

Verfahren zur Ermittlung der maßgebenden Verkehrsnachfrage für die Planung und Bemessung von Straßen

FE 1.203

Forschungsstellen: Universität Stuttgart, Institut für Straßen- und Verkehrswesen (Prof. Dr.-Ing. M. Friedrich)

PTV Transport Consult GmbH, Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Verkehrswesen (Prof. Dr.-Ing. P. Vortisch)

Kittelson & Associates, Inc., Washington

Bearbeiter: Vortisch, P. / Waßmuth, V. / Friedrich, M. / Buck, S. / Baumann, M. / Schilling, M. / Sonnleitner, J. / Reichert, S. / Schroeder, B.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Dezember 2022

- In der Schweiz erlauben die Normen einen größeren Spielraum bei der Festlegung der Bemessungsverkehrsstärke als im deutschen Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS).
- In den USA wird die maßgebende Stunde von den Bundesstaaten festgelegt.
- Das HBS macht, verglichen mit den anderen Regelwerken, sehr konkrete Vorgaben.
- Alle Regelwerke nutzen eine stündliche Verkehrsstärke als Eingangsgröße. Die Methode der Ganzjahresanalyse ist bisher nicht Stand der Praxis.
- Das Problem, dass die als Bemessungsverkehrsstärke definierte n-te Stunde in den verschiedenen Strömen einer Verkehrsanlage zu unterschiedlichen Zeitpunkten auftritt, wird nur im HBS thematisiert.
- Aussagen zur Ermittlung der Verkehrsstärke im Prognosezustand finden sich außer im HBS in den Regelwerken aus UK und den Niederlanden.

Anwendungspraxis in Deutschland:

Um die bestehende Anwendungspraxis in Deutschland differenziert erfassen zu können, erfolgte eine Befragung anhand von Telefoninterviews von 19 Anwendern des HBS. Die Befragungsergebnisse zeigen ein gemischtes Bild: Auf der einen Seite wird die formale Notwendigkeit, mindestens Qualitätsstufe D in der 50. Stunde zu erreichen, betont. Auf der anderen Seite wird klar, dass die im HBS beschriebenen Verfahren zur Bestimmung der maßgebenden Verkehrsstärke in der Praxis oft nicht oder nur vereinfacht angewendet werden. Bei den Kommentaren wird allerdings oft nicht deutlich getrennt zwischen der Bestimmung der maßgebenden Verkehrsstärke und den Verfahren zur Berechnung der Verkehrsqualität, sondern es wird die Gesamtkomplexität des Vorgehens kommentiert.

Verkehrsnachfragemodelle werden regelmäßig als Werkzeug eingesetzt, zum Teil schon im Zusammenhang mit der Analyse, vor allem aber bei der Prognose. Für die zeitliche Auflösung der Modelle wird meist mindestens eine Differenzierung der Tageszeiten Vormittag und Nachmittag gefordert.

Die Bedeutung der genauen Bestimmung der n-ten Stunde im Prognose-Kontext wird von vielen Befragten relativiert angesichts der inhärenten Unsicherheiten der Prognose.

Insgesamt lassen die Befragungsergebnisse erkennen, dass mit der Frage der maßgebenden Verkehrsstärke in der Praxis bewusst und verantwortungsvoll umgegangen wird, das heißt man ist sich der methodischen und praktischen Schwierigkeiten bewusst, aber auch der Bedeutung der Verkehrsstärke für das Bewertungsergebnis. Eingesetzt werden aber nicht immer die vom HBS vorgesehenen Verfahren, sondern an die jeweils

1 Einleitung

Im Rahmen dieses Projekts wurden aktuelle Methoden der Wissenschaft und aus Regelwerken zur Ermittlung der Bemessungsverkehrsstärke sowie aus der Anwendungspraxis recherchiert und zusammengetragen. Daraus wurden verschiedene Bemessungskonzepte zur Ermittlung einer stündlichen Bemessungsverkehrsstärke abgeleitet, formalisiert und unter Variationen der Datenverfügbarkeit und -quellen auf mehrere Knotenpunkte und Netzabschnitte von Autobahnen angewandt.

2 Stand der Wissenschaft und Praxis zur Ermittlung der Bemessungsverkehrsstärke

Stand der Regelwerke:

Es wurden mehrere Regelwerke analysiert. Die Auswertung lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- In allen betrachteten Ländern (Deutschland, Frankreich, Niederlande, Schweiz, UK, USA) enthalten die Regelwerke Aussagen zur Bestimmung der Kapazität von Verkehrsanlagen.
- Verfahren zur Ermittlung der maßgebenden Verkehrsstärke sind nicht in allen Regelwerken enthalten und unterscheiden sich in ihrer Konkretheit:
 - In Frankreich fehlt ein schlüssiges Konzept zur Ermittlung der Bemessungsverkehrsstärke.
 - Im niederländischen Regelwerk wird die Bemessungsverkehrsstärke nur kurz und wenig konkret benannt.

vorliegende Situation angepasste pragmatische Vorgehensweisen. Die Berechnungsverfahren des HBS insgesamt werden weitgehend als ausreichend detailliert angesehen, das heißt eine weitere Erhöhung der Komplexität wird mehrheitlich nicht gewünscht.

3 Vorgehensweise zur Entwicklung von Bemessungskonzepten

Ziel des Projekts ist es, Bemessungskonzepte zur Ermittlung einer als maßgebend erachteten Verkehrsnachfrage für die Bemessung von Verkehrsanlagen zu entwickeln und im Vergleich zu einem Referenzbemessungsszenario zu bewerten. Dabei sollen die verfügbaren Datengrundlagen (Zahl der Dauerzählstellen, Kurzzeitzählung, Floating-Car-Daten) variiert und die Eignung für eine Übertragung in die Verkehrsprognose beurteilt werden.

Um die Güte der Bemessungskonzepte bewerten zu können, wird zunächst eine Referenzdatenbank geschaffen. Hierzu werden Dauerzählstellendaten der BAST sowie der Bundesländer Bayern, Hessen und Nordrhein-Westfalen aufbereitet und durch Matrixschätzverfahren räumlich so um virtuelle Dauerzählstellen ergänzt, dass für 78 Autobahnknotenpunkte mit insgesamt 661 Teilknotenpunkten (TKP) in den Jahren 2017, 2018 und 2019 eine vollständige Detektion gegeben ist. Die Knotenpunkte der Referenzdatenbasis erfüllen drei Bedingungen:

- Zeitliche Vollständigkeit: An allen Dauerzählstellen sind Verkehrsstärken für alle 8760 Stunden eines Jahres verfügbar.
- Räumliche Vollständigkeit: An allen Zu- und Abfahrten der Knotenpunkte und an allen Zu- und Abfahrten der Teilknotenpunkte sind Dauerzählstellen verfügbar.
- Konsistenz: Die Verkehrsstärken aller Dauerzählstellen sind konsistent, das heißt an jedem Teilknotenpunkt entsprechen die Zuflüsse den Abflüssen.

Basierend auf der vollständigen Detektion werden – unter der Maßgabe einer Eingrenzung der Häufigkeit der Überschreitung einer angestrebten Qualität des Verkehrsablaufs die 50 höchstausgelasteten Stunden – für jeden TKP als Referenzbemessungsszenarien bestimmt. Dann werden Bemessungsszenarien gebildet, die sich aus der Kombination von Bemessungskonzepten und verfügbaren Datengrundlagen ergeben. Die QSV dieser Bemessungsszenarien werden mit der QSV des jeweiligen Referenzbemessungsszenarios verglichen. Für die Bewertung der Bemessungsszenarien wird die Kenngröße QSV-Genauigkeit genutzt. Sie gibt an, in wie viel Prozent der Fälle der ermittelte QSV-Wert dem Wert des Referenzbemessungsszenarios entspricht.

4 Entwicklung von Bemessungskonzepten

Ausgehend von der im HBS vorgeschlagenen Vorgehensweise – Kurzzeitzählung an allen Rampen eines Knotens mit anschließender Matrixkorrektur oder Hochrechnung an den nächstgelegenen Dauerzählstellen – werden Bemessungskonzepte auf Knotenpunktebene definiert, die drei Komponenten umfassen:

- Ein Bemessungsgrundkonzept, das einem Bemessungskonzept für einzelne Richtungsmessquerschnitte (RMQ) entspricht.
- Eine Nachfragesituation (NFS), die aus den Dauerzählstellen (DZS) abgeleitet wird (NFS DZS). Jede NFS DZS besteht aus einer oder mehreren maßgebenden Stunden und einer Berechnungsvorschrift, wie aus den Verkehrsstärken dieser Stunde(n) die bemessungsrelevante Verkehrsstärke abgeleitet wird.
- Eine Nachfragesituation, die aus der Kurzzeitzählung (oder FCD oder einem Nachfragemodell) abgeleitet wird (NFS KZZ).

Damit werden neun Bemessungskonzepte entwickelt, die in Tabelle 1 aufgelistet sind.

Tabelle 1: Übersicht der implementierten Bemessungskonzepte auf Knotenpunktebene

Bezeichnung Bemessungskonzept		Bemessungs- grundkonzept	NFS DZS = Randbedingungen Datenergänzung	NFS KZZ = Ausgangslage Datenergänzung	Konsistenz der NFS
1	50. h (KZZ: Tagesstunde)	n-te Stunde aus der Dauerlinie eines Jahres	1 NFS pro DZS	Tagesstunde der n-ten Stunde	ja
2	50. h (KZZ: Tageszeitspitzenstunde)		1 NFS pro DZS	Tageszeitspitzenstunde (Vormittag <u>oder</u> Nachmittag) der KZZ → Tageszeit aus NFS DZS	ja
3	30.-70. h (KZZ: häufigste Tagesstunde)	Mittelwert einer Stundengruppe der Dauerlinie eines Jahres	1 NFS pro DZS	häufigste auftretende Tagesstunde in 30.-70. Stunde	ja
4	30.-70. h (KZZ: mHVS+aHVS)		1 NFS	Jeweilige Tageszeitspitzenstunde	nein
5	MW mHVS+aHVS (KZZ: mHVS+aHVS)	Mittelwert Tageszeit- spitzenstunde	1 NFS pro Tageszeit	Jeweilige Tageszeitspitzenstunde	nein
6	Clustering mHVS+aHVS (KZZ: mHVS+aHVS)	Häufigste Tageszeit- spitzenstunde	1 NFS pro Tageszeit	Jeweilige Tageszeitspitzenstunde	nein
7	p90 mHVS+aHVS (KZZ: mHVS+aHVS)	Perzentil Tageszeit- spitzenstunde	1 NFS pro Tageszeit	Jeweilige Tageszeitspitzenstunde	nein
8	KZZ HVS Woche (TKP)	Spitzenstunde einer Wochenanzählung	1 NFS pro TKP	Wochenstunde aus NFS DZS	ja
9	KZZ HVS Woche (KP)		1 NFS	-	nein
KZZ DZS	Kurzzeitanzählung Daueranzählstelle	NFS	Nachfragesituation	KP TKP	Knotenpunkt Teilknotenpunkt
mHVS	Hauptverkehrszeitstunde	Vormittag (morgens)			
aHVS	Hauptverkehrszeitstunde	Nachmittag (abends)			
MW	Mittelwert				
p90	Perzentil p=90				

5 Festlegung von Datengrundlagen

Die Datengrundlagen ergeben sich aus Variationen der Datenverfügbarkeit an den RMQ. Die Auswahl der Datengrundlagen erfolgt so, dass reale Bemessungssituationen der Praxis möglichst gut abgedeckt werden. Das führt zu fünf Annahmen über die Verfügbarkeit von Dauerzählstellen:

- Dauerzählstellen an den Zu- und Abfahrten aller Teilknotenpunkte:
An allen RMQ eines Knotenpunkts sind Dauerzählstellen verfügbar. Dieser Zustand definiert die ideale Datengrundlage, bei der alle Verkehrsstärken bekannt sind.
- Dauerzählstellen an den Hauptfahrbahnen für alle Zu- und Abflüsse des Knotens verfügbar:
An allen RMQ der Zu- oder Abflüsse eines Knotenpunkts, die nicht als Einfahrt oder Ausfahrt definiert sind, existieren Dauerzählstellen.
- Dauerzählstellen an den Hauptfahrbahnen für alle Zufahrten des Knotens verfügbar:
An allen RMQ der Zuflüsse eines Knotenpunkts, die nicht als Einfahrt definiert sind, existieren Dauerzählstellen.
- Dauerzählstellen für einen Messquerschnitt an der Grenze des Knotens verfügbar:

Dauerzählstellen sind nur für die zwei RMQ an einem Rand des Knotenpunkts verfügbar, die auf einer Hauptfahrbahn liegen und zusammen den höchsten DTV aufweisen.

- Wochenzählungen an den Zu- und Abfahrten aller Teilknotenpunkte verfügbar:
Es sind keine Dauerzählstellen im Untersuchungsraum verfügbar. Dafür existieren Wochenzählungen für alle RMQ.

Die Datengrundlagen der Dauerzählstellen werden durch Kurzzeitzählungen und FCD an den Zu- und Abfahrten aller Teilknotenpunkte ergänzt.

5.1 Erkenntnisse zu Bemessungskonzepten für den Analysezustand

Für den Analysezustand wurden auf der Ebene der 78 Autobahnknotenpunkte die Bemessungskonzepte aus Tabelle 1 mit den verschiedenen Datengrundlagen kombiniert. Die Analyse der QSV-Genauigkeit im Vergleich zur 50. höchstausgelasteten Stunde des jeweiligen Jahres ermöglicht folgende Aussagen zu den Bemessungskonzepten:

- Die Bemessungskonzepte 1 bis 3, die auf einer Dauerlinie basieren, liefern die höchste QSV-Genauigkeit. Das entspricht den Erwartungen, da das Referenzbemessungsszenario ebenfalls Dauerlinien nutzt. Das

Bemessungskonzept 3 liefert etwas bessere Ergebnisse als die Konzepte 1 und 2. Die Nutzung der Mittelwerte von 41 maßgebenden Stunden anstelle von einer maßgebenden Stunde reduziert vermutlich den Einfluss einer n-ten Stunde, die eine untypische Nachfragesituation darstellen kann.

- Die dauerlinienbasierten Bemessungskonzepte 1 bis 3 unterscheiden sich von den tageszeitbasierten Bemessungskonzepten 4 bis 7 dadurch, dass die Zahl der untersuchten Nachfragesituationen „zufällig“ ist, da sie von der Zahl der verfügbaren Dauerzählstellen abhängen. Die QSV-Genauigkeit hängt – anders als bei den tageszeitbasierten Konzepten – stark von der Zahl der Dauerzählstellen ab. Bei einer geringen Verfügbarkeit von Dauerzählstellen, so wie sie an vielen Knotenpunkten gegeben ist, liefern die Konzepte keine deutlich bessere Ergebnisqualität als tageszeitbasierte Konzepte.
- Die Bemessungskonzepte 4 bis 7, die nur zwei Tageszeiten auswerten, unterscheiden sich in der Ergebnisqualität deutlich:
 - Bemessungskonzept 4 "30.-70. h (KZZ: mHVS+aHVS)": Dieses Konzept betrachtet auf der Ebene der Dauerzählstellen nur eine mittlere Nachfragesituation ohne Bezug zur Tageszeit. Das führt zu nicht robusten Ergebnissen.
 - Bemessungskonzept 5 "MW mHVS+aHVS (KZZ: mHVS+aHVS)": Dieses Konzept liefert eine geringe QSV-Genauigkeit, da die Nutzung von Mittelwerten die Verkehrsstärken unterschätzt.
 - Bemessungskonzept 6 "Clusterung mHVS+aHVS (KZZ: mHVS+aHVS)": Dieses Konzept liefert eine mittlere QSV-Genauigkeit, da die Verkehrsstärken etwas unterschätzt werden. Das liegt daran, dass innerhalb jedes Clusters eine Mittelwertbildung erfolgt.
 - Bemessungskonzept 7 "p90 mHVS+aHVS (KZZ: mHVS+aHVS)": Dieses Konzept liefert von den Konzepten, die keine Dauerlinie nutzen, die höchste QSV-Genauigkeit. Bei allen Datengrundlagen werden in etwa 10 % der Bemessungsszenarien die QSV unterschätzt. Bei Datengrundlagen mit wenigen Dauerzählstellen steigt der Anteil der Bemessungsszenarien, in denen die QSV überschätzt werden.
- Die Bemessungskonzepte 8 und 9, die anstelle von Dauerzählungen nur eine Wochenzählung nutzen, können dann eine angemessene QSV-Genauigkeit erreichen, wenn geeignete Stunden ausgewählt werden:
 - Bemessungskonzept 8 "KZZ HVS Woche (TKP)": Dieses Konzept liefert ähnlich gute Ergebnisse wie die Konzepte 1 bis 3 angewendet auf Datengrundlagen, die nicht für jeden Zufluss der Hauptfahrbahnen Dauerzählstellen enthalten.

- Bemessungskonzept 9 "KZZ HVS Woche (KP)": Die Betrachtung einer Nachfragesituation, die alle Spitzenstunden der RMQ eines Knotenpunkts enthält, überschätzt die QSV in vielen Fällen

5.2 Erkenntnisse zur erforderlichen Datengrundlage

Die Analyse der QSV-Genauigkeiten für die einzelnen Kombinationen aus Datengrundlage und Bemessungskonzept ermöglicht folgende Aussagen zur den erforderlichen Datengrundlagen:

- Das vom HBS empfohlene Verfahren – Kurzzeitzählung an allen Rampen eines Knotens mit anschließender Matrixkorrektur oder Hochrechnung an den nächstgelegenen Dauerzählstellen – liefert eine Datengrundlage, mit der die Auslastung der 50. höchstausgelasteten Stunde gut getroffen wird.
- Die Datengrundlagen beeinflussen die Qualität der Ergebnisse deutlich stärker als die Wahl des Bemessungskonzepts.
- Die Qualität der Ergebnisse steigt mit der Zahl der Dauerzählstellen. Wünschenswert sind Dauerzählstellen an den Hauptfahrbahnen für alle Zufahrten des Knotens. Bei nur einer Dauerzählstelle ist die Qualität der Ergebnisse deutlich schlechter.
- Ergänzende Datengrundlagen in Form von Kurzzeitzählungen oder FCD an den Zu- und Abfahrten aller Teilknotenpunkte sind notwendig, um belastbare Ergebnisse erzielen zu können.
- Die Verwendung von FCD anstelle von Kurzzeitzählungen ist möglich, erreicht aber in den untersuchten Fällen nicht die gleiche Ergebnisqualität wie eine Kurzzeitzählung. Eine Ursache für die geringere Ergebnisqualität können die verwendeten Datenquellen sein. Die Kurzzeitzählungen nutzen die gleichen aufbereiteten Zählzeiten wie die Dauerzählungen. Die FCD stammen aus einer anderen Datenquelle.
- Die Verwendung von Abbiegeanteilen aus Verkehrsnachfragemodellen erfordert die Verwendung von tageszeitabhängigen Abbiegeanteilen, die nur mit Stundenmodellen bereitgestellt werden können.
- Wochenzählungen erreichen eine ähnliche Qualität wie Datengrundlagen mit nur einer Dauerzählstelle.

5.3 Erkenntnisse zu Bemessungskonzepten für den Prognosezustand

Bei der Planung von Straßenverkehrsanlagen besteht die Aufgabe in einer passenden Bemessung von Straßenverkehrsanlagen für einen zukünftigen Zustand. In diesem Zustand werden sich die Einflussgrößen auf die Verkehrsnachfrage verändern: das Verkehrsangebot im Kfz-Verkehr, das Verkehrsangebot der anderen Modi, die Demografie, die Siedlungsstruktur und das Verkehrsverhalten. Für die Prognose zukünftiger Verkehrsstärken kommen Verkehrsnachfragemodelle zum Einsatz, die die

Wirkungen dieser Einflussgrößen nachbilden. Die Datenanforderungen dauerlinienbasierter Bemessungskonzepte, die 8760 Einzelstundenwerte auswerten, lassen sich mit Verkehrsnachfragemodellen nicht nachbilden. Das bisherige Vorgehen zur Ableitung von Prognoseverkehrsstärken mit streckenbezogenen Tagesstundenfaktoren (d-Faktor) oder Bemessungsstundenfaktoren (f-Faktor) ist eine sehr vereinfachte Methode, die im Gegensatz zu den detaillierten Vorgaben für den Analysezustand steht.

Als Bemessungskonzept für den Prognosezustand wird ein Konzept vorgeschlagen, dass Nachfragesituationen für zwei Tageszeiten (Vormittag, Nachmittag) untersucht. Diese Nachfragesituationen können mit Verkehrsnachfragemodellen angemessen nachgebildet werden. Ein entsprechendes Konzept, das statt streckenbezogener Faktoren für die Ableitung der Bemessungsverkehrsstärke Nachfragematrizen nutzt, erfordert folgendes Vorgehen:

- Festlegung des Bezugszeitraums:
Ein Verkehrsnachfragemodell ermittelt die Verkehrsnachfrage in einem Untersuchungsraum für einen vorgegebenden Bezugszeitraum. Dieser Zeitraum wird in der Regel einen typischen Tag umfassen und die an diesem Tag stattfindenden Ortsveränderungen von Personen und Gütern nachbilden. Die meisten städtischen und regionalen Modelle beziehen sich auf einen Verkehrstages typ "Werktag Schule" und ermitteln eine durchschnittliche werktägliche Verkehrsstärke $DTVW_5$. Falls die maßgebenden Stunden für eine Bemessung an einem anderen Verkehrstages typ erwartet werden, muss ein anderer Bezugszeitraum bei der Modellierung gewählt werden.
- Erstellung eines Verkehrsnachfragemodells als Stundenmodell:
Das Modell wird für den gewünschten Verkehrstages typ erstellt. Mithilfe aktivitätenübergangsspezifischer Nachfrageganglinien werden Nachfragematrizen für die beiden Spitzenstunden (Vormittag, Nachmittag) eines Tages ermittelt. Die Umlegung liefert die zugehörigen Verkehrsstärken.
- Kalibrierung des Verkehrsnachfragemodells für zwei Verkehrstage:
Der gewählte Verkehrstages typ umfasst eine Menge von Kalendertagen. Das Verkehrsnachfragemodell bildet üblicherweise die Nachfrage eines mittleren Kalendertages ab und wird mit $DTVW_5$ kalibriert. Für die Zwecke der Bemessung muss das Verkehrsnachfragemodell zusätzlich für Kalendertage mit überdurchschnittlich hoher Nachfrage in der Spitzenstunde kalibriert werden.
- Ermittlung der Nachfragematrizen für zwei Tageszeiten:
Mit dem kalibrierten Nachfragemodell werden Nachfragematrizen für die beiden Spitzenstunden eines Kalendertages mit überdurchschnittlicher Nachfrage erzeugt.
- Umlegung der Nachfragematrizen:
Die anschließende Umlegung liefert die Bemessungsverkehrsstärken und stellt eine konsistente Nachfragesituation sicher, bei der der Zufluss gleich dem Abfluss ist.
- Bemessung der Verkehrsanlagen:
Auf Basis der modellierten Verkehrsstärken kann die Bemessung der Verkehrsanlagen erfolgen.

