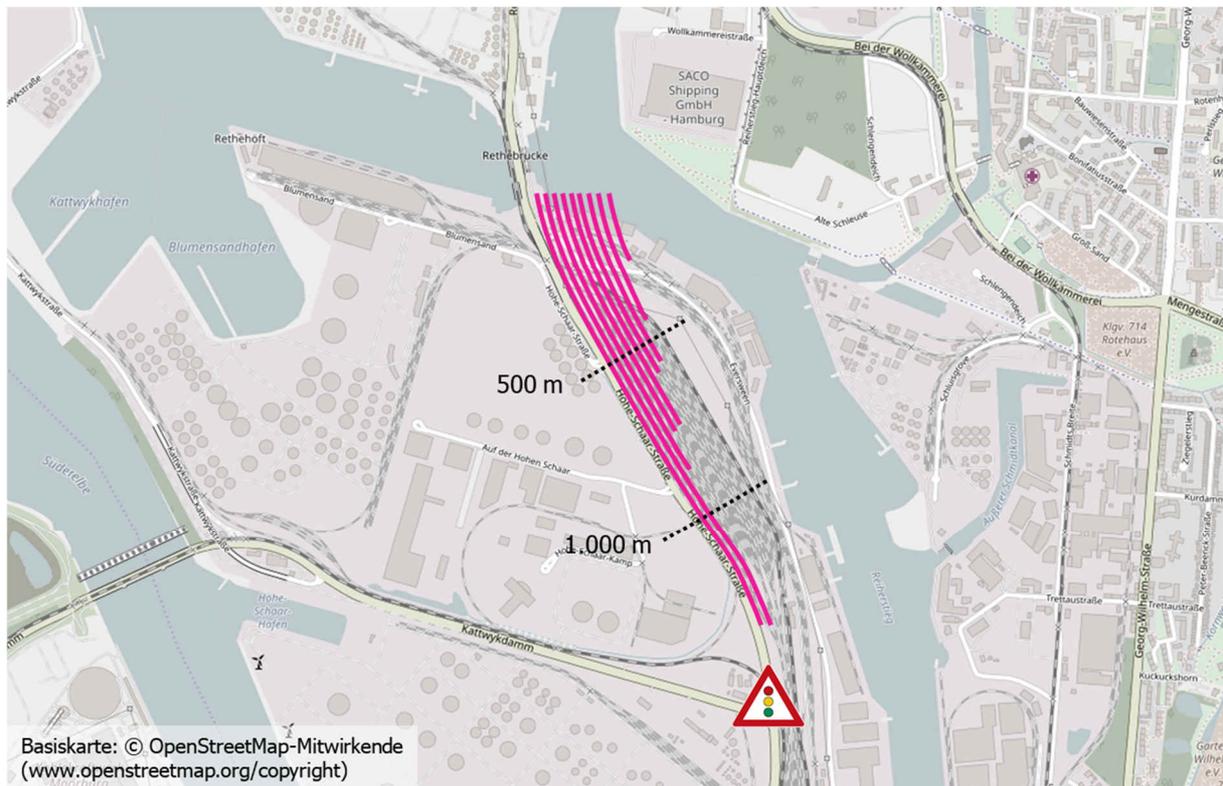


Abbildung 9: Übersicht der erhobenen Rückstaulängen

Auf Basis der erhobenen Rückstaulängen wurde ein Regressionsmodell geschätzt, welches einen linearen Übertrag der Ergebnisse auf den Prognosezustand ermöglicht. Folgende Einflussfaktoren wurden berücksichtigt:

- Rückstaulänge $l_{\text{Rückstau}}$: beobachtet auf Basis der Videoerhebung (in m)
- Brückenöffnungsdauer t_{Sperr} : beobachtet auf Basis der Videoerhebung (in min)
- Verkehrsstärke $q_{\text{Pkw-E}}$: Verkehrsstärke der Rethebrücke in Fahrtrichtung Nord im gleitenden Stundenmittel des Intervalls, in dem das Ende der Sperrung auftritt (in Pkw-E/h).

Die resultierende lineare Regressionsgleichung lautet:

$$l_{\text{Rückstau}} = 0,10 \frac{\text{m} \cdot \text{h}}{\text{Pkw-E} \cdot \text{min}} * t_{\text{Sperr}} * q_{\text{Pkw-E}}$$

In Abbildung 10 ist der Rückstaulängenindex, d.h. der Quotient aus Rückstaulänge und Verkehrsstärke, in Abhängigkeit von der Sperrdauer dargestellt. Es zeigt sich ein linearer Zusammenhang, der jedoch eine hohe Streuung aufweist.

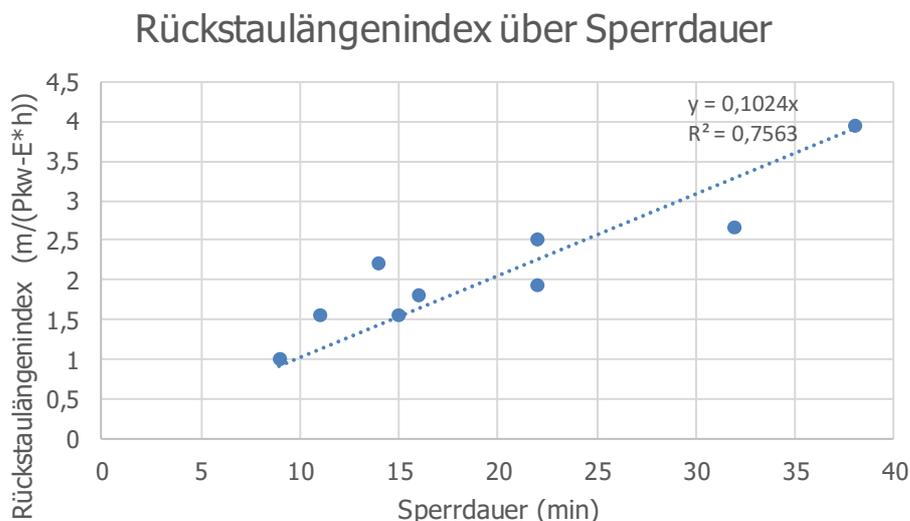


Abbildung 10: Regressionsgerade des Rückstaulängenindex im Bestand

Zu beachten ist jedoch, dass die Berechnung aufgrund des geringen Stichprobenumfangs von neun Brückenöffnungen und dem Bestimmtheitsmaß von 76 % lediglich ein Indiz für die Rückstaulängenberechnung im Prognosezustand darstellen kann und mit weiteren Verfahren kombiniert werden muss.

3.5 Befolgungsgrad der wegweisenden Beschilderung

Entlang der Zufahrtsstrecken zur Rethebrücke befinden sich mehrere sog. DIVA-Tafeln („Dynamische Information zur Verkehrssteuerung im Hamburger Hafen“), welche im Fall einer Brückenöffnung der Rethebrücke bzw. der übrigen beweglichen Brücken im Hafengebiet die verbleibende Restsperrdauer für den Kfz-Verkehr anzeigen. Die Sperrdauer wird hierbei vom Brückenwärter zu Beginn der Sperrung eingegeben. Die DIVA-Tafeln sind an den Entscheidungspunkten des Straßennetzes im Hafen positioniert und ermöglichen so die Wahl von Alternativrouten im Fall von Streckensperrungen. Hinweise auf Umleitungstrecken oder Ausweichrouten werden jedoch nicht angezeigt.

Entlang der südlichen Zufahrtsroute der Rethebrücke befinden sich DIVA-Tafeln an beiden zuführenden Knotenarmen der Einmündung Hohe-Schaar-Straße/Kattwykdamm (vgl. Abbildung 11), sodass die Verkehrsteilnehmer, die die Rethebrücke in Fahrtrichtung Nord queren möchten, auf allen großräumigen Zufahrtsstraßen über die ggf. stattfindende Sperrung informiert werden. Von Bedeutung für die Berechnung der Rückstaulänge im Prognosefall ist jedoch insbesondere der Befolgungsgrad der DIVA-Tafeln. Eine umfassende Literaturrecherche zur Wirksamkeit dynamischer Verkehrswegweisungssysteme zeigte, dass der Befolgungsgrad auf längeren Netzmaschen bei 20-30 % liegt, auf kürzeren Netzmaschen einen Anteil von 20 % jedoch zum Teil deutlich unterschreitet³. Die örtlichen Verhältnis-

³ Vgl. (Schlaich, 2009), (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2007)

se sowie die Verfügbarkeit von Ausweichrouten tragen zu einer großen Streuung der Befolungsgrade bei, sodass eine pauschale und auf den vorliegenden Fall übertragbare Aussage zur Wirksamkeit der DIVA-Tafeln nicht möglich ist.



Abbildung 11: Standorte der DIVA-Tafeln in Fahrrichtung Rethebrücke (Stand 2016)

Vor dem genannten Hintergrund wurde daher eine Verkehrserhebung durch Videobeobachtungen an drei Tagen vom 22.05.2018 bis 24.05.2018 mit drei Kamerastandorten entlang der Hohe-Schaar-Straße südlich der Rethebrücke durchgeführt (vgl. Abbildung 8, Abschnitt 3.4). Ziel war die Erhebung des Richtungswahlverhaltens am Knotenpunkt Hohe-Schaar-Straße/Kattwykdamm (K1) während der Sperrung der Rethebrücke für den Kfz-Verkehr und der Vergleich mit Referenzintervallen vor und nach der Sperrung, um aus der veränderten Aufteilung der Zuflussströme auf die jeweiligen Abbieger die Veränderung des Richtungswahlverhaltens und somit den Befolungsgrad der angezeigten Sperrung zu ermitteln.

Die gezählten Fahrbeziehungen sind in Abbildung 12 dargestellt. Erhoben wurden für jede der neun erfassten Brückenöffnungen (vgl. Tabelle 4) jeweils folgende Werte:

- Zufluss zur Rethebrücke am Knoten K1 von Süden (Hohe-Schaar-Straße) und Westen (Kattwykdamm) sowie die jeweilige Alternativroute zur Umfahrung der Rethebrücke
- Abbieger von der Hohe-Schaar-Straße in die Straßen Auf der Hohen Schaar (K2) und Blumensand (K3)
- Wendevorgänge entlang der Hohen-Schaar-Straße

Folgende Auswertungsintervalle wurden differenziert:

- Referenzintervall im Vorlauf: Vergleichszeitraum 40 bis 10 Minuten vor Beginn der Sperrung für den Kfz-Verkehr
- Sperrungsintervall: Auswertungszeitraum während der Sperrung für den Kfz-Verkehr
- Referenzintervall im Nachlauf: Vergleichszeitraum 10 bis 40 Minuten nach Ende der Sperrung für den Kfz-Verkehr
- Die Zwischenintervalle der zehn Minuten vor Beginn bzw. nach Ende der Sperrung wurden nicht ausgewertet, um Beeinflussungen durch ggf. ungenaue Zeitangaben der DIVA-Tafeln oder den sich abbauenden Rückstau zu vermeiden.



Abbildung 12: Knotenstromerhebungen zur Ermittlung des Befolungsgrads

Der Befolungsgrad f_B wird definiert als:

$$f_B = \frac{q_{\text{Routenänderung}}}{q_{\text{erwartet}}} = \frac{q_{\text{erwartet}} - q_{\text{erhoben}}}{q_{\text{erwartet}}}$$

Berechnet wird somit, welcher Anteil der auf die Brücke zufließenden Verkehre gegenüber den Referenzintervallen seine Routenwahl verändert. q_{erhoben} beschreibt dabei die Verkehrsmenge, die vom Knoten K1 in Richtung Kattwykbrücke abzüglich der an K2 und K3 abfließenden Ströme während des Sperrintervalls erhoben wurden. Die jeweils an K2 und K3 abbiegenden Ströme wurden nicht berücksichtigt, da diese Zielverkehre der ansässigen Industriebetriebe darstellen und sowohl nur mittelbar im Fall langer Rückstaus von der Sperrung der Rethebrücke betroffen sind, als auch keine sinnvolle Alternativroute aufweisen.

q_{erwartet} stellt die Verkehrsstärke dar, die auf Basis der halbstündigen Vor- und Nachlaufintervalle zu erwarten sind. Die Berechnung von q_{erwartet} berücksichtigt die im Sperrintervall am Knoten K1 zufließende Fahrzeugmenge, den Richtungswahlanteil in Fahrtrichtung Kattwykbrücke der Referenzintervalle und die an K2 und K3 abfließenden Ströme.

Die Berechnung fand separat für die Zufahrt Süd (Hohe-Schaar-Straße) und West (Kattwykdamm) statt. Die an den Knoten K2 und K3 abbiegenden Fahrzeuge wurden dabei anteilig entsprechend der Verkehrsmengen der Knotenströme an K1 auf beide Zufahrtsrichtungen aufgeteilt.

In Tabelle 5 ist der aus der Erhebung des Richtungswahlverhaltens ermittelte, als direkter Befolgungsgrad der wegweisenden Beschilderung bezeichnete Anteil der Fahrten aufgeführt, die während der Sperrung der Rethebrücke für den Kfz-Verkehr die Route am Knotenpunkt K1 geändert haben. Auffällig ist neben der hohen Streuung der Anteile insbesondere der erhöhte Befolgungsgrad für die Zufahrt West sowie das Auftreten von einzelnen Ausreißern mit hohen negativen Werten. Ursächlich hierfür ist insbesondere die vergleichsweise niedrige Verkehrsmenge der erhobenen Relationen, welche die Wirkung der DIVA-Tafeln mit stochastischen Effekten überlagert. Aussagekräftig ist daher vor allem der resultierende Mittelwert des direkten Befolgungsgrads ohne Berücksichtigung von Ausreißern von rd. 20 %.

Neben der Veränderung des Routenwahlverhaltens konnten verstärkt Wendevorgänge während der Brückenöffnung beobachtet werden. Diese fanden sowohl nach längerer Wartezeit als auch bei Zufahrt auf den Rückstau statt und beschränkten sich nicht auf die Einmündungen K2 und K3, sondern erfolgten ebenfalls auf der freien Strecke. Auch Lkw, Last- und Sattelzüge führten teilweise in Bezug auf die Verkehrssicherheit problematische Wendevorgänge durch. Der als „indirekte Befolgungsgrad“ bezeichnete Effekt ist ebenfalls in Tabelle 5 dargestellt und beläuft sich im Mittel auf rd. 8 % aller Fahrzeuge, die die Rethebrücke queren möchten und keine Beeinflussung ihrer Routenwahl durch die DIVA-Tafeln zeigten.

Öffnung	Direkter Befol- gungsgrad Zu- fahrt Süd	Direkter Befol- gungsgrad Zu- fahrt West	Wendevorgänge	Indirekter Be- folgungsgrad durch Wende- vorgänge
#1	13 %	(-42 %)	2	3 %
#2	18 %	46 %	0	0 %
#3	7 %	18 %	0	0 %
#4	21 %	10 %	7	15 %
#5	(-40 %)	7 %	3	9 %
#6	8 %	19 %	3	7 %
#7	26 %	14 %	14	23 %
#8	9 %	34 %	3	11 %
#9	19 %	45 %	1	2 %
∅	9 %	17 %	–	8 %
∅ ohne Aus- reißer	15 %	24 %	–	–
Anteil am Zu- fluss	0,45	0,55	–	–
∅ ohne Aus- reißer gesamt	20 %		–	8 %

Tabelle 5: Direkter und indirekter Befolungsgrad der DIVA-Tafeln für die erhobenen Brückenöffnungen

Der resultierende Gesamtbefolungsgrad der wegweisenden Beschilderung ergibt sich durch die multiplikative Verknüpfung beider Befolungsgrade:

$$f_{\text{DIVA}} = 1 - ((1 - f_{\text{direkt}}) * (1 - f_{\text{indirekt}})) = 0,264$$

Als Ergebnis der Analyse ist somit zu erkennen, dass grob rd. 25 % der Verkehrsteilnehmer, die auf Basis der Vor- und Nachlaufintervalle während einer Sperrung der Rethebrücke für den Kfz-Verkehr zu erwarten wären, ihr Richtungswahlverhalten am vorgelagerten Knotenpunkt oder durch Wendevorgänge anpassen und somit nicht Bestandteil des Rückstaus entlang der Hohe-Schaar-Straße werden. Der Befolungsgrad liegt somit innerhalb der in der Fachliteratur angegebenen üblichen Bandbreite.

4 PROGNOSE

4.1 Bezugsfall der Verkehrsinfrastruktur

Den Bezugsfall der Prognose der Rückstaulänge bei Sperrung der Rethebrücke für den Straßenverkehr bildet der Prognosehorizont 2030 nach Fertigstellung der A 26 im gesamten Bauabschnitt zwischen der Landesgrenze Hamburg/Niedersachsen im Westen und dem Anschluss an die A 1 im Osten.

Die bestehende Einmündung Hohe-Schaar-Straße/Kattwykdamm entfällt durch den Neubau der AS HH-Hohe Schaar und wird durch einen signalisierten Kreisverkehr ersetzt, der neben den genannten Straßen ebenfalls die Zu- und Abfahrtsrampen der Anschlussstelle integriert. Durch eine niveaufreie Entflechtung der Straßen- und Hafenbahninfrastruktur entfallen die im Bestand vorhandenen Bahnübergänge im Verlauf der Hohe-Schaar-Straße.

In Abbildung 13 ist die geplante Infrastruktur dargestellt. Die verfügbare Rückstaulänge reduziert sich von den im Bestand vorhandenen rd. 1.500 m auf rd. 1.300-1.350 m.

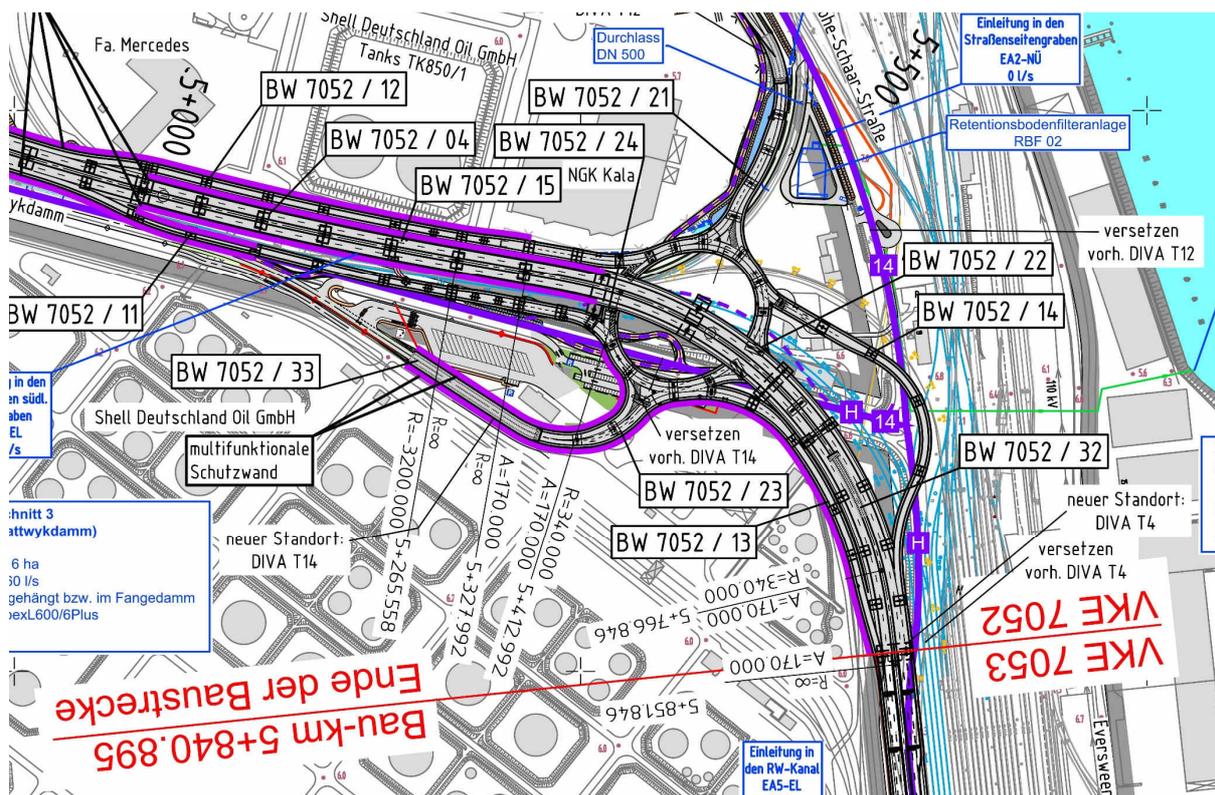


Abbildung 13: Geplante Anschlussstelle AS-Hohe Schaar. Quelle: DEGES, Vorentwurf A 26 Abschnitt 6b, AS HH, Stand 03/2017

4.2 Bemessungsverkehrsstärke

Zur Prognose der Bemessungsverkehrsstärke wurden die am 23.05.2018 erhobenen Verkehrsmengen der maßgeblichen Spitzenstunde herangezogen und auf Basis der Tagesverkehrsprognose für den Neubau der BAB A 26 Ost im Planfall 1 (2030) hochgerechnet.

Die Belastung im Bestand beträgt in der Morgenspitzenstunde 522 Pkw-E/h, davon 247 Pkw und 110 Lkw (vgl. Tabelle 1).

Zur Berechnung der Prognosebelastung der Rethebrücke wurde das Verfahren „prognostizierte Bemessungsverkehrsstärke für eine bestehende Verkehrsanlage“ entsprechend des Handbuchs für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen 2015 (FGSV, 2015) verwendet, welches die Analyseverkehrsstärke unter Verwendung von Analyse- und Prognoseverkehrsmengen hochrechnet:

$$q_{B,Pz,i} = q_{B,Az,i} * \frac{q_{Um,Pz,i}}{q_{Um,Az,i}}$$

$q_{B,Pz,i}$: Bemessungsverkehrsstärke des Verkehrsstroms i im Prognosezustand Pz

$q_{B,Az,i}$: Bemessungsverkehrsstärke des Verkehrsstroms i im Analysezustand Az

$q_{Um,Pz,i}$: Verkehrsstärke des Verkehrsstroms i in der Umlegung für den Prognosezustand Pz

$q_{Um,Az,i}$: Verkehrsstärke des Verkehrsstroms i in der Umlegung für den Analysezustand Az

Grundlage für die Prognose bildet ein durch PTV erstelltes Verkehrsmodell im Rahmen des Neubaus der BAB A 26 Ost im Abschnitt AK HH-Hafen bis AD Süderelbe für den Prognosehorizont 2030 (PTV Transport Consult GmbH, 2016). In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde das Szenario 1 der Prognose verwendet, welches die Fertigstellung der A 26 im gesamten Hafenbereich sowie die Verlegung der Wilhelmsburger Reichsstraße berücksichtigt (vgl. Abbildung 14).

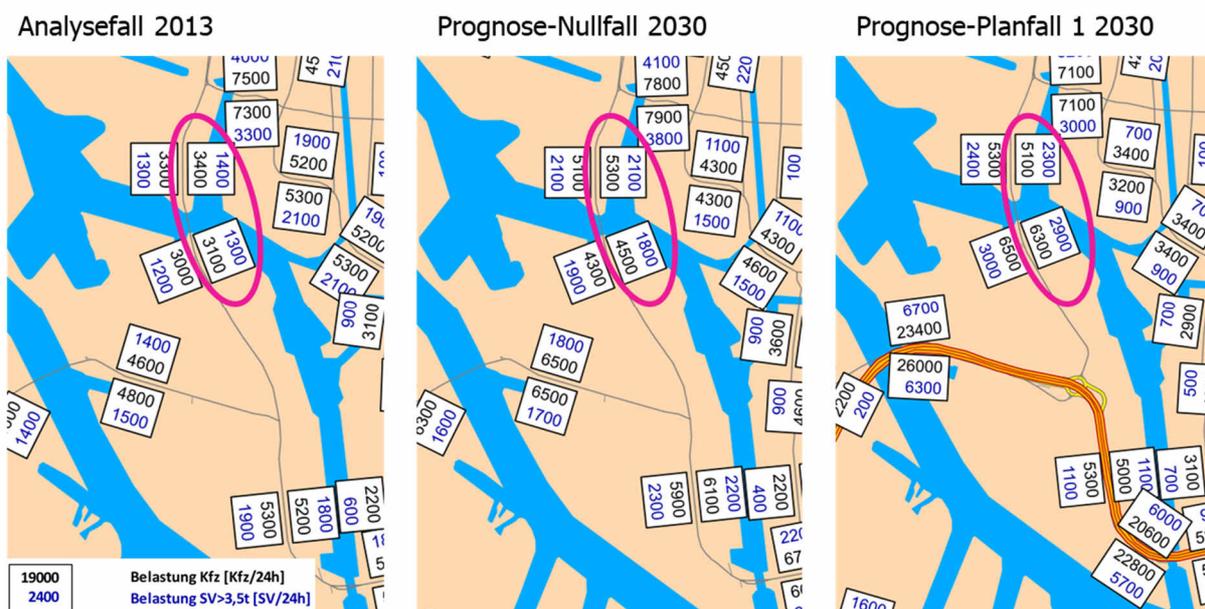


Abbildung 14: Tagesverkehrsmengen entsprechend PTV-Modell für Analyse- und Prognosezustand

Da das Analyseszenario des Verkehrsmodells das Bezugsjahr 2013 beschreibt, war zunächst eine Fortschreibung auf das Zähljahr 2018 erforderlich. Hierfür wurde ein konstanter Wachstumsfaktor angenommen, was einem exponentiellen Wachstum entspricht und zu folgender Anpassung führt:

$$q_{Um,2018} = q_{Um,2013} * \left(\frac{q_{Um,2030}}{q_{Um,2013}} \right)^{\frac{2018-2013}{2030-2013}}$$

Die Prognose erfolgte getrennt für Pkw und Lkw sowie ausschließlich für die Fahrtrichtung Nord.

In Tabelle 6 ist die resultierende Bemessungsverkehrsstärke im Prognosefall 2030 dargestellt. Diese stellt einen Zuwachs um 86 % gegenüber dem Bestand dar.

Bezugsfall	Pkw/h	Lkw/h	Pkw-E/h
Analyse 2018	247	110	522
Prognose 2030	414 +68 %	223 +103 %	972 +86 %

Tabelle 6: Verkehrsaufkommen im Analyse- und Prognosefall

4.3 Rückstaulängen

Zur Berechnung der Rückstaulänge im Prognosefall wurden folgende Prämissen getroffen:

- Bezugsfall ist der Prognose-Planfall 1 für den Prognosehorizont 2030 der durch PTV erfolgten Modellierung der A 26 (vgl. Abschnitt 4.2).

- Als bemessungsrelevant wird die Morgenspitzenstunde mit 972 Pkw-E/h berücksichtigt (vgl. Abschnitt 4.2). Eine differenziertere Untersuchung einzelner Tagesabschnitte ist aufgrund der Stationarität der Öffnungsdauerverteilung der Rethebrücke im Tagesverlauf nicht erforderlich.
- Die Brückenöffnungsdauer bzw. Sperrdauer der Hohe-Schaar-Straße für den Straßenverkehr wird mit 25 Minuten angesetzt (vgl. Abschnitt 3.3). Dies entspricht dem 75-%-Quantil der Öffnungsdauerverteilung im Bestand, d.h. die angesetzte Öffnungsdauer wird in 25 % aller Fälle überschritten.
- Der Befolgungsgrad wird zunächst entsprechend dem Bestand mit 25 % definiert (vgl. Abschnitt 3.5).
- Die Länge des verfügbaren Rückstauraums beträgt rd. 1.300-1.350 m (vgl. Abschnitt 4.1).
- Eine Veränderung der Anforderungen des Schiffsverkehrs oder ein veränderter Tagesgang der Straßenverkehrsnutzung wird nicht unterstellt.

Die Berechnung der Rückstaulänge erfolgt mittels zweier Verfahren, die beide gewissen Einschränkungen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf den vorliegenden Untersuchungsgegenstand unterliegen, in der Kombination jedoch eine belastbare Indikation für die im Prognosefall zu erwartende Rückstaulänge darstellen. Verglichen werden hierbei die Rückstaulängen entsprechend der im Abschnitt 4.3 hergeleiteten Regressionsgleichung sowie die Berechnung nach HBS 2015.

Für die Fortschreibung der Rückstaulänge im Bestand auf den Prognosefall wird folgender Berechnungsansatz verwendet, der auf einem Befolgungsgrad von 25 % beruht:

$$l_{\text{Rückstau}} = 0,10 \frac{\text{m} * \text{h}}{\text{Pkw-E} * \text{min}} * t_{\text{Sperr}} * q_{\text{Pkw-E}}$$

Mit den berücksichtigten Prognoseansätzen ergibt sich eine Rückstaulänge von rd. 2,4 km.

Alternativ wurde eine Berechnung entsprechend HBS 2015 durchgeführt. Das Verfahren zur Rückstaulängenbemessung an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen (LSA) kann auf den vorliegenden Fall angewendet werden, da es sich bei der Sperrung der Hohe-Schaar-Straße prinzipiell um einen der üblichen LSA ähnlichen Prozess handelt. Es wurde ein Umlauf mit einer Umlaufzeit von 3.600 s definiert, der eine einzelne Sperrphase mit einer Dauer von 1.500 s und einer folgenden Freigabezeit von 2.100 s enthält. Das HBS-Verfahren berücksichtigt für die Rückstaulängenberechnung neben den in der Sperrzeit zufließenden Fahrzeugen auch die weitere Verlängerung des Rückstaus während des Abflussprozesses durch auf das Stauende aufschließende Fahrzeuge. Berechnet wird das 95-%-Quantil der Rückstaulänge, welches nur in 5 % aller Fälle überschritten wird.

Die Bemessungsverkehrsstärke wird durch Multiplikation der Prognoseverkehrsstärke mit dem Nichtbefolgungsgrad ermittelt:

$$q_{\text{Bemessung}} = q_{\text{Pkw-E}} * (1 - f_{\text{DIVA}})$$

Bei einem Befolgungsgrad von 25 % ergibt sich nach dem HBS-Verfahren eine Rückstaulänge von rd. 2,7 km. Für einen Befolgungsgrad von 50 % sinkt die Rückstaulänge auf 1,6 km, für 75 % auf 1,2 km.

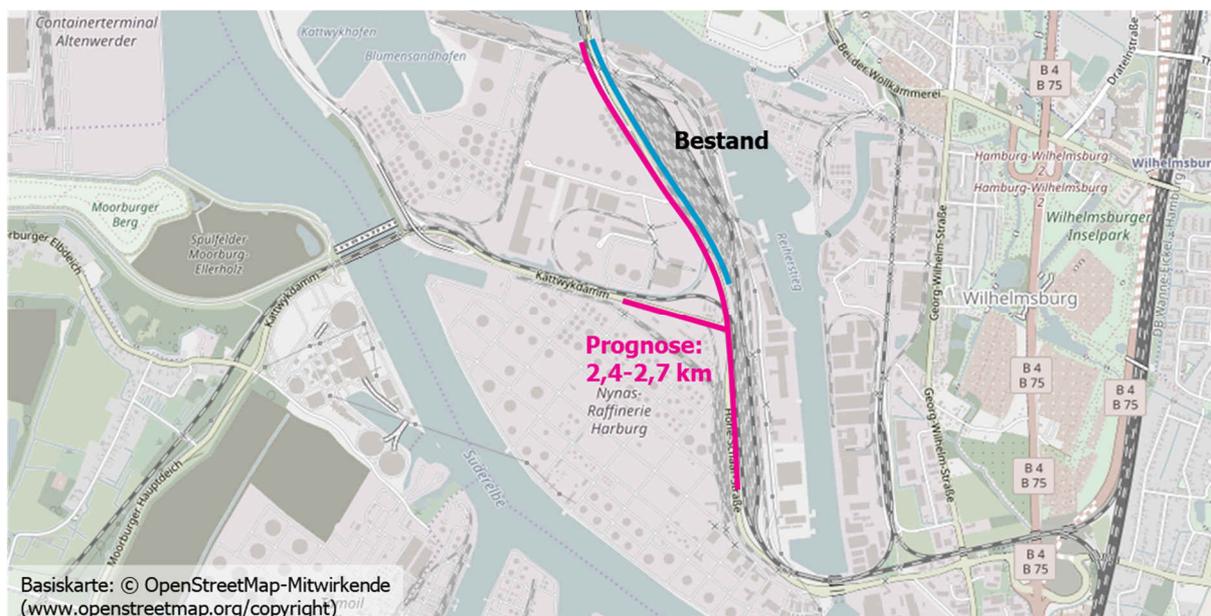


Abbildung 15: Vergleich der Rückstaulängen in Bestand und Prognose

Der prognostizierten Rückstaulänge von 2,4-2,7 km steht eine verfügbare Rückstaulänge von 1,3-1,4 km gegenüber. Werden keine über den Bestand hinausgehenden Maßnahmen getroffen, um die Routenwahl zu beeinflussen, kommt es ab einer Sperrdauer von rd. 15 min zu einem Rückstau, der bis in den Verteilerkreis der AS HH-Hohe Schaar zurückreicht. Zur Vermeidung von Überstauungen ist es erforderlich, den Befolgungsgrad auf rd. 50-60 % zu erhöhen.

5 VERKEHRSLENKENDE MAßNAHMEN

5.1 Analyse der Routenwahl

Durch den Neubau der A 26 kommt es zu Veränderungen der verkehrlichen Bedeutung der Rethebrücke im Gesamtstraßennetz des Hafens, was eine gegenüber dem Bestand veränderte Zusammensetzung der Verkehrsströme, die die Brücke nutzen, zur Folge hat. Zur Analyse dieser Routen wurde im April 2018 durch PTV eine Auswertung der Netzspinne der Brücke für den Prognose-Planfall 1 durchgeführt. Die Spinne stellt die Strombündel dar, die den jeweiligen Streckenabschnitt im Verkehrsmodell nutzen (vgl. Abbildung 16).

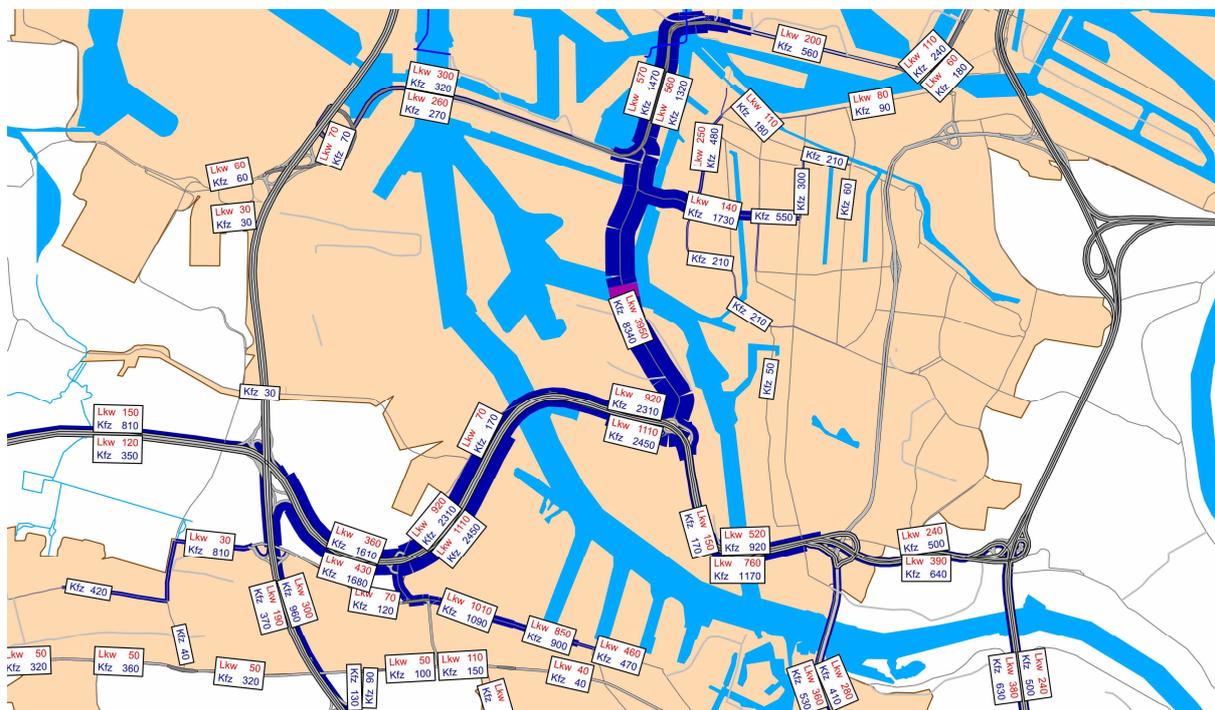


Abbildung 16: Netzspinne der Rethebrücke, Prognose-Planfall 1 (2030). Quelle: PTV.

Eine zusammenfassende Auswertung der Pkw-Verkehrsströme, die die Brücke in Fahrtrichtung Nord nutzen, ist in Abbildung 17 dargestellt. Rd. 50 % des Verkehrsaufkommens der Rethebrücke fließen über die AS HH-Hohe Schaar von Westen zu, rd. 14 % von Osten. Weitere 36 % der Brückenbelastung sind Quellverkehre der Gewerbe- und Industrieflächen entlang der Hohe-Schaar-Straße zwischen der Anschlussstelle und der Brücke. Bedeutende Zuflüsse sind die A 7 Süd (24 %), A 1 Süd (9 %) und A 26 West (8 %).

Nach dem Überqueren der Rethebrücke verbleibt ein Großteil der Pkw-Fahrten im unmittelbaren Einzugsgebiet der Brücke. Rd. 37 % weisen ein Ziel im Bereich Neuhof auf, weitere 36 % östlich des Reiherstiegs in Wilhelmsburg und 23 % im Bereich Kleiner Grasbrook entlang des Veddeler Damms.

Lediglich 4 % des Verkehrsaufkommens sind Durchgangsverkehre, die über die Haupthafenroute in Richtung Zentrum abfließen.

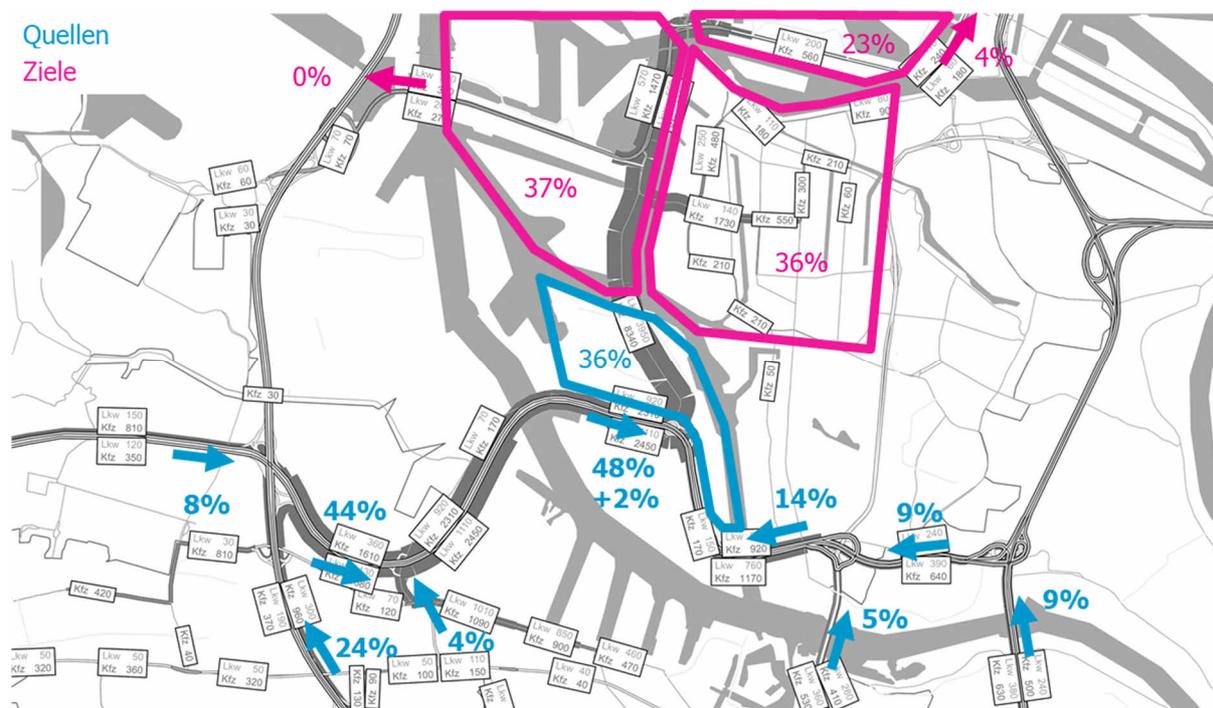


Abbildung 17: Analyse der Pkw-Verkehrsströme im Prognosezustand 2030. Quelle Spinnendarstellung: PTV.

Die korrespondierende Auswertung der Lkw-Verkehrsströme ist in Abbildung 18 dargestellt. Rd. 50 % des Lkw-Verkehrsaufkommens der Rethebrücke fließen über die AS HH-Hohe Schaar von Westen zu, rd. 26 % von Osten. Weitere 24 % der Brückenbelastung sind Quellverkehre der Gewerbe- und Industrieflächen entlang der Hohe-Schaar-Straße zwischen der Anschlussstelle und der Brücke. Bedeutende Zuflüsse sind die AS HH-Moorburg (27 %), A 7 Süd (13 %), B 4/75 Süd (12 %), A 1 Süd (10 %) und A 26 West (5 %). Die hohe Zahl der Schwerverkehre, die aus den Gewerbegebieten entlang der Moorburger Straße in Harburg über die AS HH-Moorburg zur Rethebrücke verkehren (rd. 600 SV-Fz./24h), ist auffällig. In einem durch ARGUS betriebenen Verkehrsmodell der Metropolregion Hamburg, dem jedoch vom PTV-Modell abweichende Prognoseannahmen zugrunde liegen, weist die Relation mit rd. 400 SV-Fz./24h einen niedrigeren, jedoch ebenso bedeutendes Fahrtenaufkommen auf.

Nach dem Überqueren der Brücke verbleibt ein Großteil der Lkw-Fahrten im unmittelbaren Einzugsgebiet der Brücke. Rd. 54 % weisen ein Ziel im Bereich Neuhof auf, lediglich 8 % östlich des Reiherstiegs in Wilhelmsburg und 22 % im Bereich Kleiner Grasbrook entlang des Veddeler Damms. Über die Köhlbrandbrücke fließen 13 % der Verkehre zu den Industrieflächen und Containerterminals in Waltershof ab, weitere 3 % über die Haupthafenroute in Richtung Zentrum.

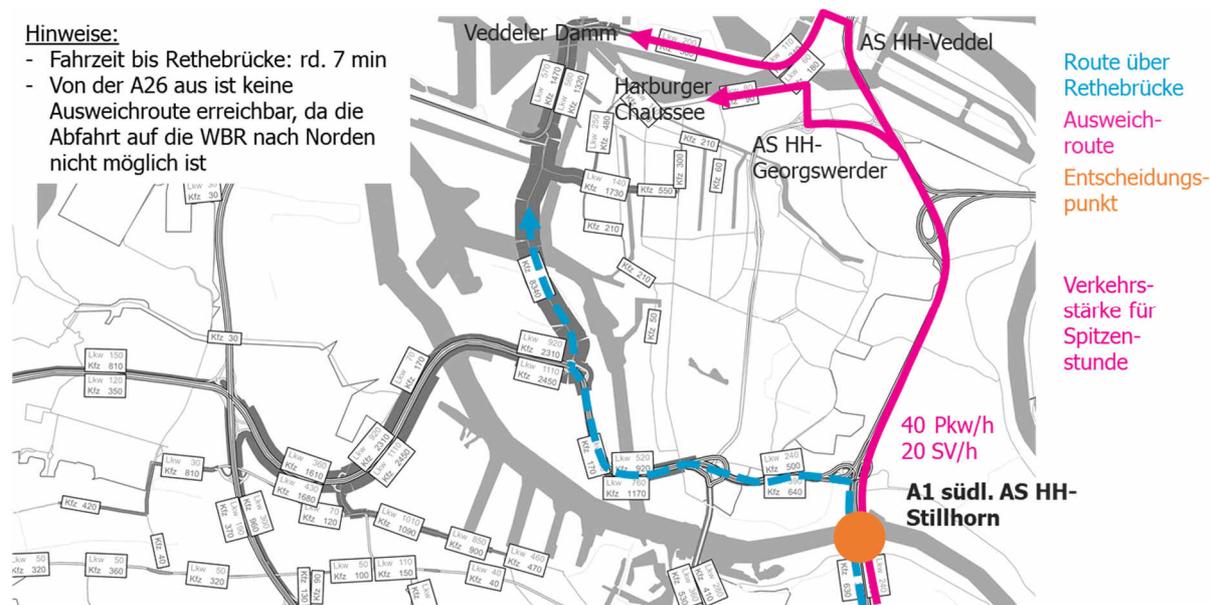


Abbildung 19: Entscheidungspunkt, Ausweichrouten und Verkehrsmengen für den Zufluss A 1 Süd. Quelle Spinnendarstellung: PTV.

Für Verkehre, die über die B 4/75 zur Rethebrücke fließen, ist die Ausfahrt an der AS HH-Kornweide und Nutzung der parallel zur Hohe-Schaar-Straße verkehrenden Ausweichroute Kornweide – Schmidts Breite – Bei der Wollkämmerei möglich (vgl. Abbildung 20). Für einzelne Relationen sind zudem disperse Ausweichrouten über die AS HH-Wilhelmsburg der Wilhelmsburger Reichsstraße denkbar. Die Lage des Entscheidungspunkts wird somit für die B 4/75 südlich der AS HH-Kornweide mit einer Fahrzeit bis zur Rethebrücke in Höhe von rd. 5 Minuten definiert.

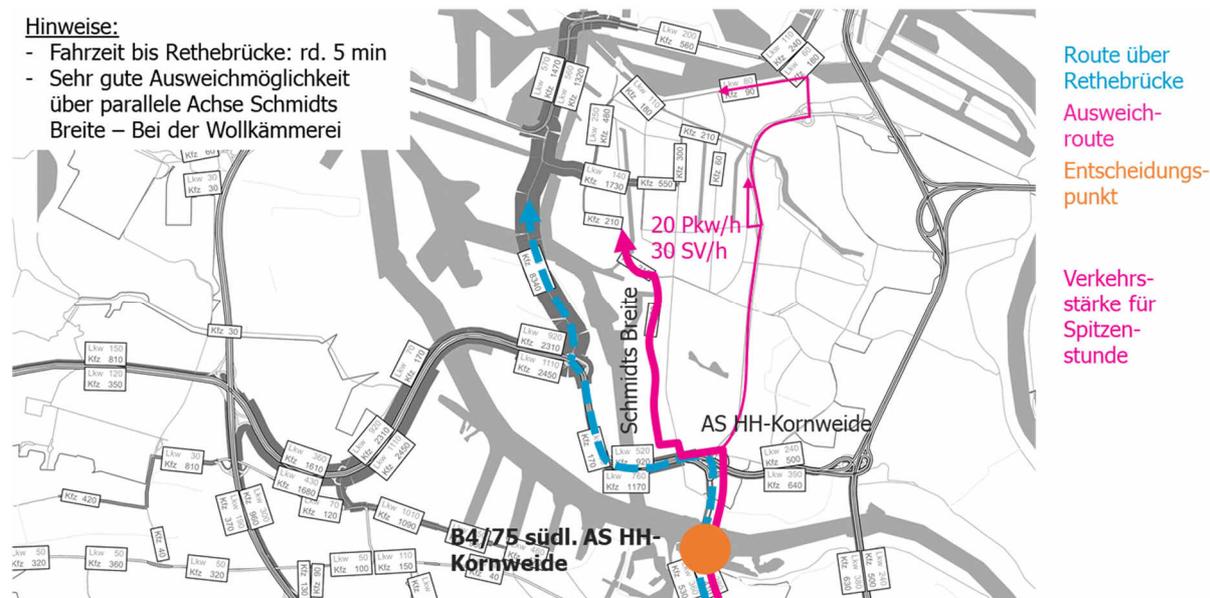


Abbildung 20: Entscheidungspunkt, Ausweichrouten und Verkehrsmengen für den Zufluss B 4/75. Quelle Spinnendarstellung: PTV

Die Zufahrt A 7 Süd weist einen vergleichsweise hohen Anteil an den die Rethebrücke querenden Relationen auf. Durch die Köhlbrandbrücke besteht eine direkte und leistungsfähige Ausweichroute zur Rethebrücke, über die ein Großteil der Ziele im Pkw- und Lkw-Verkehr mit nur geringen Reisezeitwachsen erreicht werden können (vgl. Abbildung 21). Da nach dem Wechsel auf die A 26 am AK HH-Hafen keine weiteren Ausweichrouten mehr erreichbar sind, muss die Routenentscheidung der Verkehrsteilnehmer bereits südlich des Autobahnkreuzes auf der A 7 erfolgen.

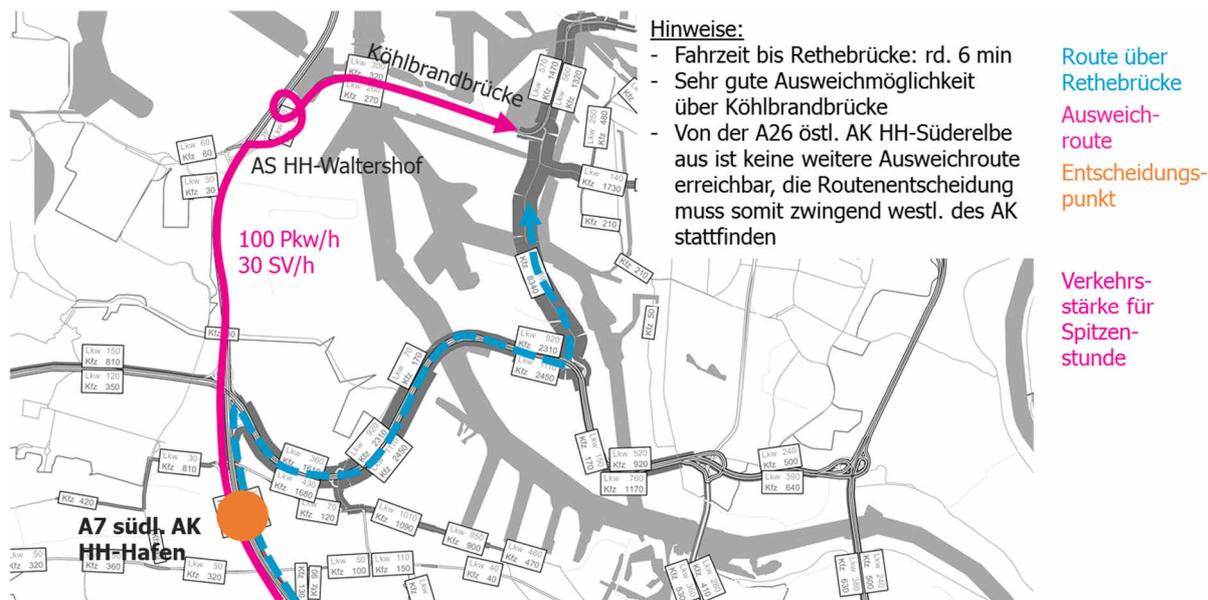


Abbildung 21: Entscheidungspunkt, Ausweichrouten und Verkehrsmengen für den Zufluss A 7 Süd. Quelle Spinnendarstellung: PTV.

Die Ausweichrouten für Verkehre, die über die A 26 West zufließen, verläuft ebenfalls über die A 7 und die Köhlbrandbrücke. Auch für diese Relation liegt der Entscheidungs-knotenpunkt bereits vor Erreichen des AK HH-Hafen, da nach der Durch-fahrung des Autobahnkreuzes keine alternativen Ausweichrouten mehr erreicht werden können (vgl. Abbildung 22).

Einen Sonderfall stellt der Zufluss über die AS HH-Moorburg aus dem Harburger Seehafen dar. Im Gegensatz zu den übrigen Zuflüssen liegt der Entscheidungs-knotenpunkt hier im Stadtstraßennetzes südlich der Anschlussstelle, da als einzig sinnvolle Ausweichroute ebenfalls die Köhlbrandbrücke genutzt werden kann, welche eine Auffahrt auf der A 26 in entgegengesetzte Richtung erforderlich macht. Die Information der Verkehrsteilnehmer muss daher südlich der AS HH-Moorburg erfolgen (vgl. Abbildung 23).

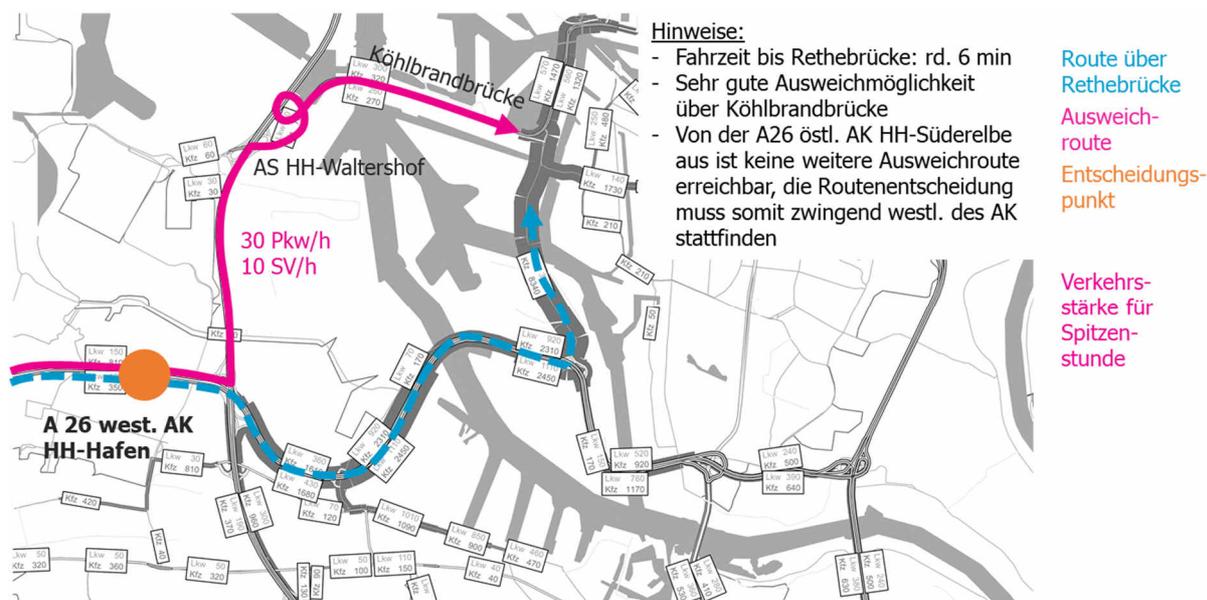


Abbildung 22: Entscheidungspunkt, Ausweichrouten und Verkehrsmengen für den Zufluss A 26 West. Quelle Spinnendarstellung: PTV.

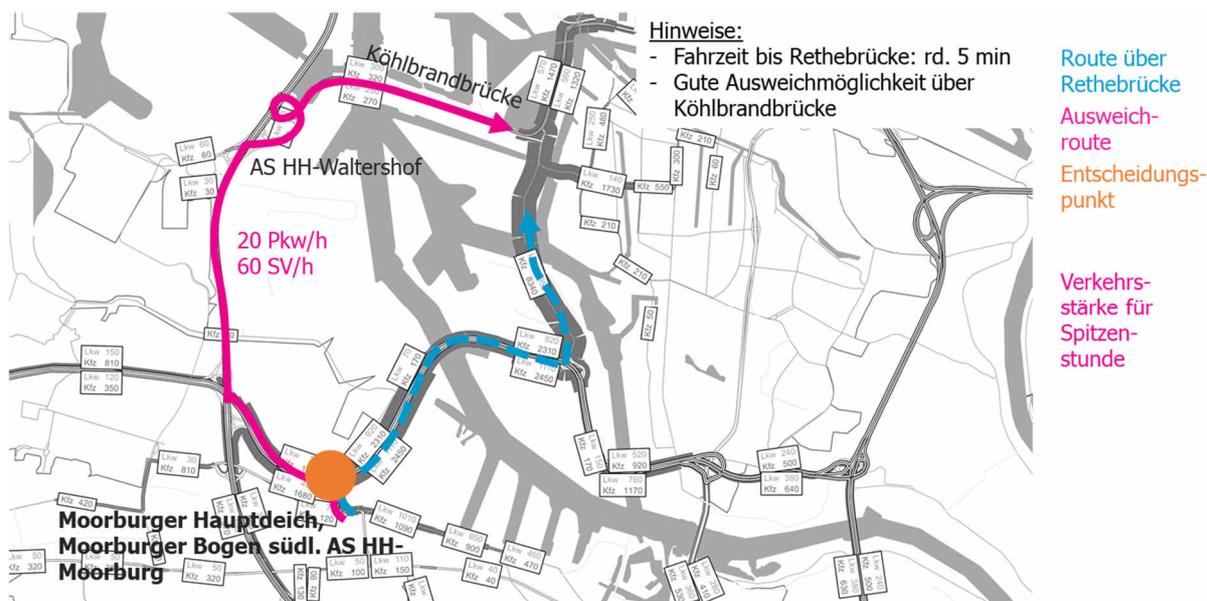


Abbildung 23: Entscheidungspunkt, Ausweichrouten und Verkehrsmengen für den Zufluss AS HH-Moorburg. Quelle Spinnendarstellung: PTV.

Eine Übersicht der Entscheidungspunkte, an denen Informationstafeln mit dynamischer Wegweisung im Fall einer Sperrung der Rethebrücke für den Straßenverkehr zu erfolgen hat, ist in Abbildung 24 dargestellt. Mit Ausnahme des Moorburger Hauptdeichs liegen alle relevanten Entscheidungspunkte im Netz der Bundesfernstraßen. Die Fahrzeit von den Entscheidungspunkten bis zur Rethebrücke beträgt rd. 5-7 Minuten.

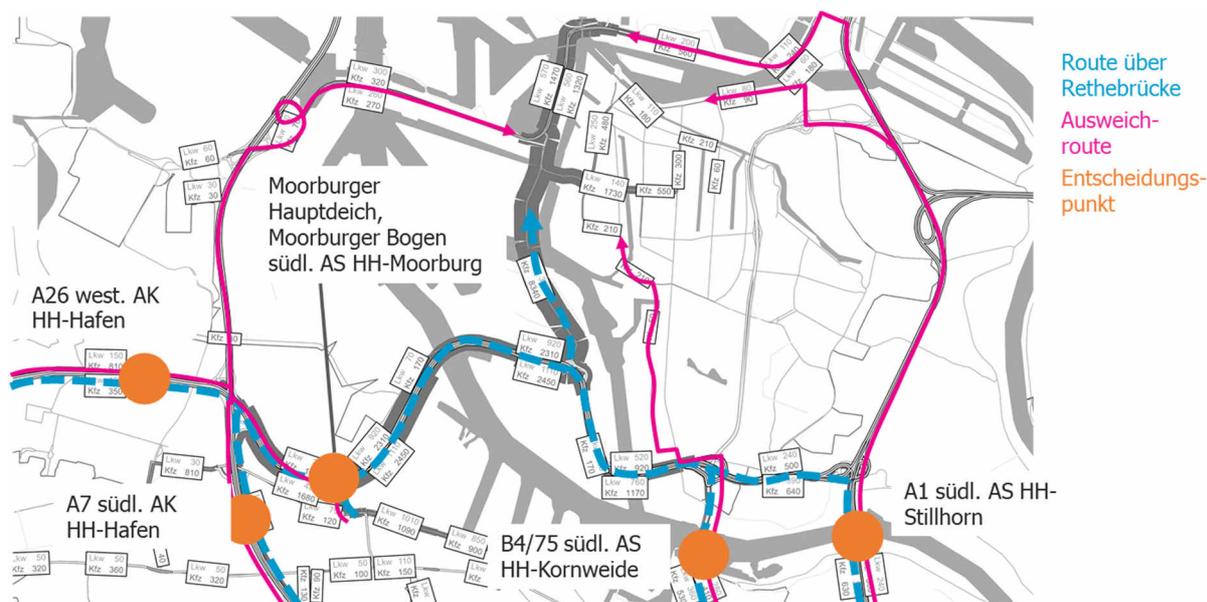


Abbildung 24: Übersicht der Entscheidungspunkte und Ausweichrouten. Quelle Spinnendarstellung: PTV.

In Abbildung 25 sind die resultierenden Zunahmen der Verkehrsmengen auf den Ausweichrouten bei einem Befolgungsgrad der dynamischen Wegweisung von 100 % dargestellt. Es ist zu beachten, dass die jeweiligen Zunahmen nur während des Intervalls der Sperrung auftreten und ein Befolgungsgrad von lediglich 50-60 % als erforderlich angesehen wird. Der Berechnung des Verkehrsmengenzuwachses in Pkw-E/h wurde der Prognose-Planfall 1 und ein pauschaler Spitzenstundenanteil von 8 % für den Bestandsverkehr der Ausweichrouten zugrunde gelegt.

Spürbare Belastungszuwächse treten auf den Ausweichrouten Schmidts Breite – Bei der Wollkämmerei und der Köhlbrandbrücke auf, während die zusätzliche Verkehrsmenge auf den Autobahnen gering ausfallen.

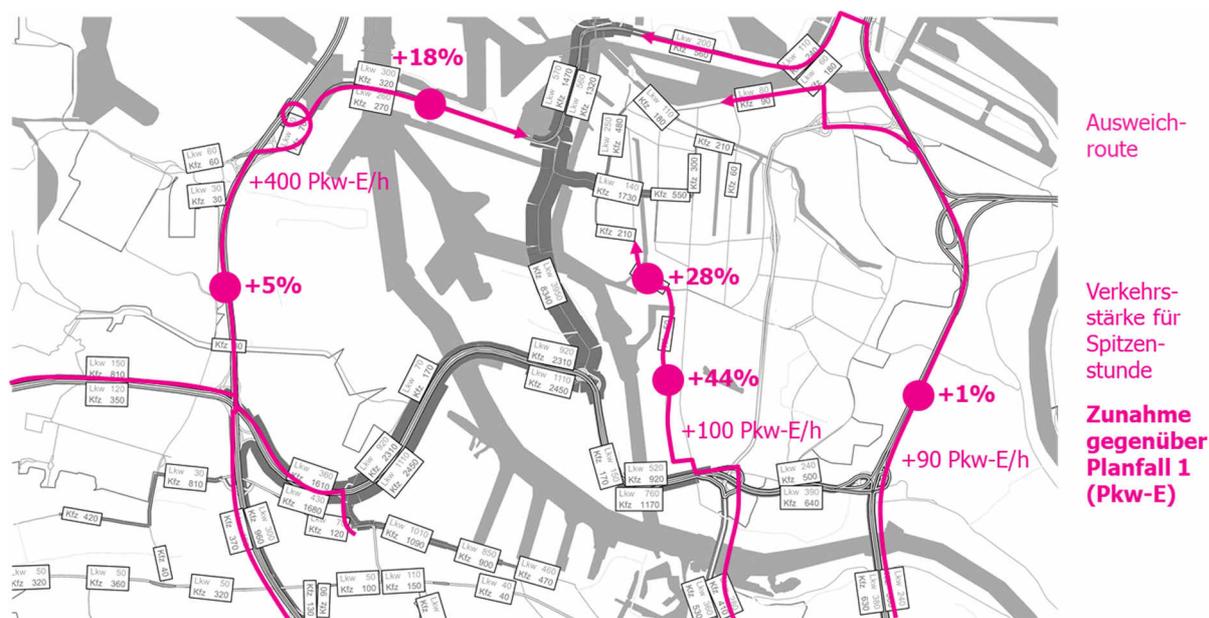


Abbildung 25: Zunahme der Verkehrsstärke auf den Ausweichrouten bei Brückenöffnung und 100 % Befolgungsgrad. Quelle Spinnendarstellung: PTV.

5.3 Verkehrslenkende Maßnahmen

Die Einrichtung verkehrslenkender Maßnahmen zur Beeinflussung der Routenwahl während der Brückenöffnung der Rethebrücke steht vor mehreren Herausforderungen, die die Umsetzung erschweren:

- Die Verlagerung der Entscheidungspunkte vom Stadtstraßennetz auf das Bundesfernstraßennetz macht die Anpassung und Ausweitung von Beschilderungsstandorten und den Datenaustausch zwischen den jeweiligen technischen Systemen beider Betreiber erforderlich.
- Zur Vermeidung von Überstauungen der AS HH-Hohe Schaar ist die Erhöhung des Befolgungsgrads der verkehrslenkenden Maßnahmen von derzeit rd. 20 % (direkter Befolgungsgrad) auf 50-60 % erforderlich.
- Aufgrund der Fahrzeit von fünf bis sieben Minuten zwischen den Entscheidungspunkten und der Rethebrücke ist eine entsprechende Vorlaufzeit der Wegweisung vor Beginn der Sperrung der Hohe-Schaar-Straße notwendig.
- Die Beeinflussung der Verkehre, die von der A 1 Süd zufließen, wird aufgrund fehlender attraktiver Ausweichrouten als problematisch angesehen.

In der Metropolregion Hamburg gibt es derzeit zwei für den Untersuchungsgegenstand relevante Verkehrsleit- und Informationssysteme. Die kleinräumige Verkehrslenkung erfolgt durch die DIVA-Tafeln der HPA, die u.A. Sperrungen von Strecken in Folge von Brückenöffnungen und die verbleibende Restsperrdauer anzeigen. Im Autobahnnetz dienen die sog. dWiSta (dynamische Wegweiser mit integrierten Stauinformationen) der großräumigen Verkehrslenkung. Die derzeit vorhandenen Standorte süd-

lich des Horster Dreiecks (A 7) und westlich des Buchholzer Dreiecks (A 1) sind jedoch nicht geeignet, um auf eine Sperrung der Rethebrücke für den Kfz-Verkehr hinzuweisen.

In der Literatur zum Einsatz verkehrslenkender Maßnahmen werden folgende Einflüsse auf die Wirksamkeit der Anzeigetafeln genannt:

- Der Befolgungsgrad von dWiSta beträgt auf längeren Netzmaschen rd. 30 % (Schlaich, 2009).
- In einer Pilotauswertung des dWiSta-Einsatzes in Leipzig wurde eine Befolgungsrate von 20 % ermittelt, obwohl 75 % der Verkehrsteilnehmer die angezeigten Informationen als zutreffend eingeschätzt haben (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2007).
- Der Befolgungsgrad dynamischer Verkehrsleitsysteme beträgt bei kürzeren Netzmaschen 3-17 % (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2009).
- Die Anzeige der Ursache für die veränderte Wegführung erhöht den Befolgungsgrad (Wardman, et al., 1996).
- Die Anzeige des Zeitvorteils bei Wahl der Alternativroute erhöht den Befolgungsgrad (Wardman, et al., 1996).
- Bei Einblendung von Zeitangaben der Umleitungsanzeige steigt die Akzeptanz der dynamischen Verkehrslenkung (Bundesanstalt für Straßenwesen, 2009).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass dynamische Verkehrslenkungsmaßnahmen einen vergleichsweise niedrigen Befolgungsgrad aufweisen, obwohl die Informationen durch die Verkehrsteilnehmer überwiegend als korrekt angesehen werden. Der Befolgungsgrad steigt mit Angabe von Ursachen der Routenänderung und Aufzeigen von Reisezeitvorteilen an.

Aufgrund der Erforderlichkeit der Erhöhung des Befolgungsgrads der dynamischen Verkehrslenkung auf 50-60 % wird empfohlen, ein Anzeigekonzept mit möglichst hoher Akzeptanz einzusetzen. Dies beinhaltet die rechtzeitige, vorgelagerte Anzeige in ausreichendem Abstand zu den Entscheidungspunkten, den expliziten Hinweis auf die Sperrung der Rethebrücke, die Anzeige der verbleibenden Sperrdauer sowie den Hinweis auf die empfohlene Ausweichroute. Eine beispielhafte Anzeige für den Entscheidungspunkt der Zufahrt A 7 Süd ist in Abbildung 26 dargestellt. Da unklar ist, ob sich die Anzeige der verbleibenden Sperrdauer im spezifischen Fall positiv auf den Befolgungsgrad auswirkt, wird die Vorhaltung einer entsprechenden Funktionalität und die Durchführung einer Evaluation des Befolgungsgrads mit bzw. ohne Restsperrdaueranzeige nach Inbetriebnahme der A 26 empfohlen. Die Darstellung der Sperrung und Umleitungsempfehlung ist bereits 10 Minuten vor Beginn der Brückenöffnung erforderlich, um die Fahrzeit zwischen den Schilderstandorten und der Rethebrücke zu kompensieren.

Als problematisch wird angesehen, dass der Begriff „Rethebrücke“ für Ortsunkundige schwer verständlich und ggf. nicht räumlich zuordbar ist. Im Fall einer technischen Umsetzbarkeit sollte daher auch die Anzeige einer schematischen Netzdarstellung in Betracht gezogen werden.

Die erforderlichen Schilderstandorte der dWiSta- und DIVA-Tafeln sind in Abbildung 27 dargestellt.

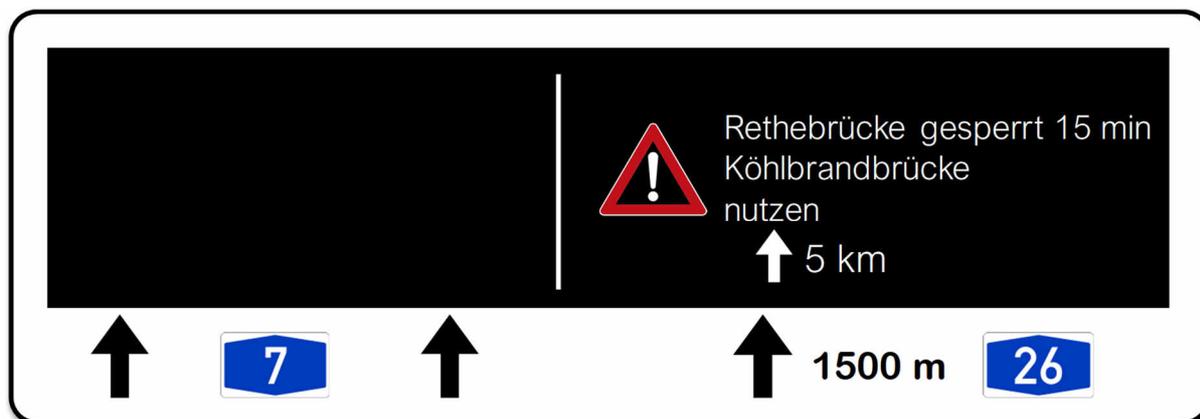


Abbildung 26: Beispielhafte dWiSta-Anzeige für die Zufahrt A 7 Süd bei Sperrung der Rethebrücke

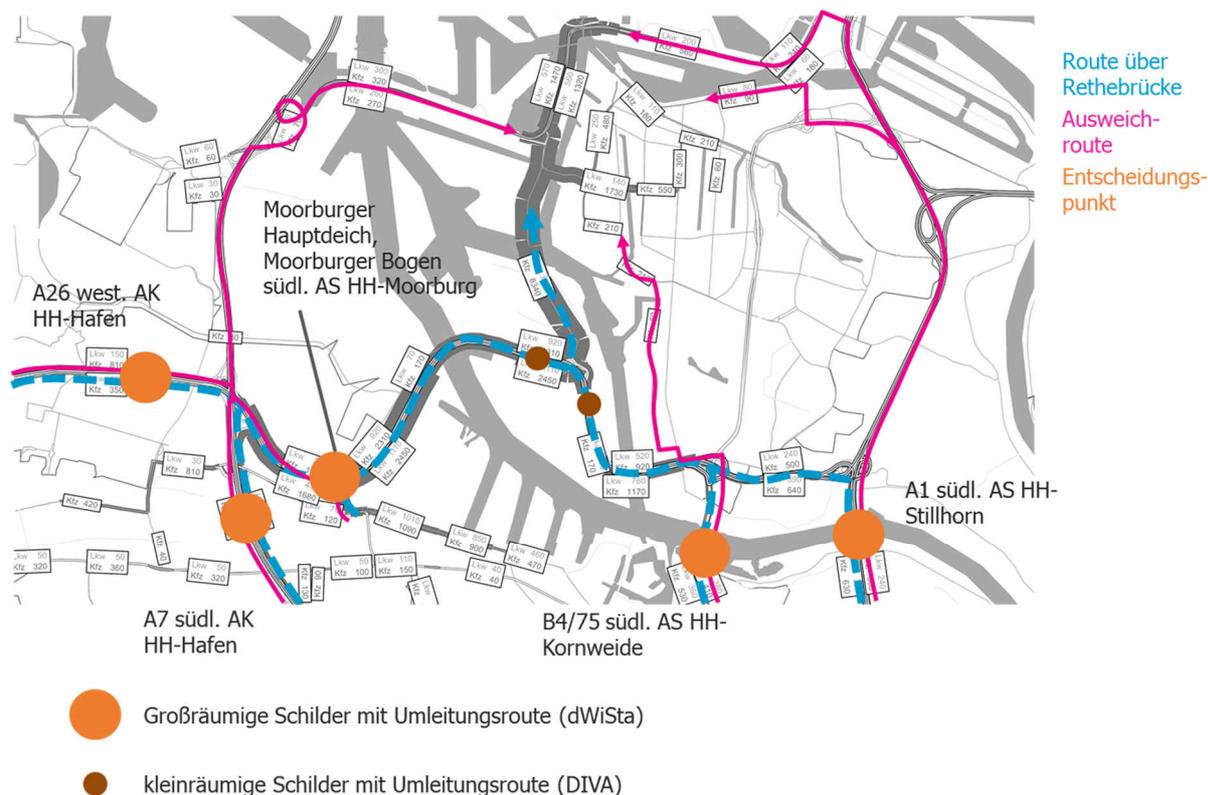


Abbildung 27: Übersicht der erforderlichen dWiSta- und DIVA-Standorte

Über die genannten Maßnahmen zur dynamischen Verkehrslenkung an den Entscheidungspunkten im Bundesfernstraßennetz hinaus ist zusätzlich die Installation verkehrstechnischer Infrastruktur an der

AS HH-Hohe Schaar erforderlich, um im Fall einer Überstauung der Hohe-Schaar-Straße die Ausbreitung von Rückstaus auf die A 26 zu verhindern. Hierzu sind Staudetektionsschleifen in der Kreisverkehrausfahrt Hohe-Schaar-Straße Nord notwendig, die bei Erreichen einer definierten Rückstaulänge die Kreisverkehrausfahrt unter Nutzung der geplanten Lichtsignalanlage sperren. Insbesondere bei ortskundigen Fahrern ist durch diese Maßnahme zudem eine Erhöhung des Befolgungsgrads der dynamischen Verkehrslenkung zu erwarten, da dieser damit rechnen muss, bei Nichtbefolgung die AS HH-Hohe Schaar nicht zur Ausfahrt nutzen zu können und so eine erheblich längere Umwegfahrt durchführen zu müssen, als dies bei Nutzung der empfohlenen Ausweichroute der Fall gewesen wäre.

6 FAZIT

Die verkehrliche Bedeutung und Belastung der Rethebrücke sowie der südlichen Zufahrt über die Hohe-Schaar-Straße nimmt mit Inbetriebnahme der A 26 zwischen dem AK HH-Hafen (A 7) und dem AD Süderelbe (A 1) weiter zu. Bereits im Bestand werden bei längeren Brückenöffnungen regelmäßig Rückstaus verzeichnet, die einen Großteil der verfügbaren Rückstaulänge bis zum südlich gelegenen Knotenpunkt Hohe-Schaar-Straße/Kattwykdamm beanspruchen.

Bei unverändertem Befolungsgrad der dynamischen Verkehrslenkung, die während der Brückenöffnung die verbleibende Sperrdauer für den Kfz-Verkehr an den relevanten Entscheidungspunkten im Straßennetz anzeigt, wird für den Prognosehorizont 2030 eine Rückstaulänge prognostiziert, die die verfügbare Streckenlänge erheblich überschreitet. Während der Morgenspitzenstunde käme es bereits ab Sperrdauern von rd. 15 Minuten zu einem Rückstau, der bis in den Verteilerkreisel der AS HH-Hohe Schaar zurückreicht.

Zur Vermeidung derartiger Rückstaus ist eine Erhöhung des Befolungsgrads der dynamischen Verkehrslenkung von derzeit rd. 20-25 % auf 50-60 % erforderlich.

Durch die Inbetriebnahme der A 26 verlagern sich die Entscheidungspunkte zur Wahl von Alternativrouten vom Stadtstraßennetz auf die Bundesfernstraßen, sodass eine Integration der verkehrslenkenden Maßnahmen zusätzlich zu den bestehenden DIVA-Tafeln der HPA auch in die dWiSta-Tafeln der Autobahnen erforderlich wird. Die Entscheidungspunkte befinden sich jeweils stromaufwärts der Knotenpunkte AK HH-Hafen, AD Süderelbe, AS HH-Kornweide und AS HH-Moorburg.

Zur Rückstauvermeidung ist eine Anzeige der Sperrung bereits zehn Minuten vor Beginn der Brückenöffnung erforderlich. Durch einen expliziten Hinweis auf die Sperrung des Streckenabschnitts, die verbleibende Sperrdauer und die empfohlene Ausweichroute soll eine möglichst hohe Akzeptanz der Wegweisung erreicht werden.

Zusätzlich ist eine Absicherung des Verteilerkreisels der AS HH-Hohe Schaar gegen Überstauungen durch eine geeignete Rückstaulängendetektion und dynamische Signalisierung notwendig. Neben einer Vermeidung von Rückstauausbreitungen auf die A 26 wird in dieser Maßnahme auch eine Erhöhung des Befolungsgrads durch Ortskundige gesehen, da die Möglichkeit des Wartens bei Sperrung der Hohe-Schaar-Straße begrenzt wird und gegenüber der Wahl einer Ausweichroute an Attraktivität verliert.

Die grundsätzliche Funktionalität der Anschlussstelle AS HH-Hohe Schaar ist unter Berücksichtigung der genannten Maßnahmen im zukünftigen Netz gewährleistet.

LITERATURVERZEICHNIS

Bundesanstalt für Straßenwesen Ausstattung von Anschlussstellen mit dynamischen Wegweisern mit integrierter Stauinformation - dWiSta [Bericht]. - Bergisch Gladbach : Wirtschaftsverlag NW, 2007.

Bundesanstalt für Straßenwesen Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen [Bericht]. - Bergisch Gladbach : Wirtschaftsverlag NW, 2009.

FGSV Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS [Buch] / Hrsg. Verkehrswesen Forschungsgesellschaft für Straßen- und. - Köln : FGSV Verlag GmbH, 2015.

HPA HPA eröffnet Rethebrücke [Online]. - 18. 12 2017. - 12. 08 2018. - <https://www.hamburg-port-authority.de/de/aktuelles-presse/hpa-eroeffnet-rethebruecke-europas-groesste-bahnklappbruecke-nimmt-im-hamburger-hafen-ihren-betrieb-auf/>.

PTV Transport Consult GmbH Neubau der BAB A26 Ost AK HH-Süderelbe (BAB A7) bis AD/AS HH-Stillhorn (BAB A1). Verkehrsprognose 2030 und Berechnung von Planfällen. Anlagenband zum Schlussbericht. [Bericht]. - Karlsruhe : [s.n.], 2016.

Schlaich Johannes Nutzung von Mobilfunkdaten für die Analyse der Routenwahl [Bericht]. - Stuttgart : Institut für Straßen- und Verkehrswesen, Universität Stuttgart, 2009.

Wardman M., Bonsall P.W. und Shires J. Stated Preference Analysis of Driver Route Choice Reaction to Variable Message Sign Information [Bericht]. - Leeds : University of Leeds, 1996.