

Schlussbericht der Universität Stuttgart

Forschungsprojekt WOLKE

**Wetterabhängige Kalibrierung von Verkehrsmodellen
für eine optimierte Verkehrssteuerung**



31.12.2013

Beitrag des
Zuwendungsempfängers:

Universität Stuttgart
Lehrstuhl für Verkehrsplanung und
Verkehrsleittechnik
Pfaffenwaldring 7
70569 Stuttgart

Laufzeit:

01.01.2011 – 30.06.2013



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie**

unterstützt und gefördert mit Mitteln des
Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie
(BMWi)

Der vorliegende Bericht enthält alle Tätigkeiten und Ergebnisse der Universität Stuttgart innerhalb des Projekts WOLKE.

Zitiervorschlag:

Friedrich, M., Pillat, J., Lohmiller J. (2014): WOLKE – Wetterabhängige Kalibrierung von Verkehrsmodellen für eine optimierte Verkehrsteuerung, *Schlussbericht der Universität Stuttgart*, Forschungsbericht Förderkennzeichen 19 P 10017B (BMW).

Die Arbeiten aller Projektpartner sind in einem gemeinsamen Schlussbericht inhaltlich zusammengefasst aufbereitet. Detaillierte Beschreibungen der Projektbeiträge der einzelnen Partner sind den jeweiligen Einzelberichten zu entnehmen. Alle Berichte können unter folgender Stelle eingesehen werden:

Technische Informationsbibliothek

Deutsche Forschungsberichte, Postfach 6080, 30060 Hannover.

Inhalt

1	Einführung	5
1.1	Aufgabenstellung	5
1.2	Projektstruktur	5
1.2.1	Projektvoraussetzungen	5
1.2.2	Projektplanung und -ablauf	7
1.2.3	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	11
2	Wissenschaftlicher und technischer Stand	13
3	Erzielte Ergebnisse	17
3.1	Spezifikation	17
3.1.1	Stand der Technik: Einfluss des Wetters auf netzweites Verkehrsgeschehen	17
3.1.2	Systemaufbau	20
3.1.3	Zusammenfassung	22
3.2	Datenerfassung	22
3.2.1	Abgrenzung Untersuchungsgebiet	23
3.2.2	Aufbau Messdatenbank	24
3.2.3	Versorgung der Messdatenbank mit Daten	27
3.2.4	Zusammenfassung Datenaufbereitung	59
3.3	Datenanalyse	60
3.3.1	Einfluss des Wetters auf Verkehrssicherheit	60
3.3.2	Einfluss des Wetters auf das Verkehrsaufkommen	70
3.3.3	Einfluss des Wetters auf die Zielwahl	107
3.3.4	Einfluss des Wetters auf die Fahrzeit	116
3.3.5	Zusammenfassung Analyse	126
3.4	Erzeugung wetterabhängiger Verkehrsnachfragematrizen	128
3.4.1	Vorhandene Netzmodelle	128
3.4.2	Verfahrensablauf	130
3.4.3	Aufbereitung der Netzmodelle	131
3.4.4	Neuberechnung des Freizeitverkehrs	134

3.4.5	Wetterabhängige Berechnung des Freizeitverkehrs	137
3.4.6	Verwendung der Nachfragematrizen	142
3.4.7	Zusammenfassung wetterabhängige Verkehrsnachfragematrizen	143
3.5	Evaluierung und Bewertung der Ergebnisse	144
3.5.1	Verwendung des Clustermodells	145
3.5.2	Evaluierung	147
3.5.3	Zusammenfassung Evaluierung und Bewertung	151
4	Voraussichtlicher Nutzen, Verwertungsplan	153
5	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	155
6	Veröffentlichungen von Projektergebnissen	157
6.1	Partner übergreifende Veröffentlichungen	157
6.2	Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik	157
7	Glossar	159
8	Literatur	165
9	Abbildungsverzeichnis	169
10	Tabellenverzeichnis	173
11	Anhang	175

1 Einführung

1.1 Aufgabenstellung

Wetter beeinflusst den Verkehr. Schlechtes Wetter verändert den Zustand der Fahrbahn und reduziert die Sichtweite, was zum einen die Kapazität der Verkehrswege verringert und zum anderen die Wahrscheinlichkeit von Unfällen erhöht. Auch das Verkehrsaufkommen wird in gewissem Umfang vom Wetter beeinflusst, da die Menschen Freizeitaktivitäten abhängig von der aktuellen Wetterlage wählen. Sind diese aus dem Wetter resultierenden Zustände besser voraussehbar, können Straßenbetreiber bereits im Vorfeld verkehrstelematische Maßnahmen einleiten, um präventiv kritische Verkehrszustände zu vermeiden. Auch den Verkehrsteilnehmern helfen bessere Prognosen, um ihre Fahrten zuverlässiger planen zu können. Das gilt insbesondere für Lkw-Fahrten, bei denen Pünktlichkeit von besonderer Bedeutung ist, die aber gleichzeitig stärker vom Zustand der Fahrbahnoberfläche beeinflusst werden, als Pkw-Fahrten. Als Grundlage für die Planung von verkehrsbeeinflussenden Maßnahmen, für den Betrieb von Steuerungseinrichtungen und für die Information der Verkehrsteilnehmer dienen Verkehrsmodelle, die jedoch bisher den Einfluss des Wetters, mit der Ausnahme von Streckenbeeinflussungsanlagen, nicht berücksichtigen.

Ziel des Projekts WOLKE ist es daher, durch erstmalige Zusammenführung von mikro- und makroskopischen Messdaten aus den Bereichen Wetter und Verkehr eine signifikant verbesserte Verkehrsmodellierung zu erreichen, die dann eine präzisere Erfassung und Prognose der Verkehrslage im Straßenverkehr ermöglicht.

1.2 Projektstruktur

1.2.1 Projektvoraussetzungen

Im Projekt WOLKE werden die Wirkungszusammenhänge zwischen Wetter und Verkehr für die Bereiche Fahrweise, Verkehrsfluss, Verkehrssicherheit und Verkehrsnachfrage untersucht und in vorhandene Modelle integriert. Die Analyse der Wirkungszusammenhänge wird auf zwei verschiedenen Ebenen durchgeführt:

- Auf lokaler Ebene (Kreuzung, Straßenabschnitt) wird der Einfluss des Wetters auf die Straßenoberfläche, auf die Fahrweise (Geschwindigkeiten, Fahrzeugfolgeabstände) und damit auf die Kapazität und den Verkehrsfluss untersucht. Unfälle werden dabei unter den Aspekten der Verkehrssicherheit und der Störungswahrscheinlichkeit einbezogen. Die Ergebnisse liefern Parameter für makroskopische Leistungsfähigkeitsanalysen von Verkehrsanlagen und für mikroskopische Verkehrsflussmodelle.

- Auf Netzebene werden die Einflüsse der großräumigen Wetterlage (Sonnenscheinstunden, Niederschlagswahrscheinlichkeit) auf die Verkehrsnachfrage analysiert. Hier wird der Einfluss des Wetters auf das Verkehrsaufkommen, die Zielwahl und die Fahrzeit auf ganzen Streckenzügen ausgewertet und für die Nutzung in Verkehrsnachfragemodellen aufbereitet.

Die lokale Betrachtungsweise des Verkehrsflusses und die netzweite Betrachtung der Verkehrsnachfrage soll so zusammengeführt werden, dass die netzweiten Auswirkungen lokal auftretender, wetterbedingter Kapazitätsänderungen in die Makromodellierung der Verkehrslage eingehen. Die bessere, ebenenübergreifende Modellierung von Wettereinflüssen soll Verkehrsingenieure sowohl bei Planungsaufgaben als auch in der Betriebsdurchführung unterstützen (vgl. Bild 1).

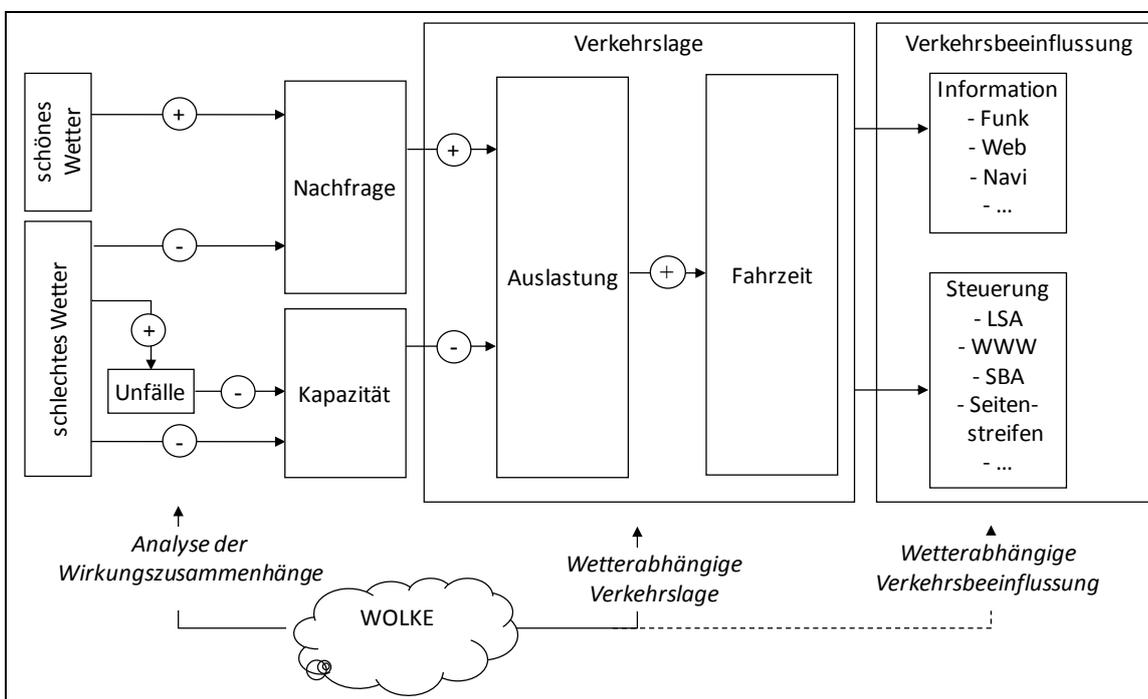


Bild 1: Analyseziele im Projekt WOLKE

Wetter und Verkehrsströme halten nicht an Staatsgrenzen. Da es derzeit für die Stadt Wien mit dem mikroskopischen Verkehrsflussmodell eine gute Datenbasis für städtische Gebiete gibt und gleichzeitig im südbayerischen Raum viele Daten für Autobahnnetze vorliegen, bietet sich die Erforschung des Komplexes Wetter im Rahmen eines transnationalen Projekts an. Für die Wahl des Untersuchungsraumes spricht außerdem, dass hier die Verkehrsverhältnisse mehr als in anderen Räumen vom Wetter geprägt werden. Im Winter kommt es aufgrund von Schnee und Glätte häufig zu Extremsituationen. Gleichzeitig gibt es einen ausgeprägten Urlaubs- und Freizeitverkehr, der auch vom Wetter beeinflusst wird.

Diese grenzübergreifende Zusammenarbeit dient der Erreichung der folgenden Projektziele:

- Zugewinn an Kenntnissen über die modelltechnischen Auswirkungen von Wetterereignissen auf mikroskopischer und makroskopischer Ebene sowie deren inhärenter Zusammenhang durch die Verknüpfung der Modellwelten
- Stark verbesserte Qualität der Lang- und Mittelfristprognose in Verkehrsinformationssystemen durch Einbezug bisher unbekannter Faktoren
- Verbesserte Verkehrssteuerung durch Einbezug des Wetters auf außerörtlichen Straßen
- Verständnis der Aufbereitung von Wetterinformationen für die harmonisierte Verwendung in makro- und mikroskopischen Modellwelten
- Verständnis des Einflusses des Wetters auf Quelle-/Zielverkehre und Nachfrage
- Stark verbesserte Qualität der innerstädtischen Steuerung und Information
- Integration der Ergebnisse in Österreich und Deutschland
- Effiziente Verbreitung der Projektergebnisse durch die Projektpartner aus den Bereichen Lehre, öffentliche Hand und Industrie.

1.2.2 Projektplanung und -ablauf

Das Projektvorhaben war in sechs Arbeitspakete gegliedert (vgl. Bild 2):

- AP 1 Projektmanagement:
Dieses Arbeitspaket beinhaltet das übergreifende Projektmanagement und die Organisation der Abstimmung mit den österreichischen Partnern. An folgenden Aufgaben war die Universität Stuttgart beteiligt:
 - Die Universität Stuttgart wirkte unterstützend bei der Verbreitung der Projektergebnisse, insbesondere bei der Erstellung des Meilensteinberichtes und der Projektpräsentationen.
- AP 2 Spezifikation:
In diesem Arbeitspaket wurde der Stand der Technik zum Einfluss des Wetters auf das lokale und das netzweite Verkehrsgeschehen zusammengetragen. Es wurden die relevanten Parameter einer wetterabhängigen Modellierung identifiziert und die Anforderungen an die Integration der Wetterinformationen in die Verkehrsmodellierung spezifiziert. An folgenden Aufgaben war die Universität Stuttgart beteiligt:
 - Die Universität Stuttgart hat eine umfassende Literaturanalyse zum Einfluss des Wetters auf das netzweite Verkehrsgeschehen bezüglich Fahrzeit, Verkehrsaufkommen und Zielwahl durchgeführt.

- Die Universität Stuttgart beteiligte sich an der Ausarbeitung der Spezifikation für die Analyse der Zusammenhänge zwischen Wetter und Verkehr. Es wurden Anforderungen an die Datenstruktur der Speicherinhalte der statischen Daten, wie Verkehrsnetz und Erfassungssysteme der Verkehrs- und Wetterdaten, und der dynamischen Daten, wie Reisezeiten und Kennzeichendaten aus ANPR-Systemen, Zählwerte der strategischen Detektoren, ASDA-Foto-Daten, Wetterdaten aus Umfelddatenstationen und synoptischer Wetterstation, formuliert.
- Die Universität Stuttgart hat sich an der Abgrenzung des Untersuchungsgebiets beteiligt.
- Die Universität Stuttgart hat sich an der Definition der Wetterklassen konzeptionell beteiligt.
- AP 3 Datenerfassung:
Um Wirkungszusammenhänge zwischen Wetter und Verkehr zu quantifizieren, wurden Wetterdaten aus Wetterstationen und aus der straßenseitigen Umfelddatenerfassung mit Verkehrsdaten aus stationärer Detektion und Kennzeichenerfassungssystemen erfasst und zusammengeführt. An folgenden Aufgaben war die Universität Stuttgart beteiligt:
 - Die Universität Stuttgart baute eine Messdatenbank und ein Projektnetz auf. Es handelte sich dabei um das Einpflegen der statischen Daten der Erfassungsanlagen für Wetter- und Verkehrsdaten und der Kalenderdaten inklusive Informationen zu Ferien- und Feiertagen in die Datenbank. Zum anderen wurde die Messdatenbank mit den dynamischen Wetter-, Verkehrs- und Kameradaten gefüllt. Darüber hinaus wurden die Daten aus den Anzeigequerschnitten der Streckenbeeinflussungsanlagen, Baustellendaten, Unfalldaten und TMC-Meldungen in die Datenbankspezifikation mit aufgenommen.
 - Für die Übernahme der Verkehrsdaten aus den Dauerzählstellen der ZVM, der Kameradaten, der Daten der Anzeigequerschnitte, der Baustellendaten, der Unfalldaten und der TMC-Meldungen wurden Schnittstellen erstellt, um die Daten in die Datenbank überführen zu können.
 - Für die Verkehrsdaten aus den Dauerzählstellen wurde von der Universität Stuttgart ein Verfahren entwickelt, die erfassten Werte zu plausibilisieren und für unvollständige bzw. fehlerhafte Datensätze gegebenenfalls zu ergänzen bzw. zu ersetzen.
 - Die Reisezeit- sowie Quell- und Zieldaten aus den ANPR-Systemen wurden von der Universität Stuttgart plausibilisiert und aufbereitet bzw. ergänzt.
 - Die Universität Stuttgart entwickelte Algorithmen, die es ermöglichen, aus den Reisezeit- und Kennzeichendaten die Fahrzeugklasse Pkw bzw. Lkw abzuleiten und zwischen Regional- und Fernverkehr zu unterscheiden.

- AP 4 Datenanalyse:

Die in AP 3 erfassten Verkehrsdaten und Wetterdaten wurden ausgewertet um den Einfluss des Wetters auf den Verkehr zu quantifizieren. Die Datenanalyse erfolgte für die Fahrweise, die Kapazität, die Verkehrssicherheit, das Verkehrsaufkommen, die Zielwahl und die Fahrzeit. An folgenden Aufgaben war die Universität Stuttgart beteiligt:

 - Von der Universität Stuttgart wurden Analysen des Einflusses des Wetters auf Verkehrsaufkommen, Zielwahl, Fahrzeit im Netz und die Verkehrssicherheit durchgeführt.
 - Die Universität Stuttgart entwickelte ein Tool, das die Clusteranalyse und Prognose sowohl von netzweiten Verkehrsaufkommen in Form von Netzganglinien als auch von Quelle-Ziel-Daten in Abhängigkeiten von zahlreichen Einflussgrößen, speziell der Wettersituation, ermöglicht.
 - Basierend auf der Clusterprognose wurden für die Validierung stundenfeine Nachfragematrizen hochgerechnet, um eine netzweite Prognose des Verkehrsgeschehens für jeden Tag des Validierungszeitraums bereitzustellen.
 - Für die Untersuchung der Fahrzeit im Netz wurden aus den Kameradaten repräsentative Reisezeiten ermittelt. Desweiteren wurden Verfahren entwickelt, welche es ermöglichen, die Fahrzeiten aus den Geschwindigkeitsdaten der Dauerzählstellen und den bereitgestellten ASDA-Fotodaten zu bestimmen.
- AP 5 Modellentwicklung:

In diesem Arbeitspaket wurden vorhandene Modelle zur Ermittlung der Streckenkapazität, der Fahrgeschwindigkeit und der Verkehrsnachfrage so erweitert, dass die Einflüsse des Wetters angemessen berücksichtigt werden können. An folgenden Aufgaben war die Universität Stuttgart beteiligt:

 - Für die Modellentwicklung der wetterabhängigen Verkehrsnachfrage wurde von der Universität Stuttgart in Zusammenarbeit mit der PTV ein Konzept erarbeitet und die hierfür von der PTV an die Universität Stuttgart zu übergebenden Daten spezifiziert.
 - Desweiteren wurde von der Universität Stuttgart eine Spezifikation der an die PTV zu übergebenden, wetterabhängigen Nachfragedaten herausgearbeitet, die im VIB-System zu integrieren sind.
 - Die Universität Stuttgart entwickelte ein Nachfragemodell, welches die Wetterabhängigkeit auf Ebene der Erzeugung und der Zielwahl beachtet. Als Ergebnis wurden an die PTV Matrizen für das VIB-Netz übergeben, die eine Korrektur der Nachfrage in Abhängigkeit von den auftretenden Wetterklassen vordefinierter Wetterregionen beinhalten.
- AP 6 Modellimplementierung:

Auf Grundlage der methodischen Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitspakete erfolgte die technische Implementierung des Modells, dessen Kalibrierung sowie die

Evaluierung und Bewertung des vorgeschlagenen Ansatzes in einer Testphase. An folgenden Aufgaben war die Universität Stuttgart beteiligt:

- Im Rahmen der Modellimplementierung beteiligte sich die Universität Stuttgart bei der Spezifikation der zu archivierenden Daten, welche im Rahmen der Evaluierung benötigt wurden.
- Die Universität Stuttgart entwickelte ein Validierungskonzept, um Aussagen zur Prognosegüte des VIB-Spiegelsystems treffen zu können.
- Die Universität Stuttgart entwickelte ein Verfahren, um Aussagen zur Prognosegüte der Korrekturmatrizen ohne direkte Einbindung in das VIB-System tätigen zu können. Dieses Verfahren basiert auf der in AP 4 entwickelten Methode zur clusterbasierten Prognose von Netzganglinien des Verkehrsaufkommens.
- Die Universität Stuttgart validierte die an die PTV übergebenen Nachfrage-matrizen.

Alle geleisteten Arbeiten, erzielten Ergebnisse sowie verwendeten Methoden werden in Kapitel 3 gegliedert nach den Arbeitspaketen beschrieben. An einzelnen Stellen wird dabei auf die Einzelberichte der anderen Projektpartner verwiesen.

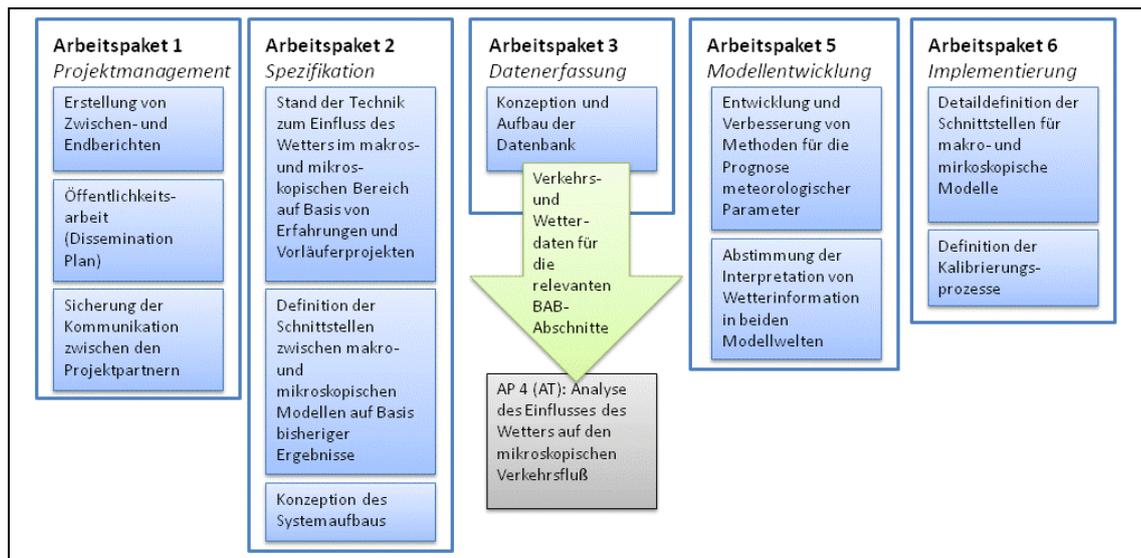


Bild 2: Überblick der in den Arbeitspaketen bearbeiteten Themenfelder

1.2.3 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Forschungsvorhaben arbeiteten die sechs im Folgenden genannten Partner aus öffentlicher Hand, Privatwirtschaft und Forschung zusammen. Folgende Arbeitsteilung lag dem Projekt zugrunde:

- AIT: Unterstützend bei der Literaturanalyse und beratend bei den vorgenommenen Analyse und der Methodik der Modellprognose.
- Autobahndirektion Südbayern: Bereitstellung der Verkehrs- und Beeinflussungsdaten sowie Wetterumfeldaten, Unfalldaten, Baustellendaten und TMC-Meldungen, Erhebung der Quelle-Zieldaten und Fahrzeiten.
- MickS: Ausarbeiten des Stands der Technik zum Einfluss des Wetters auf das lokale Verkehrsgeschehen, Aufbereiten der Wetterdaten, Bereitstellung der synoptischen Wetterdaten, Analyse des Wettereinflusses auf die Fahrweise der Kfz-Fahrer und die Kapazität der Verkehrsanlagen, Entwicklung und Verbesserung von Methoden für die Prognose verkehrsrelevanter meteorologischer Parameter, Entwicklung und Verbesserung von Methoden für die Prognose der Kapazität.
- PTV: Gesamtprojektleitung, Vorbereitung des Systemaufbaus, Modellimplementierung und -kalibrierung, sowie Demonstration und Testbetrieb im VIB-System.
- UBIMET: Federführend bei der Bildung von regionalen Wetterklassen.
- Universität Stuttgart: Ausarbeiten des Stands der Technik zum Einfluss des Wetters auf das netzweite Verkehrsgeschehen, Konzeption der Datenerfassung und Datenaufbereitung, Analyse des Wettereinflusses auf die Verkehrssicherheit, das Verkehrsaufkommen, die Zielwahl und die Fahrzeit im Netz, Erstellen von wetterabhängigen Nachfragematrizen, Validieren der erstellten Nachfragematrizen.
- Gemeinsam: Entwicklung und Abstimmung der detaillierten Untersuchungsmethodik, Ausarbeitung der Spezifikation, Festlegen der Wetterklassen, Erarbeiten eines Evaluierungskonzeptes.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die Integration des Wettereinflusses in Verkehrsmodelle, die entweder Inputgrößen zur Berechnung der Verkehrslage liefern bzw. die Verkehrslage direkt berechnen, gestaltet sich als sehr komplex. Neben der Berücksichtigung des wetterbeeinflussten Fahrbahnzustands, stellt vor allem die Berücksichtigung des Wetters in Verhaltensmodellen, die den Verkehrsfluss (z. B. Abstands- und Geschwindigkeitsverhalten als Eingangsgrößen in mikroskopische Verkehrsflussmodelle) und die Verkehrsnachfrage (Aktivitätenwahl, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl, Abfahrtszeitwahl, Routenwahl) beschreiben, eine besondere Herausforderung dar. Der Einfluss des Wetters bei makroskopischen Verkehrsflussmodellen zeigt sich in der Ausprägung des Fundamentaldiagramms. Das Fundamentaldiagramm ist bei makroskopischen Verkehrsflussmodellen Eingangsgröße, hingegen arbeiten mikroskopische Verkehrsmodelle mit Fahrverhaltensparametern als Modellinput.

Derzeit existieren keine praktisch brauchbaren Ansätze, welche den Zusammenhang des Fahrverhaltens (mikroskopische Ebene) bzw. des Verkehrsflusses (makroskopische Ebene) bei allen wesentlichen vorkommenden Witterungsverhältnissen lokal an einem Straßenquerschnitt beschreiben. Es gibt einige Untersuchungen, die aber nur bestimmte Witterungssituationen wie Nässe, Aquaplaning, starke Niederschläge und Teilaspekte des Verkehrs herausgreifen. Hinzu kommt, dass schon bei der Erfassung des aktuellen Fahrbahnzustandes auf Basis üblicherweise zur Verfügung stehenden Umfelddaten Probleme bestehen: Zum einen existieren hier Querempfindlichkeiten gegenüber anderen Einflussgrößen außer dem Wetter, zum anderen existieren erhebliche Datenschwankungen, z. B. bei Wasserfilmdicken und Niederschlagsintensitäten innerhalb ähnlicher Witterungssituationen.

Der Zusammenhang zwischen Wetter und Verkehrsnachfrage wurde bisher nur indirekt über lokal gemessene Verkehrsstärken analysiert. Eine integrierte Betrachtung mehrerer Entscheidungsprozesse der Verkehrsteilnehmer (Aktivitätenwahl, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl, Abfahrtszeitwahl, Routenwahl) fand bisher nicht statt. Gute Verkehrsnachfragemodelle ermitteln Nachfragematrizen und mittlere Verkehrsstärken für typische Tagestypen und Tageszeiten. Eine Einbeziehung des Wetters als weitere erklärende Variable der Verkehrsnachfrage ist bisher nicht üblich.

Bezüglich der Verkehrssicherheit existieren in Deutschland bisher ebenfalls keine netzweiten Analysen, die genaue Aussagen über den Einfluss des Wetters auf die Unfallschwere oder auf Unfallhäufungen an speziellen Orten (z. B. Glatteis auf Brücken oder Steigungsstrecken) machen.

Um das Ziel des Projektes, das Wetter sowohl auf lokaler als auch auf netzweiter Ebene in vorhandene Modelle zu integrieren, zu erreichen, wurden folgende Anforderungen an das Projekt gestellt:

- Im Vorhaben werden die Umfelddaten, welche durch Randbedingungen verfälscht sind, aus der Kenntnis des Messverhaltens korrigiert und der tatsächliche Zustand beurteilt. Danach werden die wesentlichen Zusammenhänge zwischen den Einflussfaktoren und der Fahrdynamik in einem Modell beschrieben.
- Im Projekt WOLKE wird der im Fundamentaldiagramm beschriebene Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke, Geschwindigkeit und Verkehrsdichte in Abhängigkeit des lokalen Wetters für Autobahnquerschnitte untersucht.
- Ergänzend zu den Kapazitätsanalysen wird im deutschen Untersuchungsgebiet eine Analyse der wetterabhängigen Verbindungsqualität durchgeführt. Grundlage hierfür sind kontinuierliche Fahrzeitmessungen auf Netzabschnitten der A8 und der A93 im Untersuchungsgebiet durch eine kameragestützte Kennzeichenerfassung.
- Im Projekt WOLKE werden die Unfallrate, die Unfallkostenrate und das Sicherheitspotenzial für das Untersuchungsgebiet (A8, A93) differenziert nach der Wittersituation ermittelt. Es wird außerdem die Hypothese geprüft, dass eine höhere Unfallwahrscheinlichkeit bei schlechtem Wetter zu zusätzlichen Kapazitätsengpässen und Zeitverlusten führt.
- Im Projekt WOLKE soll der Einfluss des regionalen und überregionalen Wetters auf das Verkehrsaufkommen und auf die Zielwahl der Verkehrsteilnehmer analysiert werden. Es soll geklärt werden, welcher Teil der Nachfrage eher tagesabhängig (Werktag, Wochenende, Ferienbeginn) und welcher Teil der Nachfrage eher wetterabhängig ist. Dazu wird eine mehrmonatige Kennzeichenerhebung im Untersuchungsgebiet (A8, A93) durchgeführt, die u. a. Informationen über die Zielwahl bzw. die Fahrtweitenverteilung der Kfz liefert.
- Um das Projektziel einer wetterabhängigen Darstellung und Prognose der Verkehrslage zu erreichen, werden Nachfragematrizen für spezielle Wittersituationen erstellt. Unter Einbeziehung einer mehrtägigen Wetterprognose werden diese Matrizen dann für eine Langfristprognose von bis zu 6 Tagen genutzt. Die Mittel- und Kurzfristprognose basiert ebenfalls auf diesen Matrizen, nutzt aber zusätzlich aktuelle Messdaten und wetterabhängige Kapazitätsreduzierungen.

Insbesondere folgende Projekte lieferten wesentliche Grundlagen für WOLKE:

- ROADIDEA - "Road Map for Radical Innovations in European Transport Services": Stellt einen Modellansatz bereit, der den Zusammenhang zwischen Schnee-, Eis- und Wasser-Layer, sowie der Fahrbahnoberflächentemperatur mit einer Art Kraftschlussbeiwert beschreibt (vgl. HIPPI et al. [17]).
- BASt Projekt - „Stauprävention durch Erfassung der "kritischen Verkehrsmenge" auf Bundesautobahnen im Winter (04.210)“: Stellt Zusammenhänge zwischen Straßenwetterparametern und dem verkehrlich

relevanten Straßenoberflächenzustand bereit, mit dem Ziel die Minderung der Kapazität aufgrund von Witterungsbedingungen zu quantifizieren (vgl. KIRSCHFINK et al. [20]).

- **BASt Projekt - "Verbindungsqualität in Straßennetzen":**
Ermittlung von Fahrzeiten über längeren Zeitraum, um aus den resultierenden Fahrzeitverteilungen Hinweise bezüglich der Verbindungsqualität ableiten zu können (vgl. FRIEDRICH et al. [12]).
- **Wetter und Verkehr - "Erforschung der Auswirkung der Wetterlage auf das Verkehrsgeschehen zum Zweck der Modellierung in einem Verkehrsmanagementsystem":**
Untersucht die Kapazität und Verkehrsnachfrage in Abhängigkeit der beiden Niederschlagstypen Regen und Schnee. Der Zusammenhang zwischen Wetterlage und Verkehrsnachfrage wird dabei nicht verhaltensorientiert, sondern auf Basis empirischer Daten untersucht (vgl. WETTER&VERKEHR [32]).
- **Do-It: Datenoptimierung für integrierte Telematik**
Verkehrsdaterfassung durch Ortung von Mobilfunkgeräten (Floating Phone Data) zur Analyse der Routenwahlentscheidung, stellt u.a. eine Clustermethode zur Identifikation von typischen Verkehrstagen und Aussagen zum Befolgungsgrad von Wechselwegweisungen bereit (vgl. FRIEDRICH et al [11]).
- **wiki: Wirkungen von individueller und kollektiver ontrip Verkehrsbeeinflussung auf den Verkehr in Ballungsräumen**
Stellt Aussagen bereit, inwiefern sich die Routenwahl von Autofahrern durch Reisezeitinformation und Routenempfehlungen beeinflussen lässt (vgl. FRIEDRICH et al. [14]).

3 Erzielte Ergebnisse

Das Kapitel 3 enthält detaillierte Beschreibung der Tätigkeiten und Ergebnisse der Universität Stuttgart. Im Einzelnen werden dabei folgende Punkte beleuchtet:

- Verwendung der Zuwendung
- Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse den vorgegebenen Ziele
- Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises
- Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

3.1 Spezifikation

Die Ziele der Spezifikation waren folgende:

- Entwicklung und Zusammenfassung wetterabhängiger verkehrstechnischer Parameter
- Bestimmung von makroskopischen Parametern, für welche nach bisherigem Stand der Forschung ein Einfluss des Wetters gegeben ist
- Identifikation der für das Projekt WOLKE relevanten Parameter

Die Universität Stuttgart war an folgenden Aufgaben beteiligt:

- Literaturanalyse zum Thema "Einfluss des Wetters auf netzweites Verkehrsgeschehen" (verantwortlich)
- Vorbereitung des Systemaufbaus (Unterstützung PTV)

3.1.1 Stand der Technik: Einfluss des Wetters auf netzweites Verkehrsgeschehen

Das regionale und überregionale Wetter kann das Verkehrsgeschehen im gesamten Netz beeinflussen. Je nach Wetterlage können zusätzliche Fahrten entstehen oder wegfallen, Zielorte an Attraktivität verlieren oder gewinnen, genutzte Verkehrsmittel gewechselt werden oder zeitliche Verlagerungen eintreten. Wetterabhängige Veränderungen in der Verkehrserzeugung, in der Zielwahl und in der Verkehrsmittelwahl können somit auf die Verkehrsstärke und damit auf die Verkehrslage im Straßennetz wirken.

Verkehrsnachfragemodelle bilden alle relevanten Entscheidungsprozesse der Menschen nach, die zu Ortsveränderungen führen und ermitteln daraus Verkehrsstärken im Netz. Im Personenverkehr umfassen diese Entscheidungen die Aktivitätenwahl, die Zielwahl, die Verkehrsmittelwahl, die Abfahrtszeitwahl und die Routenwahl. Mit Verkehrsnachfragemodellen ist es möglich, verschiedenste Einfluss-

größen des Verkehrsangebots (Angebotsqualität), der Bevölkerung (Soziodemografie, Pkw-Verfügbarkeit) und der Siedlungsstruktur auf die Verkehrsnachfrage abzuschätzen (vgl. SCHNABEL ET AL: [28]). Gute Nachfragemodelle ermitteln Nachfragematrizen und mittlere Verkehrsstärken für typische Tagestypen und Tageszeiten. Eine Einbeziehung des Wetters als weitere erklärende Variable der Verkehrsnachfrage ist bisher nicht üblich.

Die Verkehrsstärke eines konkreten Tages weicht von der mittleren Verkehrsstärke aufgrund zufälliger Nachfrageschwankungen, nicht prognostizierbarer Störungen oder nicht berücksichtigter Einflussfaktoren mehr oder weniger deutlich von der berechneten Verkehrsstärke ab. Deshalb ist für die Ermittlung der aktuellen Verkehrslage und für die kurzfristige Prognose der Verkehrslage eine Korrektur anhand gemessener Verkehrsstärken und gemeldeter Störungen erforderlich. Ein üblicher Ansatz hierfür ist die Matrixkorrektur, die eine bereits vorliegende Verkehrsnachfragematrix anhand geeigneter Kennwerte (z. B. lokal gemessene Verkehrsstärken) hochrechnet. Sie beschreibt die aktuelle Zielwahl und ist Grundlage für eine Verkehrslageermittlung mit einer Umlegung oder einer Messwertpropagierung (vgl. VORTISCH [31]). Die Qualität der Berechnung hängt aber maßgeblich von den zugrunde liegenden Nachfragematrizen und den aktuellen Kapazitäten im Straßennetz ab.

Auch die COST (European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research) Action TU0702 zum Thema "Real Time Monitoring, Surveillance and Control of Road Networks under Adverse Weather Conditions" erkennt den großen Einfluss widriger Witterungsumstände auf die Verkehrsflüsse an. Hier werden vor allem Einflüsse der Sichtweite und Oberflächenbeschaffenheit der Straßen in den Blickpunkt gerückt. Ziel ist es, die Auswirkungen dieser Witterungseinflüsse bestmöglich zu entschärfen und eine bessere Verkehrsprognose auf Basis der erfassten Wetterdaten zu erreichen (vgl.[8]).

Im Forschungsprojekt „Wetter und Verkehr“ (vgl. Wetter&Verkehr [32]) wird derzeit im Auftrag des österreichischen Verkehrsverbunds Ost-Region (VOR) u.a. die Kapazität und die Verkehrsnachfrage in Abhängigkeit der beiden Niederschlagstypen Regen und Schnee untersucht. Es konnte eine signifikante Reduktion der Kapazität und eine damit verbundene Verschlechterung der Verkehrslage festgestellt werden. Auch ein Rückgang der Verkehrsnachfrage konnte nachgewiesen werden. Der Zusammenhang zwischen Wetterlage und Verkehrsnachfrage wird dabei nicht mit einem verhaltensbasierten Verkehrsnachfragemodell nachgebildet, sondern auf der Basis empirischer Daten statistisch untersucht. Das resultierende mathematische Modell wird als Funktionsmuster in das bestehende Verkehrsmanagementsystem integriert, mit historischen Werten kalibriert und mit aktuellen Verkehrs- und Wetterdaten validiert. Durch die Integration des Modells soll die Verkehrslageberechnung und die Prognose verbessert werden. Die in diesem Projekt ermittelten kapazitiven Ansätze werden im Rahmen von WOLKE mit Fokus auf die Anwendbarkeit auch auf BAB-Abschnitten überprüft.

MAZE ET. AL. [22] zeigen in ihren Untersuchungen auf Autobahnen im Einzugsgebiet der Städte Minneapolis und St. Paul einen negativen Zusammenhang zwischen Verkehrsstärke und Schlechtwetterereignissen wie Nebel, Regen, Schnee, extremer Kälte und Wind auf. Der Rückgang der Verkehrsstärke ist dabei während der Spitzenstunde geringer als während der Schwachverkehrszeit innerhalb der Woche und an den Wochenenden. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen CHUNG et al. in einer Studie in Tokio [6], in der u. a. die Anzahl der Wege auf einem Teil des Schnellstraßennetzes in Abhängigkeit der gemessenen Regenmenge ausgewertet wurde. Die Anzahl der Wege sinkt demnach mit ansteigender Regenmenge. Hier konnte festgestellt werden, dass der Rückgang an Wochentagen weniger (durchschnittlich 2,9 % an einem Tag mit mindestens 13 mm Niederschlag pro Tag) und am stärksten an Samstagen (durchschnittlich 7,9 % an einem Tag mit mindestens 13 mm Niederschlag pro Tag) ausgeprägt ist. Pflichtaktivitäten, die in der Regel innerhalb der Woche und der Spitzenstunde durchgeführt werden, sind demzufolge weniger von Regen beeinflusst als Freizeitaktivitäten am Wochenende oder zeitlich und räumlich eher verlagerbare Aktivitäten wie z. B. das Einkaufen.

Dem Freizeitverkehr kommt daher in diesem Zusammenhang eine größere Bedeutung zu, da dieser einen wesentlich höheren Grad an Flexibilität aufweist. So führen Schlechtwetterereignisse zur Vermeidung von Freizeitaktivitäten während Schönwetterereignisse zusätzliche Freizeitaktivitäten induzieren. Dass schönes Wetter zusätzlichen Verkehr induziert, ist allgemein nachvollziehbar und wird in der Literatur thematisiert (vgl. OETTING [23]). SCHLICH ET. AL. [27] stellen im Freizeitverkehr einen Einfluss des Wetters auf die Attraktion bestimmter Marktsegmente, wie z. B. Ski in Wintersportgebieten, fest. Daraus lässt sich ein Einfluss auf die Zielwahl ableiten. Der Umfang des Wettereinflusses wird jedoch nicht näher quantifiziert, da die Erfassung einzelner Wege über einen längeren Zeitraum bisher kaum möglich ist und lokal gemessene Verkehrsstärken keine Informationen über den Fahrtzweck oder die Fahrtweite geben.

Um die Einflussfaktoren auf die Verkehrslage ganzer Netzabschnitte untersuchen zu können, bietet sich eine direkte Erfassung der Fahrzeiten an. Im Forschungsprojekt „Verbindungsqualität in Straßennetzen“ (vgl. FRIEDRICH ET AL: [12]) wurde für das deutsche Autobahnnetz eine Analyse der Verbindungsqualität durchgeführt. Ziel des Forschungsvorhabens war es, Fahrzeiten über längere Zeiträume für Netzabschnitte zwischen zentralen Autobahnknoten zu ermitteln und aus den resultierenden Fahrzeitverteilungen Hinweise auf die Verbindungsqualität abzuleiten. Wesentlicher Qualitätsindikator ist der Fahrzeitindex. Der Fahrzeitindex quantifiziert die Streuung der Fahrzeit durch die Angabe einer unteren und oberen Grenze für die Fahrzeit, die durch zwei Perzentil-Werte festgelegt werden. Eine Verknüpfung mit Wetterdaten war nicht Gegenstand des Forschungsprojekts, wäre jedoch grundsätzlich möglich.

3.1.2 Systemaufbau

Die Ziele des Systemaufbaus waren folgende:

- Entwicklung und Abstimmung der Detailplanung des Systemaufbaus im Projekt und zwischen deutschen und österreichischen Partnern
- Spezifikation der Erweiterung bestehender Systeme (Bayerninfo)
- Spezifikation der relevanten Parameter (Inputgrößen) zur wetterabhängigen Modellierung
- Spezifikation des erweiterten (bspw. automatisiertem) Zugriffs auf die Wetterdatei

Die Uni Stuttgart beteiligte sich an Konzeption und Spezifikation zur Erweiterung des bestehenden Systems der Verkehrsinformationsagentur Bayern (VIB). Die unten stehende Abbildung zeigt den vereinfachten funktionalen Aufbau des Systems der VIB mit Fokus auf die für dieses Projekt relevanten Funktionen.

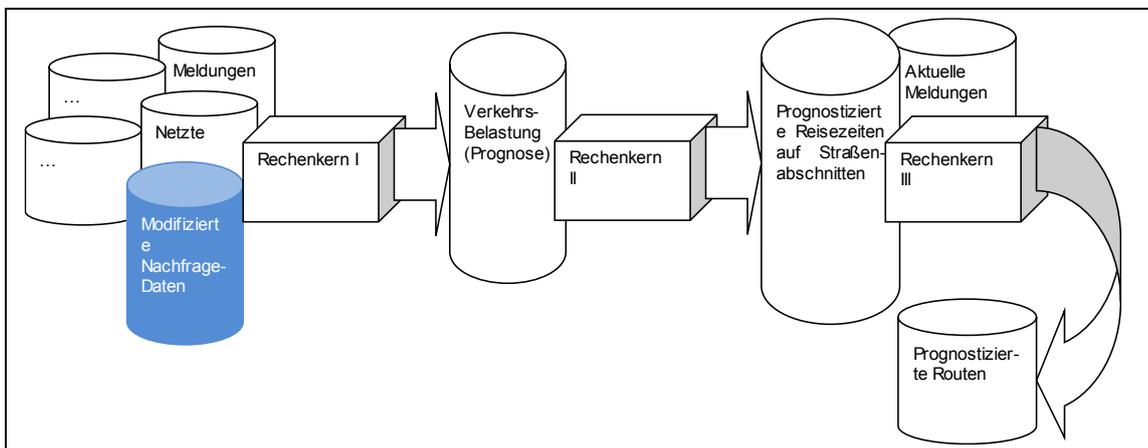


Bild 3: Schematisch-funktionaler Systemaufbau des VIB Systems mit Ergänzung des Wettermoduls

Hierbei werden im Rahmen des Probebetriebes, auf Basis der durch Wetterverhältnisse veränderten makroskopischen Verhältnisse (vgl. Bild 4), neue Nachfragematrizen eingespielt sowie die kapazitiven Auswirkungen berücksichtigt. Die kapazitiven Einschränkungen auf dezidierten Streckenabschnitten bzw. in bestimmten, räumlich definierten Bereichen sind in den Berichten der Projektpartner PTV [19] und MicKS [26] beschrieben.

Aufgrund der vollständigen Integration in die Prozesskette werden die Daten im Rahmen der Verkehrssimulation, welche die Verkehrsbelastungswerte für mittel- und langfristige Vorhersagen errechnet, vollumfänglich berücksichtigt.

sowohl die Erzeugung der Wege als auch die Zielwahl vom Wetter beeinflusst werden. Die hierfür benötigten Korrekturfaktoren werden in den folgenden Arbeitspaketen bestimmt.

3.1.3 Zusammenfassung

Im Rahmen von AP 2 wurde von der Universität Stuttgart eine umfassende Literaturanalyse bezüglich des Wettereinflusses auf die Fahrzeit und die Verkehrsnachfrage durchgeführt. Aufbauend auf dieser Literaturanalyse wurde eine Spezifikation erstellt, in der Anforderungen an die Datenstruktur der Speicherinhalte der zu erhebenden Daten dokumentiert sind. Desweiteren wurden die Projektpartner MicKS und PTV bei der Spezifikation zur Integration der Wetterplattform und Integration der wetterabhängigen Modellparameter unterstützt. Ergebnis ist eine Spezifikation, die beschreibt, wie wetterabhängige Verkehrsangebots- und Nachfrageparameter und die Wetterprognose in das VIB-Modell integriert werden können.

3.2 Datenerfassung

Um Wirkungszusammenhänge zwischen Wetter und Verkehr quantifizieren zu können, sind Daten erforderlich, die Informationen über den Zusammenhang zwischen Wetter und Verkehr enthalten. Im Arbeitspaket „Datenerfassung“ werden alle projektrelevanten Messdaten erfasst und aufbereitet. Erfasste Wetterdaten aus Wetterstationen sowie aus der straßenseitigen Umfelddatenerfassung und Verkehrsdaten aus stationären Detektoren müssen räumlich und zeitlich gematcht werden. Außerdem werden mit projektspezifischen Erhebungen zusätzliche Daten gewonnen, die insbesondere Aussagen zu den Wirkungszusammenhängen zwischen Wetter, Verkehrsnachfrage und Fahrzeit ermöglichen.

Die Ziele der Datenerfassung waren folgende:

- Aufbau und Versorgung einer Messdatenbank, in der alle projektrelevanten Messdaten abgelegt werden. In diesem Arbeitsschritt werden auch die Netzmodelle mit den projektrelevanten Streckennetzen definiert und mit den Positionen der Messstationen als statische Daten in die Messdatenbank eingepflegt.
- Versorgung des Netzmodells mit Daten. Plausibilisierung und Korrektur des Netzmodells. Ergänzung fehlender Daten.

Die Universität Stuttgart war an folgenden Aufgaben beteiligt:

- Aufbau einer Messdatenbank (verantwortlich)

- Versorgung der Messdatenbank mit Wetterdaten: Definition von sinnvollen Wetterklassen für Analyse der Unfälle, Fahrzeiten und Verkehrsnachfrage (Unterstützung MicKS)
- Versorgung der Messdatenbank mit lokalen Verkehrsdaten: Aufbereitung der Detektordaten inklusive Datenplausibilisierung und Aggregation (Unterstützung ZVM)
- Erhebung von Quelle-Zieldaten und Fahrzeiten (verantwortlich)
- Versorgung der Messdatenbank mit Unfalldaten, Baustellendaten und TMC-Meldungen: zeitliches und räumliches Matching der Daten (Unterstützung ZVM)

3.2.1 Abgrenzung Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ist geographisch grob durch das BAB Kreuz München Süd (BAB A99/A8 Ost) sowie den Grenzen zu Österreich nahe Kufstein und Salzburg umrissen. Das folgende Bild zeigt das Untersuchungsgebiet.



Bild 6: Untersuchungsgebiet auf deutscher Seite (Quelle: Google Maps)

Das Untersuchungsgebiet wird begrenzt von den Kamerastandorten, die ebenfalls in der Karte dargestellt sind. Mit einer Gesamtlänge von ca. 140 km stellt das Untersuchungsgebiet die Hauptroute für den Freizeit- und Güter-/Geschäftsverkehr mit Ziel Italien und Ost-/Südosteuropa dar.

Ferien- und Freizeitverkehre mit den Zielen Tegernsee/Chiemsee/Tirol/Salzburg bzw. Italien und Österreich haben besonders am Wochenende und zur Ferienzeit einen hohen Anteil am Gesamtverkehrsaufkommen. Der Freizeitverkehr tritt hierbei sowohl im Winter als auch im Sommer gleichermaßen auf. Diese Verkehre stehen bei WOLKE im Fokus der wetterabhängigen Fahrtweitenuntersuchung.

Über die Detektionsdaten (z. B. Verkehrsstärke, Geschwindigkeit, ANPR-Daten, Umfeldwetterdaten) in den Bereichen der Verkehrsbeeinflussungsanlagen können die Zusammenhänge zwischen Witterung und Verkehrsverhalten im Modell nachgebildet werden. Da das österreichische Staatsgebiet direkt an das Untersuchungsgebiet angrenzt, werden auch Daten aus dem grenznahen österreichischen Bereich mit in die Analysen einfließen. Der geographische Projektumfang wird jedoch dadurch nicht tangiert, da die Analysen der deutschen Projektpartner auf den deutschen Raum fokussiert sind.

3.2.2 Aufbau Messdatenbank

Um die Anforderungen und Ansprüche der Projektpartner an die Daten zu dokumentieren und den Austausch von Daten zu vereinfachen, wurde im Rahmen des Projekts WOLKE eine Datenbankspezifikation erstellt. Die Struktur dieser Messdatenbank ist in Bild 7 dargestellt. Grundsätzlich orientiert sich der Aufbau am INTREST-Datenmodell. Eine detaillierte Beschreibung einzelner Datenarten erfolgt in den weiteren Kapiteln. Die vollständige Datenbankspezifikation findet sich im Anhang dieses Dokuments.

Grundlegend wird in statische und dynamische Daten unterschieden. Statische Daten sind Daten, die nicht erhoben werden oder über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant sind, bzw. keinen zeitlichen Bezug besitzen. Diese umfassen:

- Infrastrukturdaten des Straßennetzes, bestehend aus Strecken und Knoten mit entsprechenden Attributen,
- Messquerschnitte, bestehend aus Straßen- und Umfeldwettermessstationen, Dauerzählstellen und Kamerasystemen, die in der Regel aus mehreren Sensoren, Detektoren bzw. Kameras bestehen,
- Anzeigequerschnitte,
- Wetterstationen,
- TMC-Netz, bestehend aus TMC-Knoten und Abschnitten,
- und Kalenderdaten, bestehend aus Angaben zu Feiertagen und Ferientagen der Bundesländer und Nachbarstaaten.

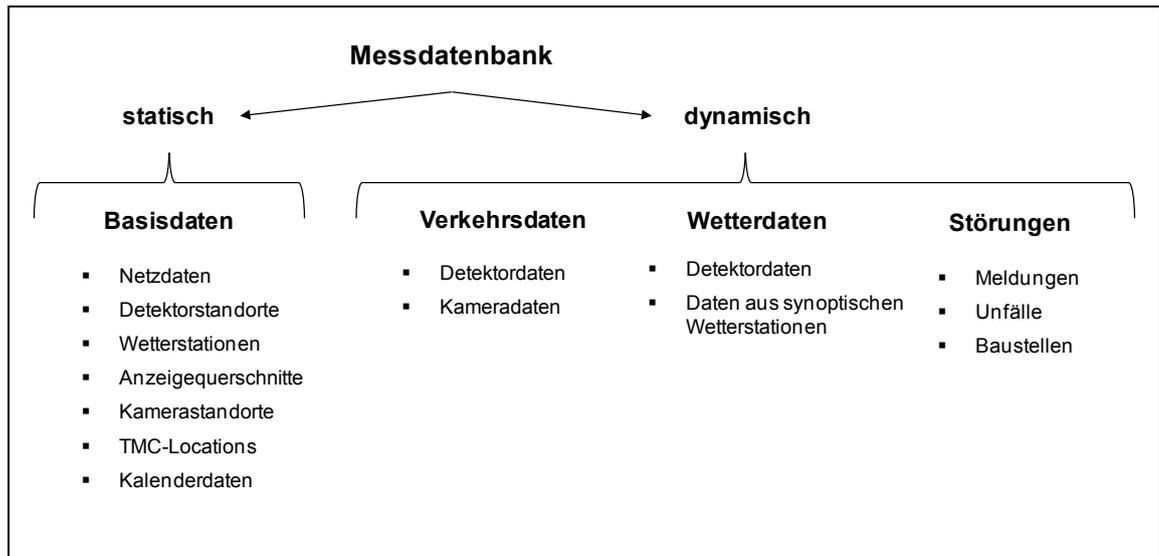


Bild 7: Struktur der Messdatenbank

Dynamische Daten sind solche Daten, die einen zeitlichen Bezug besitzen und über den Untersuchungszeitraum veränderlich sind. Dies sind Verkehrsdaten aus Dauerzählstellen und den Kamerasystemen, Wetterdaten aus Straßenumfeldmessstationen, Glättemeldeanlagen und synoptischen Wetterstationen und weitere Daten, hier als Störungen bezeichnet, die den Verkehrszustand direkt beeinflussen, wie Baustellen, Unfälle und die daraus entstehenden TMC-Meldungen. Alle dynamischen Daten sind mit zwei zeitbezogenen Attributen versehen: Zum einen der Gültigkeitsbeginn und zum anderen die Gültigkeitsdauer des Datensatzes. Der räumliche Bezug ist über einen eindeutigen Verweis auf das zugehörige statische Netzelement (z. B. ID des Detektors oder des Anzeigequerschnitts) vorhanden. Für alle dynamischen Daten erfolgte eine Erstellung von Schnittstellen, um die Daten automatisiert in die WOLKE-Datenbank aufnehmen zu können.

Voraussetzung für die Datenanalyse und die Ableitung der Wirkungszusammenhänge in AP4 und AP5 ist eine räumliche und zeitliche Zuordnung der erhobenen und archivierten Daten. Die zeitliche Zuordnung der gegebenen Daten ist über einen einheitlichen Zeitstempel gegeben, mit dem alle dynamischen Daten versehen sind. Die räumliche Zuordnung erfolgt über eine Verortung aller statischen Daten in einem Projektnetz, vgl. Bild 8. Das Projektnetz wird auf Grundlage des in der VIB verwendeten INTREST-Netzes erstellt und enthält alle Aktualisierungen der Netzelemente bis 2011. In diesem Streckennetz werden alle Dauerzählstellen, Anzeigequerschnitte der Streckenbeeinflussungsanlagen und Wettermessquerschnitte aufgenommen (vgl. Bild 8) und das Kilometrierungssystem der Autobahnen im Streckennetz hinterlegt. Darüber hinaus werden die synoptischen Wetterstationen, die Kameramessquerschnitte und die TMC-Locations in das Projektnetz aufgenommen (vgl. Bild 9).

Die Zuordnung der TMC-Locations erfolgte richtungsbezogen zur entsprechenden Strecke im Projektnetz. Insgesamt wurden 67 TMC-Locations in beiden Richtungen entlang der A8 und der A93 in das Projektnetz aufgenommen. Zusätzlich wurden zwischen den TMC-Locations, die den Knoten des TMC-Abschnitts entsprechen, TMC-Abschnitte definiert, die den Strecken des TMC-Netzes entsprechen. Das TMC-Netz innerhalb des Untersuchungsgebiets umfasst demnach 130 gerichtete TMC-Abschnitte. Alle Messquerschnitte (Kameras, Wettermessquerschnitte und lokale Verkehrsdaterfassung) sind über die Zuordnung vom Projektnetz zum TMC-Netz einer Projektnetzstrecke und einem TMC-Abschnitt zugeordnet. Darüber hinaus ist die Lage durch die Angabe der Autobahn, der Richtung und der Kilometrierung hinterlegt.

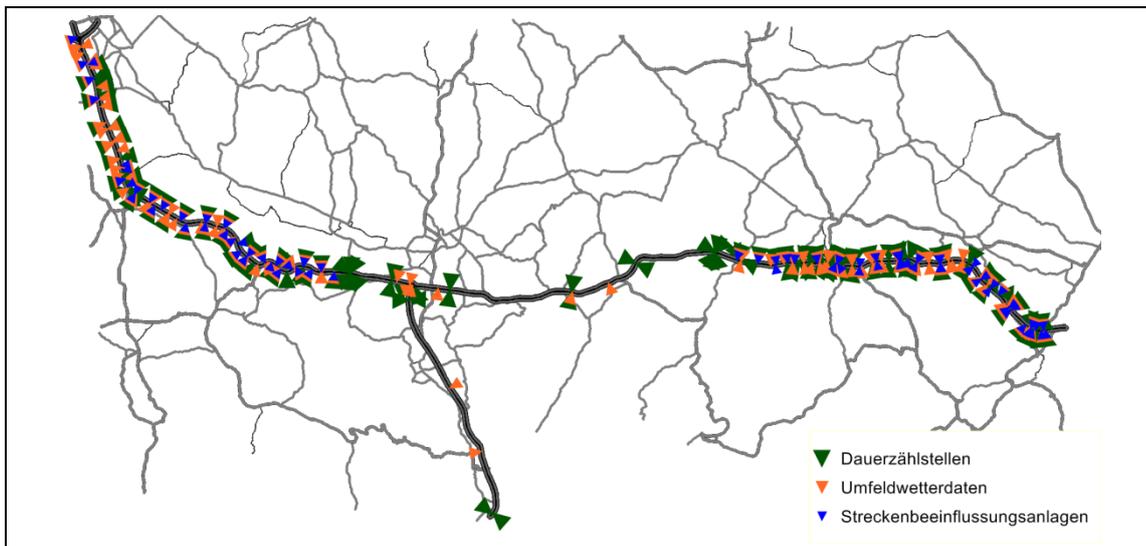


Bild 8: Projektnetz des Untersuchungsgebiets mit verorteten Dauerzählstellen, Umfelddatenerfassung und Anzeigequerschnitten der SBA

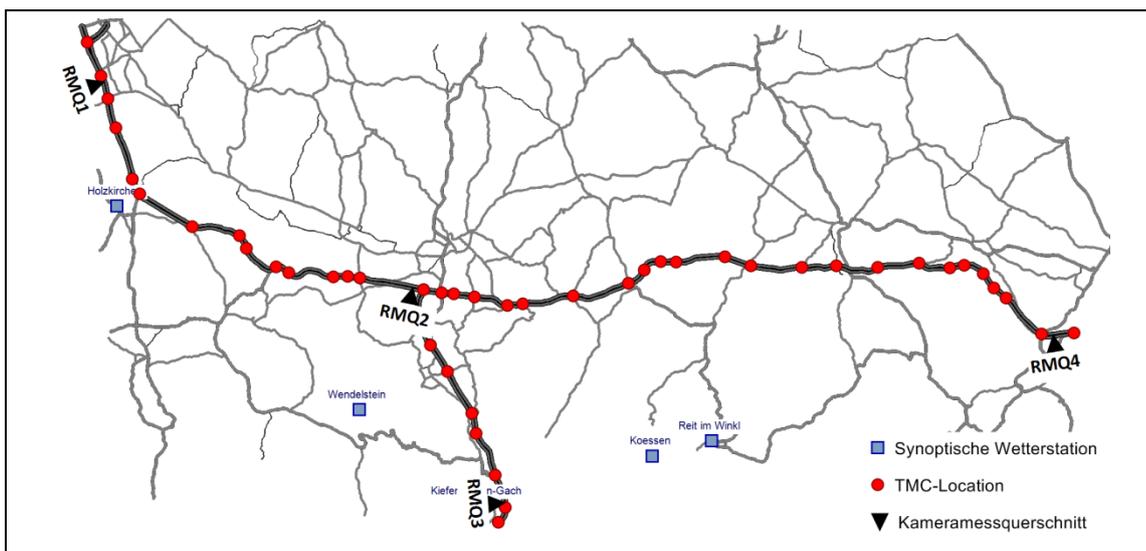


Bild 9: Projektnetz des Untersuchungsgebiets mit TMC-Locations, Kamera-messquerschnitten und synoptischen Wetterstationen

3.2.3 Versorgung der Messdatenbank mit Daten

3.2.3.1 Verkehrsstärkedaten

Die gelieferten Verkehrsstärkedaten sowie die lokalen Geschwindigkeiten liegen in 1-Minuten Zeitintervallen, getrennt nach Fahrstreifen, vor. Für die Weiterverarbeitung werden die Daten querschnittsbezogen in 15 bzw. 60-Minuten Zeitintervalle aggregiert. Es wird für jedes 1-Minuten Zeitintervall überprüft, ob der Wert plausibel ist. Ein Verkehrsstärkewert eines 1-Minuten Zeitintervalls für einen Fahrstreifen ist genau dann nicht plausibel, wenn die Verkehrsstärke negativ oder größer als ein maximaler, plausibler Höchstwert von 60 Fahrzeugen ist. Da die Verkehrsstärken nach Pkw und Lkw getrennt sind, gilt dieser Höchstwert von 60 Fahrzeugen für die jeweilige Fahrzeugklasse. Zusätzlich ist ein Pkw Verkehrsstärkewert nicht plausibel, wenn der Wert null beträgt und die durchschnittliche Wochenzeitverkehrsstärke größer als sieben ist. Das bedeutet, über alle verfügbaren 1-Minuten Zeitintervalle wird ein mittlerer Wochenzeitwert gebildet (von Sonntag 00:00-00:01 Uhr bis Samstag 23:59-24:00 Uhr). Beträgt die Pkw-Verkehrsstärke in einem Zeitintervall null und liegt der Wochenzeitwert zu diesem Zeitintervall unter oder gleich sieben, wird die Verkehrsstärke von Null als plausibel eingestuft. Beträgt der Wochenzeitwert mehr als sieben, wird diese Pkw-Verkehrsstärke als nicht plausibel eingestuft. Für die Lkw-Verkehrsstärke ist jede Verkehrsstärke von Null plausibel. Diese Überprüfung mit der durchschnittlichen Wochenzeitverkehrsstärke ist notwendig, weil beobachtet wurde, dass in manchen Fällen für ein 1-Minuten Zeitintervall die Verkehrsstärke auf Null abfällt und danach wieder auf ein ähnliches Niveau wie beim vorherigen Zeitintervall steigt. Ein Grund hierfür könnte ein vollständiger Stillstand des Verkehrs in dieser Minute sein. Da der Verkehr selten über eine komplette Minute stillsteht und dieser Fehler häufiger beobachtet wird, wird angenommen, dass der Grund ein Fehler in dem Detektor ist und daher wird der Verkehrsstärkewert von null, als nicht plausibel eingestuft.

Ein Geschwindigkeitswert ist plausibel, wenn er größer als Null und kleiner als ein Maximalwert ist. Der Maximalwert für die Pkw-Geschwindigkeit beträgt 250 km/h und der Maximalwert für die Lkw-Geschwindigkeit beträgt 120 km/h.

Mit Hilfe aller verfügbaren und plausiblen Werte werden nun die aggregierten Intervalle gebildet. Dabei gilt, verfügt ein 60-Minuten Intervall mehr als 30 (50 % der Zeitintervalle) plausible 1-Minuten Intervalle, wird dieses 60-Minuten Intervall aus den 1-Minuten Intervallen gebildet. Existieren weniger als 50 % der Zeitintervalle, wird kein Wert für das aggregierte Intervall zurückgegeben. Der Wert des 60-Minuten Intervalls entspricht dem Mittelwert der einzelnen 1-Minuten Zeitintervalle multipliziert mit 60 (Minuten).

Für Intervalle, welche nicht gebildet werden können, da weniger als 50 % plausible 1-Minuten Zeitintervalle verfügbar sind, wird untersucht, ob der Wert aus den vorangehenden und nachfolgenden Zeitintervallen interpoliert werden kann. Die Interpolation

erfolgt linear und wird nur bis zu einer Zeitlücke von einer Stunde durchgeführt. Das bedeutet, dass über maximal vier aufeinander folgende 15-Minuten Zeitintervalle und maximal ein 60-Minuten Zeitintervall interpoliert wird. Gibt es über einen Zeitraum von mehr als einer Stunde keine Daten, bleiben diese Intervalle ungültig und es wird kein Wert gesetzt.

Nachdem die Daten für einzelne Fahrstreifen aufbereitet und aggregiert wurden, werden alle Daten an einem Richtungsquerschnitt zusammengefasst. Für Verkehrsstärkedaten wird der Querschnittswert als Summe über die Verkehrsstärken der einzelnen Fahrstreifen berechnet. Für die Berechnung der lokalen Geschwindigkeit eines Querschnitts werden die Geschwindigkeiten der einzelnen Fahrstreifen nach der Anzahl der Fahrzeuge (getrennt nach Pkw und Lkw) gewichtet. Bild 10 zeigt beispielhaft den Verlauf einer Ganglinie für die aggregierten 15- und 60-Minuten Intervalle.

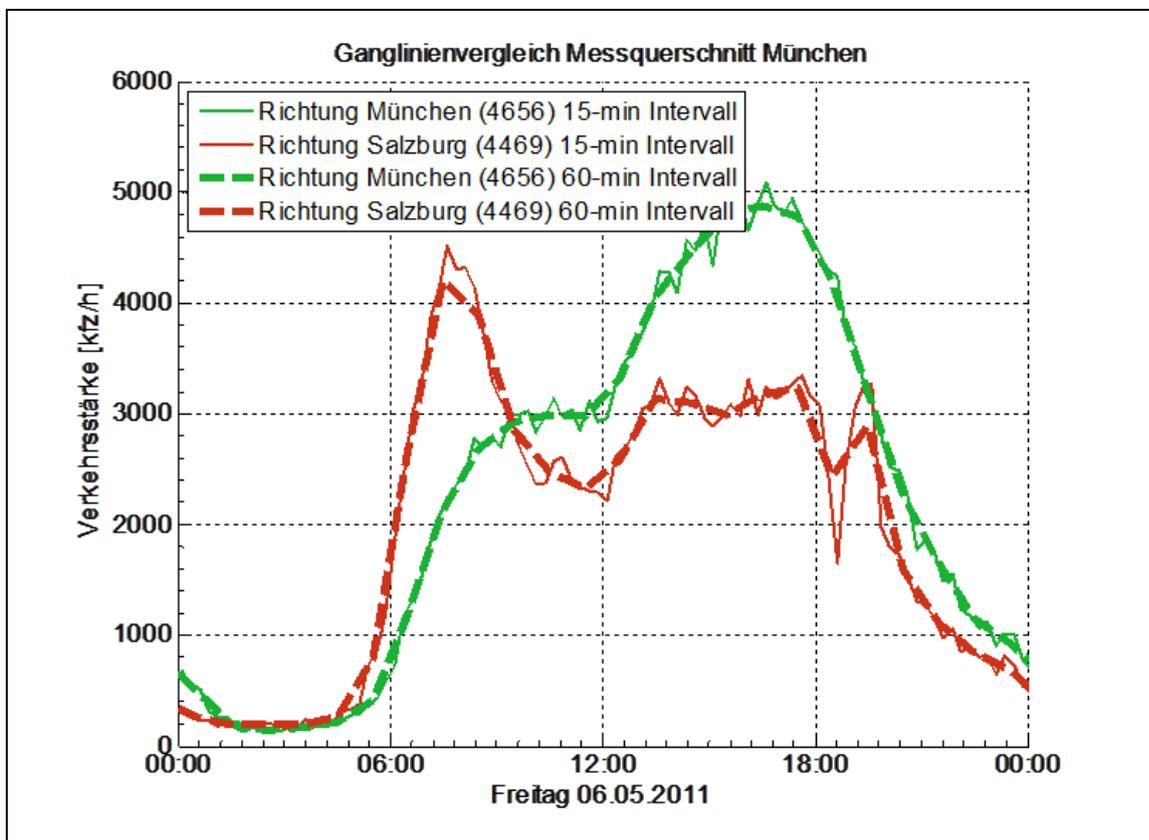


Bild 10: Beispiel für Ganglinien zweier Detektoren Richtung München bzw. Salzburg

Es werden nur dann Verkehrsstärken oder Geschwindigkeiten für den Querschnitt zurückgegeben, wenn für alle einzelnen Fahrstreifen Werte verfügbar sind. Nur in diesem Fall können fundierte Aussagen zur Nachfrage und zur Kapazität eines Querschnitts getroffen werden.

Bild 11 und Bild 12 zeigen eine räumliche Darstellung der aggregierten Datenvollständigkeit für die Verkehrsstärke und die Geschwindigkeit. Sowohl im östlichen Teil als auch im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes wird die Verkehrsstärke und Geschwindigkeit nahezu flächendeckend und vollständig erfasst. Im mittleren Teil der A8 und entlang der A93 liegen die Verkehrsstärken für den Untersuchungszeitraum ausschließlich auf Stundenintervalle aggregiert vor. Geschwindigkeitsdaten liegen entlang der A93 aus lokalen Detektoren nicht vor.

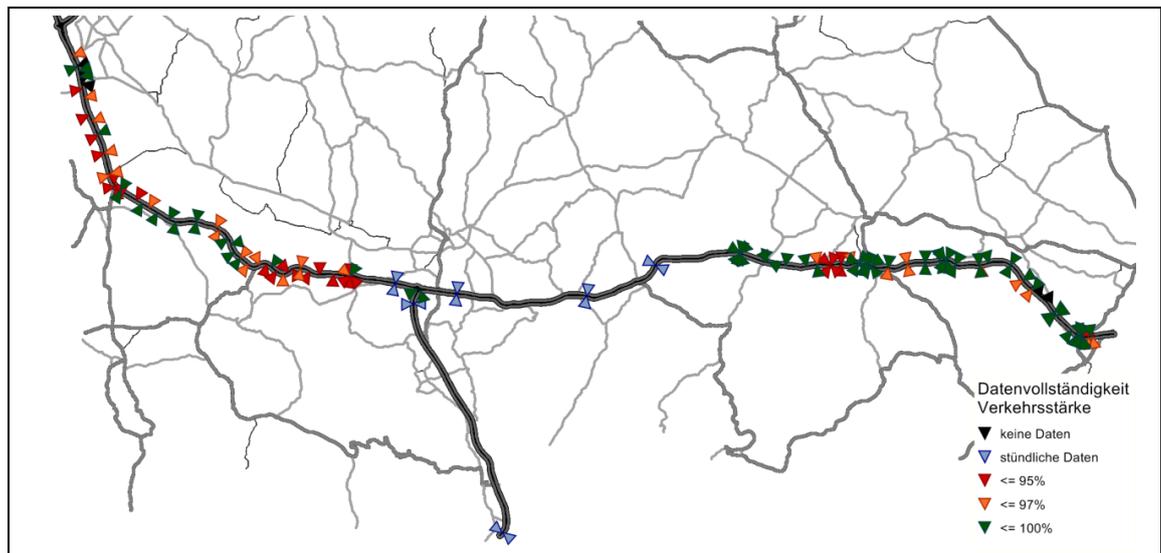


Bild 11: Datenvollständigkeit der Detektoren für Verkehrsstärke

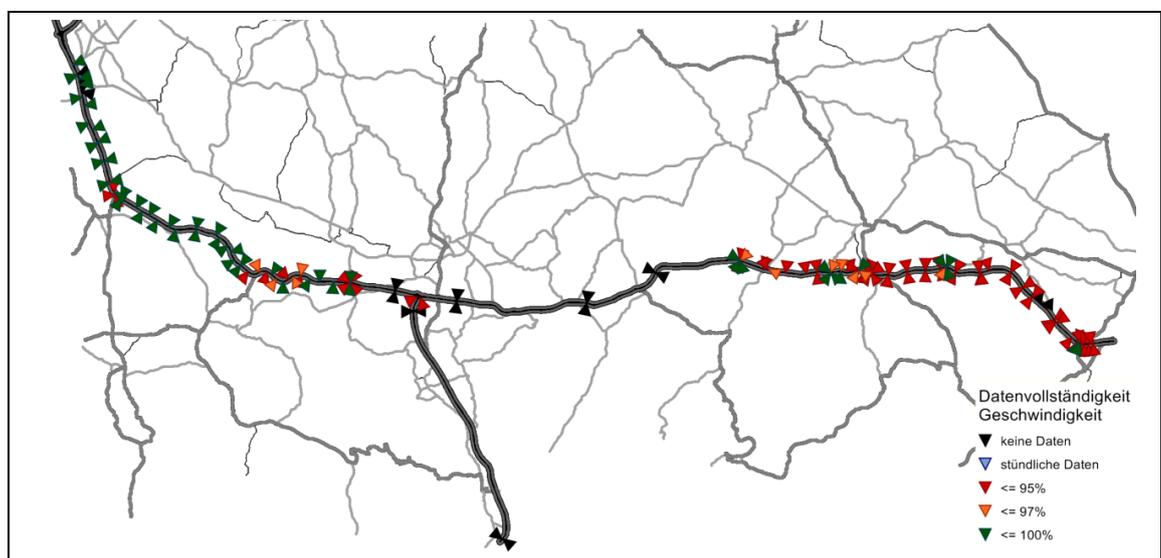


Bild 12: Datenvollständigkeit der Detektoren für Geschwindigkeiten

3.2.3.2 Daten aus Kamerasysteme

Die lokalen Verkehrsdaten werden durch anonymisierte Kennzeichenerhebungen auf deutschen Bundesautobahnen ergänzt, die Aufschluss über Fahrzeiten von ganzen Streckenzügen und über die Fahrtweiten der Fahrzeuge geben. Die Erhebungen werden an vier Messstellen auf der A8 und A93 in Fahrtrichtung Österreich durchgeführt. Die Erhebung erfolgt kontinuierlich über einen Zeitraum von ca. 1 Jahr (Mitte Februar 2011 bis Januar 2012), so dass verschiedene Wettersituationen im Winter und Sommer, sowie typische Nachfragesituationen (normaler Werktag, Ausflugsverkehr, Urlaubsverkehr) erfasst werden können. Die ermittelten Fahrzeiten dienen zur Kalibrierung der Verkehrsmodelle und zur Ermittlung eines Level of Service. Die Fahrtweitenverteilungen werden für die Verkehrsnachfragemodellierung herangezogen.

Mit den Daten aus den Kamerasystemen sollten folgende Ziele erreicht werden:

- Erstellung von Zeit-Weg-Trajektorien indem ein Abgleich mit jedem erfasstem Kennzeichen mit den benachbarten Messstellen erfolgt
- Ableitung einer Fahrzeugklasse (Pkw, Lkw) aus den Geschwindigkeiten der Zeit-Weg-Trajektorien
- Ermittlung eines Hochrechnungsfaktors für jedes Kennzeichen unter Verwendung der stationär erfassten Verkehrsstärken
- Ableitung von Fahrzeitverteilungen für die Netzabschnitte zwischen den Messstellen aus den Zeit-Weg-Trajektorien.
- Bestimmung von tageszeitlich differenzierte Fahrtweitenverteilungen und Fahrtenmatrizen für jeden Messtag und Zuordnung einer Wettersituation

3.2.3.2.1 Erhebungsmethode

Die Grundlage für die automatisierte Reisezeitmessung entlang einer Route bilden Kennzeichenerfassungsgeräte, die an zwei Messquerschnitten installiert sind. Ein Kennzeichenerfassungsgerät besteht im Wesentlichen aus einer Kamera und einem Rechner, der mit einer speziellen Software und einem GPRS-Kommunikationsmodul ausgestattet ist (siehe Bild 13).



Bild 13: Kennzeichenerfassungsgeräte im WOLKE Testfeld

Das Bild der Kamera wird alle 300 ms zur Auswertung an den Rechner gesendet. Dort werden dann die Kennzeichen unter Zuhilfenahme eines Algorithmus zur optischen Zeichenerkennung von den Bildern abgelesen und zusammen mit einem Zeitstempel und einer eindeutigen Bezeichnung des zugehörigen Messquerschnitts in eine Textdatei geschrieben. Aus Datenschutzgründen wird jedoch nicht das Originalkennzeichen, sondern das durch einen Hashcode unumkehrbar verschlüsselte Kennzeichen notiert. Das Gebietskennzeichen braucht jedoch nicht zwingend verschlüsselt zu werden und bleibt erhalten.

Über GPRS werden die verschlüsselten Einzelfahrzeugdaten der erfassten Kennzeichen an einen Datenserver gesendet. Dort wird überprüft, ob ein Kennzeichen an zwei Messquerschnitten detektiert wurde und ggf. aus den Zeitstempeln die Reisezeit ermittelt.

Dazu werden entlang der A8 in Fahrtrichtung Salzburg und der A93 in Fahrtrichtung Kufstein an vier Querschnitten Kennzeichen erfasst. Das Erhebungsgebiet umfasst die Orte in Oberbayern, die über die A8 und A93 erreicht werden können. In diesem Bereich befinden sich zahlreiche Naherholungsgebiete als auch touristische Ziele für den Urlaubsverkehr. Zum anderen führen typische Fahrtrouten zu touristischen Zielen, bzw. für den Freizeitverkehr relevante Ziele, durch dieses Gebiet. Da eine Ortsveränderung mit dem Fahrzweck Freizeit, im Vergleich zu anderen Fahrtzwecken, in einem erhöhtem Maße vom Wetter beeinflusst wird, ist das Erhebungsgebiet für die benannten Forschungszwecke besonders geeignet.

Vor dem Hintergrund, möglichst differenzierte Aussagen zur Veränderung der Fahrtweitenverteilung, bzw. der Zielwahl der Verkehrsteilnehmer treffen zu können, wurden vier Messquerschnitte ausgewählt. Nachstehende Abbildung zeigt die Lage der geplanten Standorte und die Zielverkehre, die so erfasst bzw. differenziert werden konnten. Untersucht wird der Verkehr aus Richtung München in Richtung Süden,

Osten und Südosten. Der Durchgangsverkehr zwischen den Messquerschnitten 1 und 3 bzw. 1 und 4 (siehe Bild 14) ist ausschließlich grenzüberschreitender Verkehr in Richtung Österreich. Durch den Kamerastandort 2 ist eine differenzierte Auswertung bzgl. der Zielverkehre innerhalb des Erhebungsgebietes möglich.

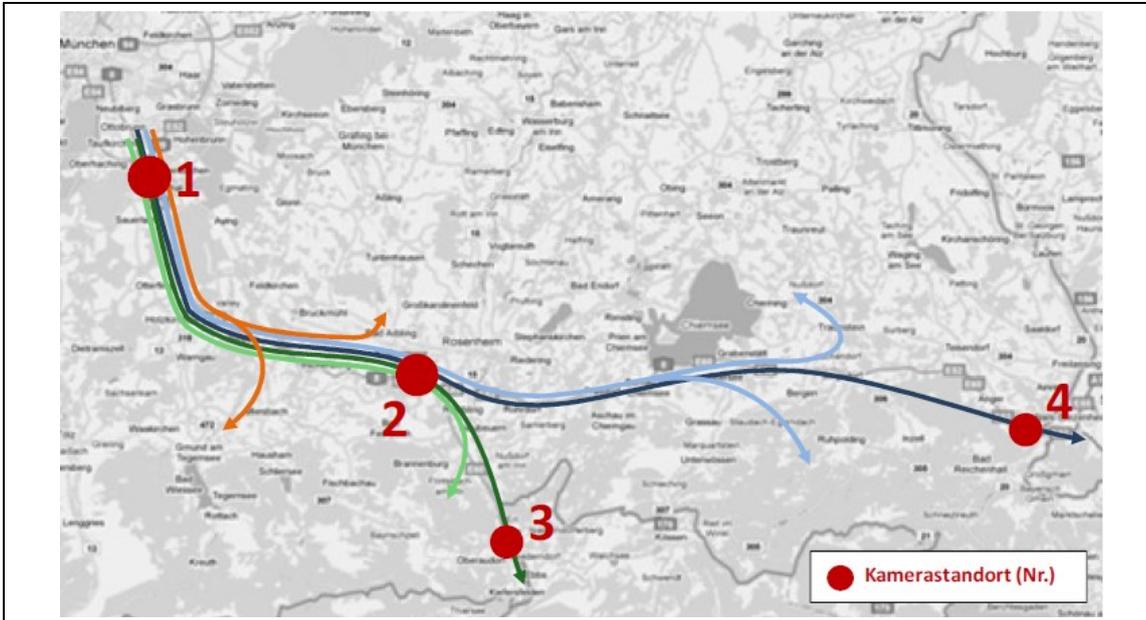


Bild 14: Kamerastandorte und erfasste Zielgebiete

Tabelle 1 enthält spezifische Informationen zu jedem Messquerschnitt. Da der Anteil des Durchgangsverkehrs und Fahrtweitenverteilung ermittelt werden sollen, sind alle Fahrstreifen eines Querschnittes zu erheben.

Tabelle 1: Übersicht der Kameramessquerschnitte

Kamerastandort Nr.	BAB Abschnitt	Anzahl erfasster Fahrstreifen
RMQ 1	A8 AS Hofoldinginger Forst	4
RMQ 2	A8 zwischen AS Bad Aibling und AD Inntal	4
RMQ 3	A93 AS Kiefersfelden	3
RMQ 4	A8 zwischen AS Bad Reichenhall und Bundesgrenze	2

Ziel der Erhebung von Kennzeichenerfassungssystemen (ANPR) ist es, Aussagen über die Veränderung des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer und über Fahrzeiten im Untersuchungsgebiet (A8, A93) in Abhängigkeit vom Wetter treffen zu können. Bei einer Querschnittsvollerfassung kann das Routenwahlverhalten eines großen Kollektivs über einen langen Zeitraum auf Teilrouten zwischen den Kamerastandorten beobachtet werden. Aus den Gebietskennzeichen kann abgeleitet werden, ob es sich um einen Verkehrsteilnehmer aus der Region handelt. Die ermittelten Reisezeitdaten

können mit den zugehörigen regionalen und lokalen Wetterdaten verschnitten und analysiert werden.

Die erhobenen Daten hinsichtlich Herkunftsland sowie die Bestimmung der Zulassungsbezirke für deutsche, österreichische und andere ausländische Fahrzeuge werden über den Projektzeitraum hin ausgewertet. Erfasst werden sollen Schlecht- und Schönwetterereignisse sowohl im Sommer, als auch im Winter. Um die Tage mit extremen Wettersituationen durch Glätte und Schnee erfassen zu können, erfolgte der Erhebungszeitraum von Ende Februar 2011 bis Ende Januar 2012.

3.2.3.2.2 Erhebungsstatistik

Während der Untersuchung wurden an allen vier Kameramessquerschnitten in Summe 41,7 mio. Fahrzeuge detektiert. Nahezu die Hälfte (44 %) der Fahrzeuge wurden an RMQ 1 (für die Lage der Kameramessquerschnitte siehe Bild 13; Seite 31) erfasst. Dies ist zum einen mit der Verkehrsstärke zu erklären, die an diesem Richtungsmessquerschnitt im Durchschnitt am höchsten ist. Zum anderen kam es an diesem Richtungsmessquerschnitt am seltensten zu Datenausfällen. Eine Übersicht über die aufgetretenen Datenausfälle gibt Tabelle 2. Werden an einem Richtungsmessquerschnitt für mehr als 5 Minuten keine Daten erfasst, gilt dies als Datenausfall. Dadurch werden zwar erhebliche Störungen, wie eventuell vorhandene Vollsperrungen, als Datenausfall identifiziert, deren Anteil ist jedoch vergleichsweise gering. Für den RMQ 1 wurden an 354 von 356 möglichen Tagen Daten erfasst. RMQ 4 hingegen lieferte lediglich an 291 Tagen Daten.

Tabelle 2: Erhebungsstatistik der Kameramessquerschnitte

Attribut	RMQ 1	RMQ 2	RMQ 3	RMQ 4
Anzahl Tage mit Daten	354	302	318	291
Anzahl Tage ohne Daten	2	54	38	65
Anzahl Datenlücken > 5 min	230	108	347	299
Gesamtdauer summierter Datenlücken > 5 min [Tage]	9,8	61,0	50,9	76,0
Anteil Zeitraum ohne Datenlücken > 5 min [%]	97,3	82,9	85,7	78,7
Anzahl erfasster Fahrzeuge [mio]	18,1	11,0	6,4	6,1

Für die Erhebung der Fahrzeiten und die differenzierte Erfassung der Zielwahl im Untersuchungsgebiet ist es notwendig, dass die Kamerasysteme zeitgleich Daten liefern. Bild 15 zeigt in den oberen vier Balken für die vier Richtungsmessquerschnitte grün eingefärbt die Tage, an denen Daten erfasst wurden, und hellgrau eingefärbt diejenigen Tage, an denen keine Daten erfasst wurden. Der untere Teil repräsentiert die Vollständigkeit der erfassten Daten, bezogen auf alle Richtungsmessquerschnitte. Der Balken ist dann grün, wenn an allen Richtungsmessquerschnitten für den

entsprechenden Tag Kameradaten geliefert wurden. Fehlen von einem Richtungsmessquerschnitt an diesem Tag Daten, ist der Balken dunkelgrau eingefärbt. Insgesamt standen an 259 von 356 Tagen von allen vier Kameras Daten zur Verfügung. Im Mai und Juni kam es an den Richtungsmessquerschnitten an der Bundesgrenze zu einem länger andauernden Datenausfall. Für diesen Zeitraum, der die reiseintensiven Wochenenden an Himmelfahrt und Pfingsten beinhaltet, konnten daher die Reisezeiten und Zielverkehre nur eingeschränkt erfasst werden.

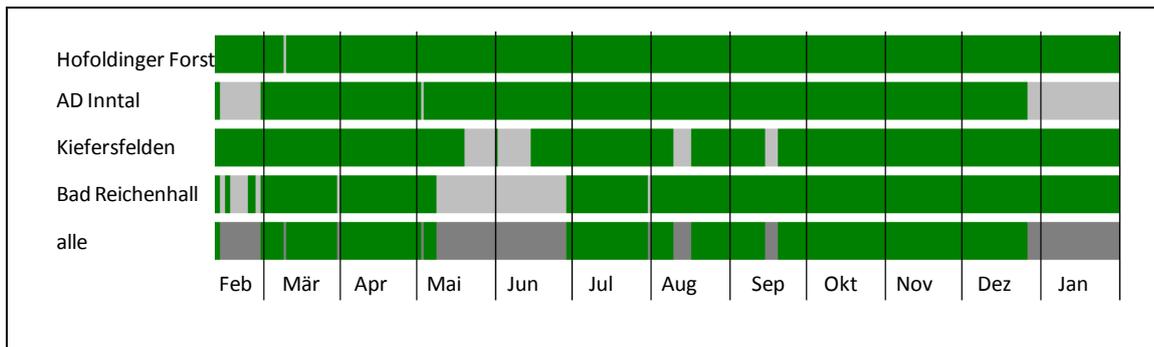


Bild 15: Datenvollständigkeit der Kamerasysteme

3.2.3.2.3 Datenaufbereitung Quelle-Zieldaten

Plausibilisierung der Kennzeichen

Im Rahmen der Datenaufbereitung wurden in einem ersten Schritt die erfassten Länderkennzeichen plausibilisiert. Insgesamt wurden 42 verschiedene Länderkürzel erfasst. Kann ein erfasstes Länderkennzeichen nicht zugeordnet werden, erfolgt eine zufällige Zuordnung unter Beachtung des erfassten Gebietskennzeichens und der Häufigkeit, wie oft dieses Gebietskennzeichen in Verbindung mit einem bestimmten Länderkennzeichen erfasst wurde. Ist das Gebietskennzeichen keinem anderen Land zugeordnet worden, erfolgt eine zufällige Zuordnung des Länderkennzeichens auf Basis der absoluten Häufigkeitsverteilung aller Länderkennzeichen. Unplausible Gebietskennzeichen werden zunächst nicht weiter behandelt.

In Bild 16 sind die minimalen, maximalen und mittleren Anteile der Gebietskennzeichen am Tagesverkehrsaufkommen beispielhaft für einige Länder dargestellt. Erwartungsgemäß bilden die deutschen Kennzeichen die größte Gruppe. Der Anteil der österreichischen Kennzeichen schwankt zwischen 3 % und 23 %. Bemerkenswert sind die zum Teil maßgebenden Anteile weiterer europäischer Nachbarländer. Eine tiefergehende Betrachtung erfolgt dann im Arbeitspaket 4.

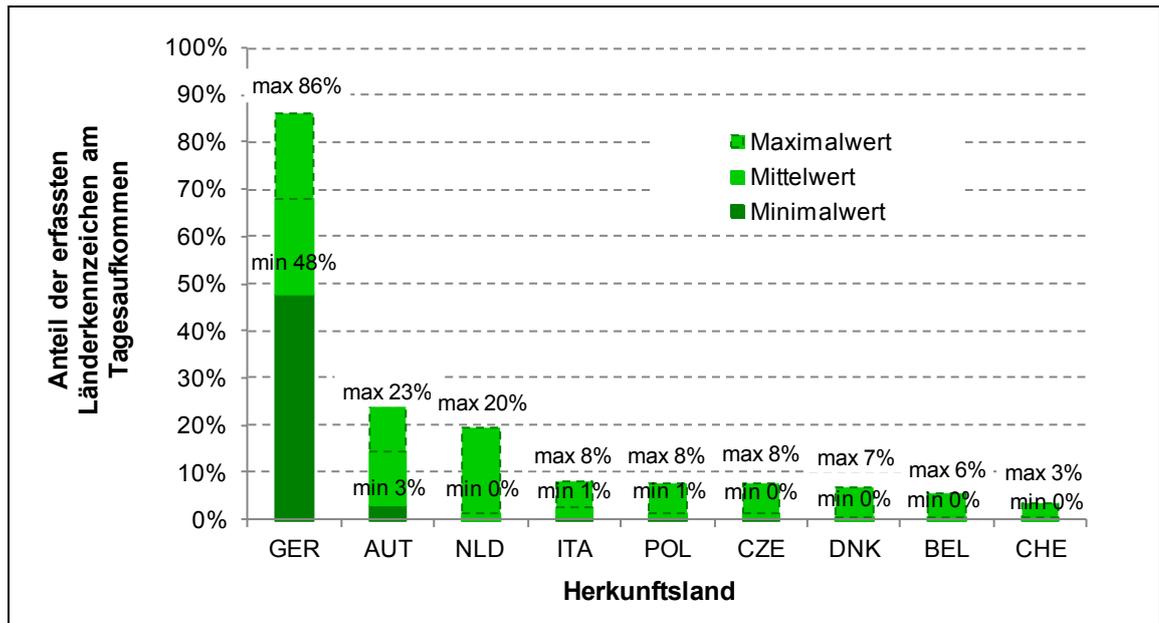


Bild 16: Statistik erfasster Kennzeichen

Durch ungewollte Erfassung von Schriftzügen auf z. B. Lkw-Planen kann es vorkommen, dass dieser Schriftzug an einem Richtungsmessquerschnitt sehr oft hintereinander auftaucht bzw. an zwei Richtungsmessquerschnitt innerhalb eines unplausiblen Zeitrahmens erfasst wurde. Die erfassten Kennzeichen bzw. Schriftzüge wurden dahingehend geprüft und entsprechend unplausible Datensätze verworfen.

Zuordnung Gebietskennzeichen als Quelle oder Ziele

Für alle erfassten Kennzeichen wird für jeden Kameramessquerschnitt festgelegt, ob es in der entsprechenden Fahrtrichtung (Richtung Salzburg oder Kufstein) Quelle oder Ziel der Fahrt ist. Dazu wird für jedes Kennzeichen geprüft, in welcher Fahrtrichtung der Kameramessquerschnitt vom Gebiet, welches durch das Kennzeichen repräsentiert wird, günstiger zu erreichen ist. Analog wird untersucht, ob ausgehend vom Gebiet des Kennzeichens der Messquerschnitt in Fahrtrichtung oder in der Gegenrichtung günstiger zu erreichen ist. Ist der Kameramessquerschnitt ausgehend vom Kennzeichengebiet günstiger in Fahrtrichtung und das Kennzeichengebiet ausgehend vom Kameramessquerschnitt günstiger von der Gegenfahrtrichtung zu erreichen, gilt das Kennzeichen als Quelle der erfassten Fahrt. Im umgekehrten Fall gilt das Kennzeichen als Ziel. In Bild 17 sind die Zuordnungen von Quellen und Zielen in Bezug auf den Kameramessquerschnitt A8 Hofoldingner Forst (RMQ1, blau markiert) zu sehen. Gebiete die als Quelle aufgefasst werden, sind rot eingefärbt, bzw. mit einem roten Quadrat markiert, die Ziele sind entsprechend grün eingefärbt bzw. mit einem grünen Quadrat markiert.

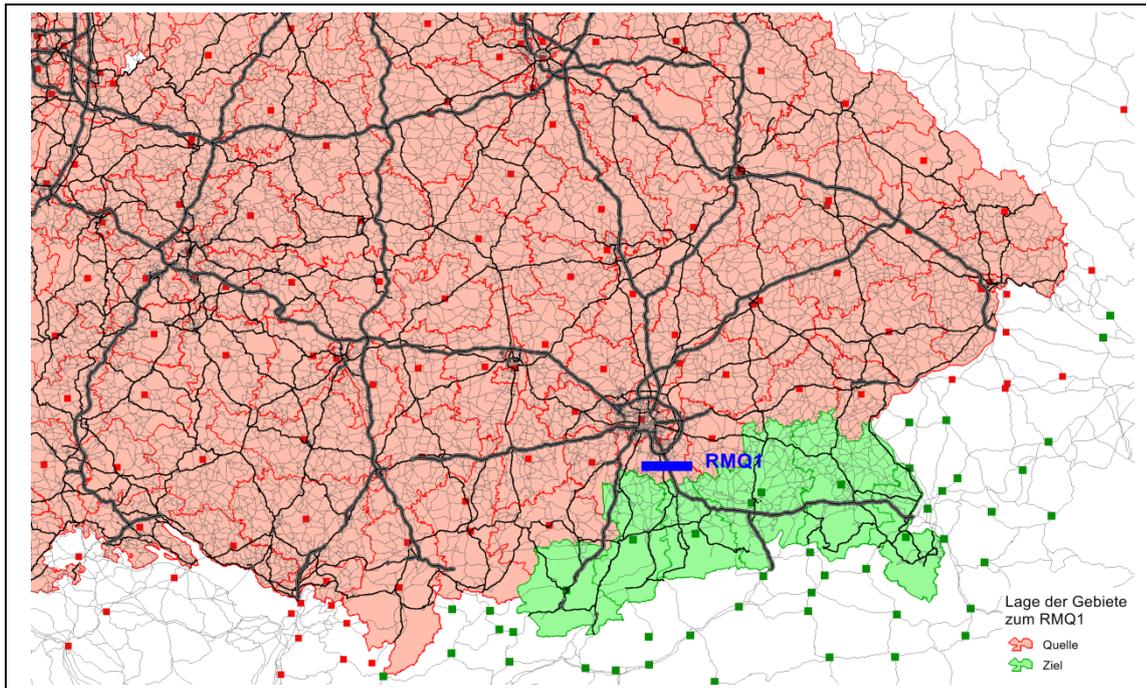


Bild 17: Zuordnung der Gebietskennzeichen als Quellen bzw. Ziele

Berechnung der Ströme

Wurde der detektierten Fahrt, nach dem eben beschriebenen Verfahren, eine Quelle zugeordnet, wird als Ziel ein Kordongebiet zugeordnet. Umgekehrt wird einer detektierten Fahrt, welcher anhand des Kennzeichens ein Ziel zugeordnet wurde, als Quelle ein Kordongebiet zugeordnet. Dieses Kordongebiet umfasst alle Verkehrszellen, die als potenzielle Ziele gelten, ausgehend vom letzten Kameramessquerschnitt an dem das Fahrzeug erfasst wurde. Das angewandte Vorgehen ist in Bild 18 verdeutlicht. Alle definierten Kordongebiete sind grün markiert dargestellt. Eine Beschreibung der Kordongebiete enthält Tabelle 3.

Tabelle 3: Beschreibung der definierten Kordongebiete

Nummer des Kordongebietes	Beschreibung
1	aus Richtung München kommend
2	Region Tegernsee/Bad Aibling
3	Region Brannenburg
4	Region Rosenheim/Chiemsee
5	Richtung Kufstein
6	Richtung Salzburg

Der hellgraue Pfeil repräsentiert nun eine mit dem Kennzeichen "M" detektierte Fahrt. Das zugehörige Kennzeichengebiet "München" wird als Quelle zugeordnet. Als Ziel

wird das Kordongebiet 4 zugeordnet, da das Fahrzeug an RMQ1 und auf einem der rechten beiden Fahrstreifen an RMQ2 detektiert wurde. An RMQ 2, unmittelbar vor dem Autobahndreieck Inntal, sind die Verkehre bereits in Richtung Salzburg (die beiden rechten Fahrstreifen) und Richtung Kufstein (die beiden linken Fahrstreifen) aufgetrennt, so dass eine entsprechend differenzierte Auswertung erfolgen kann.

Wurde einem Fahrzeug hingegen bereits ein Ziel zugeordnet, wird dem Fahrzeug ausgehend vom ersten Kameramessquerschnitt an dem es erfasst wurde, eine Kordongebiet als Quelle zugeordnet. Als Beispiel hierfür enthält Bild 18 eine Fahrt (dunkelgrauer Pfeil) mit dem Kennzeichen "MB" - Landkreis Miesbach, welcher als Ziel zugeordnet wird. Da diese Fahrt an RMQ1 erfasst wurde, wird als Quelle das Kordongebiet 1 zugeordnet.

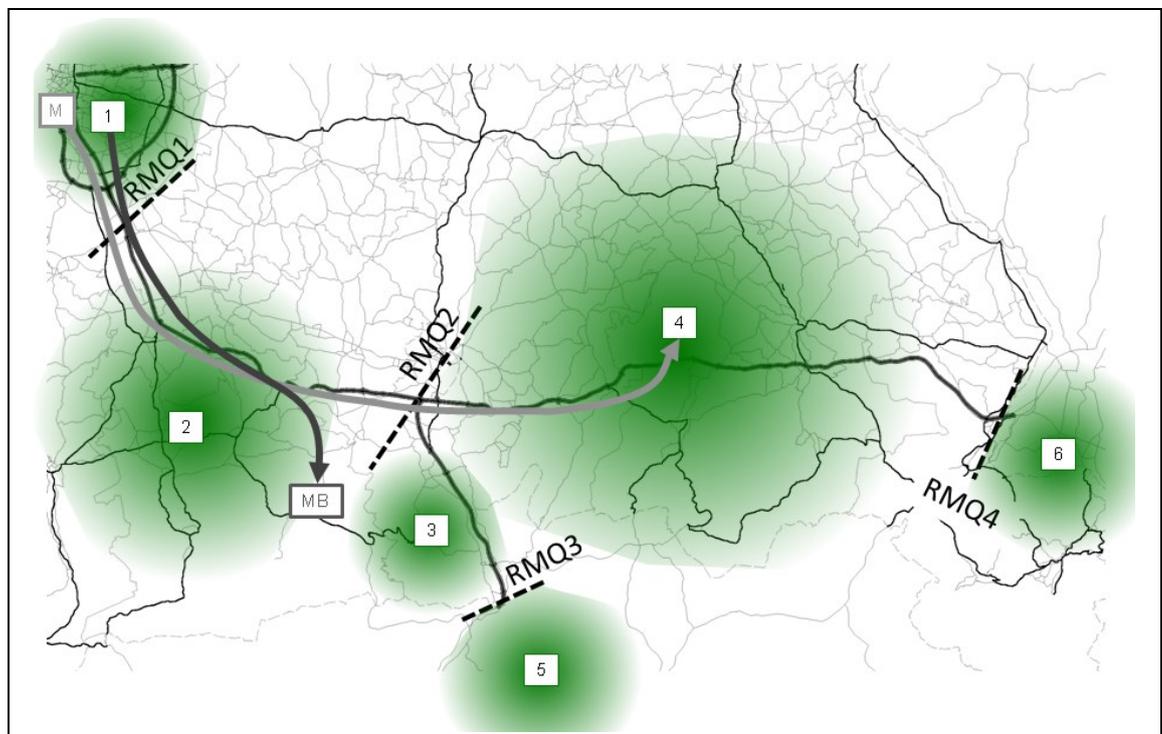


Bild 18: Definierte Kordongebiete mit Kameramessquerschnitten

Auf diese Art lassen sich für beliebige Zeitintervalle Fahrtenmatrizen, bezogen auf die im Untersuchungsraum enthaltenen Autobahnabschnitte, erstellen.

Hochrechnen der Ströme und Plausibilisierung

Da die ANPR-Systeme nicht die gesamte Verkehrsmenge erfassen, werden die erfassten Kennzeichendaten anhand der nächstgelegenen stationären Zählstellen hochgerechnet. Dafür wird zunächst für jede Stunde des Erhebungszeitraumes aus der Anzahl der erfassten Kennzeichen aus den ANPR-Systemen und der Anzahl, der am zugeordneten Detektor erfassten Fahrzeuge eine Erfassungsrate berechnet:

$$ER_{\text{Stunde},i} = \frac{Q_{\text{Stunde},i \text{ ANPR}}}{Q_{\text{Stunde},i \text{ Det}}} \quad (3.1)$$

mit $Q_{\text{Stunde},i \text{ ANPR}}$ Stündliche Verkehrsstärke aus ANPR-System im Zeitintervall i

$Q_{\text{Stunde},i \text{ Det}}$ Stündliche Verkehrsstärke aus Detektor im Zeitintervall i

$ER_{\text{Stunde},i}$ Erfassungsrate im Zeitintervall i

In Tabelle 4 sind die mittleren Erfassungsraten der ANPR-Systeme über den gesamten Erfassungszeitraum dargestellt. Enthalten sind dabei nur Zeitintervalle, bei denen alle Kameras des jeweiligen RMQ Daten geliefert haben. Bis auf RMQ 4 liegt die Erfassungsrate im Bereich von 90 %. Für den RMQ 2 sinkt die Erfassungsrate in den Nachtstunden um etwa 5 %. Für den RMQ 3 liegen die Werte am Tag über 100 %, d. h. hier werden mehr Fahrzeuge durch die ANPR-Systeme erfasst, als durch den nächstgelegenen Detektor. Das liegt darin begründet, dass zwischen ANPR-messquerschnitt und der Dauerzählstelle, die als Referenz zum Hochrechnen herangezogen wird, eine schwach frequentierte Ausfahrt existiert.

Tabelle 4: Erfassungsraten an den vier ANPR-RMQs

Tageszeit	RMQ1	RMQ2	RMQ3	RMQ4
Tag (07:00 bis 22:00 Uhr)	89 %	89 %	98 %	93 %
Nacht (22:00 bis 07:00 Uhr)	88 %	84 %	111 %	89 %
Gesamt	89 %	87 %	102 %	91 %

Würden lediglich an einem unabhängigen RMQ j die Daten hochzurechnen sein, würde sich der Hochrechnungsfaktor direkt aus dem Kehrwert der Erfassungsrate ergeben. Im Falle mehrerer RMQs sind die Hochrechnungsfaktoren für die jeweiligen Ströme s , die an den RMQs j auftreten, zu bestimmen.

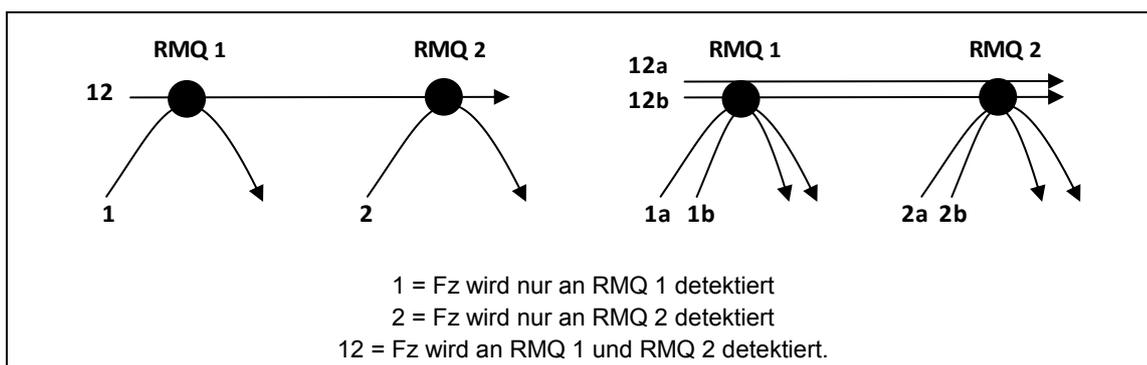


Bild 19: Beispiel erfasster Ströme an zwei RMQs

In Bild 19 ist ein Beispiel illustriert, anhand dessen aufgezeigt werden sollte, welche Annahmen für die Erfassungswahrscheinlichkeit der Kennzeichen, zu welchen Regeln für die Bestimmung der Hochrechnungsfaktoren der einzelnen Ströme führen:

- Variante 1: Wird angenommen, dass alle Kennzeichen an jedem RMQ die gleiche Wahrscheinlichkeit haben korrekt erfasst zu werden, so würden sich für zwei RMQs die folgenden Hochrechnungsregeln ergeben (vgl. FRIEDRICH et al. [10]):

$$\begin{aligned} Q_{\text{Det},1} &= Q_{\text{ANPR},1} \cdot HF_1 + Q_{\text{ANPR},12} \cdot HF_1 \cdot HF_2 \\ Q_{\text{Det},2} &= Q_{\text{ANPR},2} \cdot HF_2 + Q_{\text{ANPR},12} \cdot HF_1 \cdot HF_2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

mit	$Q_{\text{ANPR},j}$	Stündliche Verkehrsstärke aus ANPR-System am RMQ j
	$Q_{\text{ANPR},ij}$	Stündliche Verkehrsstärke aus ANPR-System von RMQ i nach RMQ j
	$Q_{\text{Det},j}$	Stündliche Verkehrsstärke aus Detektor am RMQ j
	HF_j	Hochrechnungsfaktor für RMQ j

Diese Hochrechnungsfaktoren sind iterativ unter Beachtung der gegebenen Randbedingungen zu bestimmen. Als Startlösung können die Kehrwerte der Erfassungsraten genutzt werden.

- Variante 2: Unterstellt man hingegen, dass bestimmte Kennzeichen u. a. aufgrund von Verschmutzung, ungünstiger Buchstabenfolgen eine niedrigere Erfassungswahrscheinlichkeit haben, ist die Wahrscheinlichkeit korrekt detektiert zu werden, tendenziell abhängig vom Kennzeichen. Unter der Annahme, dass sich diese Kennzeichen mit niedrigerer Erkennungswahrscheinlichkeit auf alle Ströme gleichverteilen, ergibt sich folgende Berechnungsregel, die einen mittleren Korrekturfaktor für den Durchgangsverkehr aus beiden RMQs heranzieht (vgl. FRIEDRICH et al. [11]):

$$\begin{aligned} Q_{\text{Det},1} &= Q_{\text{ANPR},1} \cdot HF_1 + Q_{\text{ANPR},12} \cdot \frac{HF_1 + HF_2}{2} \\ Q_{\text{Det},2} &= Q_{\text{ANPR},2} \cdot HF_2 + Q_{\text{ANPR},12} \cdot \frac{HF_1 + HF_2}{2} \end{aligned} \quad (3.3)$$

mit	$Q_{\text{ANPR},j}$	Stündliche Verkehrsstärke aus ANPR-System am RMQ j
	$Q_{\text{ANPR},ij}$	Stündliche Verkehrsstärke aus ANPR-System von RMQ i nach RMQ j
	$Q_{\text{Det},j}$	Stündliche Verkehrsstärke aus Detektor am RMQ j
	HF_j	Hochrechnungsfaktor für RMQ j

Auch hier kann als Startlösung die Kehrwerte der Erfassungsraten genutzt und iterativ eine Lösung gefunden werden.

- Variante 3: Eine dritte Berechnungsvariante ergibt sich dadurch, dass die Kennzeichen mit z. B. niedrigerer Erkennungsrate nicht gleichverteilt sind auf die an den RMQs vorhandenen Ströme. Das heißt, für die Hochrechnung müssen differenziert nach vorhandenen Strömen entsprechende Hochrechnungsfaktoren eingeführt werden:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Det},1} &= Q_{\text{ANPR},1a} \cdot HF_{1a} + Q_{\text{ANPR},12a} \cdot HF_{12a} + Q_{\text{ANPR},2b} \cdot HF_{2b} + Q_{\text{ANPR},12b} \cdot HF_{12b} \\ Q_{\text{Det},2} &= Q_{\text{ANPR},2a} \cdot HF_{2a} + Q_{\text{ANPR},12a} \cdot HF_{12a} + Q_{\text{ANPR},2b} \cdot HF_{2b} + Q_{\text{ANPR},12b} \cdot HF_{12b} \end{aligned} \quad (3.4)$$

mit	$Q_{\text{ANPR},j}$	Stündliche Verkehrsstärke aus ANPR-System am RMQ j
	$Q_{\text{ANPR},ij}$	Stündliche Verkehrsstärke aus ANPR-System von RMQ i nach RMQ j

$Q_{\text{Det},j}$	Stündliche Verkehrsstärke aus Detektor am RMQ j
HF_s	Hochrechnungsfaktor für Strom s

In dieser Variante ergibt sich, je nachdem wie viele Ströme betrachtet werden, eine Vielzahl von Hochrechnungsfaktoren und nicht mehr nur ein Hochrechnungsfaktor je RMQ. Die dargestellte Berechnungsvorschrift bezieht sich auf das rechte Beispiel aus Bild 19. Eine Unterteilung der Ströme in a und b kann zum Beispiel vor dem Hintergrund geschehen, dass der Lkw-Verkehr eine andere Erkennungsrate besitzt als der Pkw-Verkehr.

Der Vorteil von Variante 1 und 2 ist, dass für die Anwendung prinzipiell kein weiteres Vorwissen über die Zusammensetzung der Ströme notwendig ist. Es ist jedoch zu prüfen, ob die Annahme über die Gleichverteilung der Erkennungsraten auf die Ströme inhaltlich richtig ist. Ist die Annahme verletzt, sollte Variante 3 zur Anwendung kommen. Die Anwendung von Variante 3 ist jedoch nur möglich, wenn differenziert für die einzelnen Ströme Vorwissen, entweder zu den Erkennungsraten oder zur Aufteilung der Ströme, vorhanden ist.

Vor diesem Hintergrund wurden für WOLKE die erfassten Durchgangsverkehre zwischen RMQ1 und RMQ2 differenziert nach Herkunftsland bestimmt und auf ihre Plausibilität überprüft. Dazu wurde für jede Stunde i für jedes Land das Verkehrsaufkommen an RMQ1 bestimmt. Außerdem wurde bestimmt, wie viele Fahrzeuge aus dieser Menge an RMQ2 wiedererkannt wurden. Daraus wurde das Verhältnis aus wiedererkannten Fahrzeugen und allen Fahrzeugen gebildet.

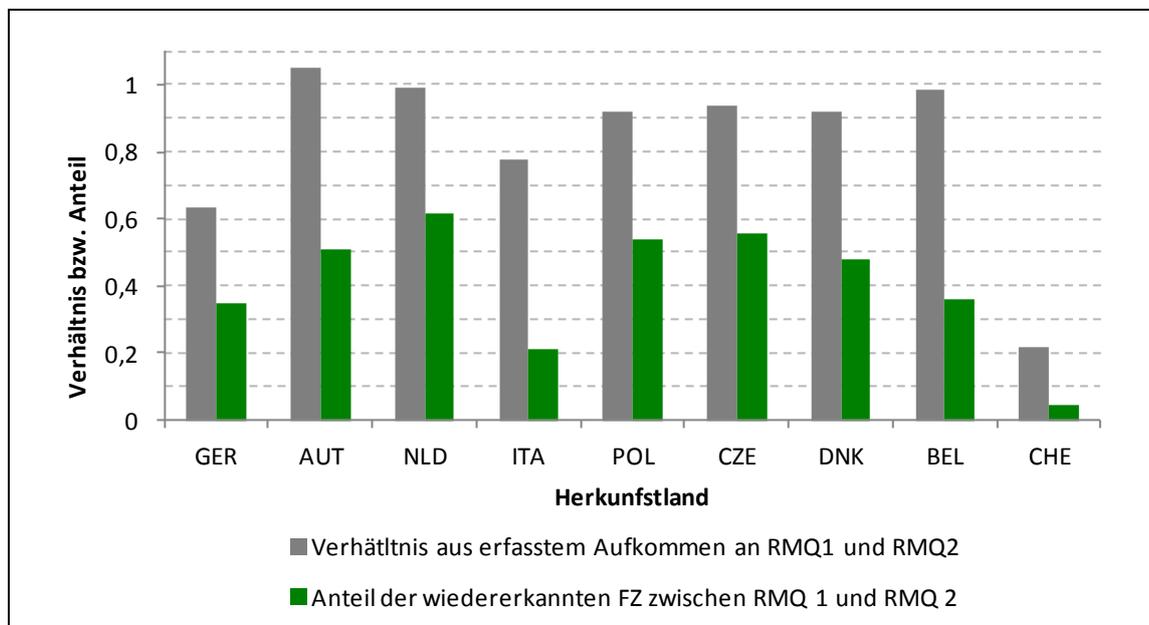


Bild 20: Anteil erfasster Durchgangsverkehre zwischen RMQ1 und RMQ2

In Bild 20 sind die Mittelwerte dieser Durchgangsverkehrsanteile (grüne Balken) differenziert nach Herkunftsland dargestellt. Die grauen Balken zeigen dabei das

Verhältnis der erfassten Gesamtmenge der Kennzeichen aus dem jeweiligen Herkunftsland, als Mittelwerte über alle Stunden. Dargestellt sind die neun Länder mit dem höchsten erfassten Verkehrsaufkommen an RMQ 1. Es ist zunächst erkennbar, dass für die Fahrzeuge aus Österreich, den Niederlanden, Polen, Tschechien, Dänemark und Belgien das Verhältnis der Gesamtverkehrsaufkommen nahe dem Wert 1 liegt, d.h. an beiden RMQs wird eine sehr ähnliche Anzahl an Fahrzeugen erfasst. Der Anteil an wiedererkannten Fahrzeugen hingegen bewegt sich zwischen 35 und 60 %. Für die Niederländer hieße das z. B., dass 40 % der Fahrzeuge ihre Fahrt zwischen der Anschlussstelle Hofoldingen Forst und dem Autobahndreieck Inntal beenden. Umgedreht beginnen 40 % der Fahrten zwischen diesen beiden RMQs, da die Anzahl der erfassten Fahrzeuge an beiden RMQs ähnlich ist. Für die Fahrzeuge aus Dänemark und Belgien ist der Anteil noch geringer. Würde man davon ausgehen, dass auch für die Fahrzeuge dieser Länder die Erfassungsrate von etwa 90 % Gültigkeit besitzt, sind diese Werte zu niedrig und damit unplausibel. Eine Erklärung ist, dass die korrekte Erfassung der ausländischen Kennzeichen nicht mit der identischen Qualität erfolgt wie bei den deutschen und österreichischen Kennzeichen, die einen identischen Aufbau des Kennzeichens aufweisen. D. h., der Anteil der erfassten Kennzeichen ist nicht unbedingt niedriger, jedoch ist der Anteil an tatsächlich korrekt erfassten Kennzeichen geringer. Durch fehlerhafte Erfassung der Kennzeichen wird zwar die Herkunftsnation korrekt bestimmt, jedoch das eigentliche Kennzeichen nicht korrekt erfasst. Die fehlerhafte Erfassung müsste jetzt am zweiten RMQ auf eine identische Art erfolgen, damit die Verschlüsselung identisch ist. Dies ist jedoch eher unwahrscheinlich. Dadurch entsteht für die ausländischen Kennzeichen ein relativ hoher Anteil an Fahrzeugen, die entweder an RMQ1 oder RMQ2 erfasst wurden. Für die Durchgangsverkehre zwischen RMQ2 und RMQ3 bzw. 4 zeigt sich ein analoges Bild.

Um die Hochrechnungsvarianten 1 oder 2 anwenden zu können, wären Informationen darüber erforderlich, wie viele ausländische Kennzeichen korrekt erfasst wurden. Ein solcher Plausibilitätstest ist jedoch nicht möglich, da vom eigentlichen Kennzeichen nur eine Teilinformation vorliegt. Die Anwendung von Variante drei hingegen verlangt Vorwissen über die Anteile der Ströme. Da die erzeugten Matrizen jedoch vor allem für die Ströme aus dem Verkehrsnachfragemodell als Kalibrierungswerkzeug dienen sollen, wird auch von der Anwendung von Variante 3 abgesehen.

Ein weiterer Grund, weshalb von der Erzeugung der Matrizen abgesehen wurde, ist die vergleichsweise geringe Anzahl an Tagen, an denen an allen RMQs über den gesamten Tag für jeden Fahrstreifen ANPR-Daten geliefert wurden. In Bild 21 sind die Tage mit vollständigen Daten für alle RMQs grün gekennzeichnet. Der untere Balken zeigt die Tage, an denen alle RMQs vollständige Daten lieferten. Dies sind insgesamt 159 Tage. Hinzu kommt, dass die Datenlücken zu großen Teilen an jenen Tagen vorhanden sind, an denen mit besonderem Ausflugsverkehrsaufkommen zu rechnen ist, z. B. im Juni und Juni sowie Januar und Februar.

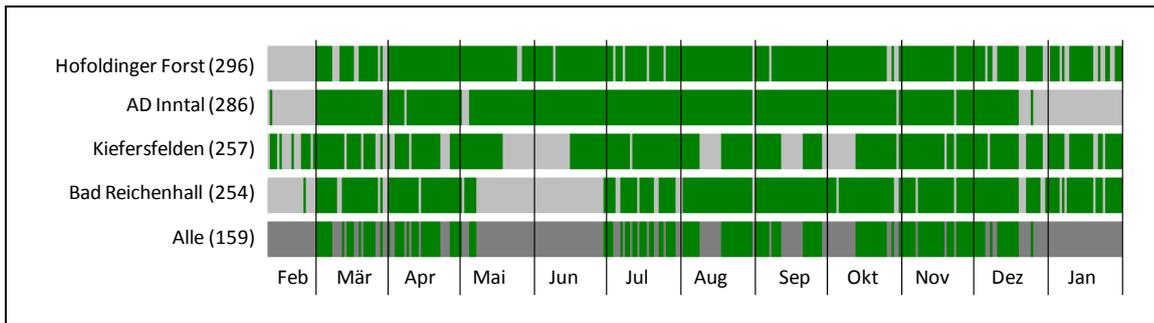


Bild 21: Tage mit vollständiger ANPR-Erfassung

Aufgrund der oben genannten Gründe muss auf eine detaillierte Bestimmung der Erfassungsraten verzichtet werden. Die Erfassungsraten können nur einzeln für jeden RMQ bestimmt werden (Tabelle 4).

Erzeugter Input für die Analyse und Kalibrierung

Aus den ANPR-Daten lassen sich für die einzelnen RMQs wertvolle Analyse- und Kalibrierungsdaten bilden. Für jeden RMQ wurden die Herkunftsdaten sowohl zeitlich als auch örtlich auf verschiedenen Ebenen aggregiert aufbereitet:

- Jedes erfasste Kennzeichen wird mit der zugehörigen stündlichen Erfassungsrate hochgerechnet.
- Dann wird jedes Länderkennzeichen einer Nation und die deutschen und österreichischen Kennzeichen einem Landkreis und einem Bundesland zugeordnet.
- Durch die Zuordnung zu Landkreisen ist eine mittlere Entfernung zum jeweiligen RMQ bekannt. Daraus wurde für jeden Kalendertag eine mittlere Entfernungsverteilung abgeleitet.
- Durch den Zeitstempel der Erfassung wird jedes Kennzeichen einem Stunden- und Tagesintervall zugeordnet. Durch die zeitliche Zuordnung des erfassten Kalendertages erfolgt auch eine Zuordnung von kalendarischen Ereignissen, Wetterereignisse, Unfällen, Baustellen usw.
- Ergebnis sind Herkunftsverteilungen auf Tages- und Stundenebene für unterschiedliche räumliche Aggregationsstufen.

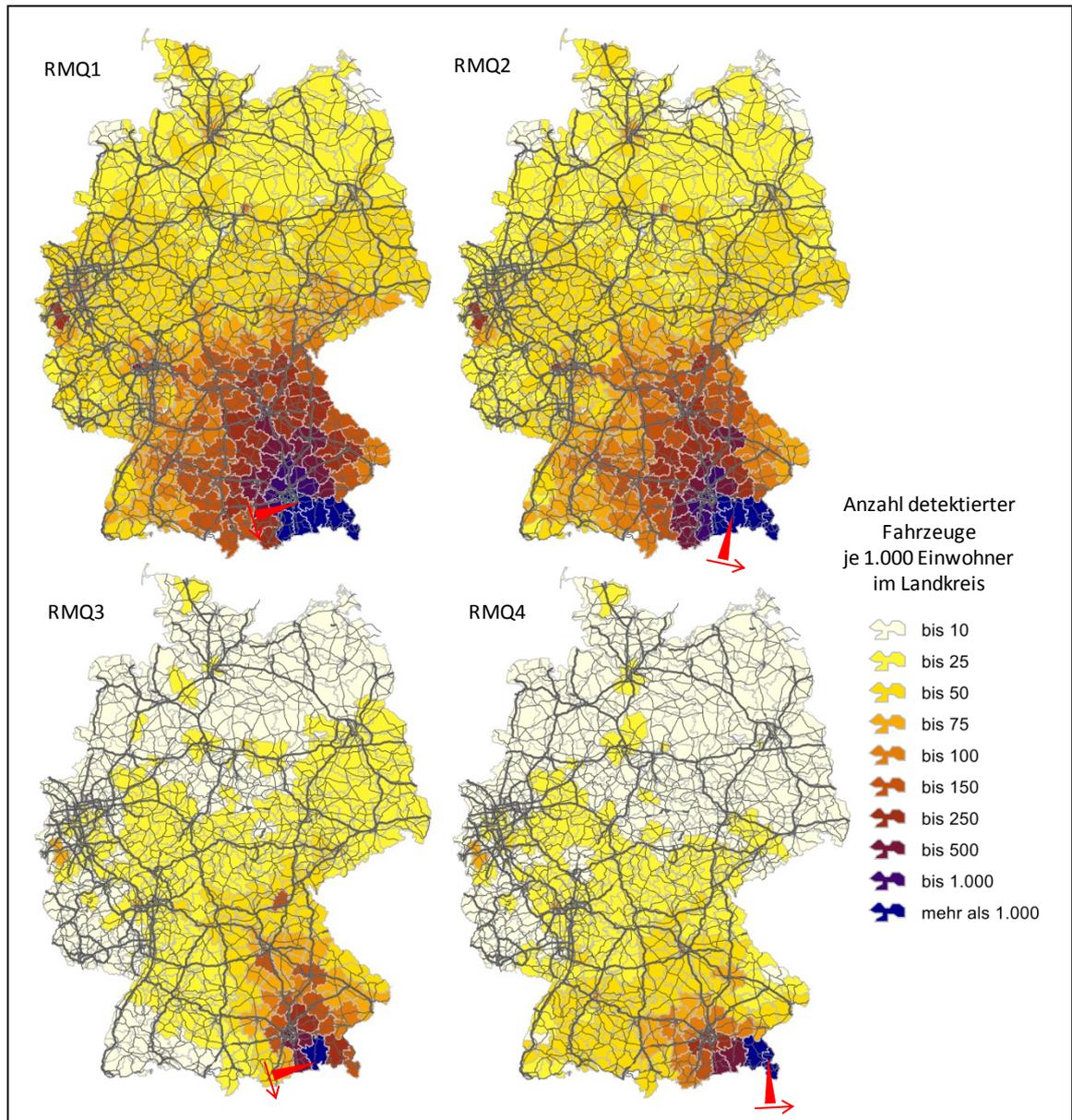


Bild 22: Anzahl der detektierten Fahrten je 1.000 Einwohner pro Landkreis für alle RMQs

Bild 22 zeigt die Herkunft aller Fahrzeuge an den entsprechenden RMQs bezogen auf die Einwohner im Landkreis, für Deutschland, für den gesamten Erhebungszeitraum. Es ist erkennbar, dass der Schwerpunkt der erfassten Herkunft der Fahrzeuge jeweils in den umliegenden Landkreisen der RMQs liegt. Außerdem lässt sich eine klare Entfernungsabhängigkeit erkennen: Je weiter der Landkreis vom RMQ entfernt liegt, desto weniger Fahrzeuge werden bezogen auf die Einwohnerzahl des Landkreises erfasst. In den auffälligen Landkreise im Westen (Düren DN und Euskirchen EU), Wiesbaden (WI) und Hamburg (HH) sind jeweils Fahrzeuge größerer Autovermietungen zugelassen.

3.2.3.2.4 Datenaufbereitung Fahrzeiten

Aus den Kamerasystemen lassen sich Fahrzeiten ableiten. Wird ein Kennzeichen an zwei unterschiedlichen Standorten erfasst, kann über die Zeitdifferenz der Erfassung die Fahrzeit ermittelt werden. Aus datenschutztechnischen Gründen werden nicht die erfassten Kennzeichen, sondern nur das Gebietskennzeichen und ein sogenannter Hash-Wert gespeichert. Das stellt sicher, dass die Kennzeichen nicht wieder rekonstruiert werden können. Es wird garantiert, dass ein erfasstes Kennzeichen an allen Kamerastandorten und während der gesamten Laufzeit durch den jeweils gleichen Hash-Wert ersetzt wird, damit Fahrzeiten ermittelt werden können. Werden im Folgenden Kennzeichen erwähnt, meint dies immer den Hash-Wert der Kennzeichen.

Die Datenqualität der Fahrzeiten hängt maßgeblich von der Erfassungsrate der einzelnen Kamerasysteme ab. Um Fahrzeiten zu ermitteln, müssen sowohl der Startquerschnitt als auch der Zielquerschnitt plausible Daten liefern. Zudem müssen die Kennzeichenerfassungssysteme die Kennzeichen richtig lesen. Wird ein Kennzeichen erfasst, jedoch falsch gelesen, kann für dieses Fahrzeug nur für den unwahrscheinlichen Fall, dass es am Zielquerschnitt auf die identische Art „falsch“ gelesen wird, eine Fahrzeit ermittelt werden.

Von der Firma CAT-Traffic, welche die Kameraerfassung durchführt, werden drei unterschiedliche Arten von Daten geliefert:

- Fahrzeuge an den Messquerschnitten (Zeitpunkt, Kennzeichen)
- Hits: wiedererkannte Fahrzeuge zwischen zwei Querschnitten (Zeitpunkt, Fahrzeit, Kennzeichen)
- TravelTime: aggregierte Fahrzeit zwischen zwei Querschnitten in zwei-Minuten Intervallen (Zeitpunkt, Fahrzeit)

In Bild 23 sind beispielhaft die aus den detektierten Fahrzeiten abgeleiteten Geschwindigkeiten für einen ausgewählten Tag zwischen zwei Kamerastandorten dargestellt. Die blauen Punkte repräsentieren die Geschwindigkeiten bzw. Fahrzeiten, die mittels eines einfachen Kennzeichenvergleichs aus den Fahrzeugen am Messquerschnitt bestimmt wurden. Diese stimmen mit den Hits (grüne Punkte) grundlegend, aber nicht vollständig überein. Es ist zu erkennen, dass nicht alle wiedererkannten Fahrzeuge in den Hits mit aufgeführt sind. Zum Beispiel gibt es keine Hits bei Geschwindigkeiten unter 40 km/h. Es ist außerdem erkennbar, dass die TravelTime (rote Linie) nicht die schnellste, sondern eine aus den Hits aggregierte Fahrzeit ist. Zusätzlich zu den Geschwindigkeiten ist in Bild 23 die Verkehrsstärke am Zielquerschnitt, ermittelt aus der Menge der Fahrzeuge, die mittels der Kamerasysteme erfasst wurden, als graue Balken dargestellt.

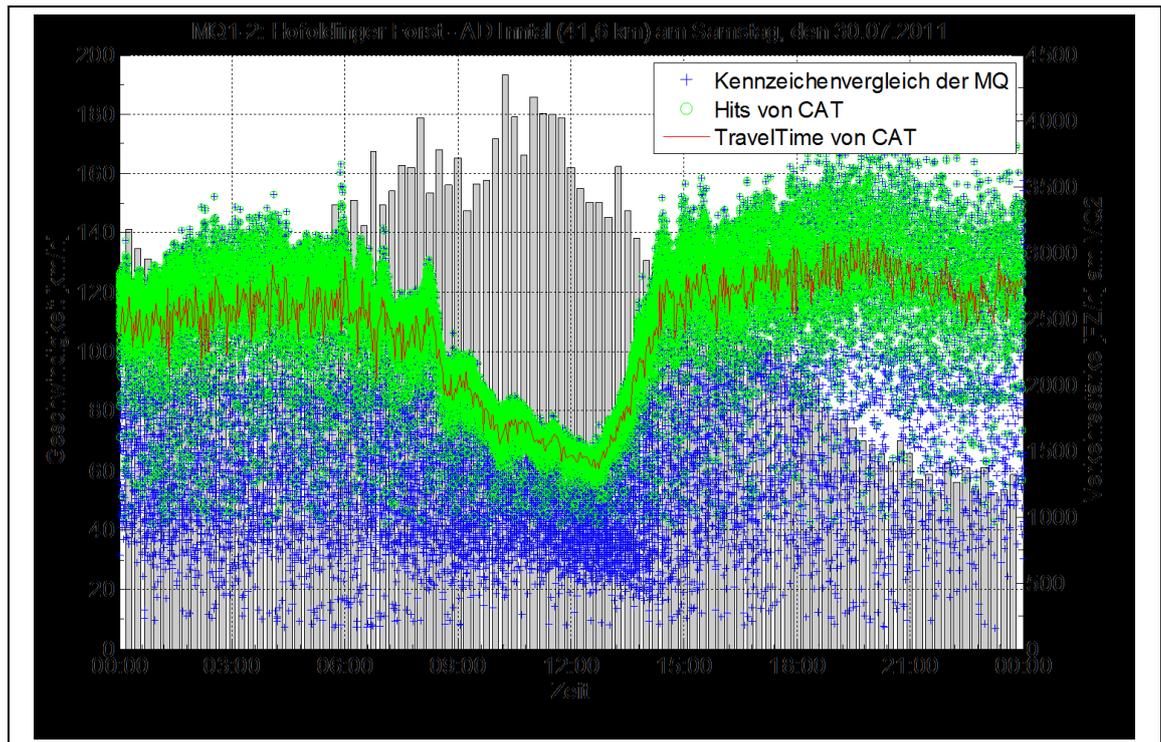


Bild 23: Verlauf der Geschwindigkeiten zwischen Anschlussstelle Hofoldingen Forst und Autobahndreieck Inttal mit Stauereignis

3.2.3.2.5 Verkehrszusammensetzung

Unterscheidung in Lkw und Pkw

Für die in AP4 durchzuführenden Analysen der Reisezeiten ist eine Klassifizierung der erfassten Fahrzeuge in die Fahrzeugklassen Pkw und Lkw sinnvoll. Allein aus den durch die Kamerasysteme erfassten Kennzeichen lässt sich die Fahrzeugklasse jedoch nicht direkt ermitteln. Über die Fahrzeiten, dem Zeitpunkt und den Fahrstreifen der Erfassung lässt sich jedoch die Fahrzeugklasse vermuten. Desweiteren wird die Tatsache ausgenutzt, dass ein bestimmtes Kennzeichen über den gesamten Untersuchungszeitraum mit dem identischen Hash-Code verschlüsselt wird. Nach den folgenden Regeln wird einem Fahrzeug die Fahrzeugklasse Pkw zugewiesen:

- Wenn eine mittlere Geschwindigkeit des Fahrzeugs (von allen Fahrten) zwischen zwei Richtungsmessquerschnitten über 95 km/h liegt.
- Wenn das Fahrzeug auf der zweiten oder dritten Überholspur bei RMQ 1 detektiert wird (bei RMQ 2-4 gibt es nur eine Überholspur)
- Wenn das Fahrzeug während eines Lkw-Fahrverbotes detektiert wird (z. B. Sonntag oder Feiertag).

Die Zuweisung eines Fahrzeuges zum Pkw erfolgt, wenn eine der drei Regeln wahr ist. Für die Zuweisung eines Fahrzeuges zur Fahrzeugklasse Lkw müssen alle folgenden Bedingungen gültig sein:

- Die mittlere Geschwindigkeit des Fahrzeugs aller Fahrten ist kleiner gleich 95 km/h.
- Das Fahrzeug wird niemals auf der zweiten oder dritten Überholspur detektiert.
- Das Fahrzeug wird niemals während eines Lkw-Fahrverbotes detektiert.
- Die mittlere Geschwindigkeit des Fahrzeugs beträgt bei einer Fahrt mindestens 75 km/h und gleichzeitig beträgt die TravelTime zu dieser Zeit mindestens 100 km/h.

Die letzte Bedingung, bei der eine TravelTime von mindestens 100 km/h gefordert wird, hat den Hintergrund, dass während einer Störung, bei der alle Fahrzeuge eine geringere Geschwindigkeit besitzen, nicht über die Geschwindigkeit auf die Fahrzeugklasse geschlossen werden darf.

Je mehr Fahrten von einem Fahrzeug erfasst werden, desto genauer kann eine Aussage über die Fahrzeugklasse gemacht werden. Unter den Fahrzeugen, die im Erhebungszeitraum von einem Jahr mindestens eine Fahrt detektiert wurde, unternehmen 25 % mehrere Fahrten. Bei 75 % der Fahrzeuge mit detektierten Fahrten findet nur eine Fahrt statt. Dabei wird berücksichtigt, dass eine Fahrt von RMQ 1 (Richtungsmessquerschnitt) nach RMQ 3 über RMQ 2 als nur eine Fahrt gezählt wird, obwohl für diese Fahrt zwei Fahrzeiten (von RMQ1 nach RMQ2 und von RMQ2 nach RMQ3) ermittelt werden.

Tabelle 5: Übersicht erfasste Fahrzeuge und Fahrten

Richtungsmess- querschnitt / Relation	Anzahl Fz [mio]	Pkw		Lkw		Nicht klassifiziert		Anzahl unter- schiedlicher Kennzeichen [mio]
		Absolut [mio]	Anteil [%]	Absolut [mio]	Anteil [%]	Absolut [mio]	Anteil [%]	
RMQ 1	18,1	15,8	87	0,8	4	1,5	8	7,0
RMQ 2	11,0	8,7	79	0,6	6	1,7	15	5,5
RMQ 3	6,4	4,6	71	0,4	6	1,4	22	3,4
RMQ 4	6,1	4,3	70	0,3	5	1,5	24	3,3
Relation 1-2	6,1	5,6	90	0,4	7	0,1	2	3,3
Relation 1-3	2,0	1,8	87	0,2	11	0,1	3	1,3
Relation 1-4	1,8	1,6	87	0,2	10	0,1	3	1,3
Relation 2-3	1,7	1,5	87	0,2	11	0,0	1	1,1
Relation 2-4	1,7	1,5	87	0,1	8	0,1	4	1,2

Mit diesem Vorgehen werden 63 % der Kennzeichen einer Fahrzeugklasse zugewiesen. Bei den Fahrzeugen, für die eine Fahrt detektiert wird, liegt der Wert bei 94 %. Bei den Fahrzeugen, für die keine Fahrt detektiert wird, können über den

Detektionszeitpunkt (Lkw-Fahrverbot) und über den Detektionsfahrstreifen 43 % der Fahrzeuge als Pkw klassifiziert werden.

Dass die Relation 1-3 mehr Fahrzeuge aufweist als die Relation 2-3, die ein Teilstück der Relation 1-3 ist, liegt an der Anzahl von Fahrzeugen die von RMQ 1 nach RMQ 3 fahren, aber nicht an RMQ 2 erfasst werden. Diese Anzahl ist größer, als die Anzahl der Fahrzeuge, die von RMQ 2 nach RMQ 3 fahren (ohne zuvor über RMQ 1 zu fahren, bzw. bei RMQ 1 nicht erfasst werden).

In diesem Verfahren werden Lkw, die während eines Lkw-Fahrverbots mit oder ohne Genehmigung unterwegs sind, als Pkw klassifiziert. Ein Lkw, der sich nicht an die Geschwindigkeitsbeschränkung hält und eine mittlere Geschwindigkeit von 95 km/h überschreitet, wird ebenfalls als Pkw klassifiziert. Dagegen werden Pkw, die an allen ihren detektierten Fahrten mit einer mittleren Geschwindigkeit von kleiner als 95 km/h und größer als 75 km/h (bei gleichzeitiger TravelTime die mindestens 100 km/h entspricht) detektiert werden, als Lkw klassifiziert. Dieser Fall kann auch auftreten, wenn ein Pkw-Fahrer eine Pause macht oder sein Fahrzeug tankt. Insgesamt werden mit diesem Verfahren den Fahrzeugen mehr Pkw zugeordnet als Lkw. Aufgrund der Unsicherheit sollten nach dieser Klassifizierung keine Lkw-Anteile abgeleitet werden. Hierfür sind Induktionsschleifen, über welche auch Daten verfügbar sind, deutlich genauer.

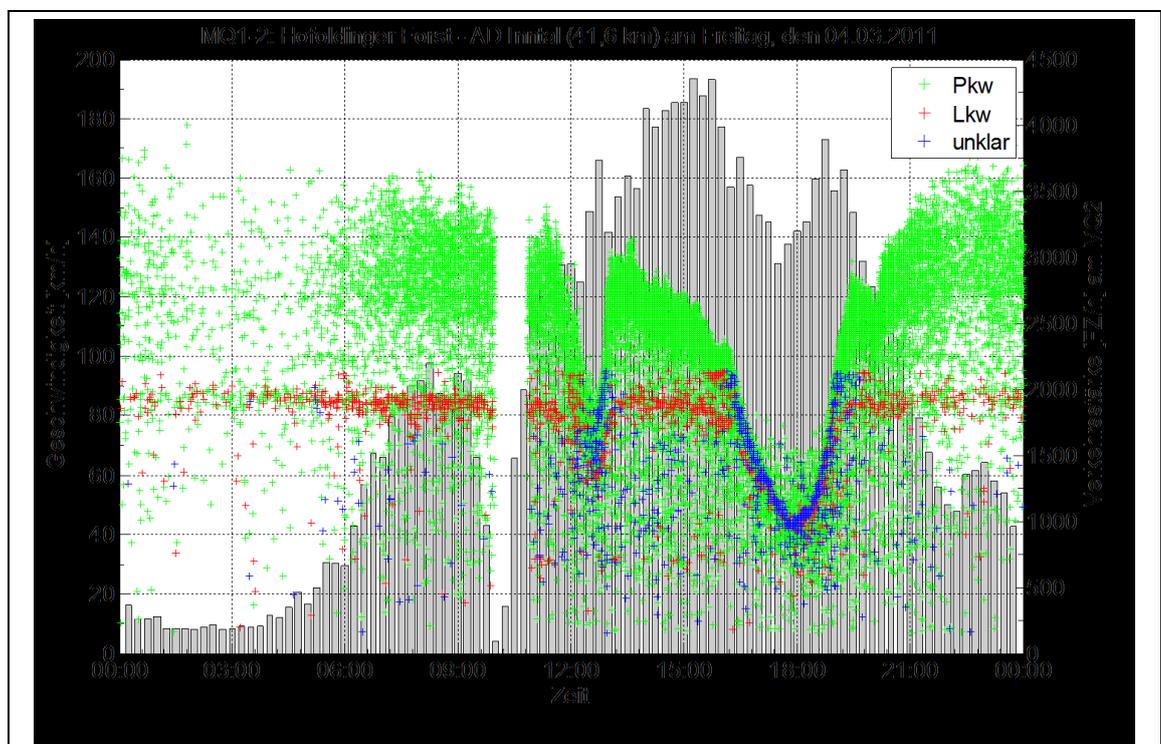


Bild 24: Pkw/Lkw-Klassifizierung der Fahrzeuge mit Hilfe der Kameradaten

Bild 24 zeigt die Verteilung von Pkw, Lkw und Fahrzeugen, die nicht zugeordnet werden konnten. Eine Häufung der Fahrzeuge, die nicht zugeordnet werden, erkennt

man um 12:00 Uhr und 18:00 Uhr. Dies ist genau dann der Fall, wenn die Geschwindigkeit durch eine Störung, z. B. durch erhöhtes Verkehrsaufkommen erkennbar an den grauen Balken, abfällt.

Herkunft der Fahrzeuge

Die Verkehrszusammensetzung kann anhand der Herkunft der Fahrzeuge in verschiedene Klassen eingeteilt werden. Es wird zwischen Fahrzeugen unterschieden, die aus der nahen Umgebung des Untersuchungsgebietes kommen (Regionalverkehr) und denen, welche von außerhalb dieses Gebiets kommen (Fernverkehr). Als Regionalverkehr gelten alle Fahrzeuge aus den Landkreisen, die von der Untersuchungsstrecke durchquert werden, und alle direkt benachbarten Landkreise. Die ausgewählten Landkreise sind in Bild 25 zu sehen. Die Verkehrszusammensetzung bezüglich der Herkunft der Fahrzeuge ist nur für die Fahrtrichtung von München nach Salzburg und Kiefersfelden bekannt, da nur für diese Fahrtrichtung die ANPR-Kamerasysteme eingesetzt wurden.

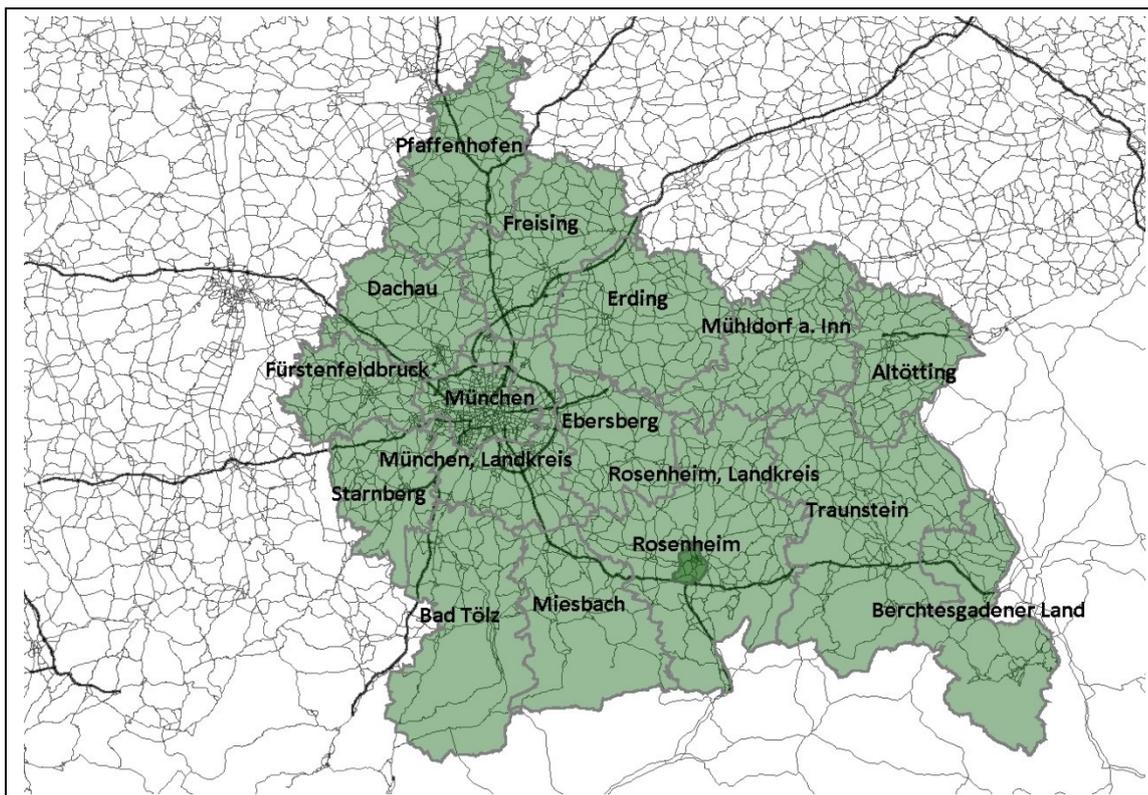


Bild 25: Landkreise, welche als Regionalverkehr definiert sind

Diese Unterscheidung in der Verkehrszusammensetzung wird unternommen, um die Auswirkungen bei unterschiedlichen Anteilen an Regionalverkehr auf die Verkehrssicherheit und die Fahrzeiten zu untersuchen. Es wird vermutet, dass Fahrzeuge aus dem umliegenden Gebiet die Strecke besser kennen und aufgrund der geringeren

Fahrtweite weniger Ermüdungserscheinungen und Konzentrationsschwächen zu erwarten sind. Dadurch wird vermutlich sowohl das Unfallrisiko als auch der Verkehrsablauf beeinflusst. Darüber hinaus erfolgt eine separate Betrachtung des Regionalverkehrs während der Analyse des Wettereinflusses auf die Verkehrsnachfrage. Vermutlich werden überregionale Fahrten weniger in Abhängigkeit des Wetters durchgeführt als regionale Fahrten.

Bei dieser Unterscheidung zwischen Regionalverkehr und Fernverkehr wird unterstellt, dass ein Fahrzeug, welches in einem Landkreis zugelassen ist, auch dort beheimatet ist. Das gilt sicherlich nicht für alle Fahrzeuge. Es kann z. B. nicht berücksichtigt werden, dass ein ortskundiger Bewohner aus Rosenheim ein Fahrzeug von einer Autovermietung mietet, welches in Hamburg zugelassen ist und damit als Fernverkehr zählt. Genauso können Fahrzeuge, welche in den ausgewählten Landkreisen des Regionalverkehrs zugelassen sind, von nicht-ortskundigen Fahrern auf der Untersuchungsstrecke gefahren werden. Es wird angenommen, dass diese Fälle eher die Ausnahme sind.

Für die Auswertung der Einflüsse des Regionalverkehrs auf die Verkehrssicherheit (Kapitel 3.3.1) und die Fahrzeit (Kapitel 3.3.4) wird der Anteil des Regionalverkehrs in drei Klassen eingeteilt: wenig Regionalverkehr, mittlerer Regionalverkehr und viel Regionalverkehr. Die Häufigkeit dieser Klassen und die Grenzen für die Unterscheidung zwischen wenig, mittlerem und viel Regionalverkehr können beispielhaft für den Messquerschnitt Hofoldingener Forst aus Tabelle 6 entnommen werden. Die Grenzen werden mit dem Algorithmus k-Means (vgl. MACQUEEN [21]) festgelegt. Dadurch wird sichergestellt, dass sich ähnlich Anteile an Regionalverkehr in derselben Klasse befinden. Hinweis: In Tabelle 6 meint „Samstag nachts (23:00-07:00)“ die Zeiten an einem Samstag zwischen 23:00 und 24:00 Uhr (Nacht vor Sonntag) und die Zeiten an einem Samstag zwischen 00:00-07:00 Uhr (Nacht auf Samstag),

Tabelle 6: Anzahl und mittlere Verkehrsstärke der Zeitintervalle mit wenig, mittlerem und viel Regionalverkehr aufgeteilt nach Wochenzeit am Messquerschnitt Hofoldingener Forst.

	Regionalverkehr					
	wenig (0-27 %)		mittel (27-43 %)		viel (43-100 %)	
	Anzahl	Q [Kfz/h]	Anzahl	Q [Kfz/h]	Anzahl	Q [Kfz/h]
Wochentag morgens (07:00-09:00)	50	2.500	400	2.400	1.550	2.200
Wochentag abends (15:00-23:00)	150	2.500	2.050	2.100	5.650	2.400
Wochentag nachts (23:00-07:00)	4.800	400	2.400	700	800	900
Wochentag mittags (09:00–15:00)	200	3.400	4.250	2.800	1.500	2.600
Samstags nachts (23:00-07:00)	1.050	1.200	350	600	200	600
Samstags tagsüber (07:00-23:00)	800	3.800	1.300	2.600	1.150	1.600
Sonntags nachts (23:00-07:00)	350	800	700	500	550	300
Sonntags tagsüber (07:00-23:00)	500	3.400	1.800	2.200	950	1.800

Tabelle 6 veranschaulicht, dass wenig Regionalverkehr überwiegend nachts auftritt. In den Nachtstunden liegt überwiegend wenig Verkehrsnachfrage vor. Die Zeitintervalle mit mittlerem Regionalverkehr liegen häufig tagsüber außerhalb von Wochentags morgens und Wochentags abends. Zu diesen Zeiten befindet sich meist viel Regionalverkehr auf der Untersuchungsstrecke. Mit Ausnahme von „Wochentag nachts“ liegt die durchschnittliche Verkehrsstärke bei wenig Regionalverkehr an den unterschiedlichen Wochenzeiten höher als viel Regionalverkehr. Am deutlichsten ist die Steigerung der Verkehrsstärke für „Samstag tagsüber“. Aufgrund der Anzahl der Zeitintervalle bei Wochentag abends und nachts ist der Mittelwert der Verkehrsstärke über alle Zeitintervalle für viel Regionalverkehr fast doppelt so groß, wie bei wenig Regionalverkehr.

3.2.3.3 Daten aus Verkehrsbeeinflussungsanlagen

Die Daten für die Verkehrsbeeinflussungsanlagen stammen aus dem Archiv der Unterenzentralen der ABDS. Hier werden für alle Anzeigequerschnitte täglich die Änderungen Schaltzustände in XML-Dateien archiviert. Um das erhebliche Datenvolumen zu begrenzen, wurden die Daten ausschließlich für den Zeitraum von Februar 2011 bis Januar 2012 aufbereitet, in dem auch Kameradaten vorhanden sind.

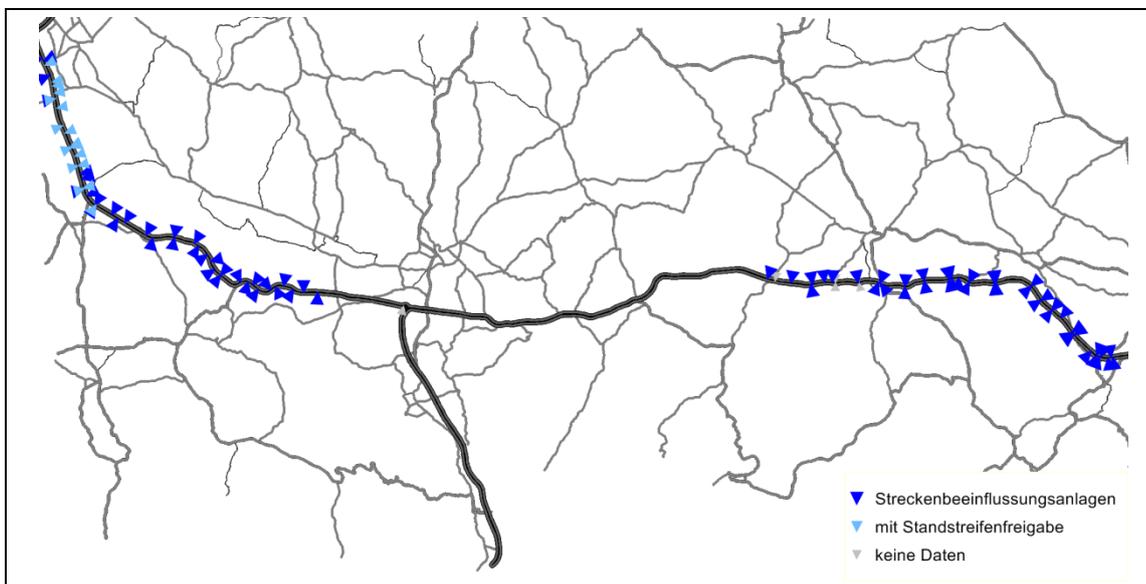


Bild 26: Räumliche Übersicht der Streckenbeeinflussungsanlagen

Streckenbeeinflussungsanlagen befinden sich im Untersuchungsgebiet ausschließlich auf der A8. In Bild 26 ist die räumliche Lage der Anzeigequerschnitte dargestellt. Blau dargestellt sind solche Querschnitte, für die die Schaltzustände ausgewertet wurden. Hellblau dargestellt, sind die Bereiche, in denen eine Standstreifenfreigabe geschaltet werden kann.

Grundsätzlich existieren Schaltzustände, die die vorhandene Kapazität der jeweiligen Streckenabschnitte direkt erhöhen (Standstreifenfreigabe) und solche, die die Kapazität direkt verringern (Fahrstreifensperrungen). Darüber hinaus existieren Schaltzustände, die das Fahrverhalten des Fahrzeugkollektivs beeinflussen, wie Geschwindigkeitsbegrenzungen, Überholverbote und Gefahrenzeichen, z. B. Schleudergefahr oder Glätte (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Übersicht der Daten aus Streckenbeeinflussungsanlagen

Kapazität beeinflussende Schaltungen	Fahrverhalten beeinflussende Schaltungen
<ul style="list-style-type: none"> • Standstreifenfreigabe • Fahrstreifensperrungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Geschwindigkeitsbegrenzungen • Überholverbot • angezeigte Gefahrenzeichen

Für die Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Fahrzeit, Verkehrsstärke, Kapazität und Wetter, geben die Schaltzustände Informationen über die gegebenen Rahmenbedingungen, wie zulässige Geschwindigkeit und vorhandene Anzahl befahrbarer Fahrstreifen.

Tabelle 8: Übersicht über erfasste Schaltzustände für einen Querschnitt in Nähe des Hofoldingner Forst (Fahrtrichtung Salzburg)

Schaltzustand	AQ 46140
	mittlere Schaltdauer pro Tag [min/d]
Zulässige Geschwindigkeit 60 km/h	5
Zulässige Geschwindigkeit 80 km/h	47
Zulässige Geschwindigkeit 100 km/h	81
Zulässige Geschwindigkeit 120 km/h	310
Standstreifenfreigabe	144
1 Fahrstreifen gesperrt	3
2 Fahrstreifen gesperrt	0
Überholverbot	0
Lkw - Überholverbot	223
Gefahrenzeichen "Gefahr allgemein"	6
Gefahrenzeichen oder Text "Glätte"	6
Gefahrenzeichen oder Text "Stau"	7
Text "Staugefahr"	6
Text "Sicht"	6

Tabelle 8 zeigt die Häufigkeit der protokollierten Schaltzustände beispielhaft für einen Querschnitt in der Nähe des Hofoldingner Forst in Fahrtrichtung Salzburg. In der Tabelle ist die mittlere Schaltdauer auf die Anzahl der Tage normiert. Beispielsweise wurde an diesem Querschnitt im Mittel für jeden Tag mehr als zwei Stunden die

Standstreifenfreigabe aktiviert. Auch das Überholverbot für Lkw ist häufig geschalt. Für jeden Schaltzustand ist sowohl der räumliche (ID des Anzeigequerschnittes) und zeitliche Bezug (Beginn und Dauer) und die inhaltliche Ausprägung in der WOLKE-Datenbank hinterlegt (siehe Datenbank-Spezifikation im Anhang). Die Daten stehen ohne räumliche und zeitliche Lücken zur Verfügung.

3.2.3.4 Unfalldaten

Für das Untersuchungsgebiet stehen Unfalldaten für den Zeitraum von 01.01.2008 bis 28.02.2012 zur Verfügung. Darin enthalten sind alle polizeilich erfassten Unfälle charakterisiert durch eine Vielzahl von Kennziffern. In Bild 27 sind beispielhaft die erfassten Unfälle mit Personenschaden im Jahr 2010 dargestellt. Es ist erkennbar, dass diese räumlich im gesamten Untersuchungsraum streuen.

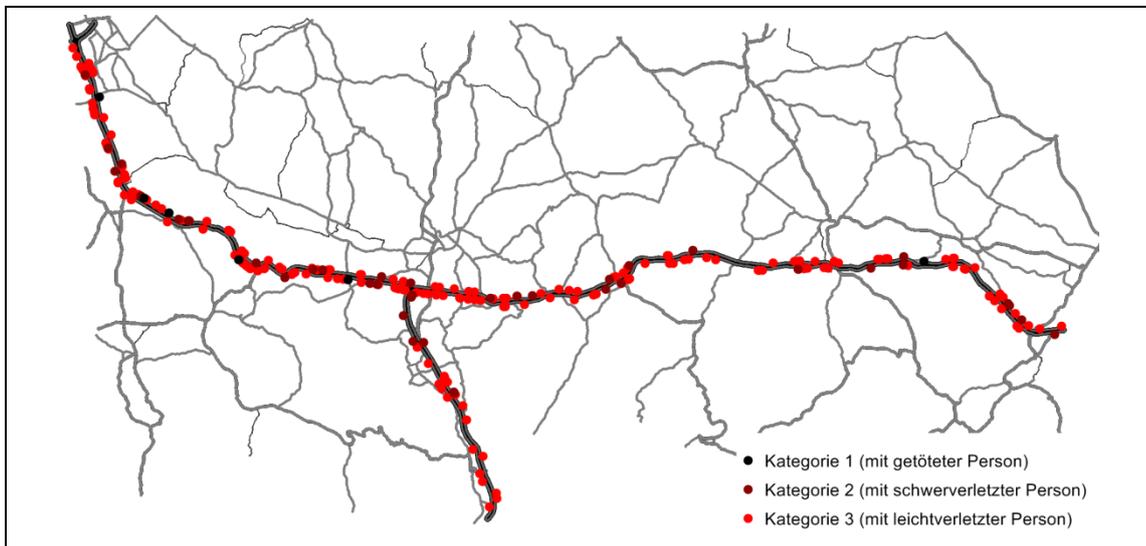


Bild 27: Verortete Unfälle mit Personenschaden für das Jahr 2010

Insgesamt wurden 7.129 Unfälle während des Untersuchungszeitraums erfasst. Eine zusammenfassende Erhebungsstatistik getrennt nach Jahr und Unfallkategorie ist in Tabelle 9 enthalten. An fast jedem Tag wurde mindestens ein Unfall erfasst. Es sind keine Datenlücken vorhanden. Mit Hilfe der Unfalldaten werden die Auswirkungen des Wetters auf die Verkehrssicherheit analysiert (Kapitel 3.3.1).

Tabelle 9: Unfallstatistik nach Jahr und Unfallkategorie

	Unfallstatistik – Anzahl Unfälle				
	2008	2009	2010	2011	2008-02/2012
Alle Unfälle	1717	1780	1747	1553	7129
Unfall mit Getöteten	4	5	6	3	18
Unfall mit Schwerverletzten	30	40	40	26	144
Unfall mit Leichtverletzten	196	193	207	190	821
Schwerwiegender Unfall mit nur Sachschaden	396	385	393	311	1563
Übriger Sachschadensunfall (einschließlich Alkoholunfall)	1091	1157	1101	1023	4583

3.2.3.5 Wetterdaten

Grundsätzlich sind zwei Quellen für Wetterdaten zu unterscheiden:

- Straßenwettermessstellen im SWIS und SBA auf der Autobahn A8 im Bereich der Unterzentralen Holzkirchen und Siegsdorf auf der Strecke München – Salzburg
- Synoptische Wetterstationen der Wetterdienste im Zielgebiet München, Kufstein, Salzburg in Bayern und im grenznahen Österreich

Aus dem bei MicKS vorhandenen Kenntnissen über die prinzipiell vorhandenen Messmöglichkeiten und den Vorrecherchen über den Bedarf wurde zusammen mit der UniS eine Spezifikation über die Datenbank für die wetterrelevanten dynamischen Daten, sowie die statischen Eigenschaften der Datenquellen erstellt.

3.2.3.5.1 Ort und Lage der Wetterdaten

Die Kartenübersicht zeigt die ungefähren Standorte der Wetterdatenquellen im Zielgebiet (die österreichischen Wetterstationen sind dort nicht enthalten). Eine genaue Liste aller Messquerschnitte für Straßenwetter- und Umfelddaten und deren archivierten Datentypen ist in Tabelle 10 wiedergegeben.

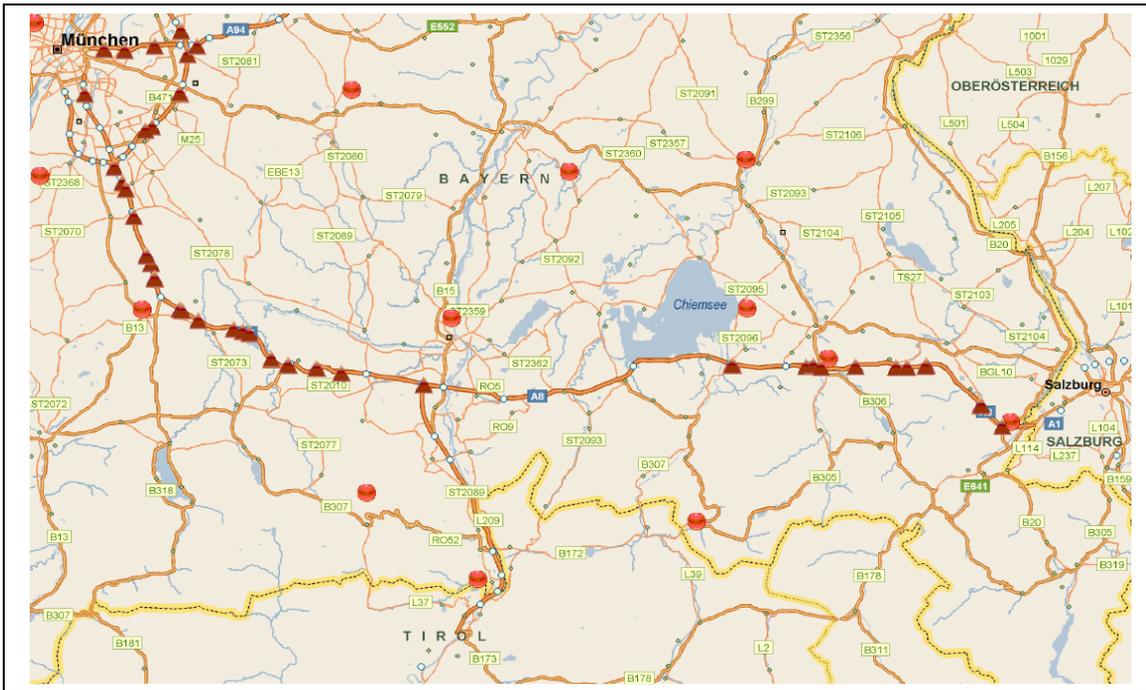


Bild 28: Grobe Übersicht die Standorte zur Wetterdatenerfassung (▲ = Straßenwetter; ● = synoptische Wetterstation)

Tabelle 10: Liste der Standorte der archivierten WQ Messstationen und deren Datentypen (nähere Erläuterungen im Text)

CODE	XCOORD	YCOORD	DIREC	BAB	KM	SUBCENTER	FBT	FBZ	GT	LT	NA	NI	NS	RLF	RS	SW	TPT	TT1	TT3	WGM	WR
BRUN2_Sbg_H	12,09	47,81	1	A8	54,36	Holzkirchen	X	X	X	X				X			X	X			
FORST_Mch_H	11,7	47,92	2	A8	21,1	Holzkirchen	X	X	X	X				X			X	X	X	X	X
PERL_Mch_H	11,61	48,09	2	A8	1,38	Holzkirchen	X	X	X	X	X			X			X	X			
Q25_Sbg_H	11,65	48,02	1	A8	9,99	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X			
Q29_Mch_H	11,67	48	2	A8	11,76	Holzkirchen	X	X	X					X			X				
Q29_Sbg_H	11,66	48	1	A8	11,76	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Q33_Mch_H	11,68	47,97	2	A8	15,65	Holzkirchen	X	X	X					X			X				
Q33_Sbg_H	11,68	47,97	1	A8	15,62	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Q37_Mch_H	11,7	47,93	2	A8	20,12	Holzkirchen	X	X	X					X			X				
Q37_Sbg_H	11,7	47,93	1	A8	20,12	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		
Q43_Mch_H	11,71	47,91	2	A8	23,3	Holzkirchen	X	X	X					X			X				
Q43_Sbg_H	11,71	47,91	1	A8	23,3	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X		
Q49_Mch_H	11,75	47,88	2	A8	27,3	Holzkirchen	X	X	X					X			X				
Q49_Sbg_H	11,75	47,88	1	A8	27,3	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		
Q55_Mch_H	11,77	47,87	2	A8	30,45	Holzkirchen	X	X	X					X			X				
Q55_Sbg_H	11,77	47,87	1	A8	30,45	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X		X			X	X			
Q59_Mch_H	11,82	47,86	2	A8	33	Holzkirchen	X	X	X					X			X				
Q59_Sbg_H	11,82	47,86	1	A8	33	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		
Q62_Mch_H	11,83	47,86	2	A8	35,37	Holzkirchen	X	X	X					X			X				
Q62_Sbg_H	11,84	47,86	1	A8	35,37	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Q69_Mch_H	11,87	47,83	2	A8	39,05	Holzkirchen	X	X	X					X			X				
Q69_Sbg_H	11,87	47,83	1	A8	39,05	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		
Q75_Mch_H	11,9	47,82	2	A8	41,22	Holzkirchen	X	X	X					X			X				
Q75_Sbg_H	11,9	47,82	1	A8	41,22	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X			
Q83_Mch_H	11,94	47,82	2	A8	44,3	Holzkirchen	X	X	X					X			X				
Q83_Sbg_H	11,94	47,82	1	A8	44,3	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Q89_Mch_H	11,97	47,82	2	A8	47,02	Holzkirchen	X	X	X					X			X				
Q89_Sbg_H	11,97	47,82	1	A8	47,02	Holzkirchen	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X			
Q203_Mch	12,51	47,83	2	A8	89,65	Siegsdorf						X	X			X					
Q205_Mch	12,52	47,83	2	A8	90,15	Siegsdorf	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X		
Q205_Sbg	12,52	47,83	1	A8	90,15	Siegsdorf	X	X	X					X			X				
Q223_Mch	12,62	47,82	2	A8	96,95	Siegsdorf	X	X	X					X			X				
Q223_Sbg	12,62	47,82	1	A8	96,95	Siegsdorf	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X
Q225_Mch	12,63	47,82	2	A8	98,17	Siegsdorf	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Q225_Sbg	12,63	47,82	1	A8	98,17	Siegsdorf	X	X	X					X			X				
Q231_Mch	12,64	47,82	2	A8	99,48	Siegsdorf	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Q231_Sbg	12,64	47,82	1	A8	99,48	Siegsdorf	X	X	X					X			X				
Q238_Mch	12,69	47,82	2	A8	103,26	Siegsdorf	X	X	X					X			X				
Q238_Sbg	12,69	47,82	1	A8	103,26	Siegsdorf	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X		
Q249_Mch	12,75	47,82	2	A8	107,6	Siegsdorf	X	X	X					X			X				
Q249_Sbg	12,75	47,82	1	A8	107,6	Siegsdorf	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Q251_Mch	12,76	47,82	2	A8	108,6	Siegsdorf	X	X	X					X			X				
Q251_Sbg	12,76	47,82	1	A8	108,6	Siegsdorf	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X			
Q256_Mch	12,79	47,82	2	A8	110,97	Siegsdorf	X	X	X					X			X				
Q256_Sbg	12,79	47,82	1	A8	110,97	Siegsdorf	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X		
Q257_Sbg	12,81	47,82	1	A8	112,8	Siegsdorf						X	X			X					
Q261_Sbg	12,84	47,81	1	A8	117,51	Siegsdorf						X	X			X					
Q267_Mch	12,86	47,78	2	A8	117,99	Siegsdorf	X	X	X					X			X				
Q267_Sbg	12,86	47,78	1	A8	117,99	Siegsdorf	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Q275_Mch	12,89	47,76	2	A8	121,25	Siegsdorf	X	X	X					X			X				
Q275_Sbg	12,89	47,76	1	A8	121,24	Siegsdorf	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X		

Für die Stationen liegt die grobe geografische Position in Längen- (XCOORD) und Breitengraden (YCOORD) vor. Für die Zuordnung zu den Verkehrsdaten wird jedoch die Zugehörigkeit zu den Knoten bzw. Kanten des digitalen INTREST Kartenmodells des Freistaats Bayern verwendet. Die Zuordnung ist von UniS in der Basisdatenbank vorgenommen worden. Ersatzweise kann auch die Kilometrierung dafür verwendet werden. Verlässliche und vollständige Angaben über die geografische Höhe über NN liegen von den Straßenwetterstationen der A8 derzeit leider nicht vor.

Die folgende Tabelle 11 enthält die Liste aller Standorte der zur Verfügung stehenden synoptischen Wetterstationen und der erfassten Datentypen.

Tabelle 11: Liste der für WOLKE ausgewählten synoptischen Wetterstationen und die dazugehörigen Datentypen.

CODE	NAME	L	B	H	Gebiet	Land	NM	NI	NS	LT	SoS	LRF	WR	WGM
P856	Holzkirchen	11,698	47,883	685	MB	D	X	X	X	X	X	X		
P532	Kösching	11,489	48,831	417	EI	D	X	X	X	X	X	X		
10865	München-Stadt	11,544	48,164	515,2	M	D	X	X	X	X	X	X	X	X
P975	Kiefersfelden-Gach	12,168	47,619	518	RO	D	X	X	X	X	X	X		
10980	Wendelstein	12,013	47,704	1832	MB	D	X	X	X	X	X	X	X	X
P982	Reit im Winkl	12,471	47,676	685	TS	D	X	X	X	X	X	X		
AT001	Seefeld	11,175	47,333	1182	SF	AT	X	X		X	X	X	X	X
AT002	Patscherkofel	11,462	47,21	2247	PK	AT	X	X		X	X	X	X	X
AT003	Kufstein	12,163	47,575	493	KU	AT	X	X		X	X	X	X	X
AT004	Hahnenkamm	12,362	47,419	1790	HK	AT	X	X		X	X	X	X	X
AT005	Achenkirch	11,705	47,533	906	AK	AT	X	X		X	X	X	X	X
AT006	Salzburg	13,052	47,791	420	SB	AT	X	X		X	X	X	X	X
AT007	Innsbruck	11,35	47,267	584	IB	AT	X	X		X	X	X	X	X
AT008	Kitzbuehel	12,393	47,448	744	KB	AT	X	X		X	X	X	X	X
AT009	Koessen	12,394	47,663	589	KS	AT	X	X		X	X	X	X	X

3.2.3.5.2 Definition der lokalen Wetterklassen

Für die Untersuchungen des Einflusses des Wetters auf die Verkehrssicherheit und Fahrzeit werden die Wetterklassen von MickS [26] verwendet und zu zwei Wetterklassen zusammengefasst (Tabelle 12). Dadurch erhöht sich die Anzahl der Zeitintervalle je Wetterklasse was zur einer verbesserten statistischen Absicherung führt. Weil es dominierendere Einflüsse auf den Verkehrsablauf als das Wetter gibt (z. B. die Verkehrsstärke, Baustellen oder Unfälle), ist eine große Anzahl an Zeitintervallen wichtig, damit sich die dominanten Einflussfaktoren relativieren. Durch diese Vereinfachung der Wetterklassen, sind die Wetterklassen unabhängig von der Temperatur. Der Einfluss des Wetters auf den Verkehrsablauf kann vor allem bei Niederschlag und Temperaturen unter dem Gefrierpunkt einen größeren Einfluss haben, als bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt. Der Umfang der Fahrzeiterfassung ist für diese differenzierte Bewertung jedoch nicht ausreichend, da wenige Fahrzeitmessungen in den Wintermonaten bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt und gleichzeitigem Niederschlag vorliegen (vgl. Kapitel 3.2.3.2.2, Seite 33).

Tabelle 12: Vereinfachte Wetterklassen für die Analyse der Verkehrssicherheit und Fahrzeiten

Wetterklassen micKS	Wetterklassen Verkehrssicherheit	Wetterklassen Fahrzeiten
Trocken	kein Niederschlag	kein / leichter Niederschlag
Nass (leichter Regen)	Niederschlag	
Glätte (leichter Regen)		
Matsch (leichter Schneefall)		
Schnee (leichter Schneefall)		
Nass (starker Regen)		mäßiger / starker Niederschlag
Matsch (mittlerer Schneefall)		
Schnee (mittlerer Schneefall)		
Matsch (starker Schneefall)		
Schnee (starker Schneefall)		

Die Wetterklassen für Verkehrssicherheit und Fahrzeiten unterscheiden sich, weil einem Unfall das Wetter aus einer Wetterstation zugeordnet werden kann, hingegen den Abschnitten für die der Wettereinfluss auf die Fahrzeit untersucht wird, aufgrund der räumlichen Ausdehnung mehrere Wetterstationen zugeordnet sein können. Bei mehreren Wetterstationen soll sichergestellt werden, dass ein Mindestniederschlag im Mittel über den Abschnitt vorliegt, damit nicht einem Zeitintervall bereits „Niederschlag“ zugeordnet wird, wenn an einer Wetterstation ein leichter Niederschlag detektiert wird, aber der Rest des Abschnitts trocken ist. Durch den Grenzwert für den Mindestniederschlag wird sichergestellt, dass es entweder an einem Teilabschnitt einen starker Niederschlag oder über den gesamten Abschnitt ein mittlerer Niederschlag vorliegt. In beiden Situationen wird davon ausgegangen, dass sich der Wettereinfluss auf den Verkehrsablauf auswirkt. Der Grenzwert für die Unterscheidung der Wetterklassen „kein / leichter Niederschlag“ und „mäßiger / starker Niederschlag“ beträgt 0,5 mm/h und entstammt aus der Wetterklassendefinition von MicKS [26]. Im Folgenden wird bei der Bezeichnung der Wetterklassen häufig „Niederschlag“ mit NS abgekürzt.

3.2.3.5.3 Definition der regionalen Wetterklassen

Für die Untersuchung der Verkehrsnachfrage wurde zunächst vom österreichischen Projektpartner UBIMET ein Vorschlag für eine achteilige Wetterklasseneinteilung erstellt. Die Wetterklassen wurden anhand der Kenngrößen Sonnenscheindauer, Niederschlagsmenge und Temperatur definiert. Um lokale Besonderheiten zu berücksichtigen, wurden insbesondere bei den Niederschlagsmengen Perzentilwerte berücksichtigt. Auch die besonders heißen und kalten Tage wurden anhand von Perzentilwerten bisher gemessener Temperaturen an der jeweiligen Wetterstation festgelegt. Eine Übersicht der Wetterklassen findet sich in Tabelle 13.

Tabelle 13: Vereinfachte Wetterklassen für die Analyse der Verkehrsnachfrage

Wetterklassen Ubmimet	Definition	Wetterklassen WOLKE
Topwetter	≥90 % von max. möglicher Sonnenscheindauer ≤0,2 mm Niederschlag	Topwetter
Heiß	≥ 98 %-Perzentil der Temperatur	Mittelwetter
Kalt	≤ 2 %-Perzentil der Temperatur	
Trocken	≤0,2 mm Niederschlag	
Schauerwetter	≥50 % von max. möglicher Sonnenscheindauer zwischen 9:00 und 21:00 >0,2 mm Niederschlag	
Leichter Regen	>0,2 und ≤66 %-Perzentil mm Niederschlag	Schlechtes Wetter
Starker Regen	> 66 %-Perzentil mm Niederschlag	
Schnee	>1 cm Neuschnee	Schnee

Um die Anzahl der Wetterereignisse je Wetterklasse und damit die statistische Sicherheit zu erhöhen, wurden die acht Wetterklassen von der Universität Stuttgart zu vier Wetterklassen zusammengefasst. Die Zusammenfassung der Wetterklassen erfolgte während der Analysephase in einem iterativen Prozess.

Tabelle 14: Häufigkeit der Wetterklassen für die Wetterstationen für den gesamten Erhebungszeitraum

Wetterstation	Topwetter relativ (absolut)	Mittelwetter relativ (absolut)	Schlechtes Wetter relativ (absolut)	Schnee relativ (absolut)	Keine Daten relativ (absolut)
Achenkirch	1 % (18)	49 % (965)	32 % (636)	4 % (71)	15 % (289)
Hahnenkamm	20 % (389)	33 % (660)	22 % (445)	9 % (186)	15 % (299)
Holzkirchen	-	50 % (991)	43 % (846)	3 % (66)	4 % (76)
Innsbruck	12 % (244)	43 % (846)	23 % (454)	2 % (34)	20 % (401)
Kiefersfelden	-	51 % (1002)	43 % (850)	2 % (47)	4 % (80)
Kitzbühel	9 % (169)	44 % (867)	28 % (456)	3 % (57)	17 % (340)
Koessen	7 % (135)	33 % (646)	24 % (480)	3 % (50)	34 % (668)
Kösching	15 % (289)	48 % (944)	32 % (632)	2 % (40)	4 % (41)
Kufstein	6 % (123)	48 % (946)	29 % (574)	2 % (38)	15 % (298)
München-Stadt	16 % (313)	46 % (714)	34 % (666)	2 % (32)	3 % (54)
Patscherkofel	16 % (317)	40 % (789)	16 % (312)	10 % (192)	19 % (369)
Reit im Winkel	-	47 % (937)	42 % (834)	4 % (77)	7 % (131)
Salzburg	10 % (189)	42 % (829)	32 % (635)	1 % (28)	15 % (298)
Seefeld	8 % (163)	47 % (937)	26 % (509)	5 % (98)	14 % (272)
Wendelstein	-	4 % (80)	-	-	96 % (1899)

Eine Zuordnung der feinen Wetterklassen zu der verwendeten gröberen Wetterklasseneinteilung findet sich ebenfalls in Tabelle 13. Nicht alle ausgesuchten Wetter-

stationen liefern die für diese Wetterklasseneinteilung benötigten Daten. Aufgrund fehlender Daten bezüglich der Sonnenscheindauer kann für die Wetterstationen Holzkirchen, Kiefersfelden, Reis im Winkel und Wendelstein die Wetterklasse "Topwetter" nicht definiert werden. Die in Tabelle 14 fett markierten Wetterstationen Kufstein, München-Stadt und Salzburg werden aufgrund ihrer räumlichen Lage im Untersuchungsgebiet für die Analysen im Kapitel 3.3.2 bzw. 3.3.3 und die vorgestellte Prognose in Kapitel 3.4 herangezogen.

3.2.4 Zusammenfassung Datenaufbereitung

Die Messdatenbank wurde mit allen projektrelevanten Messdaten aufgebaut und dient als Grundlage für alle folgenden Auswertungen. Folgende Daten sind enthalten:

- Fahrstreifenfeine Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten von 141 Messquerschnitten in 1-Minuten Intervallen von Januar 2008 – April 2013
Die Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten sind plausibilisiert und für einen RMQ zu 15- und 60-Minuten Intervallen zusammengefasst. Fehlerhafte bzw. fehlende Datensätze wurden, wenn möglich, korrigiert bzw. ergänzt.
- Erfasste Kennzeichen der Kamerasysteme von Mitte Februar 2011 bis Januar 2012
Es wurden Fahrzeiten zwischen den Kameraquerschnitten gebildet. Sofern möglich, wurde anhand der Fahrzeit und dem Zeitpunkt der Erfassung eine Fahrzeugklasse (Pkw, Lkw) abgeleitet. Unter Verwendung der stationär erfassten Verkehrsstärken wurde ein Hochrechnungsfaktor für jedes Kennzeichen ermittelt. Anhand des Gebietskennzeichens wurde für alle Zeitintervalle der Anteil des Regionalverkehrs gebildet.
- Daten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen (Februar 2011 bis Januar 2012)
Die Schaltzustände von Geschwindigkeitsbegrenzung, Überholverbot, Standstreifenfreigabe, Fahrstreifensperrung oder angezeigte Gefahrenstreifen wurden in die Messdatenbank übernommen.
- Unfalldaten (Januar 2008 – Februar 2012)
Neben dem Unfallzeitpunkt und Unfallort liegen eine Vielzahl von Unfallkennziffern (z. B. Unfallkategorie, Anzahl Beteiligte) vor.
- Baustellendaten (Januar 2008 - Februar 2012)
Es wurden sowohl Tages- als auch Langzeitbaustellen verschiedenen Eigenschaften z. B. betroffene Fahrstreifen, Geschwindigkeitsreduktionen erfasst.
- TMC Meldungen (Januar 2008 - Februar 2012)
- Wetterdaten (Januar 2008 – April 2013)
Es wurden die Wetterdaten der synoptischen Wetterstation und der Straßenwetter-

messstellen in die Messdatenbank eingepflegt. Zusätzlich wurden lokale und regionale Wetterklassen definiert, welche die momentane bzw. ganztägliche Wetter-situation zusammenfassen.

Die Lage der Detektoren, Kameraquerschnitte, Abschnitte der Streckenbeeinflussungs-anlagen, Unfälle und Wetterstationen wurden in ein Netzmodell eingepflegt. Die statistischen und dynamischen Daten wurden sowohl zeitlich als räumlich gematcht.

3.3 Datenanalyse

Die in AP 3 erfassten Verkehrsdaten und Wetterdaten werden in diesem Arbeitspaket untersucht, um den Einfluss des Wetters auf den Verkehr zu quantifizieren. Die Daten-analyse erfolgt auf verschiedenen Ebenen des Verkehrsgeschehens.

Die Universität Stuttgart war an folgenden Aufgaben beteiligt:

- Analyse des Einflusses des Wetters auf die Verkehrssicherheit (verantwortlich)
- Analyse des Einflusses des Wetters auf das Verkehrsaufkommen (verantwortlich)
- Analyse des Einflusses des Wetters auf die Zielwahl (verantwortlich)
- Analyse des Einflusses des Wetters auf die Fahrzeit im Netz (verantwortlich)

3.3.1 Einfluss des Wetters auf Verkehrssicherheit

Die Ziele der Untersuchung des Einflusses des Wetters auf die Verkehrssicherheit waren folgende:

- Auswertung der Unfallrate, der Unfallkostenrate und des Sicherheitspotenzials in Abhängigkeit der Wettersituation
- Bestimmung von wetterabhängigen Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten eines Unfallereignisses und das zugehörige Sicherheitspotential für die Netzabschnitte
- Prüfung, inwieweit bei schlechtem Wetter zusätzliche Kapazitätsengpässe und Zeit-verluste vorhanden sind
- Entwicklung eines Modells, das in Abhängigkeit des Unfalltyps Auswirkungen auf die Kapazität und damit auf die Fahrzeit abschätzt

3.3.1.1 Analyse der Unfallrate und Unfallkostenrate

Eine schlechte Wetterlage wird häufig mit einem erhöhten Unfallrisiko in Verbindung gebracht (EISENBERG, 2004). Der Einfluss des Wetters auf die Verkehrssicherheit wird anhand der Unfalldaten (Kapitel 3.2.3.4, Seite 52) analysiert. Zu jedem Unfall wird

die vorliegende Wetterlage zum Unfallzeitpunkt zugeordnet. Grundlage hierfür sind die fahrbahnseitigen Wetterstationen. Eine Übersicht der Anzahl der Unfälle getrennt nach Wettersituation und Unfallkategorie ist in Tabelle 15 dargestellt. Da die Niederschlagswerte nicht durchgehend verfügbar sind, sind nicht alle Unfälle enthalten (vgl. Kapitel 3.2.3.4).

Tabelle 15: Anzahl der Unfälle im Untersuchungsgebiet nach Wettersituation

	kein Niederschlag	Niederschlag
Alle Unfälle	4.599	1.022
Unfall mit Getöteten	11	2
Unfall mit Schwerverletzten	91	19
Unfall mit Leichtverletzten	568	94
Schwerwiegender Unfall nur mit Sachschaden	872	313
Übriger Sachschadensunfall	3.057	594

Es werden die Unfallrate, Unfallkostenrate und das Sicherheitspotential für zwei unterschiedliche Wettersituationen („kein Niederschlag“ und „Niederschlag“) gegenübergestellt. Sowohl die Unfallrate als auch die Unfallkostenrate sind Kenngrößen zum Vergleich von Unfallrisiken. Im Gegensatz zur Unfallrate berücksichtigt die Unfallkostenrate die volkswirtschaftlichen Kosten infolge der Unfälle. Somit wird neben der Häufigkeit der Unfälle auch deren Schwere berücksichtigt. Beide Kenngrößen haben als Bezugsgröße die Fahrleistung, welche räumlich durch eine Untersuchungsstrecke und zeitlich durch einen Bezugszeitraum festgelegt wird.

Die Unfallrate UR gibt die Unfälle pro Millionen Fahrzeugkilometer an und wird wie folgt berechnet:

$$UR = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot 10^6}{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot L_i}, \left[\frac{\text{Unfälle}}{10^6 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km}} \right] \quad (3.5)$$

mit	U_i	Anzahl der Unfälle auf der Untersuchungsstrecke i im Bezugszeitraum [-]
	Q_i	Anzahl der Fahrzeuge auf der Untersuchungsstrecke i im Bezugszeitraum [Kfz]
	L_i	Streckenlänge der Untersuchungsstrecke i [km]
	n	Anzahl der Strecken im Untersuchungsgebiet [-]

Die Unfallkostenrate UKR gibt die Unfallkosten in Euro pro 1.000 Fahrzeugkilometer an und wird folgendermaßen bestimmt:

$$UKR = \frac{\sum_{i=1}^n UK_i \cdot 10^3}{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot L_i}, \left[\frac{\text{€}}{1.000 \cdot \text{Kfz} \cdot \text{km}} \right] \quad (3.6)$$

mit	UK_i	Unfallkosten auf der Untersuchungsstrecke i im Bezugszeitraum [€]
-----	--------	---

Das Sicherheitspotential ist definiert als *Unterschied zwischen den Unfallkosten (Anzahl und Schwere der Unfälle), die bei richtliniengerechtem Ausbau zu erwarten*

wären, und den vorhandenen Unfallkosten (ESN, 2003). Bei der Berechnung des Sicherheitspotential wird die Unfallkostendichte (die mittleren jährlichen Unfallkosten dividiert durch die Länge der Untersuchungsstrecke) mit einer Grundunfallkostendichte verglichen. Ein Wert größer Null bedeutet, dass die tatsächlichen Unfallkosten größer als die bei richtliniengerechtem Ausbau zu erwarteten Unfallkosten sind. Das Sicherheitspotential wird folgendermaßen bestimmt:

$$SIPO = UKD - gUKD, [1.000 \text{ €}/(\text{km} \cdot \text{a})] \quad (3.7)$$

Die Unfallkostendichte UKD berechnet sich aus:

$$UKD = \frac{UK}{10^3 \cdot L \cdot t}, \quad [1.000 \text{ €}/(\text{km} \cdot \text{a})] \quad (3.8)$$

mit t Betrachtungszeitraum in Jahren [a]

Die Grundunfallkostendichte $gUKD$ berechnet sich aus:

$$gUKD = \frac{gUKR \cdot DTV \cdot 365}{10^6}, \quad [1.000 \text{ €}/(\text{km} \cdot \text{a})] \quad (3.9)$$

mit $gUKR$ Grundunfallkostenrate, vorgegebener Wert aus ESN (2003, Tabelle 2)

Für die Analyse des Sicherheitspotentials in Abhängigkeit des Wetters, bleibt die Grundunfallkostendichte für die beiden Wetterzustände „kein Niederschlag“ und „Niederschlag“ konstant. Es wird keine Unterscheidung beim DTV zwischen diesen Wetterzuständen gemacht.

Für die Unfallkosten gibt die Bundesanstalt für Straßenwesen in [1] Kostensätze für Unfälle unterteilt nach der Schwere des Unfalls (Tabelle 16) heraus. Für jeden Unfall werden damit abhängig von seiner Kategorie und der Anzahl der Getöteten und/oder verletzten Personen und der Anzahl der beteiligten Fahrzeuge die Unfallkosten berechnet. Da die Unfallkosten bei Getöteten sehr hoch sind, ist zu beachten, dass die 18 Unfälle mit Getöteten im Untersuchungsgebiet mehr Kosten aufweisen als die 4.583 Unfälle mit übrigem Schadensfall.

In der ESN [16] werden Unfallkosten vom Preisstand des Jahres 2000 angegeben, welche aufgrund der mangelnden Aktualität nicht verwendet werden. Für die Grundunfallkostenraten stehen jedoch keine aktualisierten Werte zur Verfügung. Somit werden für das Sicherheitspotential die Kostensätze von 2009 mit den Grundunfallkostenraten von 2000 verglichen. Da die Grundunfallkostenraten unabhängig der Wettersituation und der hier betrachteten Abschnitte sind, bleibt die Grundunfallkostenraten für alle Fälle konstant. Dadurch wird die Differenz des Sicherheitspotentials zwischen „kein Niederschlag“ und „Niederschlag“ und den einzelnen Abschnitten nicht beeinflusst.

Tabelle 16: Kostensätze je verunglückte Person beziehungsweise je Unfall im Jahr 2009 (in Euro). Quelle BAST [1]

Kostensätze für Personenschäden (je verunglückte Person)	
Getötete	996.412
Schwerverletzte	110.571
Leichtverletzte	4.416
Kostensätze für Sachschäden (je Unfall)	
Unfall mit Getöteten	40.108
Unfall mit Schwerverletzten	19.215
Unfall mit Leichtverletzten	13.036
Schwerwiegender Unfall nur mit Sachschaden	19.365
Übriger Sachschadensunfall (einschließlich Alkoholunfall)	5.643

Die zu Grunde gelegte Fahrleistung ($Q \cdot L$) wird für die Strecke, auf der der Unfall passierte, bestimmt. Die Strecken sind so gewählt, dass jede Strecke genau einem lokalen Detektor zugeordnet ist. (Bild 29) Das bedeutet, die Strecken beginnen bzw. enden genau in der Mitte zwischen zwei benachbarten lokalen Detektoren. Über alle Strecken wird die Unfallrate nach der Fahrleistung gewichtet gemittelt.

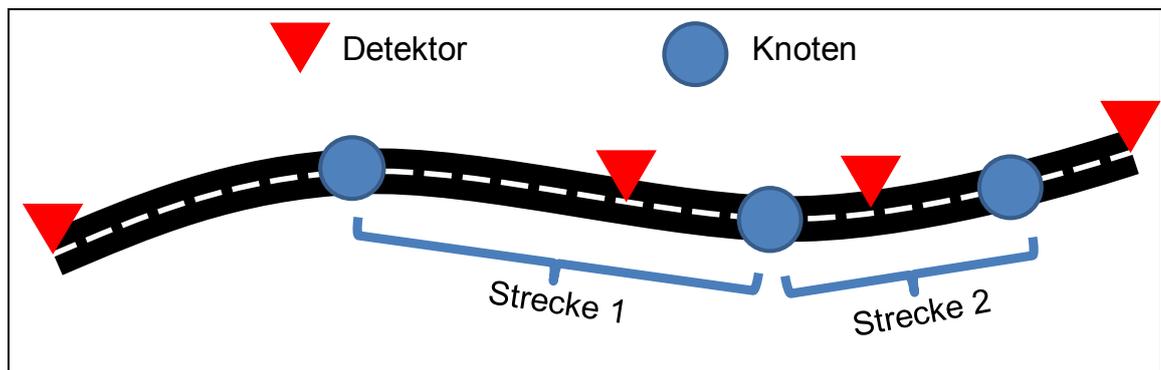


Bild 29: Modellbeispiel für die Ermittlung der Fahrleistung

Der Unfallzeitpunkt geht in den meisten Fällen aus den Angaben der Betroffenen hervor. Da der Verkehrsablauf, und damit die Verkehrsstärke, in Folge eines Unfalls direkt gestört werden kann, wird die Verkehrsstärke aus dem 15-Minuten-Zeitintervall von einer halben Stunde vor dem angegebenen Unfallzeitpunkt verwendet. Damit wird vermieden, dass durch eine ungenaue Angabe des Unfallzeitpunkts die Verkehrsstärke durch den Unfall bereits reduziert ist. Beispiel: Die Unfallrate für das Verkehrsstärkeintervall 500–600 Fz/h pro Fahrstreifen für „Niederschlag“ wird wie folgt berechnet. Alle Unfälle, zu welchen die Verkehrsstärke auf der Unfallstrecke eine halbe Stunde von dem Unfallzeitpunkt zwischen 500-600 Fz/h pro Fahrstreifen beträgt und ein Niederschlag an der zugehörigen Wetterstation detektiert wurde, bilden die Anzahl der Unfälle U . Die Verkehrsleistung ($Q \cdot L$) ist die Summe aller Verkehrsleistungen aller

Strecken im Untersuchungsgebiet im Zustand 500–600 Fz/h pro Fahrstreifen und bei „Niederschlag“.

Für die Auswertung werden alle Unfälle verwendet, welche eine maximale Entfernung (stromauf- oder stromabwärts) zum nächstliegenden Detektor von 10 km haben und gültige Daten für diesen Detektor und der zugeordneten Wetterstation vorliegen.

In Bild 30 sind die Unfallraten über die Verkehrsstärke der zwei Wettersituationen („kein Niederschlag“ und „Niederschlag“) dargestellt. Im unteren Diagramm von Bild 30 ist zusätzlich die prozentuale Veränderung der Unfallrate von „kein Niederschlag“ zu „Niederschlag“ für die Verkehrsstärkenintervalle abgebildet.

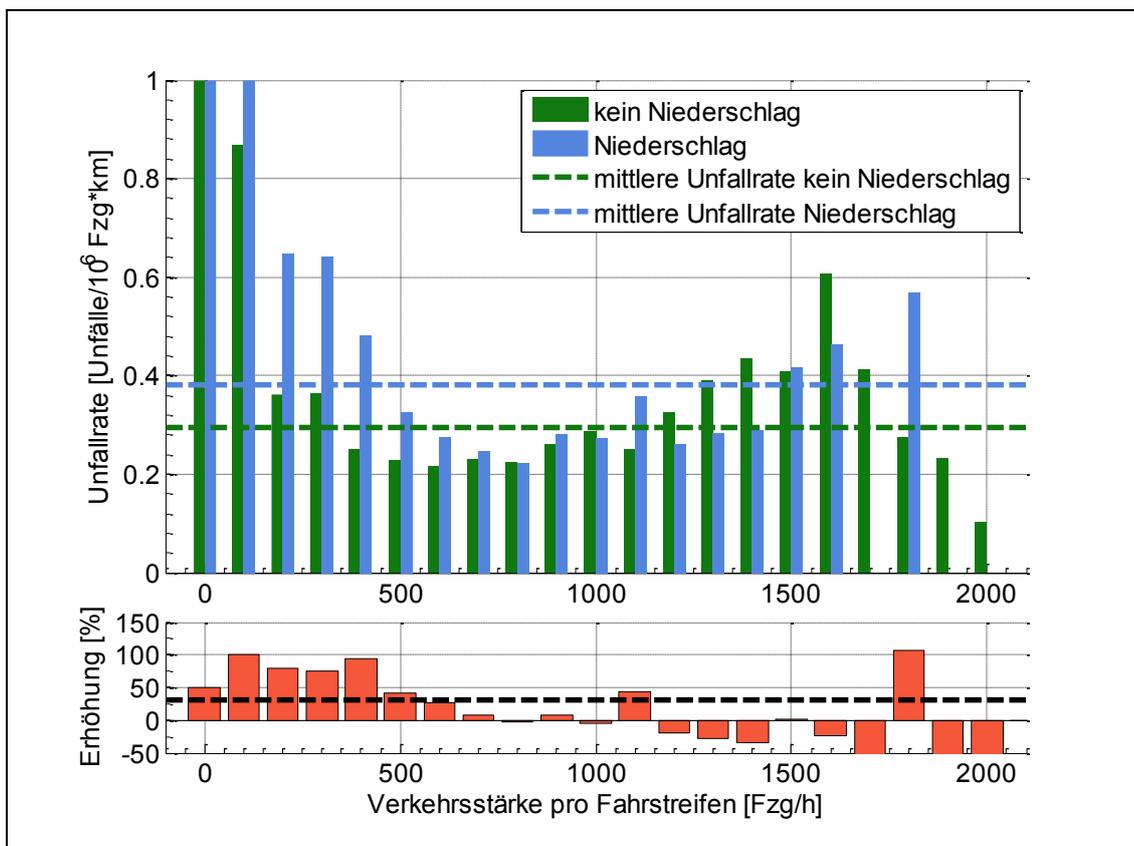


Bild 30: Unfallrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke pro Fahrstreifen

Bei niedrigeren Verkehrsstärken nimmt die Unfallrate bei „Niederschlag“ deutlich zu. Bei Verkehrsstärken pro Fahrstreifen bis 500 Fz/h liegt die Erhöhung über 50 %. Im freien Verkehrsfluss häufen sich die Unfälle mit unangepasster Geschwindigkeit, was bei vermindertem Kraftschluss zwischen Fahrbahnoberfläche und Reifen in Folge von Niederschlag zu längeren Bremswegen (Auffahrunfälle) und Abkommen von der Fahrbahn führen kann. Bei hohen Verkehrsstärken ist diese Tendenz nicht mehr zu erkennen. Im Mittel erhöht sich die Unfallrate für „Niederschlag“ um 30 %.

Die Unfallkostenrate (Bild 31) ist mit Ausnahme von zwei Verkehrsstärkekassen bei „kein Niederschlag“ höher als bei „Niederschlag“. Über alle Verkehrsstärken reduziert

sich die Unfallkostenrate bei „Niederschlag“ um 22 %. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Unfallrate (Bild 30) lässt sich ableiten, dass sich bei „Niederschlag“ mehr Unfälle gleicher Fahrleistung ereignen, jedoch die Unfallkosten pro Unfall geringer sind. Die mittleren Unfallkosten eines Unfalls bei „Niederschlag“ betragen 11.500 EUR, hingegen liegen für Unfälle bei „kein Niederschlag“ die mittleren Unfallkosten bei 18.500 EUR.

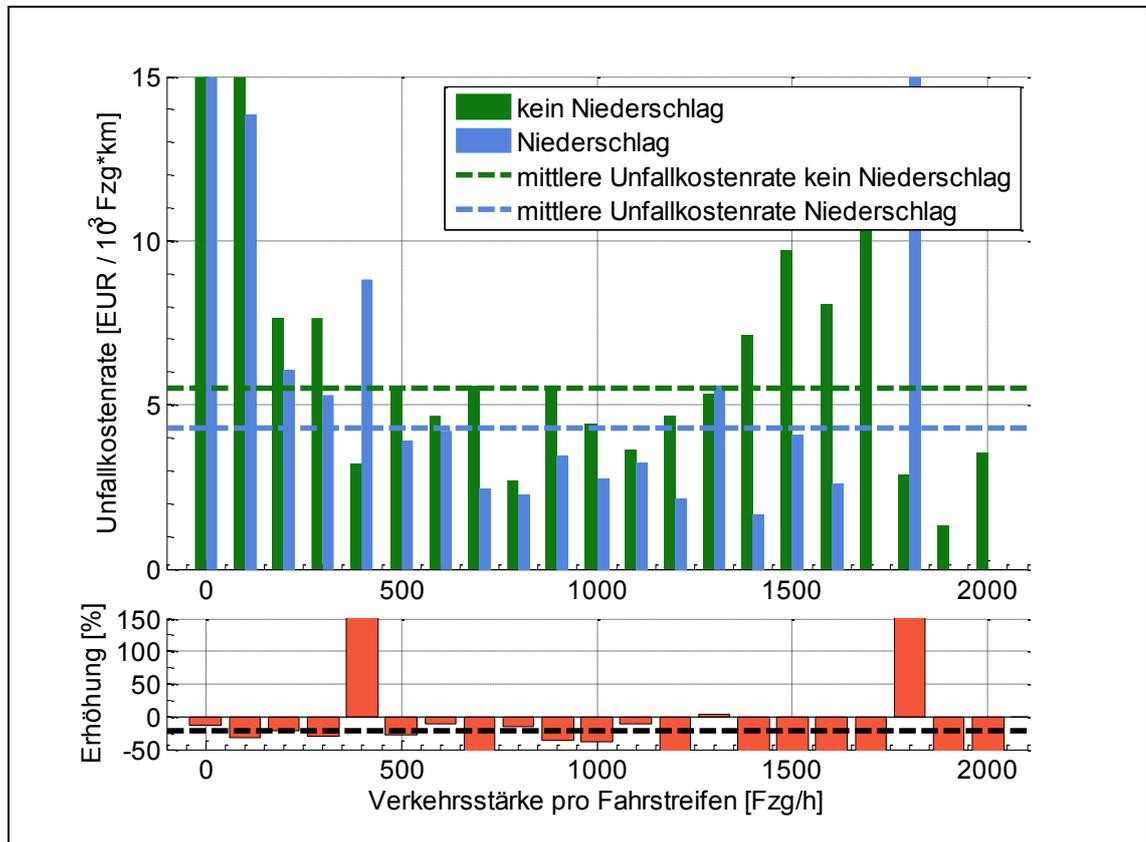


Bild 31: Unfallkostenrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke pro Fahrstreifen

Wie bereits erwähnt, werden die Unfallkosten maßgebend von den Unfällen mit Getöteten und den Schwerverletzten bestimmt. Bei den Unfällen bei „Niederschlag“, konnten beide Unfälle mit Getöteten, sowie neun Unfälle mit Schwerverletzten, nicht für die Auswertung verwendet werden, da deren Unfallort mehr als 10 km vom nächstliegenden Detektor entfernt ist, oder keine Detektordaten des zugeordneten Detektors verfügbar sind. Die mittleren Unfallkosten von allen Unfällen (unabhängig von der Lage zum Detektor) liegen für beide Wetterklassen jeweils bei 17.000 EUR.

Der Einfluss der schweren Unfälle zeigt sich auch in den unterschiedlichen Ausprägungen der Erhöhung zwischen „kein Niederschlag“ und „Niederschlag“ (unteres Diagramm in Bild 31). Im Verkehrsstärkeintervall 400-500 Fz/h gibt es vier Schwerverletzte (von insgesamt 11 schwerverletzten Personen) bei „Niederschlag“. Die zweite positive Erhöhung bei 1.800-1.900 Fz/h basiert auf einem einzigen Unfall

mit zwei Leichtverletzten, welcher sich zufällig bei der insgesamt sehr geringen Fahrleistung für dieses Verkehrsstärkeintervall ereignet hat.

Auf Grund dieses starken Einflusses der schweren Unfälle auf die Unfallkostenrate und der geringen Anzahl an diesen Unfällen, kann der Zusammenhang der Unfallkostenrate mit dem Wetter nicht klar herausgearbeitet werden.

Die Auswertung des Sicherheitspotentials für verschiedene Abschnitte bestätigt den in der Analyse der Unfallrate erkennbaren Einfluss des Wetters auf die Verkehrssicherheit. Das Sicherheitspotential bei „Niederschlag“ ist deutlich größer als bei „kein Niederschlag“ (Tabelle 17).

Tabelle 17: Sicherheitspotential der verschiedenen Abschnitte getrennt nach „kein Niederschlag“ und „Niederschlag“

	kein Niederschlag	Niederschlag
München – AD Inntal	75	893
AD Inntal – Kiefersfelden	34	591
AD Inntal – Salzburg	-3	988
AD Inntal – München	5	1057
Kiefersfelden – AD Inntal	12	468
Salzburg – AD Inntal	10	538

Da die mittleren Unfallkosten bei „kein Niederschlag“ und „Niederschlag“ ähnlich sind, ist das größere Sicherheitspotential bei „Niederschlag“ auf die größere Unfallhäufigkeit zurückzuführen (vgl. Bild 30).

3.3.1.2 Einfluss der Herkunft der Fahrzeuge auf die Verkehrssicherheit

Durch die umfangreiche Datengrundlage können weitere Einflüsse auf die Verkehrssicherheit untersucht werden. Es wurde festgestellt, dass die Herkunft der Fahrzeuge im Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit steht. Die Grundgesamtheit der Fahrzeuge wird in drei Klassen mit unterschiedlichen Anteilen an Regionalverkehr unterteilt (Kapitel 3.2.3.2.5, Seite 45). Die Anzahl der verwendeten Unfälle für die Klassen wenig, mittlerer und viel Regionalverkehr können Tabelle 18 entnommen werden.

Tabelle 18: Anzahl der Unfälle im Untersuchungsgebiet für unterschiedliche Anteile an Regionalverkehr

	Regionalverkehr		
	wenig	mittel	viel
Alle Unfälle	124	166	106
Unfall mit Getöteten	0	0	0
Unfall mit Schwerverletzten	2	1	1
Unfall mit Leichtverletzten	10	20	12
Schwerwiegender Unfall mit nur Sachschaden	32	37	27
Übriger Sachschadensunfall	80	108	66

Die Herkunft der Fahrzeuge ist nur für die Fahrtrichtung von München nach Salzburg bzw. Kiefersfelden und den Zeitraum der ANPR-Kameraerfassung (Kapitel 3.2.3.2, Seite 30) bekannt. Aus diesem Grund reduziert sich die Anzahl der Unfälle, welche für die Auswertung verwendet werden können, deutlich.

In Bild 32 zeigt sich, dass die Verkehrssicherheit mit zunehmendem Anteil an Regionalverkehr steigt. Das untere Diagramm (Erhöhung [%]) zeigt die prozentuale Erhöhung von wenig Regionalverkehr zu viel Regionalverkehr. Im Mittel ergibt sich eine Erhöhung der Unfallrate um 100 %.

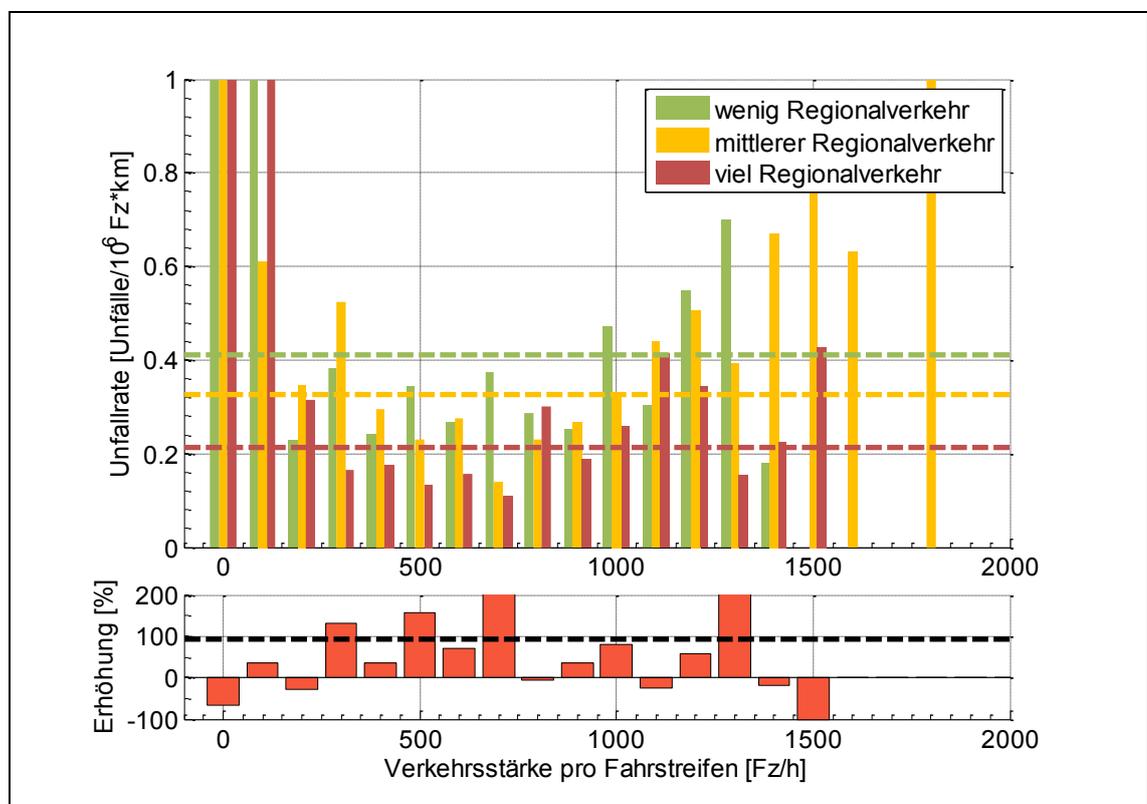


Bild 32: Unfallrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke pro Fahrstreifen unterteilt in unterschiedlichen Anteil an Regionalverkehr

Eine Vermutung für die starke Abnahme der Unfallrate bei viel Regionalverkehr ist darin begründet, dass die Fahrer des Regionalverkehrs Ortskundiger sind. Es wird angenommen, dass Fahrer von Fahrzeugen, welche in den umliegenden Landkreisen zugelassen sind, häufiger auf Autobahnen und speziell auf diesem Autobahnabschnitt unterwegs sind. Das führt zu einem doppelten Vorteil: Zum einen werden die Fahrzeuge, welche diese Strecke häufig befahren, entsprechend häufig erfasst und zum anderen ist der Fahrer des Fahrzeugs dadurch geübter. Im Mittel wird jedes Fahrzeug des Regionalverkehrs 5,9-mal erfasst, dagegen wird ein Fahrzeug des Fernverkehrs im Mittel nur 1,7-mal erfasst. Das bedeutet, obwohl die Anzahl der erfassten Fahrzeuge des Regionalverkehrs und des Fernverkehrs am Querschnitt Hofoldingen Forst ähnlich ist (8,8 Mio. Regionalverkehr, 9,3 Mio. Fernverkehr), besteht der Regionalverkehr aus deutlich weniger Einzelfahrzeugen (1,5 Mio. Regionalverkehr, 5,5 Mio. Fernverkehr).

Das wird auch dadurch bestätigt, dass wenig Regionalverkehr meist an Wochentagen zwischen 07:00 Uhr und 09:00 Uhr und zwischen 16:00 Uhr und 19:00 Uhr vorkommt, in den Zeiten, in denen Pendler üblicherweise unterwegs sind.

Ein weiterer Aspekt, mit dem sich das größere Unfallrisiko erklären lässt, ist, dass ein Fahrer eines entfernten Landkreises beim Durchfahren des Untersuchungsgebiets bereits länger unterwegs ist als ein regionaler Fahrer. Durch die längere Fahrt können Ermüdungserscheinungen und damit Konzentrationsschwäche auftreten, was das Unfallrisiko erhöht.

3.3.1.3 Einfluss eines Unfalls auf den Verkehrsablauf

Durch einen Unfall kann die Kapazität der Strecke negativ beeinflusst werden. Häufig werden für eine bestimmte Zeit einzelne Fahrstreifen durch ein Unfallfahrzeug blockiert. Das wirkt sich auf den Verkehrsablauf und damit die Fahrzeit bzw. Geschwindigkeit aus.

In dieser weiteren Auswertung bezüglich der Verkehrssicherheit wird der Einfluss eines Unfalls auf den Verkehrsablauf quantifiziert. Dabei wird der Geschwindigkeitsverlauf auf der Strecke 5 km stromaufwärts vom Unfallort bis zum Unfallort von 60 Minuten vor bis 5 Stunden nach dem Unfall untersucht. Die Geschwindigkeit wird mit Hilfe eines einfachen Modells aus den nächstliegenden Detektoren ermittelt, bei dem die Geschwindigkeit der Strecke zwischen zwei Detektoren linear interpoliert wird. Es werden nur Unfälle für diese Analyse verwendet, bei denen vom Unfallort in beide Richtungen (stromaufwärts und stromabwärts) ein Detektor weniger als 5 km entfernt ist. Die Auswertung wird unabhängig von der Wettersituation vorgenommen, da die Auswirkungen eines Unfalls auf den Verkehrsablauf sehr stark vom Unfalltyp abhängt und nicht von der Wettersituation. Das Wetter kann jedoch zusätzlich zum Unfall die gefahrene Geschwindigkeit und die Kapazität beeinflussen, was vom Projektpartner MickS [26] untersucht wurde.

Bild 33 zeigt die Geschwindigkeitsverläufe bei Unfällen getrennt nach der Unfallkategorie. Bei Unfällen mit Getöteten reduziert sich die Geschwindigkeit sehr stark. Häufig sind bei diesen schwerwiegenden Unfällen viele Einsatzkräfte vor Ort und entsprechend viele Fahrstreifen müssen gesperrt werden. Die Dauer der Beeinträchtigung beträgt im Mittel mehr als drei Stunden. Auch bei den Schwer- und Leichtverletzten reduziert sich die Geschwindigkeit nach dem Unfallereignis um bis zu ca. 25 km/h. Die Beeinträchtigungsdauer liegt bei ca. zwei Stunden. Eine geringe Beeinträchtigung wird bei Unfällen mit Sachschaden beobachtet. Hierbei handelt es sich vor allem um kleine Unfälle, welche den Verkehr minimal beeinträchtigen, da das Unfallfahrzeug z. B. abseits der Fahrstreifen (Seitenstreifen oder Parkplatz) abgestellt wird. In Gegensatz dazu kommt es zu kleineren Unfällen, welche den Verkehr stark beeinträchtigen können, z. B. wenn bei dichtem Verkehr die Unfallfahrzeuge einen Fahrstreifen blockieren. Zusammengefasst ergibt sich im Mittel eine Beeinträchtigung um 5-10 km/h bei einer Dauer von ca. eine Stunde.

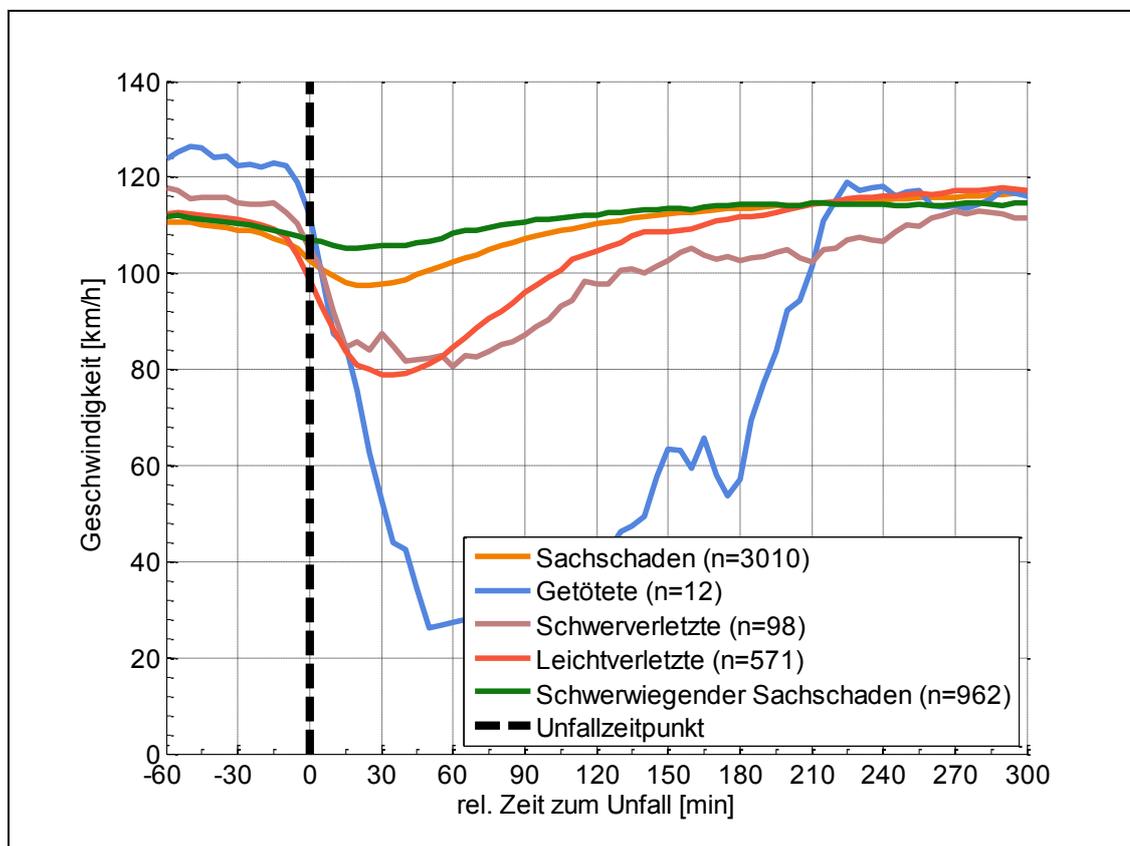


Bild 33: Geschwindigkeitsverlauf bei Unfällen getrennt nach Unfallkategorie

3.3.1.4 Zusammenfassung - Verkehrssicherheit

Mit Hilfe der Unfalldaten konnte nachgewiesen werden, dass bei „Niederschlag“ das Unfallrisiko (Unfallrate) um durchschnittlich 30 % steigt. Vor allem bei niedriger Verkehrsstärke bewirkt das schlechte Wetter ein deutlich höheres Unfallrisiko. Die

Unfallkostenrate wird stark von den seltenen und schweren Unfällen (Unfälle mit Getöteten oder Schwerverletzten) bestimmt, da die Kostensätze für diese Unfälle sehr hoch sind. Auf Grund der geringen Anzahl dieser Unfälle, konnte der Zusammenhang zwischen dem Wetter und der Unfallkostenrate nicht genau herausgearbeitet werden. Die mittleren Unfallkosten sind jedoch für die beiden Wetterklassen „kein Niederschlag“ und „Niederschlag“ ähnlich. Das Sicherheitspotential ist für alle Abschnitte bei „Niederschlag“ deutlich größer als bei „kein Niederschlag“, was auf die erhöhte Unfallrate zurückzuführen ist.

Mit Hilfe der ANPR-Kameraerfassung konnte die Unfallrate zusätzlich in Abhängigkeit der Herkunft der Fahrzeuge analysiert werden. Hier zeigte sich ein doppelt so großes Unfallrisiko, wenn viel Fernverkehr im Vergleich zu viel Regionalverkehr auf dem Streckenabschnitt unterwegs ist.

Die Zeitverluste durch einen Unfall sind abhängig von der Unfallkategorie. Bei schweren Unfällen mit Personenschäden sinkt die Geschwindigkeit deutlich für eine Zeitdauer von mindestens einer Stunde. Bei Sachschäden konnte keine klare Beeinträchtigung nachgewiesen werden.

3.3.2 Einfluss des Wetters auf das Verkehrsaufkommen

Die Ziele der Untersuchung des Einflusses des Wetters auf das Verkehrsaufkommen waren folgende:

- Analyse, in welchem Umfang das regionale Wetter die Zahl der Fahrten beeinflusst
- Untersuchung der Ganglinien der Verkehrsstärken aller untersuchten Kalendertage mit Hilfe einer Clusterung auf ihre Ähnlichkeit
- Prüfung, ob es typische Verkehrstage gibt, deren Nachfrage maßgeblich vom Wetter beeinflusst wird (z. B. wetterabhängiger Ausflugsverkehr)
- Abschätzung von Anteilen der wetterabhängigen Verkehrsnachfrage
- Ermittlung von typischen Verkehrstagen, bei denen z. B. ein hohes Verkehrsaufkommen dann zu erwarten ist, wenn schönes Wetter vorhergesagt wird
- Verbesserung einer Mehrtagesprognose mit Hilfe von wetterabhängigen typischen Verkehrstagen

Der Einfluss des Wetters auf das Verkehrsaufkommen wird mit vier Methoden untersucht: Deskriptive Analyse, Regressionsanalyse, Clusteranalyse und die Auswertung von MiD.

3.3.2.1 Deskriptive Analyse

Zu Beginn der Analyse des Wettereinflusses auf das Verkehrsaufkommen wurde eine deskriptive Datenanalyse durchgeführt. Dazu wurden exemplarisch am RMQ Hofoldingener Forst (vgl. Bild 14, Seite 32) verkehrliche Daten in Zusammenhang mit Kalender- und Wetterdaten ausgewertet. Der betrachtete RMQ ist vierstreifig und hat einen Schwerverkehrsanteil von etwa 10 %. An diesem RMQ befindet sich sowohl eine Dauerzählstelle als auch eine ANPR-Messstelle. Es lassen sich somit Aussagen über die erfasste Gesamtverkehrsstärke und der Verkehrsstärke ausgewählter Segmente des Gesamtverkehrsaufkommens treffen.

In Bild 34 ist die Jahresganglinie für das Jahr 2011 (Zeitraum der ANPR-Erhebung), basierend auf Tagesverkehrsstärken, dargestellt. Die einzelnen Wochen sind jeweils durch eine gestrichelte Linie voneinander abgetrennt (Sonntag auf Montag). Das obere Diagramm zeigt den Verlauf Gesamtverkehrsstärken (Gesamt), die darunter stehenden Diagramme den Verlauf für den regionalen Verkehr (Region), den überregionalen Verkehr aus Deutschland (Ger*), den europäischen Verkehr ohne Deutschland (Eur*) und den Verkehr aus den Niederlanden (NDL).

Im oberen Diagramm ist zunächst zu erkennen, dass die Gesamtverkehrsstärke innerhalb eines Jahres zwischen 40.000 und 85.000 Fahrzeugen schwankt. Es ist ein jahreszeitlicher Zyklus mit erhöhter Nachfrage sowohl in den Hochsommer- als auch in den Wintermonaten vorhanden. Darüber hinaus sind Nachfragespitzen zum Oster- und Pfingstfest sowie zum Oktoberbeginn zu verzeichnen.

Der regionale Verkehr (dargestellt in grün) besitzt eine wesentlich niedrigere Schwankungsbreite (20.000 bis 30.000) und bildet etwa ein Drittel des Gesamtverkehrs. Es sind keine jahreszyklischen Schwankungen oder sonstigen Nachfragespitzen vorhanden.

Ein anderes Bild zeigt sich für den überregionalen Verkehr aus Deutschland (rot dargestellt). Dieser schwankt zwischen 15.000 und 45.000 Fahrzeugen erheblich. Der jahreszeitliche Zyklus ist erkennbar und die Nachfragespitzen zu Ostern, Pfingsten und zu Oktoberbeginn sind deutlich ausgeprägt. Offen bleibt anhand dieser Darstellung, ob der jahreszeitliche Zyklus allein durch die gestaffelten Ferienbeginne der einzelnen deutschen Bundesländer zustande kommt, oder ob auch Urlaubsverkehre unabhängig von den Schulferien vorhanden sind. Die Nachfragespitzen zu Pfingsten und zu Oktoberbeginn lassen vermuten, dass auch lange Wochenenden eine entscheidende Rolle spielen. Des Weiteren scheinen die Urlaubsverkehre im Sommer stärker ausgeprägt zu sein als im Winter. Herbstferien spielen offensichtlich eine untergeordnete Rolle.

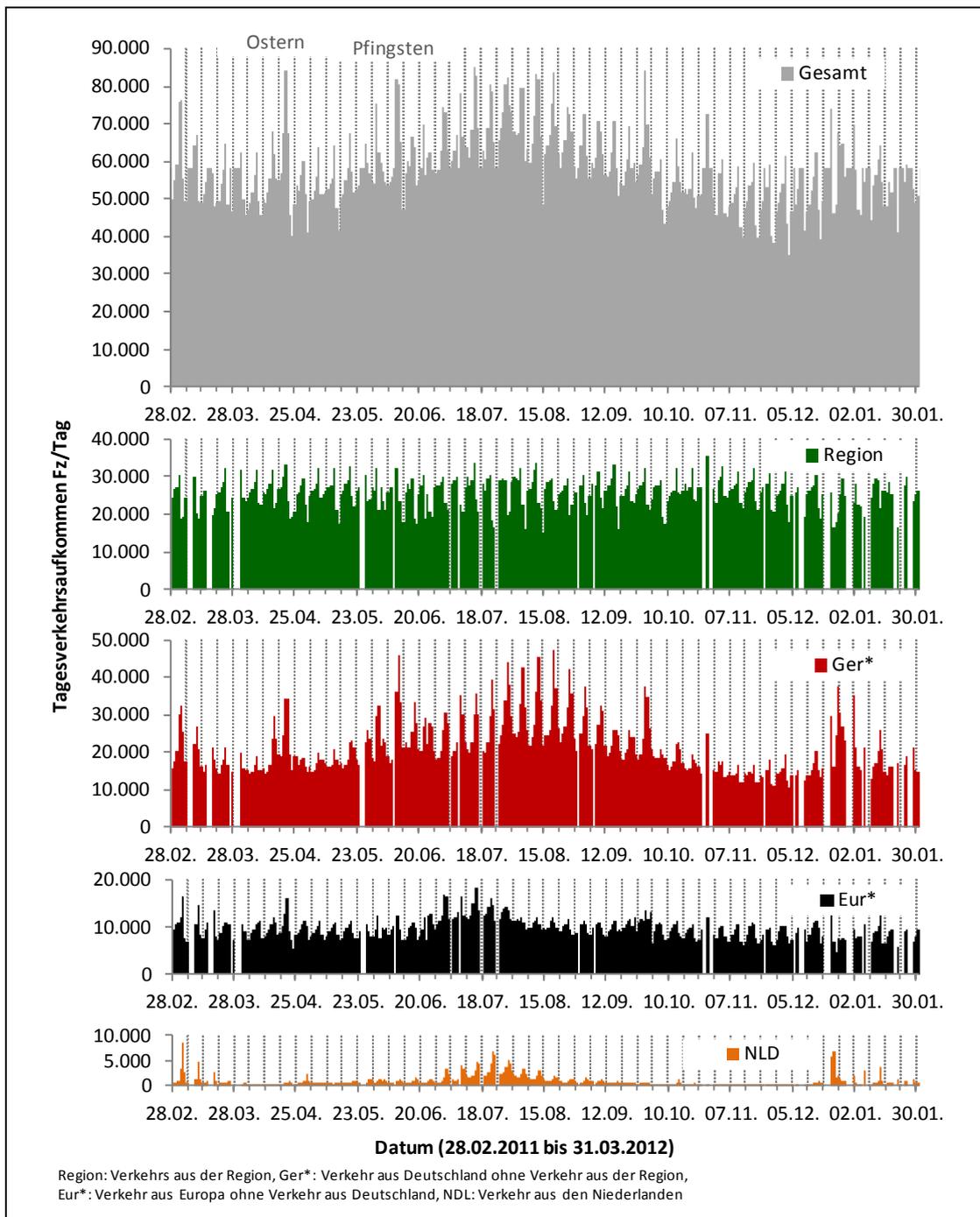


Bild 34: Jahresganglinie (2011) eines Detektors im Untersuchungsgebiet und die Zusammensetzung des Verkehrsaufkommens nach Herkunft

Einen ähnlichen Verlauf zeigt der Jahresgang des europäischen Verkehrs (schwarz dargestellt). Die Schwankungsbreite ist allerdings etwas niedriger und die Nachfragespitzen zu Pfingsten und zu Oktoberbeginn sind nicht vorhanden. Für den europäischen Verkehr gilt, dass zwei grundlegend verschiedene Gruppen existieren. Zum einen gibt es eine Gruppe mit einem vergleichsweise hohen Schwerverkehrsanteil, vor allem repräsentiert durch die osteuropäischen Kennzeichen. Zum anderen gibt es eine Gruppe die hauptsächlich aus Urlaubsverkehr besteht, vor allem

repräsentiert durch die BeNeLux-Länder und Dänemark. Diese Aussage kann durch den Jahresgang des Verkehrs aus den Niederlanden zunächst bekräftigt werden. Während die Verkehre im Frühjahr und Herbst unter 1.000 Fahrzeuge am Tag liegen, kommt es vor allem im Winter zu Nachfragespitzen von bis zu 10.000 Fahrzeugen am Tag. Aber auch im Sommer sind z. T. mehr als 5.000 Fahrzeuge am Tag erfasst worden. Auffällig ist hierbei, dass keine Spitzen zu Beginn oder zum Ende der Ferienzeit erkennbar sind, sondern eher ein jahreszyklischer Verlauf.

Die folgenden Bilder 35 und 36 geben erste Hinweise auf den Einfluss des Wochentages auf das Verkehrsaufkommen. In Bild 35 ist der mittlere Anteil der Tagesverkehrsstärke an der mittleren Wochenverkehrsstärke, auch als mittlerer relativer Wochengang bezeichnet, dargestellt. Es zeigt sich, dass sich die Verkehrsstärke ausgehend vom Wochenbeginn am Montag bis zum Donnerstag leicht steigert. Die Verkehrsstärke am Freitag unterscheidet sich hierbei von allen Werktagen am deutlichsten. Der Samstag weist im Durchschnitt eine etwas niedrigere Verkehrsstärke auf, der Tag mit der niedrigsten mittleren Verkehrsstärke ist der Sonntag. Interessant hierbei ist, dass der weniger vorhandene Arbeitsverkehr am Wochenende und der fehlende Schwerlastverkehr an Sonntagen offensichtlich durch Ausflugs- und Urlaubsverkehre gegenüber Montag bis Donnerstag kompensiert wird. Eine Erklärung für das erhöhte Verkehrsaufkommen an Freitagen könnte die Überlagerung des Arbeits-, Pendler-, Ausflugs- und Urlaubsverkehrs sein.

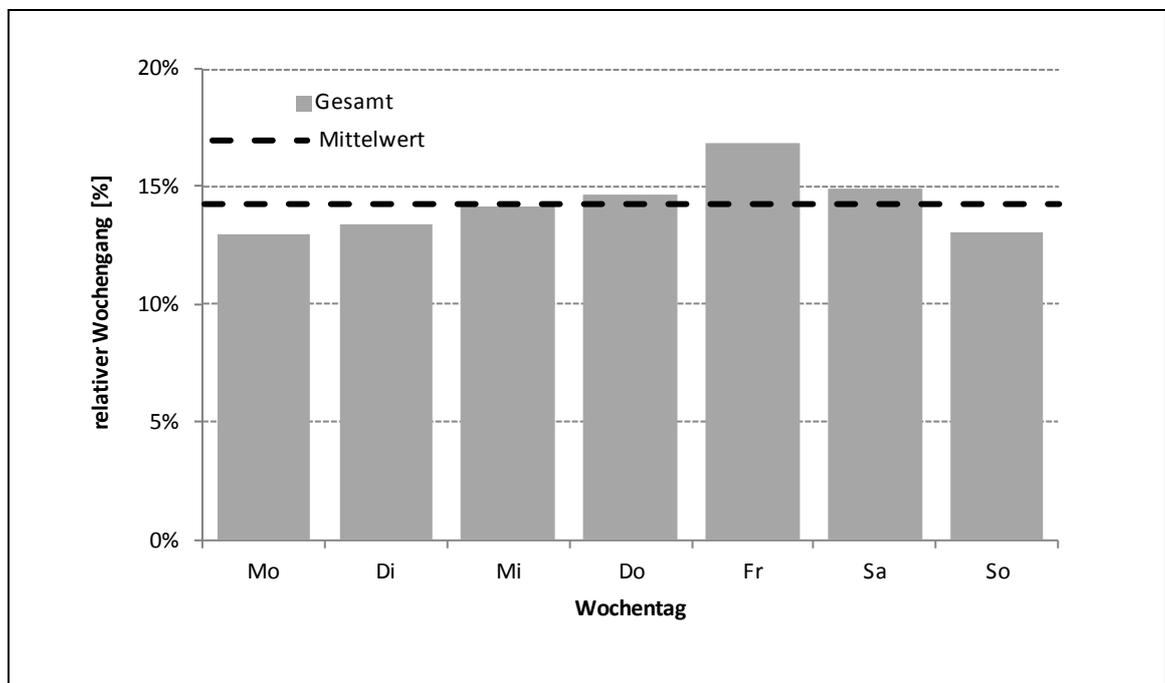


Bild 35: Mittlerer relativer Wochengang für das Gesamtverkehrsaufkommen am RMQ Hofoldingen Forst

In Bild 36 ist die Streuung der Tagesverkehrsstärken differenziert nach Wochentagen und Herkunft dargestellt. Als Maß für die Streuung wurde der Variationskoeffizient

herangezogen, welcher sich aus dem Quotienten aus Standardabweichung und Mittelwert der entsprechenden Tagesverkehrsstärke berechnet. Zunächst bestätigen sich die Aussagen abgeleitet aus der Analyse der Jahreganglinien, dass die Verkehrsstärken des regionalen Verkehrs (grün dargestellt) für alle Wochentage den kleinsten Variationskoeffizienten und somit die kleinsten Schwankungen aufweisen. Der Variationskoeffizient für den überregionalen Verkehr aus Deutschland (rot dargestellt) ist grundsätzlich höher als derjenige für den europäischen Verkehr (schwarz dargestellt). Den höchsten Variationskoeffizient weist hier das Verkehrsaufkommen aus den Niederlanden auf. Hier wird sogar der Variationskoeffizient von eins überschritten, d.h. die Standardabweichung liegt für Freitag, Samstag und Sonntag über dem Mittelwert. Die Variationskoeffizienten liegen an Freitagen, Samstagen und Sonntagen für alle Segmente höher als an den Wochentagen Montag bis Donnerstag. Der Tag mit dem höchsten Variationskoeffizienten ist, außer für den regionalen Verkehr, der Samstag. Dies ist ein weiterer Hinweis auf die Wichtigkeit der Urlaubsverkehre, welche hauptsächlich aus überregionalen deutschen Verkehren und europäischen Verkehren bestehen, da Wochentage Freitag, Samstag und Sonntag typische An- und Abreisetage sind (vgl. ZUMKELLER et al. [34]).

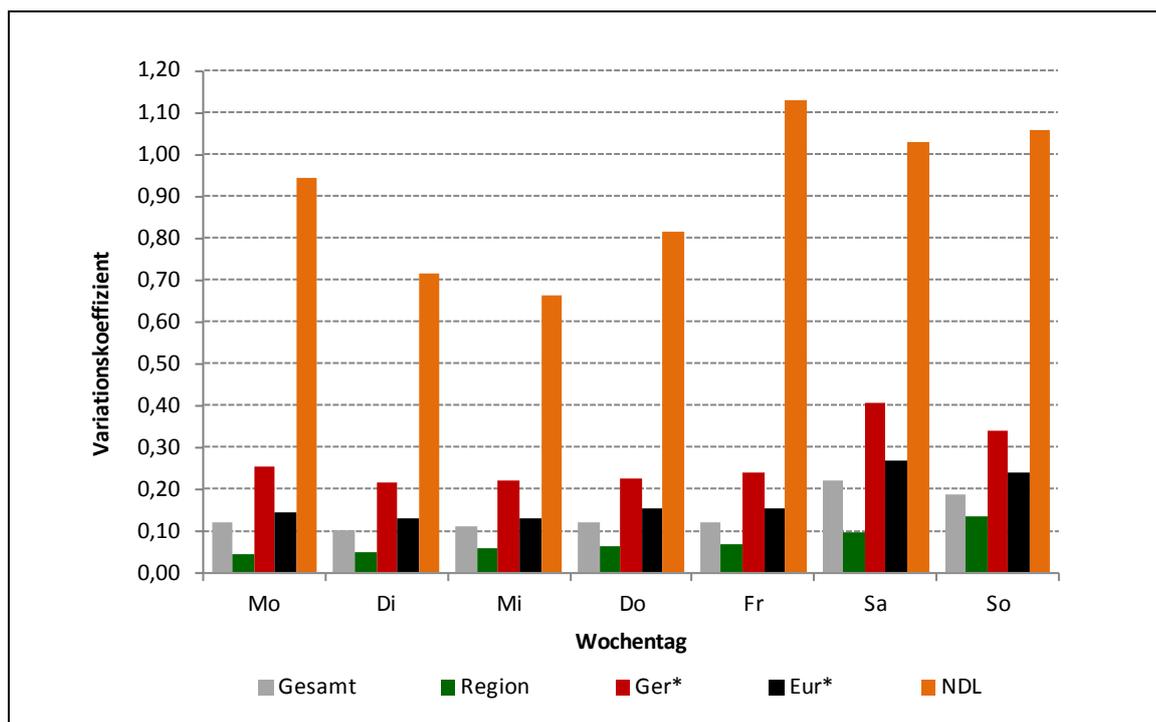


Bild 36: Variationskoeffizient der Tagesverkehrsstärken, differenziert nach Herkunft und Wochentag

Für den regionalen Verkehr ist der Variationskoeffizient am Sonntag am höchsten. Die Analyse der Jahreganglinie hat keine Hinweise auf vorhandene Urlaubsverkehre ergeben. Eine mögliche Erklärungsgröße für die Streuung der Verkehrsaufkommen an Samstagen und Sonntagen könnte das Wetter sein. Während die Tagesverkehrsaufkommen von Montag bis Freitag zu einem großen Anteil aus Wegen von und zur

Arbeit bestehen, die unabhängig vom Wetter durchgeführt werden müssen, sind die Wege am Wochenende zu einem größeren Anteil Freizeitwege, welche zum einen nicht immer Pflichtaktivitäten darstellen und zum anderen nicht immer am identischen Ort stattfinden. Die Vermutung liegt somit nahe, dass Freizeitwege in ihrer Anzahl und Ausprägung vom Wetter beeinflusst sind.

Bild 37 enthält eine Auswertung, welche diese Vermutung zunächst bestätigt. Dargestellt sind alle Tagesverkehrsaufkommen an Sonntagen für den Zeitraum der ANPR-Erhebungen am RMQ Hofoldingen Forst, aufsteigend sortiert nach dem Verkehrsaufkommen. Je nachdem welches Wetter an diesem Tag beobachtet wurde, sind die Balken unter Verwendung der Wetterklassen aus Kapitel 3.2.3.5.3 grün (Topwetter), grau (Mittelwetter) oder rot (schlechtes Wetter) eingefärbt. Schneereignisse an Sonntagen wurden nicht beobachtet. Tendenziell häufen sich die Schlechtwetterereignisse im Bereich niedriger Verkehrsstärken und die Topwetterereignisse im Bereich hoher Verkehrsstärken. Dies spiegelt sich auch in den Mittelwerten der Tagesverkehrsstärken (im Diagramm durch gestrichelte Linien gekennzeichnet) für die Wetterklassen wieder. Der Mittelwert bei Topwetter ist etwa 2.000 Fz/Tag höher und der Mittelwert für schlechtes Wetter etwas 3.000 Fz/Tag niedriger als bei mittlerem Wetter.

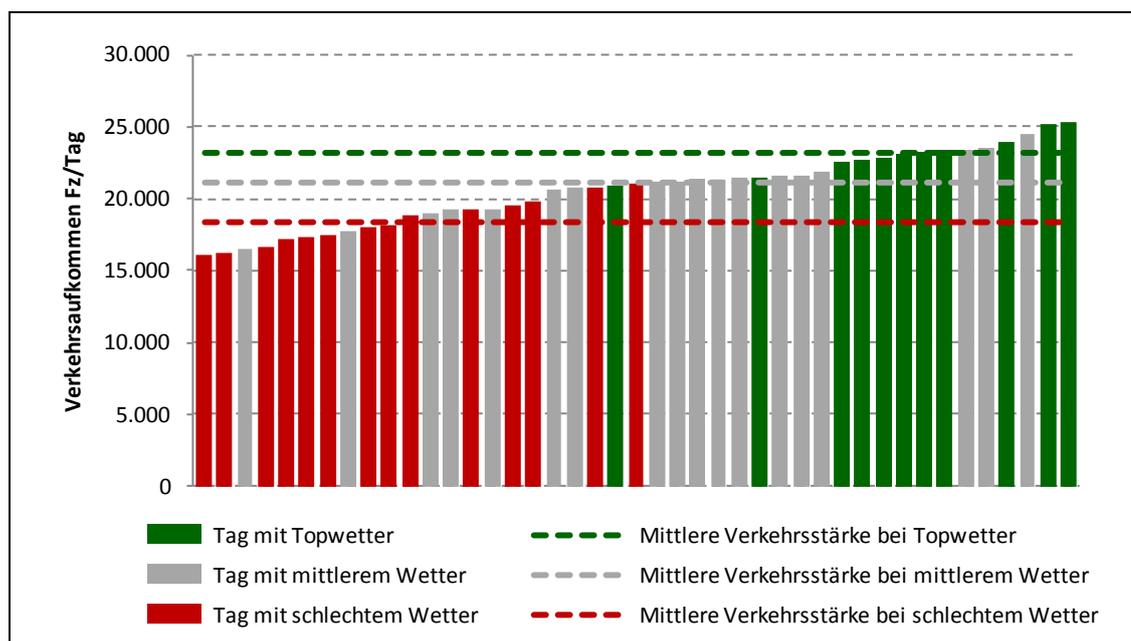


Bild 37: Verkehrsaufkommen des regionalen Verkehrs an Sonntagen

Aus der deskriptiven Analyse lassen sich nun folgende Thesen ableiten, deren Gültigkeit mit der Regressionsanalyse und der Clusteranalyse überprüft wird:

- Die Gesamtverkehrsstärke ist vom Wochentag beeinflusst.
- Die Gesamtverkehrsstärke ist von Schulferien beeinflusst.

- Für den überregionalen Verkehr aus Deutschland und den europäischen Verkehr spielen Ferien und die Art der Ferien (z. B. Sommerferien, Winterferien, Herbstferien usw.) eine Rolle.
- Urlaubsverkehre sind auch außerhalb der Schulferien beobachtbar.
- Überregionaler Verkehr aus Deutschland ist von langen Wochenenden und somit auch von Feiertagen beeinflusst.
- Regionaler Verkehr ist vom Wetter beeinflusst.
- Der Wettereinfluss ist vor allem an Wochenenden vorhanden.

3.3.2.2 Regressionsanalyse

3.3.2.2.1 Vorgehen

Die Regressionsanalyse ist eine häufig eingesetzte Methode, um zum einen Wirkungszusammenhänge zwischen einer abhängigen und einer oder mehreren unabhängigen Variablen zu überprüfen. Zum anderen kann sie zur Prognose der abhängigen Variablen unter Beachtung der entdeckten Wirkungszusammenhänge herangezogen werden. Die wesentlichen dabei durchzuführenden Arbeitsschritte sind die Formulierung des Modells, die Schätzung der Regressionsfunktion, Prüfung der Regressionsfunktion und der Regressionskoeffizienten sowie die Prüfung der Modellprämissen (vgl. BACKHAUS et al., 2006).

Das Regressionsmodell wird nun nach folgendem Prinzip formuliert: Die abhängige Variable ist die zu analysierende Tagesverkehrsstärke $Q_{\text{Tag,Reg}}$ an einem bestimmten Richtungsmessquerschnitt. Die Verkehrsstärke berechnet sich aus einer Linearkombination abhängiger Variablen x_i und zugehöriger Regressionskoeffizienten β_i . Die unabhängigen Variablen repräsentieren nun mögliche ereignisorientierte Einflussfaktoren auf die Tagesverkehrsstärke. Tritt das Ereignis ein, nehmen diese den Wert eins an, tritt das Ereignis nicht auf, nehmen sie hingegen den Wert Null an. Somit kann der Einfluss verschiedenster Kalenderereignisse (Ferien, Kalendermonat, Brückentag usw.), Wetterereignisse oder besonderer Veranstaltungen (Fußballspiel, Oktoberfest) analysiert werden. Eine Regressionsgleichung kann beispielsweise folgendermaßen formuliert werden:

$$Q_{\text{Tag,Reg}} = \beta_{\text{const}} + \dots + \beta_{\text{Januar}} \cdot x_{\text{Januar}} + \dots + \beta_{\text{Ferien,Bayern}} \cdot x_{\text{Ferien,Bayern}} + \dots \\ \dots + \beta_{\text{Brückentag}} \cdot x_{\text{Brückentag}} \dots + \beta_{\text{Regen}} \cdot x_{\text{Regen}} \quad (3.10)$$

mit	$Q_{\text{Tag,Reg}}$	Schätzung der abhängigen Variablen (Regressor)
	β_{const}	Konstantes Glied
	β_i	Regressionskoeffizienten für das Ereignis i
	x_i	Ereignisvariable i (1, wenn Ereignis i eintritt, sonst 0)

Für einen Analysezeitraum werden innerhalb der Modellschätzung die Regressionskoeffizienten β_i derart bestimmt, dass für die Tage innerhalb des Analysezeitraums die Abweichung zwischen der geschätzten Verkehrsstärke $Q_{\text{Tag,Reg}}$ und der beobachteten Verkehrsstärke $Q_{\text{Tag,Det}}$ minimal wird:

$$\min \left\{ (Q_{\text{Tag,Reg}} - Q_{\text{Tag,Det}})^2 \right\} \quad (3.11)$$

Im Ergebnis lässt sich dann der Einfluss jedes betrachteten Ereignisses am zugehörigen Parameter qualitativ (Vorzeichen) und quantitativ (Betrag des Parameters in entsprechender Einheit) direkt ablesen.

Die Prüfung des Regressionsmodells und der Regressionskoeffizienten wird abschließend anhand von Signifikanztests durchgeführt. Für das Regressionsmodell wird der F-Test und für die Regressionskoeffizienten wird der T-Test angewendet (vgl. BACKHAUS et al., 2006).

Die drei Modellprämissen sind für die im Folgenden getesteten linearen Regressionsmodelle erfüllt (vgl. BACKHAUS et al., 2006):

- Linearität in den Parametern (automatisch erfüllt, da es sich ausschließlich um binäre Variable handelt)
- Die unabhängigen Variablen sind nicht linear abhängig (Kalendervariablen die grundsätzlich gemeinsam auftreten, werden ausgeschlossen)
- Normalverteilung der Störgrößen

Die Vollständigkeit des Modells sowie die Homoskedastizität (die homogene Streuung der Beobachtungen) und Unabhängigkeit der Störgrößen sind im Wesentlichen von den mit einbezogenen Regressionskoeffizienten abhängig.

Im Folgenden werden nun anhand der im vorherigen Kapitel aufgestellten Hypothesen Modelle entwickelt und getestet. Dazu werden zu jeder Hypothese mögliche Gruppen von Regressionskoeffizienten abgeleitet und das jeweilige Modell geprüft.

Aufgrund der Tatsache, dass sowohl das Niveau als auch die Streuung der Tagesverkehrsstärke vom Wochentag beeinflusst zu sein scheint, wird für jeden Wochentag ein getrenntes Regressionsmodell formuliert. Die vorhandene Modellkonstante, die bei diesem Vorgehen für jeden Wochentag entsteht, kann dabei als wochentagspezifische Grundverkehrsstärke interpretiert werden.

Der Ferieneinfluss auf das Verkehrsaufkommen kann bezüglich des Detaillierungsgrades auf verschiedene Art und Weise abgebildet werden. Eine Möglichkeit ist, die Schulferien zunächst repräsentiert durch die bayrischen Schulferien abzubilden (F_{BY}). Geht man davon aus, dass Urlaubsverkehr in dieser Region einen Richtungsbezug besitzt, spielt der Ferienbeginn bzw. das Ende eine gesonderte Rolle. Hierbei wird ebenfalls mit einbezogen, dass der letzte Werktag vor den Ferien womöglich schon als

Anreisetag genutzt wird (Ferienbeginn/Ende F_{BY}^*). Um zu untersuchen, ob die Herkunft der Fahrzeuge eine Rolle bezüglich des Ferieneinflusses spielt und darüber hinaus zu beachten, dass die Schulferien nicht überall zur selben Zeit stattfinden, wird eine Unterscheidung der Koeffizienten für die jeweiligen deutschen Bundesländer (F_{BL}) und europäischen Nachbarstaaten (F_{EUR}) vorgenommen. Differenziert wird hierbei analog zu den bayrischen Schulferien die Art der Ferien und die Koeffizienten, die Ferienbeginn und -ende charakterisieren. Um die Schwankungen des Tagesverkehrsaufkommens unabhängig von den Schulferien beschreiben zu können, wird zum einen eine Gruppe von Regressionskoeffizienten eingeführt, welche die Jahreszeiten unterscheiden (JZ). Zum anderen werden Regressionskoeffizienten gebildet, welche sich an den Kalendermonaten orientieren (M). Um die Relevanz von langen Wochenenden zu prüfen, werden Ereignisse wie Brückentage, Feiertage, Werktage vor langen Wochenenden in der Regressionsgruppe Sondertage (S) zusammengefasst. Eine weitere Gruppe bilden die differenzierten Feiertage (FT), da untersucht werden soll, ob es Feiertage gibt, die eher steigernde bzw. eher verringernde Wirkung auf das Tagesverkehrsaufkommen haben. Als besonderes Ereignis mit länderregionaler Bedeutung wird das Oktoberfest (O) als weiterer Koeffizient definiert. Für die Untersuchung des Wettereinflusses (We) werden letztendlich Regressionskoeffizienten eingeführt, welche die beobachteten Wetterklassen an den jeweiligen Tagen beschreiben. Eine zusammengefasste Übersicht der definierten Koeffizientengruppen enthält Tabelle 19. Eine komplette Übersicht der eingesetzten Regressionskoeffizienten enthält Tabelle 31 auf Seite 177 im Anhang dieses Dokuments.

Für die Modellgruppen wird jeweils die minimal benötigte Anzahl möglicher Regressionskoeffizienten definiert, um die Eindeutigkeit der Koeffizienten sicherzustellen. D. h., für die vier vorhandenen Jahreszeiten werden lediglich drei Koeffizienten benötigt, da eine Jahreszeit als Referenz in die Modellkonstante eingeht. Gleiches gilt für die Kalendermonate und Wetterklassen, hier werden lediglich elf bzw. drei Regressionskoeffizienten benötigt. Als Referenz soll ein Tag mit mittlerem Wetter, ohne Ferienereignis, im November bzw. Herbst gelten. Somit werden keine Regressionskoeffizienten für die Ereignisse Mittelwetter, November und Herbst in den jeweiligen Modellgruppen definiert. Die sich ergebende Modellkonstante beschreibt dann das Verkehrsaufkommen für diesen Referenztag.

Für die Modellgruppen Ferien Bundesland (F_{BL}) und Ferien Europa (F_{EUR}) wird in 16 Bundesländer bzw. die neun Nachbarstaaten Deutschlands unterschieden. Eine Übersicht mit den im Folgenden verwendeten zugehörigen Kürzeln findet sich in Tabelle 20. Würden für jedes dieser Gebiete (Anzahl = 25) Regressionskoeffizienten für die Ereignisse Herbstferien, Osterferien, Pfingstferien, Sommerferien, Weihnachtsferien, Winterferien, Erster Ferientag, letzter Tag vor den Ferien, Ferienbeginn und letzter Ferientag (Anzahl = 10) definiert werden, würden sich alleine für diese beiden Modellgruppen 250 Regressionskoeffizienten ergeben. Vor diesem Hintergrund wird für diese beiden Koeffizientengruppen eine Vorauswahl getroffen.

Tabelle 19: Anhand der aufgestellten Thesen abgeleitete Regressionskoeffizienten

These	Bezeichnung der Gruppe	Verwendete Regressionskoeffizienten
Gesamtverkehrsstärke ist vom Wochentag beeinflusst	Grundverkehrsaufkommen	Für jeden Wochentag wird gesondertes Modell geschätzt
Gesamtverkehr ist von Schulferien beeinflusst, Art der Ferien spielt eine Rolle	Ferien Bayern (F_{BY})	Für jede Ferienart ein Koeffizient
Ferienbeginn und -ende spielt eine Rolle	Ferienbeginn/Ende (F^*_{BY})	Ferienbeginn, Erster Ferientag, letzter Tag vor Ferien, letzter Ferientag
Nachbarstaaten und Bundesländer sind nicht im gleichen Maße von Schulferien beeinflusst	Ferien Bundesland (F_{BL}) Ferien Europa (F_{EUR})	Für jedes Bundesland und jeden Nachbarstaat je Ferienart ein Koeffizient plus Koeffizienten für Ferienbeginn/Ende
Saisonale Schwankung im Verkehr unabhängig von den Ferien	Jahreszeiten (JZ) Monate (M)	3 Koeffizienten für Jahreszeiten 11 Koeffizienten für Monate
Lange Wochenenden, Feiertage und Oktoberfest sind relevant	Sonntag (S) Oktoberfest (O) Feiertag einzeln (FT)	Feiertag, Brückentag, Werktag vor Feiertag (S), Oktoberfest (O), Koeffizienten für die jeweiligen Feiertage (FT)
Wetter beeinflusst den regionalen Verkehr	Wetter (We)	3 Koeffizienten für die Wetterklassen

Tabelle 20: Übersicht betrachtete Bundesländer und europäische Nachbarstaaten und ihre im Weiteren verwendeten Kürzel

Bundesland	Kürzel	Bundesland	Kürzel	Nachbarstaat	Kürzel
Baden-Württemberg	BW	Niedersachsen	NI	Dänemark	DNK
Bayern	BY	Nordrhein-Westfalen	NW	Polen	POL
Berlin	BE	Rheinland-Pfalz	RP	Tschechien	CZE
Bremen	HB	Saarland	SL	Österreich	AUT
Brandenburg	BB	Sachsen	SN	Schweiz	CHE
Hessen	HE	Sachsen-Anhalt	ST	Frankreich	FRA
Hamburg	HH	Schleswig-Holstein	SH	Luxemburg	LUX
Mecklenburg-Vorpommern	MV	Thüringen	TH	Belgien	BEL
				Niederlande	NDL

Um eine adäquate Vorauswahl treffen zu können, werden die aufbereiteten Kameradaten herangezogen. Für jede dieser Segmentierungen wird in einem ersten Schritt das Tagesverkehrsaufkommen für den RMQ Hofolding Forst berechnet. Aus dieser Gesamtmenge aus Tagesverkehrsstärken werden der Mittelwert und die Standardabweichung für jedes Segment bestimmt. Nun wird für jedes Ereignis der Mittelwert der Tagesverkehrsstärken an Tagen, an denen das Ereignis eingetreten ist, bestimmt. Liegt der Mittelwert der Tagesverkehrsstärken für dieses Ereignis innerhalb desjenigen Intervalls, das sich aus dem Mittelwert der Gesamtmenge plus/minus der Standard-

abweichung der Gesamtmenge ergibt, dann wird das Ereignis für dieses Segment verworfen. Liegt der Mittelwert außerhalb dieses Intervalls, wird das Ereignis als für die Regressionsanalyse relevant eingestuft.

Bild 38 zeigt dieses Vorgehen am Beispiel des Segments "Niederlande". Abgebildet sind die mittleren Verkehrsstärken und die Standardabweichung für alle zu prüfenden Ereignisse. An oberster Stelle sind der Mittelwert und die Standardabweichung für alle Tagesverkehrsstärken eingetragen. Die mittlere Tagesverkehrsstärke der Niederländer im Erfassungszeitraum beträgt demnach etwa 1.000 Fz/Tag und die Standardabweichung etwa 1.100 Fz/Tag. Daraus ergibt sich das orange eingefärbte Intervall als Entscheidungsgrundlage. Für die Niederlande werden die Ereignisse Herbstferien, Osterferien, Pfingstferien, Weihnachtsferien, Winterferien und letzter Ferientag verworfen. In diesen Fällen liegt der Mittelwert (grau eingefärbt) innerhalb des orangenen Intervalls. Die Ereignisse Sommerferien, erster Ferientag, letzter Tag vor den Ferien und Ferienbeginn werden als relevant eingestuft, da sich die Mittelwerte (schwarz eingefärbt) außerhalb des Intervalls befinden.

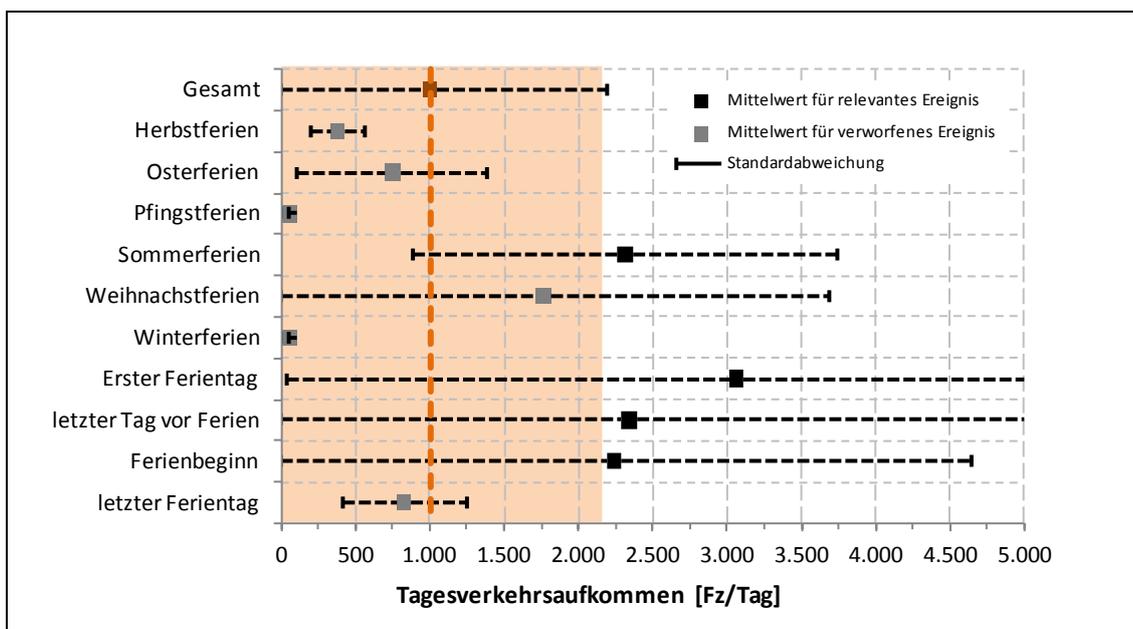


Bild 38: Vorauswahl der Regressionskoeffizienten am Beispiel der Niederländer

In Tabelle 21 sind die als relevant eingestuften Regressionskoeffizienten für die Ferien in Europa und in den deutschen Bundesländern gekennzeichnet. Für die meisten Nationen bzw. Bundesländer wurde der Ferienbeginn sowie der erste Ferientag und die Sommerferien als relevant eingestuft.

Tabelle 21: Relevante Regressionskoeffizienten für die Koeffizientengruppen F_{GER} und F_{EUR}

	BB	BE	BY	HH	NW	SH	SN	TH	BEL	CHE	CZE	DNK	FRA	NDL	POL
Winterferien	X	X	X	X	-	-	-	-	X	-	X	-	-		-
Osterferien	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-		-
Pfingstferien	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-		-
Sommerferien	-	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X	X	-
Erster Ferientag	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X
Letzter Tag vor den Ferien	-	-	X	-			-	-	-	X	-	-	-	X	-
Ferienbeginn	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-

Durch Kombination verschiedenster Gruppen von Regressionskoeffizienten konnten nun systematisch verschiedene Modelle getestet werden. In Tabelle 22 sind die getesteten Modelle mit den enthaltenen Gruppen von Regressionskoeffizienten enthalten. Jedes dieser Modelle wurde jeweils ohne und mit Betrachtung des Wetters angewandt und evaluiert. Zunächst wurde ein Basismodell definiert, welches ausschließlich die differenzierten Ferien in Bayern als Koeffizienten schätzt. Die Differenziertheit der Modelle wurde schrittweise gesteigert. Modell 7 stellt das komplexeste Modell dar und umfasst neben dem Wetter acht Gruppen von Regressionskoeffizienten.

Tabelle 22: Entwickelte Modellkombinationen

ModellNr.	Enthaltene Koeffizientengruppen
1	F_{BY} mit/ohne W_e
2	F_{BY} , JZ mit/ohne W_e
3	F_{BY} , M mit/ohne W_e
4	F_{BY} , M, S mit/ohne W_e
5	F_{BY} , M, S, F^*_{GER} mit/ohne W_e
6	F_{BY} , M, S, F^*_{GER} , F_{BL} , F_{EUR} mit/ohne W_e
7	F_{BY} , M, S, F^*_{GER} , F_{BL} , F_{EUR} , O, FT mit/ohne W_e

Die entwickelten Modellkombinationen wurden nun zunächst auf den RMQ Hofoldingener Forst angewendet. Der Analysezeitraum, für den die Tagesverkehrsaufkommen untersucht wurden, umfasst die Jahre 2008 bis 2010. Zusätzlich wurden unter Verwendung der entstandenen Regressionskoeffizienten alle Tagesverkehrsaufkommen für das Jahr 2011 geschätzt, um die Prognosequalität des entstandenen Modells prüfen zu können. Die Ergebnisse der durchgeführten Modellrechnungen sind in Tabelle 23 zusammengefasst. Die dargestellten Kenngrößen sind aggregierte Werte, da jedes

Modell für jeden Wochentag extra geschätzt wurde. Die maximalen, minimalen bzw. mittleren Werte berechnen sich demzufolge aus sieben Einzelwerten.

Tabelle 23: Ergebnisse für die getesteten Modellkombinationen

Modell Nr.	R ² mittel ohne Wetter	R ² mittel mit Wetter	ΔR ² mittel	ΔR ² min	GEH mittel ohne Wetter	ΔGEH mittel	F-Test min	Signifikanzniveau max
1	0,25	0,31	0,06	0,02	22,4	0,06	4,03	< 1 %
2	0,49	0,54	0,06	0,02	18,4	-0,65	6,56	< 1 %
3	0,67	0,71	0,05	0,02	14,5	-1,27	6,12	< 1 %
4	0,71	0,76	0,05	0,02	14,0	-1,33	8,62	< 1 %
5	0,75	0,79	0,05	0,03	13,6	-1,41	10,03	< 1 %
6	0,83	0,87	0,04	0,02	14,7	-1,53	7,33	< 1 %
7	0,84	0,88	0,04	0,02	13,4	-0,54	7,17	< 1 %

Als Evaluierungsgrößen sind in Tabelle 23 das Bestimmtheitsmaß R², der GEH-Wert, der Wert aus dem F-Test sowie das Signifikanzniveau angegeben. Die Werte sind dabei folgendermaßen definiert:

- Das Bestimmtheitsmaß R² beschreibt den Anteil der erklärten Streuung an der beobachteten Gesamtstreuung und ist ein Maß dafür, wie gut sich das untersuchte Regressionsmodell an die beobachteten Analysedaten anpasst (vgl. BACKHAUS et al., 2006):

$$R^2 = \frac{\text{erklärte Streuung}}{\text{Gesamtstreuung}} = 1 - \frac{\text{nicht erklärte Streuung}}{\text{Gesamtstreuung}} = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n (Q_{\text{Tag,Reg,k}} - Q_{\text{Tag,Det,k}})^2}{\sum_{k=1}^n (Q_{\text{Tag,Det,k}} - Q_{\text{Tag,Mittel}})^2} \quad (3.12)$$

Mit	Q _{Tag,Det,k}	beobachteten Verkehrsstärke am Tag k
	Q _{Tag,Reg,k}	geschätzten Verkehrsstärke am Tag k
	Q _{Tag,Mittel}	Mittlere Verkehrsstärke aus allen Tagen k=1 bis n
	n	Anzahl der Beobachtungen

Die dargestellten Werte in der Tabelle 23 zeigen das mittlere Bestimmtheitsmaß des jeweiligen Modells sowohl mit als auch ohne Wetter. Außerdem ist dargestellt, welche mittlere Differenz und welche minimale Differenz das Bestimmtheitsmaß des Modells mit Wetter zum Bestimmtheitsmaß ohne Wetter aufweist. Somit ist die mittlere und die minimale Verbesserung der Anpassungsgüte dargestellt.

- Der GEH-Wert ist für den Vergleich von zwei Verkehrsstärken entwickelt worden und berechnet sich folgendermaßen:

$$\text{GEH} = \sqrt{\frac{2 \cdot (Q_1 - Q_2)^2}{Q_1 + Q_2}} \quad (3.13)$$

Mit Q_1, Q_2 Verkehrsstärken

Für den Wert "GEH mittel ohne Wetter" in der Tabelle 23 wurde für alle Tage im Jahr 2011 der GEH-Wert zwischen der prognostizierten Verkehrsstärke des Modells ohne Wetter und der tatsächlich gemessenen Verkehrsstärke gebildet. Der dargestellte Wert " Δ GEH mittel" zeigt die mittlere Differenz zwischen den GEH-Werten für die jeweiligen Modelle mit und ohne Wetterintegration.

- Der F-Test prüft ab, inwiefern das geschätzte Regressionsmodell auf die Grundgesamtheit übertragen werden kann. Der Prüfwert F berechnet sich wie folgt:

$$F = \frac{R^2 \cdot (K - J - 1)}{(1 - R^2) \cdot J} \quad (3.14)$$

Mit	R^2	Bestimmtheitsmaß
	K	Zahl der Beobachtungswerte
	J	Zahl der Regressoren

Unter Vorgabe einer Vertrauenswahrscheinlichkeit kann dieser empirische F-Wert mit einem theoretischen F-Wert aus einer F-Tabelle verglichen werden. Ist der empirische Wert kleiner als der theoretische F-Wert, kann mit der angenommenen Vertrauenswahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass das Regressionsmodell auf die Grundgesamtheit übertragen werden kann. Der F-Wert ist abhängig von der Anzahl der beobachteten Analysefälle. Im vorliegenden Fall ist das die Anzahl der betrachteten Tage, die für alle Modelle größer als 120 ist. (vgl. BACKHAUS et al., 2006)

- Das Signifikanzniveau, auch Irrtumswahrscheinlichkeit genannt, gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit welcher das Regressionsmodell keine Gültigkeit für die Grundgesamtheit besitzt. Diese Irrtumswahrscheinlichkeit ergibt sich direkt aus dem F-Wert. (vgl. BACKHAUS et al., 2006)

Aus Tabelle 23 ist zunächst ersichtlich, dass die resultierenden F-Werte alle zu einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 1 % führen. Alle getesteten Modelle sind somit signifikant. Für alle getesteten Regressionskoeffizienten gilt, dass mindestens ein Regressionskoeffizient der getesteten Gruppe signifikant ist. Auf die Darstellung der einzelnen Signifikanzen der Regressionskoeffizienten wird aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

In Tabelle 23 ist darüber hinaus erkennbar, dass das Bestimmtheitsmaß mit dem Detaillierungsgrad des Modells von 25 % auf 88 % ansteigt. Für alle sieben Modelle wird mit der Berücksichtigung des Wetters ein höheres Bestimmtheitsmaß erreicht. Mit steigendem Detaillierungsgrad nimmt jedoch die mittlere Vergrößerung des Bestimmtheitsmaßes von 6 % auf 4 % ab. Für die Veränderung der Prognosequalität

der jeweiligen Modelle durch Berücksichtigung des Wetters zeigt sich hierbei allerdings ein differenzierteres Bild. Für das einfache Modell 1 wird der GEH-Wert für das Prognosejahr 2011 größer und somit sinkt die Prognosequalität. Für die Modelle 2 bis 7 kann die Prognosequalität des Modells jeweils gesteigert werden, was an der Verringerung des GEH-Werts erkennbar ist. Abschließend kann festgestellt werden, dass das Modell 7 mit Betrachtung des Wetters die besten Ergebnisse liefert und daher für die folgenden Analysen angewendet wird.

3.3.2.2 Einflussgrößen allgemein

Bevor konkret der Wettereinfluss analysiert wird, erfolgt zunächst eine differenzierte Analyse aller Einflussgrößen. Dadurch kann adäquat herausgearbeitet werden, wie stark bzw. relevant der Einfluss des Wetters im Vergleich zu anderen Einflussgrößen ist.

Für eine quantitative Analyse der Einflussgrößen auf das Tagesverkehrsaufkommen werden im Folgenden die Werte der Regressionskoeffizienten für das Modell 7 mit Wetter ausgewertet. Vor diesem Hintergrund fasst Bild 39 die quantitative Ausprägung der Regressionskoeffizienten beispielhaft für das Jahr 2011 zusammen. Dargestellt sind jeweils die prognostizierten Tagesverkehrsaufkommen und ihre Zusammensetzung. Die Regressionskoeffizienten sind dabei in die Kategorien Grundverkehrsaufkommen, Jahreszyklus, Schulferien, Sondertage und Wetter zusammengefasst und entsprechend eingefärbt. Ein Berechnungsbeispiel: Für den 03.01.2011 wird zur Berechnung des Tagesverkehrsaufkommens die Modellkonstante für Montage (=Grundverkehrsaufkommen, grau), der Regressionskoeffizient für Januar (=Jahreszyklus, grün), für Weihnachtsferien in Bayern (=Schulferien, rot) und für schlechtes Wetter (=Wetter, orange) herangezogen und im Diagramm farblich gekennzeichnet.

In Bild 39 ist erkennbar, dass der Jahreszyklus von Februar bis Oktober gemessen am Referenzwert im Dezember positiv ist, also mehr Fahrzeuge detektiert werden. Die Werte sind für die Hochsommermonate Juli und August am höchsten. Im November hingegen sinkt das Tagesverkehrsaufkommen tendenziell, im Januar sind die Werte für die entsprechenden Regressionskoeffizienten an Werktagen tendenziell negativ und an den Wochenenden nahe Null. Es wird nochmals darauf hingewiesen, dass für jeden Wochentag eine Regressionsanalyse durchgeführt wurde und daher z. B. der Jahreszyklus über die Jahreszeiten nicht konstant ist.

Das erhöhte Verkehrsaufkommen an Wochenenden im Januar lässt sich hingegen auf die stattfindenden Weihnachtsferien zurückführen. Durch die Überlagerung der Schulferien in mehreren Bundesländern und Nachbarnationen lässt sich auch im Sommer ein Mehrverkehrsaufkommen von bis zu 15.000 Fz/Tag im Sommer erklären. Es ist ebenfalls deutlich erkennbar dass der Einfluss des Wetters vergleichsweise gering ist.

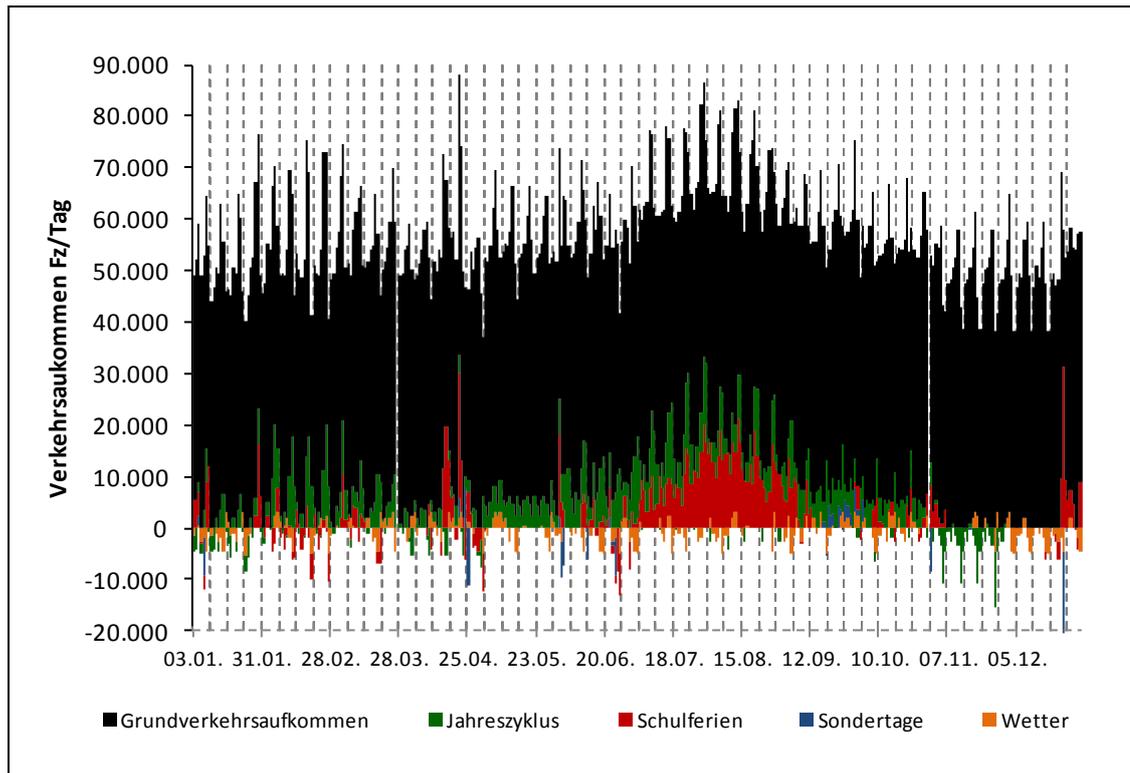


Bild 39: Einflussgrößen des Jahresgangs des Gesamtverkehrsaufkommens

In Bild 40 sind die die einzelnen Werte für die Tagesverkehrsaufkommen aus Bild 39 für das Jahr 2011 aggregiert dargestellt. Für jeden Wochentag wurden dafür die Beträge der Regressionskoeffizienten mit der Anzahl an Tagen an denen sie Einfluss haben multipliziert und für jede Kategorie zusammensummiert. Die so entstandenen Werte pro Kategorie wurden dann anhand der Gesamtsumme über alle Kategorien normiert. Somit kann aus dem entstandenen Bild 40 für jeden Wochentag abgelesen werden, wie hoch der quantitative Einfluss der jeweiligen Einflussgrößen im Mittel über das ganze Jahr ist. Für Montag bis Freitag besteht das Jahresverkehrsaufkommen zu über 85 % aus dem Grundverkehrsaufkommen. Der Einfluss des Jahreszyklus ist an den Wochenenden tendenziell etwas höher als an den restlichen Wochentagen. Der Einfluss der Schulferien ist an den Wochenenden deutlich höher. Der Einfluss der Sondertage am Gesamtverkehrsaufkommen ist vergleichsweise gering, aber wie zu erwarten montags, freitags und samstags und somit an Tagen, welche Teil eines langen Wochenende sind, erkennbar. Der Einfluss auf das Jahresverkehrsaufkommen ist an dieser Stelle vergleichsweise klein, da Sondertage relativ seltene Ereignisse sind. Der Wiedereinfluss ist an Wochenenden ebenfalls etwas stärker ausgeprägt, jedoch ebenfalls vergleichsweise gering.

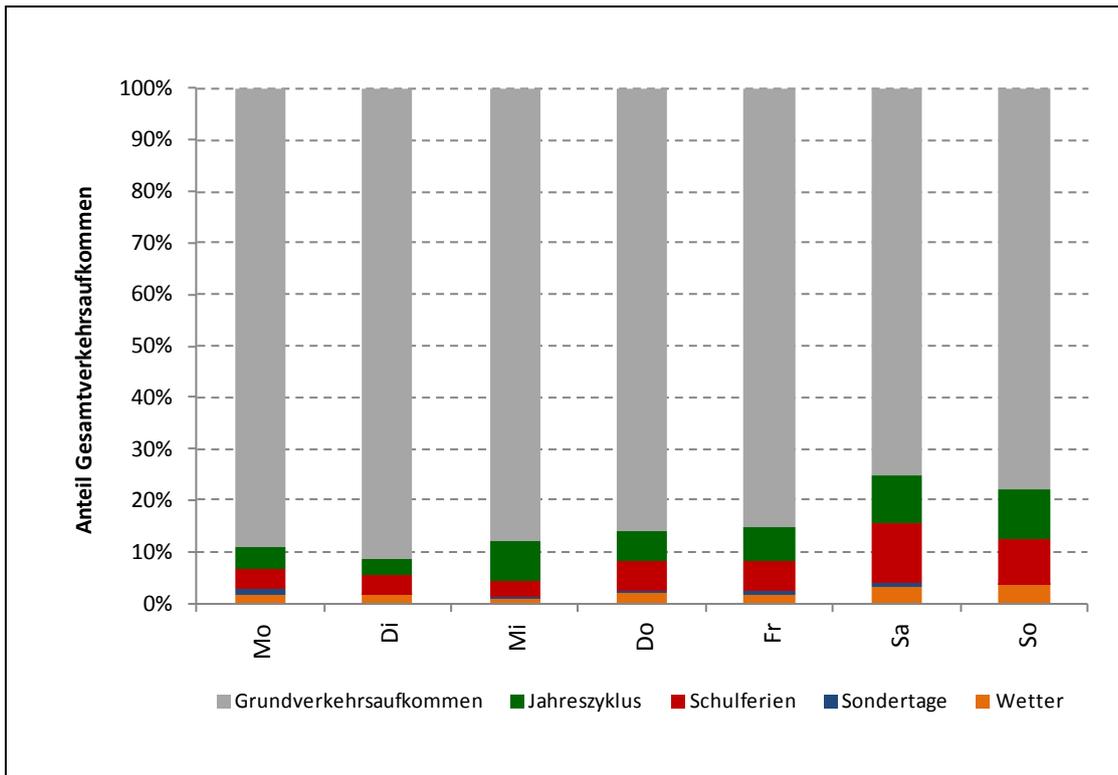


Bild 40: Einflussgrößen des Verkehrsaufkommens nach Wochentagen, Gesamtverkehr

Die für jeden RMQ aufbereiteten Quelle-Ziel-Daten ermöglichen eine Analyse differenziert nach Herkunft. Hierzu wurde die oben beschriebene Regressionsanalyse für die Tageskehrsaufkommen verschiedener Herkunftsgruppen für alle RMQs durchgeführt. Als Regressionskoeffizienten wurden dabei die differenzierten Schulferien für das Herkunfts(Bundes-)land, der Jahreszyklus, Ferienbeginn- und Ende, Sondertage, Feiertage, das Oktoberfest und das Wetter berücksichtigt (vgl. Tabelle 19, Seite 79).

Analog zu Bild 40 wurden die Ergebnisse in Bild 41 differenziert nach Herkunft zusammengefasst. Dargestellt sind beispielhaft die Einflussgrößen für Sonntage unterschieden nach deutschen Bundesländern und an Deutschland angrenzenden Nationen (für die Abkürzungen siehe Tabelle 20, S. 79). Betrachtungspunkt ist der RMQ Hofoldingen Forst. Zunächst zeigt sich, dass für alle Bundesländer außer Bayern sowie für die BeNeLux-Länder, Frankreich und die Schweiz mehr als 40 % des Jahresverkehrsaufkommens durch den Jahreszyklus und die Schulferien beeinflusst sind. Dies sind genau jene Fahrzeuge, welche vor allem auf dem Weg in den Winter- bzw. Sommerurlaub detektiert werden. Der große Anteil der grünen Flächen gegenüber den roten Flächen gibt einen Hinweis darauf, dass die Anzahl der detektierten Urlaubsfahrten außerhalb der Schulferien im jeweiligen Land relativ hoch ist. Die deutlich höheren Werte für das Grundverkehrsaufkommen für die Nationen Polen und Tschechien, lassen darauf schließen, dass die Urlaubsverkehre aus diesen Nationen am RMQ Hofoldingen Forst eine vergleichsweise geringe Bedeutung haben. Am

geringsten ist der Einfluss für die Fahrzeuge aus Österreich und aus Bayern. Darüber hinaus ist erkennbar, dass nur für Bayern ein Wettereinfluss vorhanden ist.

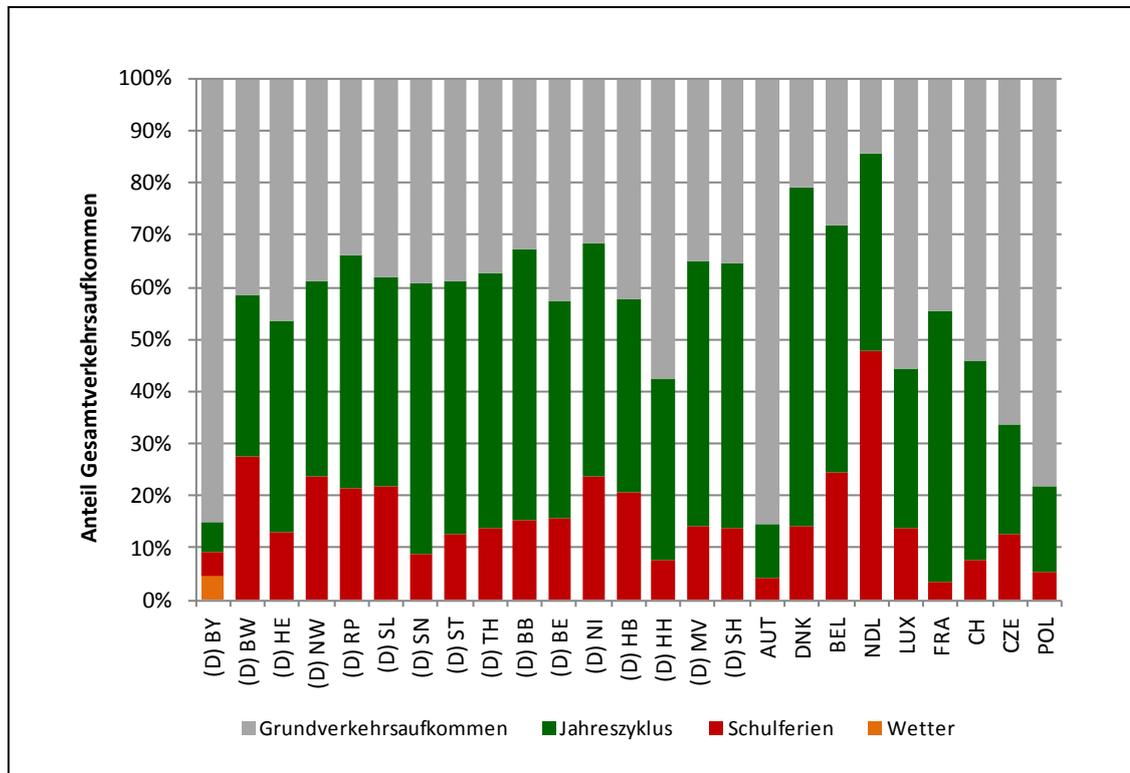


Bild 41: Einflussgrößen des Verkehrsaufkommens nach Herkunft, sonntags

In Bild 42 sind die Ergebnisse solch einer Regressionsanalyse differenziert für die sonntäglichen Verkehrsaufkommen ausgesuchter Landkreise innerhalb des Untersuchungsgebietes dargestellt. Es zeigt sich, dass die Schulferien und der Jahreszyklus für die beiden Landkreise Pfaffenhofen (PAF) und Berchtesgadener Land (BGL), welche am Rand des Untersuchungsgebietes liegen, einen deutlich höheren Stellenwert besitzen als für die Landkreise München (M) und Rosenheim (RO). Bemerkenswert ist dabei auch, dass der Wettereinfluss für Pfaffenhofen, München und Rosenheim deutlich erkennbar, für das Berchtesgadener Land jedoch nicht vorhanden ist. Eine differenziertere Ergebnisdarstellung des Wettereinflusses ist im Folgenden Unterkapitel enthalten.

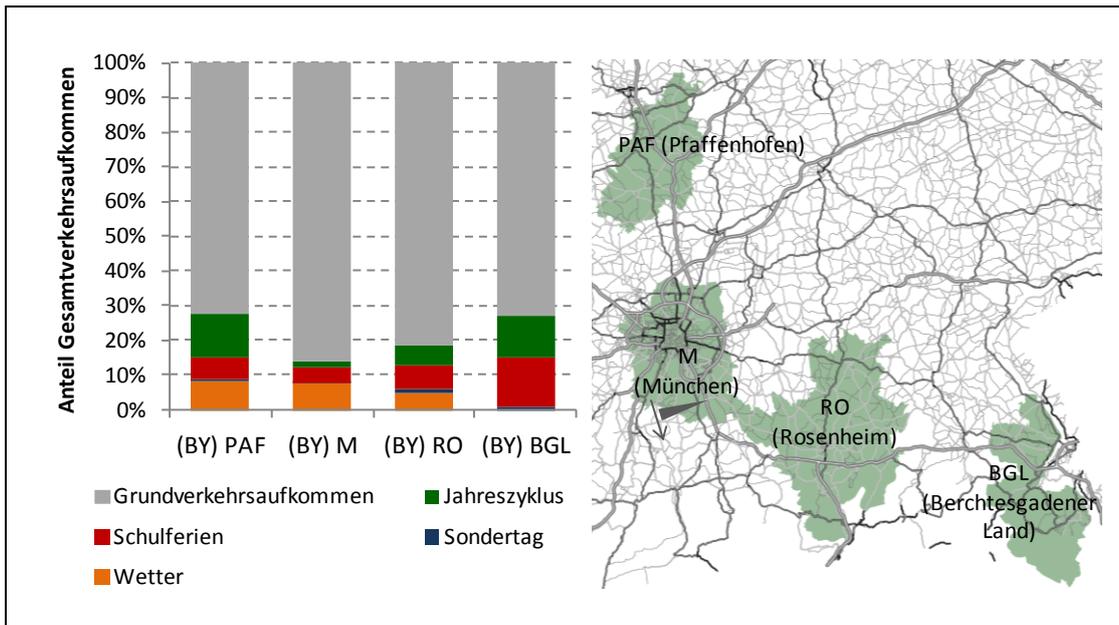


Bild 42: Einflussgrößen nach Herkunft, sonntags, landkreisfein

3.3.2.2.3 Wiedereinfluss

Wochentag

Die Ergebnisse bezüglich des Wetters für das differenzierte Regressionsmodell, angewandt auf den RMQ Hofolding Forst, enthält Bild 43. Dargestellt ist die Veränderung des mittleren Tagesverkehrsaufkommens aufgrund der beobachteten Wetterklasse differenziert nach Wochentagen.

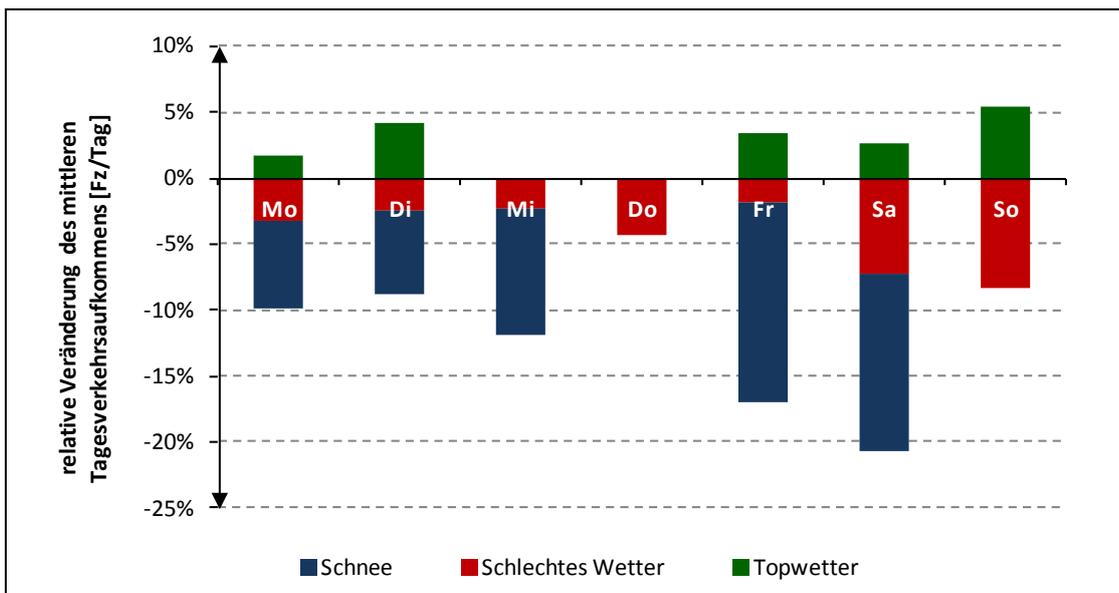


Bild 43: Relative Veränderung des mittleren Tagesverkehrsaufkommens differenziert nach Wochentag

Es zeigt sich zunächst, dass die Wetterklasse Topwetter für die Wochentage Mittwoch und Donnerstag keine Signifikanz besitzt. (für die Definition der Wetterklassen vgl. Kapitel 3.2.3.5.3, S. 57). Gleiches gilt für die Wetterklasse Schnee an Donnerstagen und Sonntagen. Grundsätzlich erhöht sich das detektierte Gesamtverkehrsaufkommen bei Topwetter, hingegen verringert es sich bei schlechtem Wetter. Bei Schneereignissen verringert sich das Gesamtverkehrsaufkommen noch stärker. Die beobachteten Wettereffekte sind an Samstagen und Sonntagen tendenziell stärker ausgeprägt als an den restlichen Wochentagen.

Herkunft

Um den Wettereinfluss auf die Verkehrsmenge bezüglich der Herkunft der erfassten Fahrzeuge zu untersuchen, wurden für jeden Landkreis die Regressionskoeffizienten bezüglich des Wetters ausgewertet und ihr Einfluss auf das mittlere Tagesverkehrsaufkommen bestimmt. Bild 44 zeigt die Ergebnisse der landkreisfeinen Regressionsanalyse für die Wetterklasse "Topwetter" an Sonntagen bezogen auf den RMQ Hofolding Forst. Die Ergebnisse entsprechen zumindest qualitativ den Ergebnissen an Samstagen.

Dargestellt sind die relativen Veränderungen der Tagesverkehrsaufkommen aus den jeweiligen Landkreisen welche den RMQ Hofolding Forst passieren. Eingefärbt sind nur solche Landkreise, für die der zugehörige Regressionskoeffizient ein Signifikanzniveau von unter 10 % aufweist (vgl. Kapitel 3.3.2.2.1, S. 76). Für alle Landkreise mit signifikantem Einfluss von Topwetter erhöht sich das mittlere Tagesverkehrsaufkommen. Die relative Veränderung liegt dabei zwischen 5 % und 30 %.

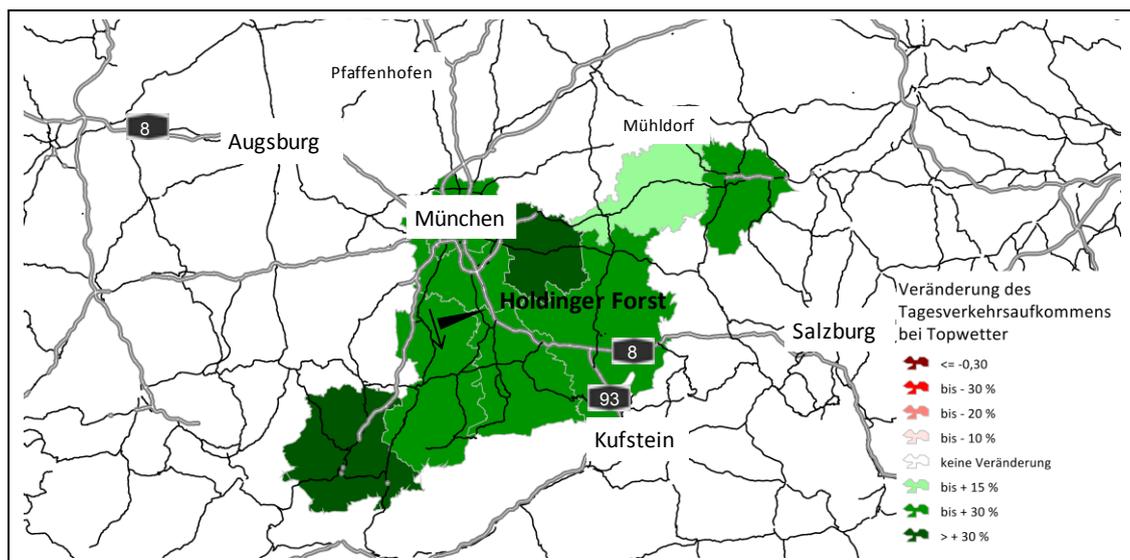


Bild 44: Relative Änderung des durchschnittlichen Tagesverkehrsaufkommens nach Herkunft, sonntags, Topwetter

Für schlechtes Wetter an Sonntagen ergibt sich das Ergebnis dargestellt in Bild 45. Für die Landkreise, welche bezüglich des RMQ Hofoldingener Forst als Quellen definiert sind, verringert sich das Tagesverkehrsaufkommen zwischen 10 % und 40 %. Für die detektierten Fahrzeuge aus diesen Landkreisen liegen die Ziele bei Topwetter tendenziell stromabwärts vom RMQ Hofoldingener Forst. Dies sind vor allem Ausflugsziele in den Alpen und an den Seen dieser Region und somit Ziele, die bei schlechtem Wetter an Attraktivität verlieren. Bei schlechtem Wetter liegt das Attraktionspotenzial eher im Stadtgebiet München und somit passieren weniger Fahrzeuge den RMQ Hofoldingener Forst.

Für die Landkreise, welche bezüglich des RMQ Hofoldingener Forst als Ziele definiert sind, erhöht sich das Tagesverkehrsaufkommen bei schlechtem Wetter um bis zu 20 %. Für Fahrzeuge dieser Landkreise liegen die Ziele bei schlechtem Wetter tendenziell stromaufwärts vom RMQ Hofoldingener Forst. In diesem Fall passieren die Fahrzeuge den RMQ Hofoldingener Forst häufiger.

Im Vergleich zur Wetterklasse "Topwetter" sind die Tagesverkehrsaufkommen für die Wetterklasse "Schlechtes Wetter" weiträumiger beeinflusst. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen in Bild 43, in dem der negative Einfluss der Wetterklasse "Schlechtes Wetter" tendenziell einen höheren Betrag aufweist, also stärker ist, als der positive Einfluss der Wetterklasse "Topwetter". Eine Auswertung für die Wetterklasse "Schnee" war aufgrund der wenigen Schneereignisse nicht möglich.

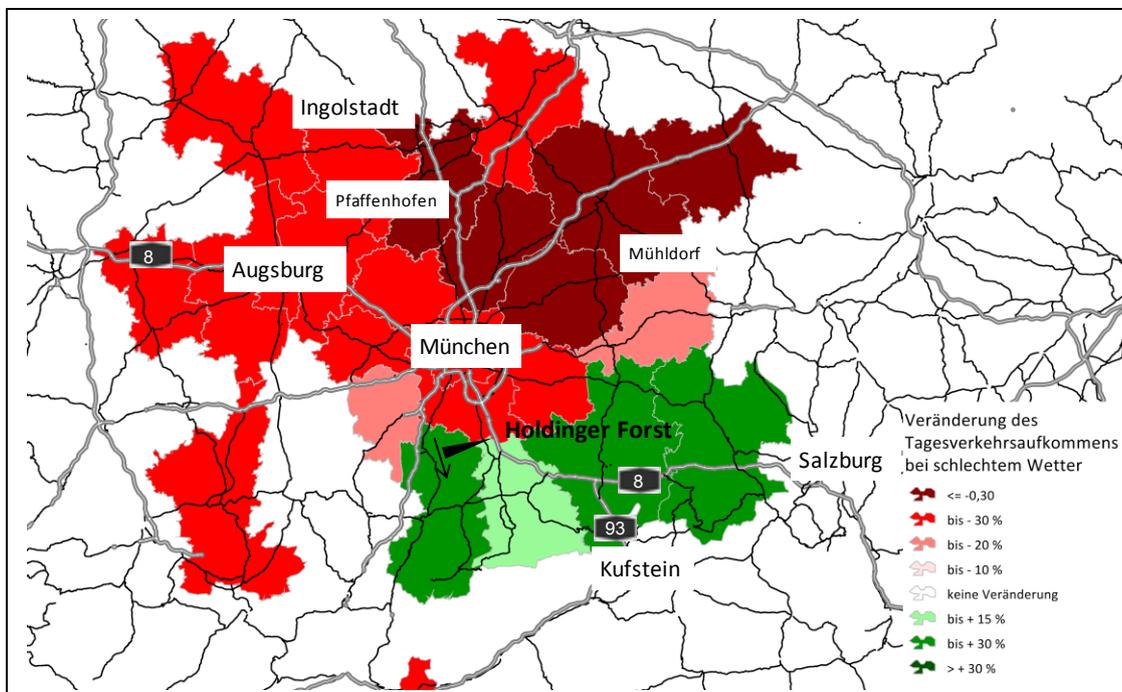


Bild 45: Relative Änderung des durchschnittlichen Tagesverkehrsaufkommens nach Herkunft, sonntags, schlechtes Wetter

Lage des untersuchten RMQ

Die bisherigen Aussagen bezogen sich ausschließlich auf den RMQ Hofolding Forst. Vor diesem Hintergrund wurde die für das Gesamtverkehrsaufkommen beschriebene Regressionsanalyse für alle RMQs (Verkehrsstärkedaten, vgl. Kapitel 3.2.3.1, Seite 27) mit Richtung Salzburg/Kufstein durchgeführt, an denen eine Zählstelle vorhanden ist. Die betrachteten RMQs sind in den Bildern 46 und 47 mit einem kleinen Dreieck gekennzeichnet.

In Bild 46 ist der Einfluss der Wetterklasse "Topwetter" für Sonntage dargestellt. Es zeigt sich, dass die Veränderung des Tagesverkehrsaufkommens nur im vorderen Bereich der BAB 8 signifikanten Einfluss hat. Liegt das Signifikanzniveau unter 10 % sind die Streckenabschnitte nicht eingefärbt. Bis zum RMQ Hofolding Forst liegt der Einfluss auf das Verkehrsaufkommen noch über 5 %, an den RMQs stromabwärts liegt der Einfluss zwischen 2,5 % und 5 %. Zwischen dem Irschenberg und dem AD Inntal ist kein Einfluss für die Wetterklasse "Topwetter" nachweisbar. Auch für den Bereich der Streckenbeeinflussungsanlage "Siegendorf" konnte für keinen Streckenabschnitt ein signifikanter Einfluss für die Wetterklasse Topwetter festgestellt werden. Für den Abschnitt zwischen dem AD Inntal und dem Chiemsee lässt sich jedoch eine signifikante Steigerung des Verkehrsaufkommens bei Topwetter von etwa 4 % bestimmen. Die Nähe zum Chiemsee als attraktives Ausflugsziel bei Topwetter spielt hier sicherlich eine Rolle.

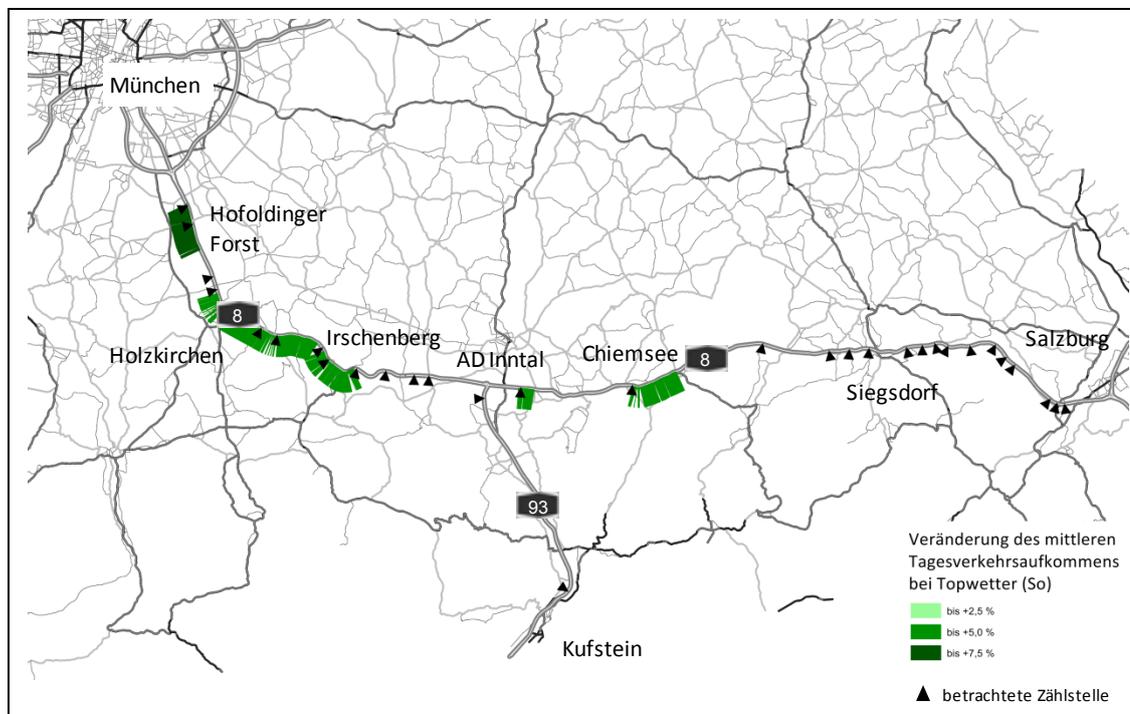


Bild 46: Streckenfeine Änderung des Tagesverkehrsaufkommens bei Topwetter

Bild 47 enthält die analoge Darstellung für die Wetterklasse "Schlechtes Wetter" an Sonntagen. Auffällig ist hier zunächst, dass der Einfluss für die Wetterklasse "Schlechtes Wetter" für eine größere Anzahl an RMQs signifikant ist, als bei Topwetter. Auf allen untersuchten Streckenabschnitten führt die Wetterklasse "Schlechtes Wetter" zu einer Verringerung des Tagesverkehrsaufkommens. Die Einflussstärke, also der Betrag der prozentualen Abweichung, ist im Bereich Hofoldinger Forst mit über 7,5 % am stärksten und nimmt mit zunehmender Entfernung von München ab. Die Einflussstärke nimmt kurz vor dem AD Inntal und der Anschlussstelle Siegsdorf nochmals zu und liegt hier zwischen -5 % und -7,5 %. Dies lässt folgende Interpretation zu: Der Wettereinfluss steigt mit zunehmender Nähe zu Ballungsräumen und Zielen mit hohem Freizeitwert.

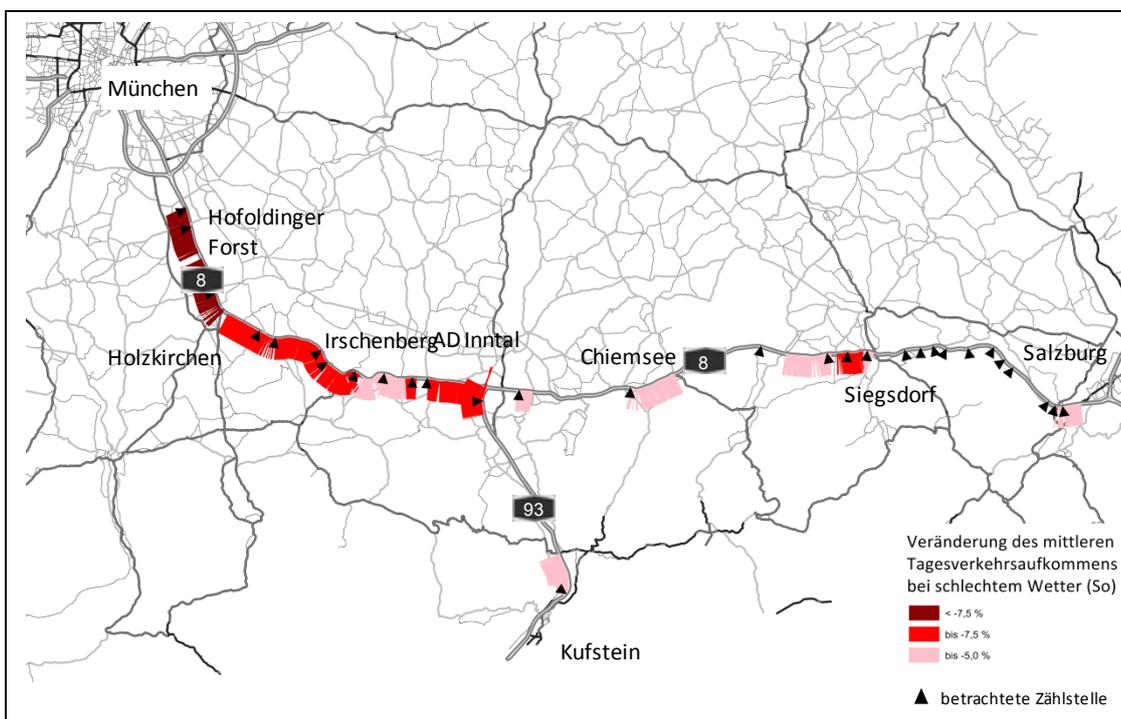


Bild 47: Streckenfeine Änderung des Tagesverkehrsaufkommens bei schlechtem Wetter

3.3.2.2.4 Zusammenfassung

Mithilfe der Regressionsanalyse konnten verschiedenste Einflussgrößen auf das Tagesverkehrsaufkommen identifiziert werden. Der Wochentag spielt dabei eine übergeordnete Rolle. Maßgebenden Einfluss haben Schulferien, differenziert nach Art, aber auch der Kalendermonat. Durch die Betrachtung des Kalendermonats kann vor allem der Urlaubsverkehr, der außerhalb der Schulferien stattfindet, als weitere wichtige Einflussgröße mit einbezogen werden. Durch die differenzierte Betrachtung dieser Einflussgrößen je nach Herkunftsland, konnten mit Dänemark, Niederlande und Belgien Nationen identifiziert werden, deren Urlaubsverkehre, sowohl innerhalb als auch

außerhalb der Schulferien, das Tagesverkehrsaufkommen entlang der Untersuchungstrecke erhöhen.

Der Einfluss des Wetters auf das Tagesverkehrsaufkommen konnte für verschiedene RMQs nachgewiesen werden. Topwetter führt dabei zu einer Erhöhung und schlechtes Wetter zu einer Verringerung des Tagesverkehrsaufkommens. Die Intensität des Wettereinflusses ist dabei vom Wochentag und der räumlichen Lage des betrachteten Querschnittes abhängig. Der Wettereinfluss an Wochenenden ist dabei größer. Die Nähe zu Ballungsräumen und Gegenden mit hohem Freizeitwert lässt den Wettereinfluss ebenfalls steigen. Durch die Betrachtung der Verkehrsaufkommen der unterschiedlichen Landkreise, konnte herausgestellt werden, welche Teile des Untersuchungsgebietes, an welchen Tagen vom Wetter beeinflusst sind. Bei schlechtem Wetter ist der Wettereinfluss räumlich gesehen ausgedehnter als bei Topwetter. Ob das Verkehrsaufkommen einzelner Landkreise durch die Wetterklassen erhöht bzw. verringert wird, ist dabei abhängig von der räumlichen Lage bezüglich potentiell attraktiver Ziele.

3.3.2.3 Clusterung

Für die Prüfung, ob es typische Verkehrstage gibt, deren Gesamtverkehrsaufkommen und Tagesganglinie vom Wetter beeinflusst wird, erfolgte, neben der im voranstehenden Kapitel beschriebenen Regressionsanalyse, eine Clusteranalyse. In der Clusteranalyse werden stundenfeine bzw. viertelstundenfeine Netzganglinien für einen Tag betrachtet. Eine Netzganglinie für einen Tag setzt sich aus den Verkehrsstärken mehrerer RMQs zusammen. Somit werden netzweite Verkehrssituationen betrachtet. Die Clusteranalyse fasst ähnliche Netzganglinien zu sogenannten Clustern zusammen. Anhand der Eigenschaften der zusammengefassten Netzganglinien eines Clusters können relevante Einflussfaktoren auf die Verkehrsstärke identifiziert werden. Es wird im Besonderen untersucht, ob sich das Wetter als erklärender Einflussfaktor bei der Clusterung ergibt. Mit Hilfe der Cluster aus der Analyse wird eine Prognose durchgeführt und validiert.

3.3.2.3.1 Vorgehen

Das vorgestellte Verfahren gliedert sich in zwei Teile (vgl. Bild 48): Im ersten Teil (Analyse) werden auf Basis erfasster Verkehrsstärken und Eigenschaften der analysierten Tage Cluster mit repräsentativen Ganglinien und Eigenschaftswerten erzeugt. Im zweiten Teil (Prognose) werden anhand der Eigenschaften der zu prognostizierenden Tage und der Eigenschaftswerte der entstandenen Cluster prognostizierte Ganglinien bestimmt. Als Eigenschaften kommen grundsätzlich alle Faktoren in Frage, welche die Ganglinien beeinflussen können und die über den

Analysezeitraum variabel sind. Relevant sind kalendarische Eigenschaften eines Tages, die den Wochentag, die Schulferien oder Feiertage beschreiben (z. B. IstMontag, IstFeiertag, IstFerien, IstBrückentag). Weitere Eigenschaften können das Wetter (z. B. IstSchönesWetter, IstSchnee) oder Veranstaltungen (z. B. IstOktoberfest, IstBayernFußballspiel, IstMesse) sein. Für die Analyse sind darüber hinaus Ereignisse relevant, die kapazitätsmindernde Störungen beschreiben, wie Unfälle oder Baustellen. Die Anzahl der Eigenschaften ist beliebig. Je nach Untersuchungsgebiet sind unterschiedliche Eigenschaften relevant.

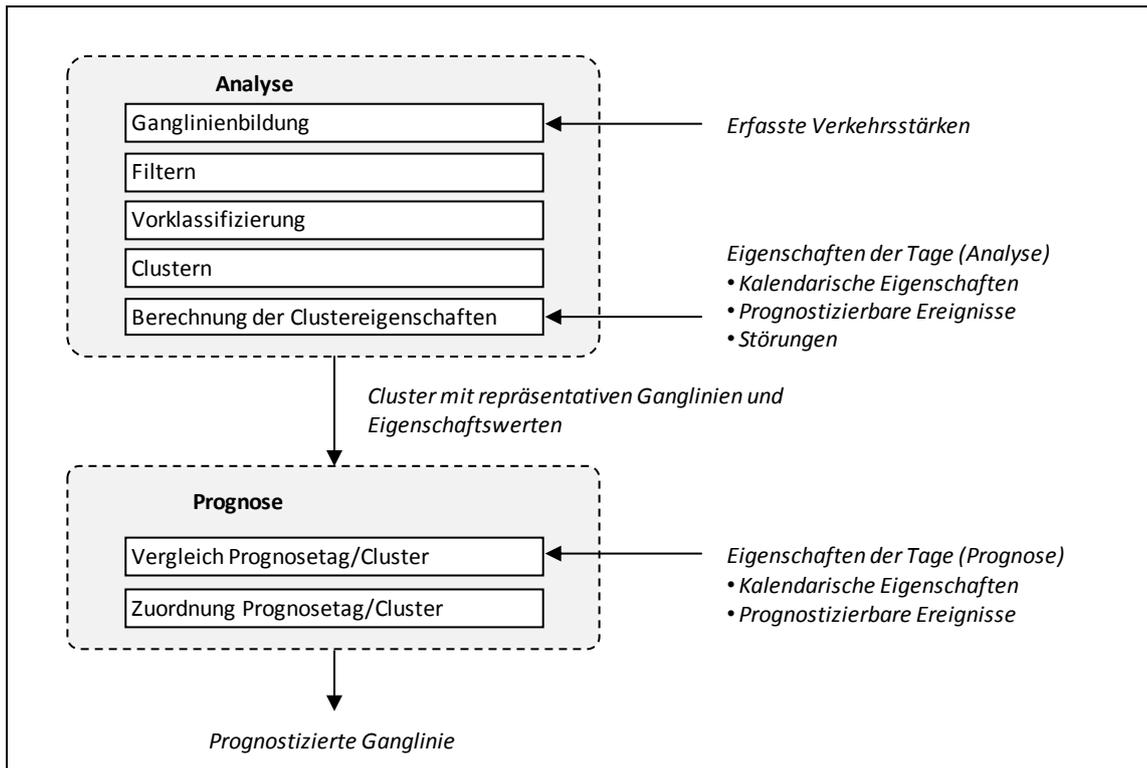


Bild 48: Vorgehen bei der clusterbasierten Analyse und Prognose

Analyse

Im ersten Schritt werden aus den erfassten Verkehrsstärken Ganglinien gebildet. Für jeden RMQ werden die Daten zu Tagesganglinien zusammengefasst. Die Größe des Zeitintervalls ist 60 bzw. 15 Minuten. Die Ganglinien der verschiedenen RMQs werden daraufhin zu einer sogenannten Netzganglinie zusammengefasst. Dabei werden die Tagesganglinien der einzelnen Detektoren aneinander gereiht. Innerhalb einer Netzganglinie folgt dem letzten Zeitintervallwert von Detektor #n der erste Zeitintervallwert von Detektor #n+1.

In einem weiteren Schritt werden Netzganglinien für Tage mit Sommer/Winterzeitumstellung ausgefiltert. Eine Plausibilitätsprüfung der verwendeten Verkehrsstärken

für die anderen Tage hat bereits im AP 3 "Datenerfassung" stattgefunden (vgl. Kapitel 3.2.3.1, ab S. 27)

Im Verfahrensschritt der Vorklassifizierung wird bereits bestehendes Wissen über die Einflussgrößen auf Ganglinien ausgenutzt. Tagesganglinien mit bestimmten Merkmalen werden voneinander getrennt und für jede Klasse wird eine unabhängige Clustering durchgeführt. Ein Beispiel für eine Vorklassifizierung ist das Trennen von Feiertagen und NichtFeiertagen. Damit wird sichergestellt, dass ein Feiertag nicht in einem Cluster von NichtFeiertagen enthalten ist.

Der nächste Verfahrensschritt ist das eigentliche Clustern. Dabei wird in der Literatur zwischen hierarchischen Clusterverfahren und nicht-hierarchischen Clusterverfahren unterschieden (BACKHAUS et al. [1]). Hierarchische Verfahren ordnen zunächst alle Objekte (Hierarchiebildung), um dann je nach Algorithmus entweder Einzelobjekte nach und nach zu Gruppen zusammenzufassen oder die Gesamtmenge der Objekte nach und nach zu trennen. Nicht-hierarchische Verfahren benötigen hingegen immer eine Startlösung und eine Vorgabe zur Clusteranzahl. Dies ist beim Clustern von Ganglinien dahingehend kritisch, dass die Anzahl der Ausreißer (Tage an denen sich die Verkehrsstärke zu allen anderen Tagen stark unterscheidet) vor dem Clustern unbekannt ist, und diese dann eigene Cluster bilden. Hingegen kann mit der Vorgabe eines Distanzmaßes die akzeptierte Abweichung innerhalb eines Clusters determiniert und somit Ausreißer leicht identifiziert werden. Für die folgende Anwendung werden daher hierarchische Clusterverfahren herangezogen. Innerhalb der hierarchischen Verfahren gibt es verschiedene Algorithmen (z. B. Linkage-Verfahren, WARD), um die Abstände der Cluster zu anderen Objekten zu ermitteln. Eine Übersicht über solche Verfahren findet sich in BACKHAUS et al. [1]. In der folgenden Anwendung wird das Clusterverfahren *Average Linkage* verwendet.

Alle Clusterverfahren basieren auf einem Ähnlichkeits- bzw. Distanzmaß, um die Heterogenität der zu clusternden Objekte zu beschreiben. Für Ganglinien werden in der Literatur verschiedene Distanzmaße verwendet. Weit verbreitet ist die Euklidische Distanz (vgl. BASTIAN [4], FELLENDORF et al. [9], PINKOFSKY [25]). VORTISCH entwickelt in [31] ein Distanzmaß auf Basis des Korrelationskoeffizienten, welches die absolute und relative Lage zweier Ganglinien zueinander vergleicht. FRIEDRICH et al. wenden hingegen in [10] den GEH-Wert als Abstandsmaß an. Der GEH-Wert hat den Vorteil, dass er eine selbstskalierende Größe ist und daher im Gegensatz zu relativen bzw. absoluten Distanzmaßen für Wertepaare unterschiedlicher Größenordnungen mit ähnlichen Bewertungsgrenzen funktioniert. Vor diesem Hintergrund wird der GEH-Wert für weitere Betrachtungen als Distanzmaß herangezogen (vgl. Formel (3.13), S. 82).

Das Clustern fasst die Ganglinien einzelner Tage zu Gruppen zusammen. Für jedes Cluster wird aus dem Mittelwert aller im Cluster enthaltenen Netzganglinien eine repräsentative Netzganglinie berechnet. Aus den Eigenschaften der zusammengefassten Ganglinien der einzelnen Tage wird im letzten Analyseschritt der Eigen-

schaftswert für jede Eigenschaft der entstandenen Cluster berechnet. Der Wert einer Eigenschaft eines Clusters entspricht dem Mittelwert der Eigenschaften, der zu diesem Cluster zusammengefassten Tage. Die Eigenschaften eines einzelnen Tages werden mit den Werten 1 (=wahr) und 0 (=falsch) beschrieben. Der Wertebereich der Eigenschaftswerte eines Clusters liegt somit zwischen 0 und 1. Ein Beispiel: Ein Cluster besteht aus zwei Montagen und vier Dienstagen. Daraus ergibt sich ein Eigenschaftswert für IstMontag von $2/6 = 0,33$, für IstDienstag von $4/6 = 0,66$. Die Eigenschaftswerte der anderen Wochentage betragen 0.

Prognose

Ausgangspunkt für die Prognose von Ganglinien sind die repräsentativen Netzganglinien mit den Eigenschaftswerten aus der Analyse. Für einen zu prognostizierenden Tag werden alle Eigenschaften dieses Tages mit den Eigenschaftswerten der Cluster verglichen. Die repräsentative Ganglinie des Clusters, das den größten Übereinstimmungswert mit dem Prognosetag besitzt, wird als Prognoseganglinie für diesen Tag ausgegeben. Der Übereinstimmungswert wird mit dem Skalarprodukt aus den Eigenschaftsvektoren des Clusters und des Prognosetages bestimmt:

$$\ddot{U}_{i,j} = \vec{E}_i \cdot \vec{E}_j = \begin{pmatrix} e_{i,1} \\ e_{i,2} \\ \vdots \\ e_{i,n} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} e_{j,1} \\ e_{j,2} \\ \vdots \\ e_{j,n} \end{pmatrix} = e_{i,1} \cdot e_{j,1} + e_{i,2} \cdot e_{j,2} + \dots + e_{i,n} \cdot e_{j,n} \quad (3.15)$$

mit $\ddot{U}_{i,j}$ Übereinstimmungswert von Cluster i mit Prognosetag j
 \vec{E}_i bzw. \vec{E}_j Eigenschaftsvektor des Clusters i bzw. des Prognosetages j
 $e_{i,1}$ bzw. $e_{j,1}$ Eigenschaftswert #1 des Clusters i bzw. des Prognosetages j

Um die Zuordnung zu verbessern wird der maximale Eigenschaftswert eines Clusters beschränkt. Ohne Beschränkung würden Cluster, bestehend aus wenigen Tagen mit ähnlichen Eigenschaften, bevorzugt zugeordnet. Für eine inhaltlich richtige Zuordnung der Cluster zu den Prognosetagen ist es außerdem erforderlich, zu jeder Eigenschaft auch eine komplementäre Eigenschaft zu verwenden. Wird z. B. die Eigenschaft "IstFerien" verwendet, muss auch eine Eigenschaft existieren, die einen Tag beschreibt, an dem keine Ferien sind. Dies kann u. a. damit sichergestellt werden, dass zusätzlich zu jeder definierten Eigenschaft die negierte Eigenschaft gebildet und beim Zuordnen mit betrachtet wird.

3.3.2.3.2 Analyse der Clusterung - Gesamtverkehr

Die Clusteranalyse des Gesamtverkehrs hat zunächst als Ziel, die erfassten Tagesganglinien zu ähnlichen Gruppen zusammenzufassen und anhand der Eigenschaftswerte eines Clusters eine Erklärung für die Clusterbildung zu finden. Bezüglich des Wetters wird also untersucht, ob durch die Clusterung Cluster entstehen, in denen vor allem Topwettertage enthalten sind, und andere Cluster, in denen vorwiegend Tage enthalten sind, an denen schlechtes Wetter beobachtet wurde.

Für die Analyse ist zunächst der RMQ Hofoldingen Forst herangezogen worden, da für diesen RMQ mit der Regressionsanalyse signifikanter Wettereinfluss auf das Tagesverkehrsaufkommen nachgewiesen werden konnte. Der Analysezeitraum umfasst den Zeitraum von 2008 bis März 2012, somit wurden ca. 1.500 Tagesganglinien geclustert. Für die Wetteranalyse wurden die Daten der Wetterstation in München herangezogen. Eine Übersicht über die Häufigkeiten der erfassten Wetterklassen an dieser Station ist in Tabelle 14, S. 58 enthalten.

In Bild 49 ist das Ergebnis einer Clusterung mit den beschriebenen Inputgrößen enthalten. Als Clusterverfahren wurde das Average-Linkage-Verfahren verwendet. Für das Average-Linkage-Verfahren muss ein maximaler Wert für das zugelassene Distanzmaß innerhalb eines Clusters vorgegeben werden. Die Anzahl der entstandenen Cluster ist für Average-Linkage-Verfahren eine Outputgröße. Im dargestellten Fall ergeben sich sechs Cluster bei einem maximal zugelassenen GEH-Wert von 16. In Bild 49 ist oben die Anzahl der in jedem Cluster enthaltenen Tage zu sehen. Darüber hinaus ist die Zusammensetzung der entstandenen Cluster hinsichtlich des Wochentages verdeutlicht. Im unteren Teil des Bildes ist für jedes der sechs Cluster die repräsentative Ganglinie dargestellt.

Es ist klar erkennbar, dass bei diesem vergleichsweise hohen zugelassenen Distanzmaß Cluster entstehen, welche sich durch den Wochentag erklären lassen. Es entsteht ein großes Cluster C1, in dem der Großteil an Montagen bis Freitagen enthalten ist. Die zugehörige Ganglinie zeigt eine Nachmittags-/Abendspitze, die auf den Berufsverkehr vom Arbeitsplatz nach Hause zurückzuführen ist. Desweiteren entsteht ein Freitagscluster C4, in dem das Nachfrageniveau insgesamt deutlich höher liegt als im Hauptcluster. Für die Samstage entstehen zwei Cluster C3 und C5, die sich vor allem in den Stunden von 0:00 bis 9:00 unterscheiden. Dabei besteht das Cluster C5 ausschließlich aus Tagen, an denen Schulferien und zu 90 % Sommerferien sind. Die Sonntage befinden sich hauptsächlich in Cluster C2, das dem Samstagscluster C3 im Verlauf sehr ähnlich ist, jedoch ein niedrigeres Nachfrageniveau aufweist. Das Cluster C6 enthält lediglich einen Freitag, an dem ein Feiertag war, der sich vor allem in den frühen und späten Nachtstunden sehr stark von anderen Ganglinien unterscheidet.

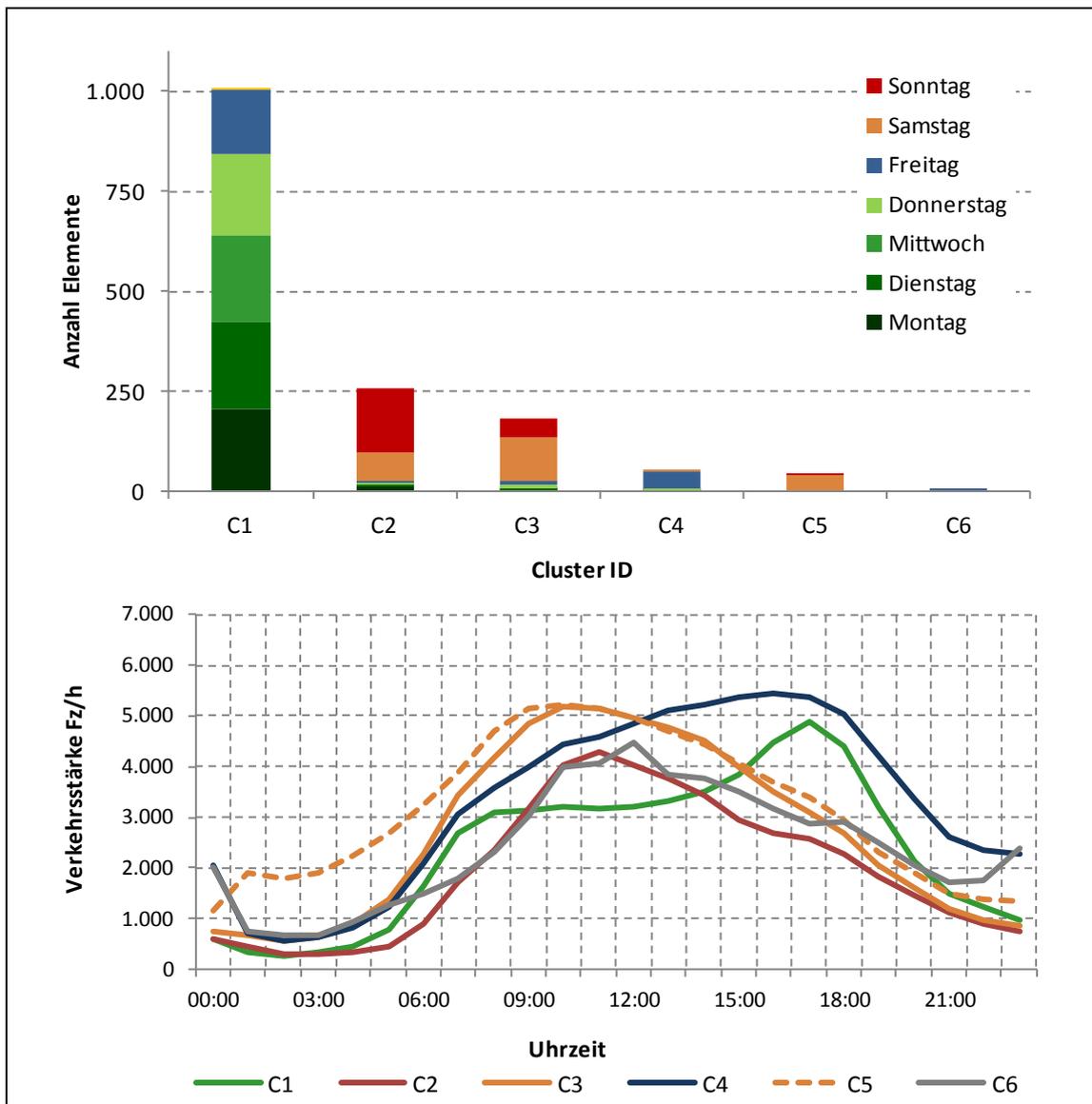


Bild 49: Ergebnis Clusteranalyse, Gesamtverkehrsaufkommen, große zugelassene Distanz, Einfärbung nach Wochentagen

Um festzustellen, ob sich bei differenzierterer Betrachtung Cluster ergeben, welche Tage mit bestimmten Wetterklassen enthalten, wurde die maximal zugelassene Distanz schrittweise verringert. In Bild 50 ist das Ergebnis der Clusteranalyse für einen zugelassenen GEH-Wert von 8 dargestellt. Bei dieser Clusterung wurde zusätzlich die Information ausgenutzt, dass der Wochentag einen übergeordneten Einfluss auf die Ausprägung der Tagesganglinie hat und somit wurden die Ganglinien in Montag bis Donnerstag (C101 bis C110), Freitag (C201 bis C205), Samstag (C301 bis C307) und Sonntag (401 bis 407) vorklassifiziert. Die Anzahl der entstehenden Cluster steigt mit diesen Parameter auf 30 Cluster an, die mehr als vier Tage enthalten. Zusätzlich entstehen noch weitere 31 Cluster, die aus weniger als vier Tagen bestehen und im Diagramm nicht dargestellt sind. Die Einfärbung der Balken in Bild 50 verdeutlicht nun die Zusammensetzung der Cluster hinsichtlich des Wetters. Für Montag bis Samstag entspricht die Einfärbung in etwa der Häufigkeit des Auftretens der Häufigkeit der

einzelnen Wetterklassen: 47 % Mittelwetter, 35 % Schlechtes Wetter, 16 % Topwetter und 2 % Schnee. Die beobachteten Wetterklassen liefern hier somit keinen zusätzlichen Erklärungswert. Einzig für die Sonntage bildet sich ein "Schlechtwetter-cluster", das zu zwei Dritteln aus Tagen mit schlechtem Wetter und einem Drittel aus Tagen mit Mittelwetter besteht. Für den Gesamtverkehr am Querschnitt Hofoldingener Forst lässt sich aus der Clusteranalyse für Montag bis Samstag kein Wettereinfluss ableiten. Für die Sonntage wurde die im folgenden Kapitel dargestellte Analyse des Regionalverkehrs durchgeführt.

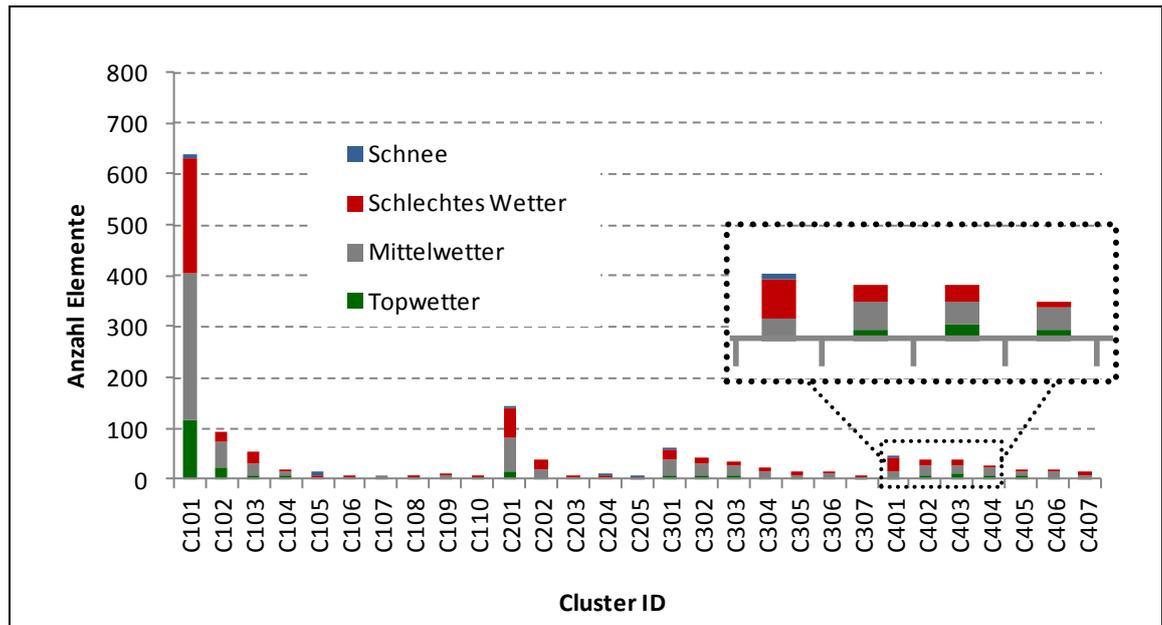


Bild 50: Ergebnis Clusteranalyse, Gesamtverkehrsaufkommen, kleine zugelassene Distanz, Einfärbung nach Wetterklassen

3.3.2.3.3 Analyse der Clusterung - Regionaler Verkehr

Mit Hilfe der landkreisfeinen Regressionsanalyse konnte gezeigt werden, dass der Wettereinfluss auf Fahrzeuge aus der Region, also dem regionalen Verkehr, vorhanden ist. Vor diesem Hintergrund wurde unter Verwendung der ANPR-Daten eine Clusterung des regionalen Verkehrs (Definition siehe Kapitel 3.2.3.2.5, S. 45) am RMQ Hofoldingener Forst durchgeführt. Da die Kameradaten lediglich für ein Jahr zur Verfügung standen, verringert sich die Anzahl der betrachteten Tage entsprechend.

Bild 51 enthält das Ergebnis der Clusterung des regionalen Verkehrs mit einem vorgegebenen GEH-Wert von 6 und die zu jedem Cluster zugehörigen repräsentativen Ganglinien. Zunächst entsteht das Hauptcluster C1, das die Wetterklassen entsprechend der Häufigkeit ihres Auftretens enthält und somit auch am häufigsten die Wetterklasse "Mittelwetter". Das Cluster C2 besteht tendenziell aus Tagen mit der Wetterklasse Topwetter und Mittelwetter, die Cluster C3 und C4 bestehen hingegen

aus Tagen mit schlechtem Wetter. C5 und C6 bestehen jeweils aus ein bzw. zwei Tagen an denen die Wetterklasse "Mittelwetter" beobachtet wurde.

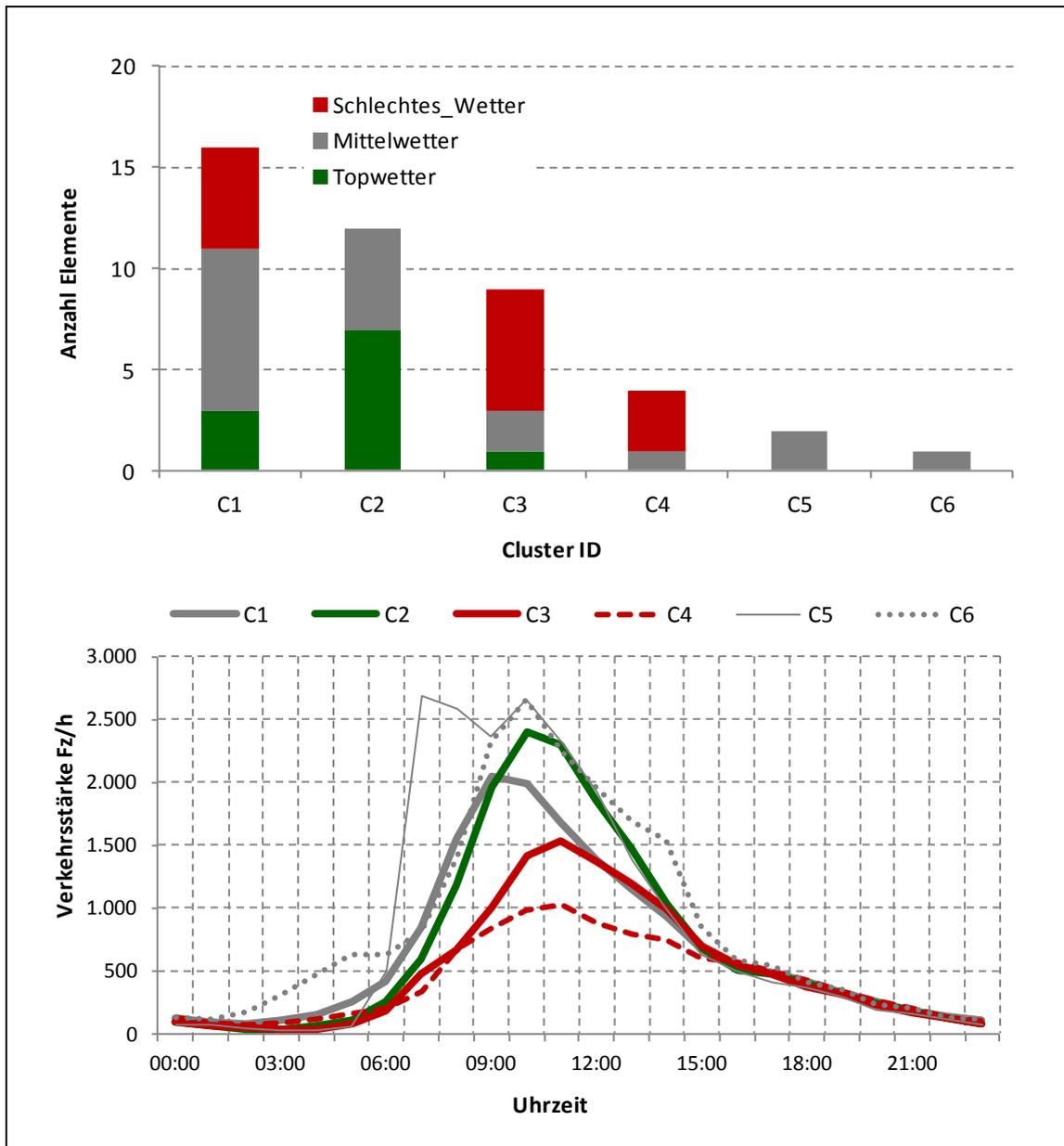


Bild 51: Ergebnis Clusteranalyse, sonntags, Verkehrsaufkommen des regionalen Verkehrs

Anhand der repräsentativen Ganglinien im unteren Teil von Bild 51 lassen sich die Ergebnisse aus der Regressionsanalyse bestätigen: Die Ganglinie des "Schönwetterklasse" Clusters C2 hat ein höheres Niveau des Verkehrsaufkommens als das Hauptcluster C1, das Tagesverkehrsaufkommen ist hier somit höher. Die Ganglinien der "Schlechtwettercluster" C3 und C4 sind hingegen deutlich unter dem Niveau der Ganglinie von C1, das Tagesverkehrsaufkommen ist hier somit niedriger. Interessant ist vor allem der nahezu identische Verlauf ab 15:00 Uhr. Die Veränderung des Verkehrsaufkommens ist vor allem am Vormittag zu beobachten und nimmt zum Nachmittag hin

ab. Das ist damit zu erklären, dass vor allem Ganztagsausflüge Richtung Alpen, Tegernsee und Chiemsee vom Wetter beeinflusst sind, welche überwiegend vormittags starten.

3.3.2.3.4 Einfluss des Wetters auf die clusterbasierte Prognose

In diesem Kapitel soll die Frage erörtert werden, ob das Wetter die clusterbasierte Prognose verbessern kann. Bei der Prognose wird jedem Tag eine Ganglinie der Clusteranalyse aufgrund der Eigenschaften des Tages und der Eigenschaften der Clusteranalyse zugeordnet. Das Cluster mit der größten Übereinstimmung der Eigenschaften des Prognosetages wird zugeordnet. Die Qualität einer Prognose wird als Abweichung zur tatsächlichen Verkehrsstärke definiert. Mit unterschiedlichen verwendeten Eigenschaften ergeben sich andere Ergebnisse. Eine Prognose verbessert sich, z. B. wenn neben den Wochentagen und Feiertagen auch die Ferientage als Eigenschaften verwendet werden. Im Folgenden wird untersucht, wie sich die Qualität der Prognose unter Verwendung des Wetters verändert. Als Wettereigenschaft werden die drei Wetterklassen „Topwetter“, „Mittelwetter“ und „Schlechtes Wetter“ verwendet.

Insgesamt wird unter Verwendung der Eigenschaft Wetter keine Verbesserung der Prognose erzielt. Bild 52 zeigt den Einfluss des Wetters auf die Prognose auf Basis einer Clusteranalyse in Abhängigkeit des Wochentags. Es wurden Prognosen mit und ohne Wetter als Eigenschaft vorgenommen. Die Clusteranalyse wurde in diesem Beispiel für die Jahre 2008-2010 und die Prognose für das Jahr 2011 mit einem GEH-Wert von 4 als Abbruchbedingung vorgenommen. Es zeigte sich, dass vor allem an Sonntagen durch die Berücksichtigung des Wetters ein kleinerer mittlerer GEH-Wert, und damit eine Verbesserung der Prognose, erzielt wird. Über alle Samstage des Prognosezeitraums bleibt die mittlere Prognosegüte in etwa gleich. Für die Wochentage Montag-Freitag zeigt sich eine deutliche Verschlechterung mit der Verwendung des Wetters für die Prognose.

Wie bereits bei der Clusteranalyse gezeigt wurde, ergeben sich, außer für den Regionalverkehr, keine Cluster in Abhängigkeit des Wetters. Die Verschlechterung der Prognose resultiert in der Zuordnung zu kleinen Clustern. Bei der Clusteranalyse entsteht häufig ein Cluster mit vielen Einzeltagen Montag – Donnerstag (vgl. Bild 50) unabhängig vom Wetter. Weiter entstehen kleine Cluster mit nur einem oder wenigen Tagen mit gleicher Wetterklasse. Diese kleinen Cluster werden aufgrund ihres höheren Eigenschaftswertes der Wetterklasse häufiger zugeordnet als das große Cluster. Die kleinen Cluster bilden sich jedoch nicht auf Grundlage des Wetters, sondern aufgrund von anderen Ereignissen wie z. B. wenig oder viel Verkehr oder Störungen. Mit diesen kleinen Clustern steigt die Wahrscheinlichkeit einer großen Abweichung in der Prognose was zu einer Verschlechterung der Prognose insgesamt führt. Am Sonntag

können wie in Bild 50 gezeigt, Cluster für bestimmte Wetterklassen entstehen, was die Prognose verbessern kann.

Eine weitere Erkenntnis aus Bild 52 ist, dass am Wochenende die Prognosen deutlich schlechter sind, als an Werktagen.

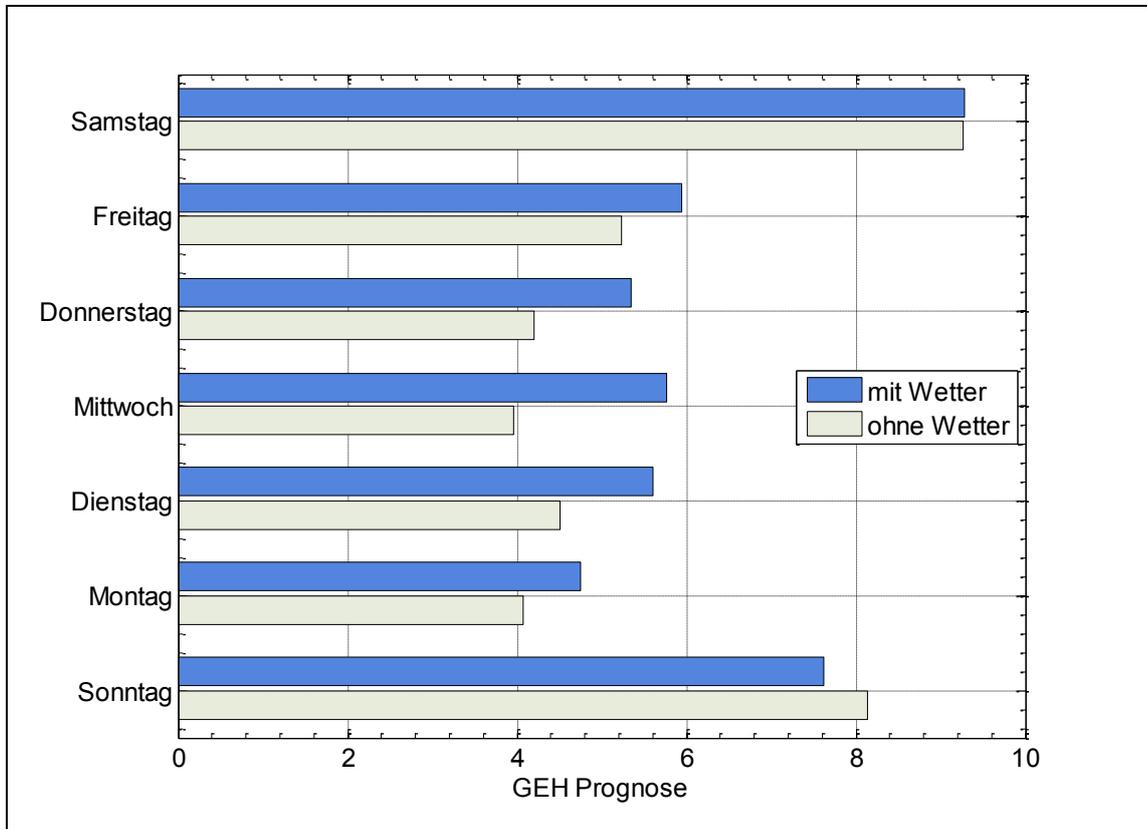


Bild 52: Einfluss des Wetters auf die Prognose auf Basis einer Clusteranalyse in Abhängigkeit vom Wochentag

Eine weitere Möglichkeit, den Einfluss des Wetters auf die Güte der clusterbasierte Prognose zu untersuchen, ist die Bildung von Vorklassifizierungen in Abhängigkeit des Wetters. Bei der Vorklassifizierung werden bereits bei der Clusteranalyse die Tage nach ihrer Wetterklasse getrennt. Das hat zur Folge, dass die Verkehrsstärken bei der Prognose eines Tages immer auf der Clusteranalyse des gleichen Wetters basieren. Die Prognose verbessert sich jedoch auch bei einer Vorklassifizierung nach dem Wetter nicht. Die Unterschiede der Prognosegüte zwischen den Varianten mit und ohne Vorklassifizierung sind gering. Es kann festgestellt werden, dass eine Vorklassifizierung mit dem Wetter die Prognose für einen Sonntag mit „Topwetter“ verbessert, jedoch verschlechtert sich die Prognose sonntags in den anderen Wetterklassen. Es wird vermutet, dass sich die Prognose wegen der größeren Unsicherheit aufgrund der kleineren Anzahl an Tagen innerhalb einer Vorklassifizierung, verschlechtert. Mit der Aufteilung aller Tage in eine zusätzliche Vorklassifizierung nimmt die Anzahl der Tage in den Vorklassifizierungen ab.

3.3.2.3.5 Zusammenfassung

Es wurde mittels einer Clusteranalyse untersucht, ob typische Verkehrstage vom Wetter beeinflusst sind. Es konnte gezeigt werden, dass für den Regionalverkehr am Sonntag das Wetter eine erklärende Einflussgröße auf das Verkehrsaufkommen ist. Bei der Analyse des Gesamtverkehrs konnte das Wetter nicht als Einflussgröße bei der Clusterbildung nachgewiesen werden.

Weiter wurde auf Grundlage der Clusterung eine Prognose durchgeführt. Einem Prognosetag wird dabei die Ganglinie des Clusters mit der höchsten Übereinstimmung zwischen den Eigenschaften des Tages (Wochentag, Feiertag, Wetter, usw.) und der Eigenschaften des Clusters zugeordnet. Die Eigenschaften des Clusters bilden sich aus den Eigenschaften der zugehörigen Verkehrstage. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Prognose ohne die Eigenschaft Wetter eine bessere Güte erzielt als mit Wetter. Gleiches ergibt sich für eine Prognose in der das Wetter vorklassifiziert wird: Ohne Vorklassifizierung des Wetters ergibt sich eine bessere Prognose.

3.3.2.4 Analyse MiD

Um die Ergebnisse aus der Regressions- und Clusteranalyse zu bestätigen und um Modellparameter für die in AP 5 zu erstellenden Nachfragematrizen abzuleiten, wurden Daten der Haushaltsbefragung Mobilität in Deutschland (MiD) herangezogen (vgl. INFAS [18]). Um die Wetterabhängigkeit des Verkehrsaufkommens zu analysieren, wurden zunächst die durchschnittliche Anzahl der Wege pro Person differenziert nach Wetter und Wochentagen ausgewertet. Die Wetterklassen in MiD wurden dabei auf die in WOLKE definierten Wetterklassen übertragen, so dass auch hier eine Auswertung für die vier Klassen Topwetter, Mittelwetter, Schlechtes Wetter und Schnee stattfindet.

Das Ergebnis dieser Auswertung ist in Bild 53 dargestellt. Da die Ergebnisse für Montag bis Donnerstag sehr ähnlich sind, wurden diese im Diagramm zu einer Gruppe zusammengefasst. Das obere Diagramm zeigt die Auswahl für alle durchgeführten Wege. Die durchschnittliche Anzahl an Wegen ist für Freitag am höchsten, jedoch nur leicht höher als für Montag bis Donnerstag. An Samstagen ist das Wegeaufkommen etwas niedriger und die wenigsten Wege werden an Sonntagen durchgeführt.

Bezüglich des Wetters kann festgestellt werden, dass an allen Wochentagen bei Schneereignissen die wenigsten Wege durchgeführt. Für die Wochentage Montag bis Freitag werden bei Topwetter sogar etwas weniger Wege durchgeführt als bei Mittel- und Schlechtwetter, an den Wochenenden hingegen tendenziell mehr Wege. An Samstagen und Sonntagen werden außerdem bei schlechtem Wetter weniger Wege durchgeführt. Die Schwankung für die unterschiedlichen Wetterklassen ist am Wochenende tendenziell etwas höher.

Im unteren Teil von Bild 53 ist die identische Auswertung nur für Freizeitwege dargestellt. Es ist erkennbar, dass für Samstag und Sonntag die Schwankung der Gesamtwegeanzahl für die jeweiligen Wetterklassen sehr gut die Schwankung der Freizeitwegeanzahl erklärt wird. Somit kann bestätigt werden, dass der Fokus für eine wetterabhängige Verkehrsprognose auf den Freizeitverkehr zu legen ist.

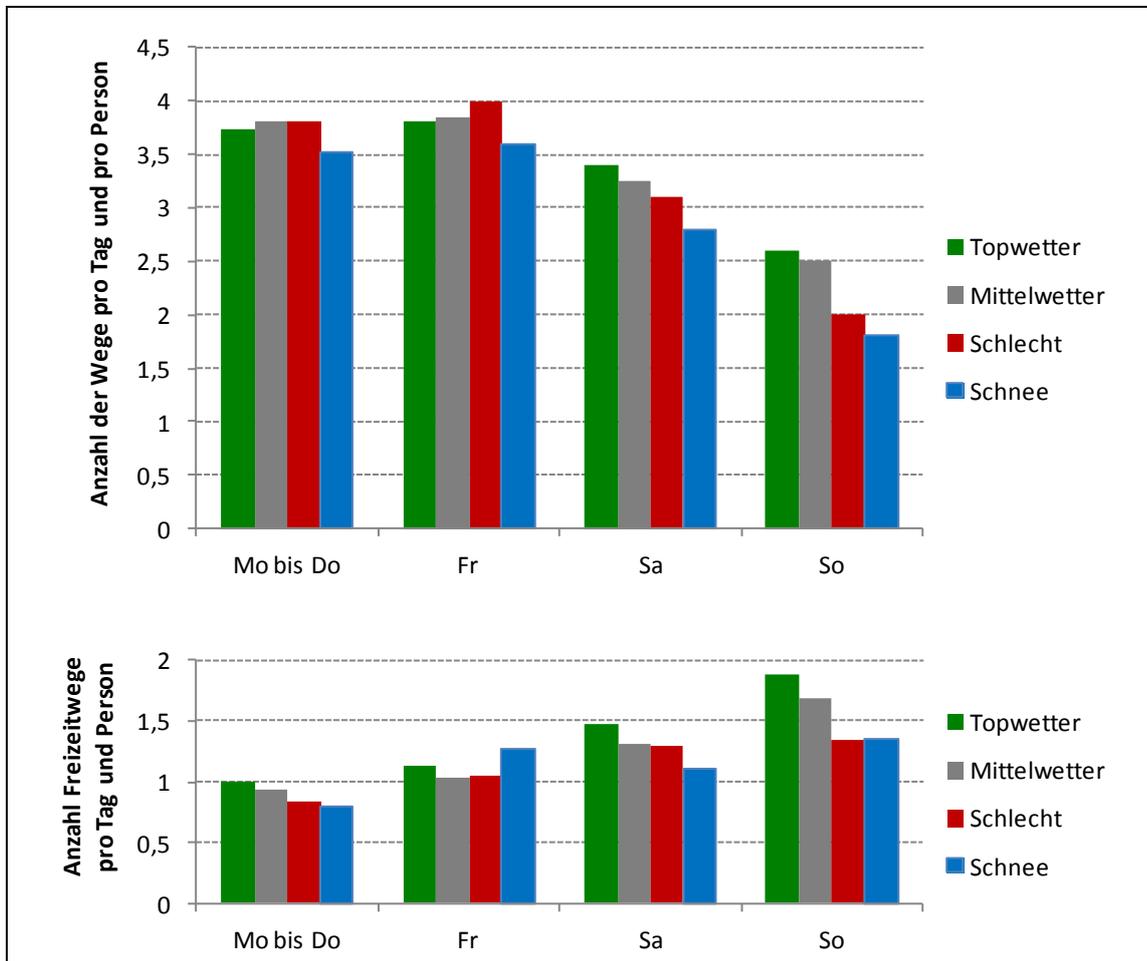


Bild 53: Anzahl zurückgelegter Wege pro Tag (Gesamt und Freizeitwege)

Die Auswertungen in Bild 53 beziehen sich auf alle zurückgelegten Wege, unabhängig von der Weglänge und dem gewählten Verkehrsmittel. In WOLKE liegt das Augenmerk hingegen auf dem Verkehrsaufkommen auf Autobahnen. Es werden also nur Wege betrachtet, welche als Pkw-Fahrer bzw. Mitfahrer zurückgelegt werden. Vor diesem Hintergrund wurde mit den MiD-Daten ausgewertet, inwiefern sich die Anzahl der mit dem Pkw zurückgelegten Freizeitwege, die länger als 10 km sind, verändert. Kürzere Wege mit dem Pkw führen tendenziell nicht über Autobahnen.

Bild 54 zeigt das Ergebnis dieser Auswertung. Dargestellt ist die Veränderung der Erzeugungsrate, welche der mittleren Anzahl an Wegen pro Person entspricht, in Abhängigkeit von der jeweiligen Wetterklasse. Die Bezugswetterklasse ist "Mittelwetter". Die Auswertung erfolgte differenziert nach Wochentag und nach Hin- und

Rückweg. Da für Montag bis Donnerstag keine wetterabhängige Veränderung festgestellt werden konnte, sind nur die Wochentage Freitag bis Sonntag dargestellt. Zunächst ist erkennbar, dass die Veränderungen für den Hinweg (von der Wohnung zur Freizeitaktivität) und den Rückweg (von der Freizeitaktivität zur Wohnung) sehr ähnlich sind. Grundsätzlich führen Schneeereignisse zu einer Verringerung der Erzeugungsrate für Pkw-Wege. Topwetter und schlechtes Wetter beeinflussen die Anzahl der Pkw-Wege an Freitagen nur im geringen Umfang. Im Falle von Topwetter erhöht sich die Anzahl der betrachteten Wege Samstag und Sonntags sehr deutlich. Für Schlechtes Wetter gilt, dass sich die Anzahl der betrachteten Wege am Samstag erhöht und am Sonntag verringert. Dieses Ergebnis kann sich z. B. mit einem Verkehrsmittelwahleffekt erklären lassen. Bei schlechtem Wetter wählen die Verkehrsteilnehmer eher den Pkw als den ÖV, und somit erhöht sich die Anzahl der mit dem Pkw zurückgelegten Wege. Vergleicht man diese Zahlen mit der Veränderung des detektierten Verkehrsaufkommens ist außerdem noch ein weiterer Effekt zu betrachten: Die Länge der Wege, bzw. die aufgesuchten Ziele ändern sich. Das heißt, bei durchschnittlich kürzeren Wegen, kann sich auch bei einer höheren Anzahl an durchgeführten Wegen die Verkehrsleistung (Anzahl der gefahrenen Kilometer von allen Fahrzeugen) und somit das Verkehrsaufkommen (Anzahl der Fahrzeuge an einem Messquerschnitt) trotzdem verringern. Dieser Zielwahleffekt wird im folgenden Kapitel näher untersucht.

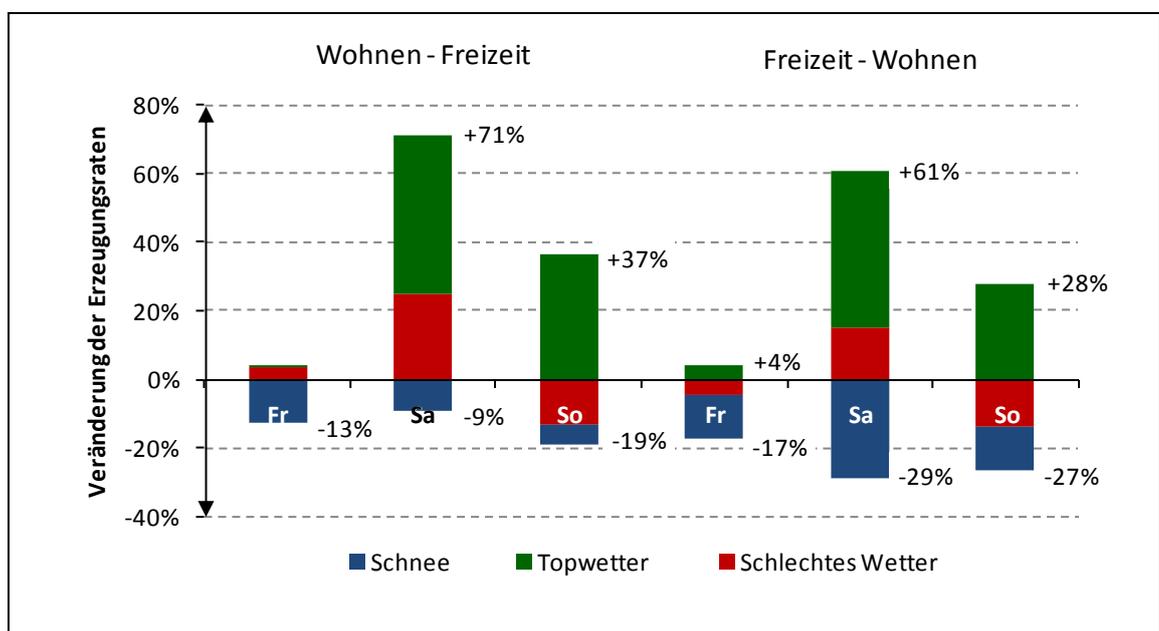


Bild 54: Veränderung der Erzeugungsrate der Freizeitwege länger als 10 km, zurückgelegt mit dem Pkw je Wetterklasse

3.3.2.5 Zusammenfassung Verkehrsaufkommen

Der Einfluss des Wetters auf das Verkehrsaufkommen wurde anhand von vier Methoden untersucht: Einer deskriptiven Analyse, Regressionsanalyse, Clusteranalyse und anhand der MiD-Daten. Maßgebenden Einfluss auf das Verkehrsaufkommen haben die Wochentage, Schulferien und Feiertage. Der Einfluss des Wetters konnte im Besonderen am Wochenende für den regionalen Verkehr nachgewiesen werden. Topwetter führt dabei zu einer Erhöhung und schlechtes Wetter zu einer Verringerung des Tagesverkehrsaufkommens. Mit Hilfe der deskriptiven Analyse konnte gezeigt werden, dass sonntags bei Topwetter im Mittel ca. 10 % mehr Regionalverkehr als bei mittlerem Wetter beobachtet wird. Bei schlechtem Wetter verringert sich das Verkehrsaufkommen gegenüber mittlerem Wetter um ca. 15 %. Diese Tendenz konnte mit der Regressionsanalyse des Gesamtverkehrs für die Wochentage Freitag, Samstag und Sonntag bestätigt werden (vgl. Bild 43, Seite 88). Es konnte gezeigt werden, dass die Einflussstärke des Wetters auf das Verkehrsaufkommen vom Wochentag, von der räumlichen Lage des Untersuchungsquerschnittes und vom Wetterereignis abhängig ist. Schneeereignisse haben die stärkste verringernde Wirkung auf das Gesamtverkehrsaufkommen.

Mit Hilfe der Regressionsanalyse konnte ebenfalls gezeigt werden, dass nur der Verkehr aus Bayern abhängig vom Wetter ist. Aus diesem Grund musste bei der Clusteranalyse der regionale Verkehr betrachtet werden, um eine Abhängigkeit zum Wetter nachzuweisen. Die Clusteranalyse konnte die Wetterabhängigkeit für den regionalen Verkehr am Wochenende abbilden. Im Gegensatz zur Regressionsanalyse führt bei der Clusteranalyse die Berücksichtigung des Wetters in der Prognose zu keiner Verbesserung.

Mit MiD konnte der Einfluss des Wetters auf die Anzahl der mit dem PKW zurückgelegten Wege ausgewertet werden. Es wurde gezeigt, dass die Anzahl Freizeitwege am Wochenende (Freitag – Sonntag) bei Topwetter stark zunimmt (Bild 54). Schlechtes Wetter führt zu mehr Wegen an Samstagen und weniger Wegen an Sonntagen. Die Zunahme an Wegen an Sonntagen kann sich durch Verkehrsmittelleffekten erklären lassen. Bei schlechtem Wetter werden hier in der Grundgesamtheit weniger Wege gemacht, aber der Anteil der mit dem PKW-zurückgelegten Freizeitwege steigt an.

3.3.3 Einfluss des Wetters auf die Zielwahl

Die Ziele der Untersuchung des Einfluss des Wetters auf die Zielwahl waren folgende:

- Analyse der Quell-Ziel-Daten der Kennzeichenerfassung
- Generierung einer überregionalen Fahrtenmatrix zwischen den Regionen München, Tegernsee, Rosenheim, Chiemsee, Salzburg und Kufstein aus den Quelle-Ziel-Daten des Untersuchungsgebiets
- Ableitung der Herkunft oder des Ziels der Fahrzeuge mit Hilfe des Gebietskennzeichens
- Untersuchung für verschiedene Nachfragesegmente (Nah- oder Fernverkehr, Pendlerverkehr, Urlaubsverkehr, Freizeitverkehr) in welchem Umfang die Fahrtweitenverteilung vom Wochentag und vom regionalen Wetter beeinflusst wird. Die Ergebnisse sind für die Matrixschätzung bei umlegungs-basierten Verfahren der Verkehrslageermittlung von Bedeutung.
- Ableiten von Fahrtweitenverteilungen und Fahrtenmatrizen für jeden Verkehrstages typ und jede Wettersituation in Verbindung mit der Clusteranalyse
- Ermittlung von stundenfeinen Nachfragematrizen je Verkehrstages typ und Wettersituation zur Kalibrierung des Zielwahlmodells im AP 5.3

3.3.3.1 Analyse der ANPR-Daten

Wie bereits erläutert (vgl. Kapitel 3.2.3.2.3), konnten die Quelle-Ziel-Matrizen nicht wie geplant erstellt werden. Eine Analyse zur lokalen Fahrtweitenverteilung bzw. der Herkunft der Fahrzeuge bezogen auf den jeweiligen Messquerschnitt kann jedoch trotzdem durchgeführt werden. Dadurch können zwar keine Aussagen getroffen werden, wie sich die Ströme zwischen des RMQs verhalten, für den lokalen RMQ können trotzdem Erkenntnisse zur Segmentierung der Verkehrsmenge bezüglich der Herkunft abgeleitet werden.

In AP3 wurden anhand der Zulassungsbezirke der erfassten Fahrzeuge für jeden RMQ Teilfahrtweitenverteilungen und die mittleren Teilfahrtweiten bestimmt. Wie bereits erwähnt müsste für die eigentliche Fahrtweite der noch unbekannte Teil des Weges bestimmt werden, da aufgrund des Kennzeichens entweder nur die Quelle oder das Ziel zugeordnet werden kann. Die von FRIEDRICH et al. [10] vorgeschlagene Methode, die Ziele von Fahrzeugen mit bekannter Quelle proportional auf die Quellen der Fahrzeuge mit bekanntem Ziel aufzuteilen und umgekehrt, ist in diesem Anwendungsfall aufgrund des stark ausgeprägten Richtungsbezugs der Urlaubsverkehre nicht sinnvoll. Die tatsächliche Fahrtweitenverteilung sollte aus übergeordneten Untersuchungen zum Urlaubs- und Schwerverkehr abgeleitet werden.

Die mittleren Teilfahrtweiten für die in Kapitel 3.2.3.2.5 vorgenommene Segmentierung in Regionalen Verkehr und Fernverkehr, sowie für die Gesamtverkehrsmenge ist in Bild 55 für jeden Tag des ANPR-Erhebungszeitraums dargestellt. Die gestrichelten Hilfslinien trennen jeweils den Wert für einen Sonntag vom Wert für den darauffolgenden Montag. Es ist klar erkennbar, dass vor allem die Mittelwerte der Samstage und Sonntage für den Gesamtverkehr über das Jahr sehr stark schwanken. In den Ferienmonaten wird die Autobahn am Wochenende verstärkt von Fahrzeugen mit einer großen Fahrtweite genutzt. Dadurch steigt der Anteil des Fernverkehrs gegenüber dem Regionalverkehr, was sich wiederum in einem steigenden Mittelwert des Gesamtverkehrs auswirkt. Aber auch der Mittelwert für den Fernverkehr steigt an den Wochenenden während der Sommer- und Wintermonate an.

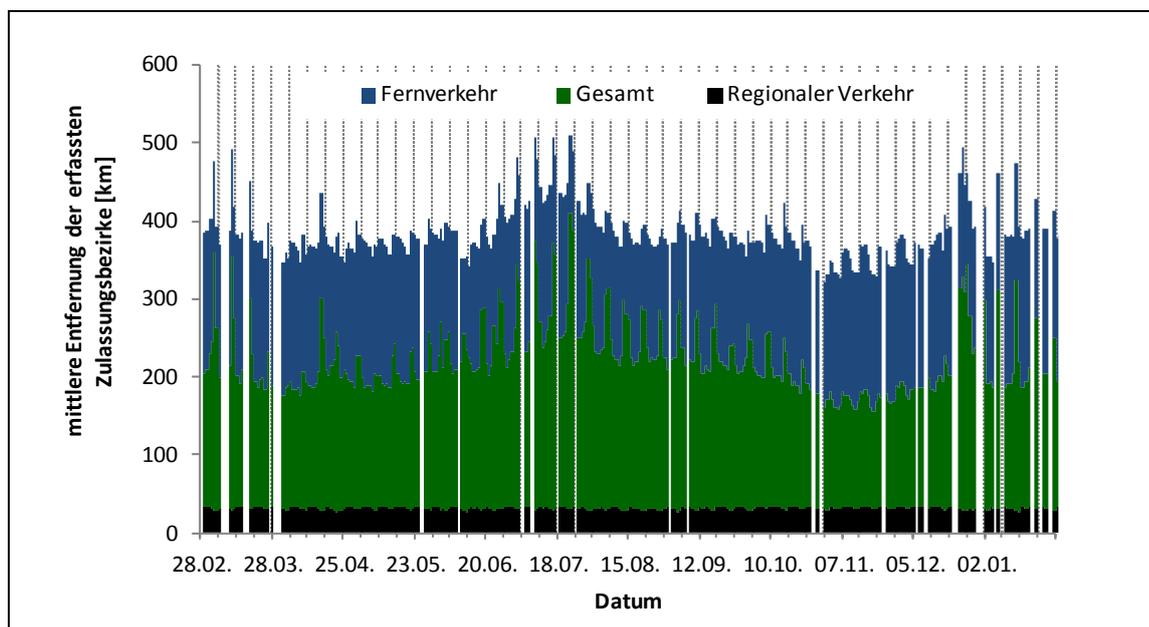


Bild 55: Mittlere Entfernung der erfassten Zulassungsbezirke zum RMQ Hofoldinginger Forst

Noch stärker wird dieser Effekt bei Betrachtung der Perzentil-Werte der tagesfeinen Entfernungsverteilungen sichtbar (vgl. Bild 56): Die Schwankungen reichen hier für das 50 %-Perzentil von etwa 50 km im November bis ca. 370 km im Sommer und Winter an einigen Samstagen.

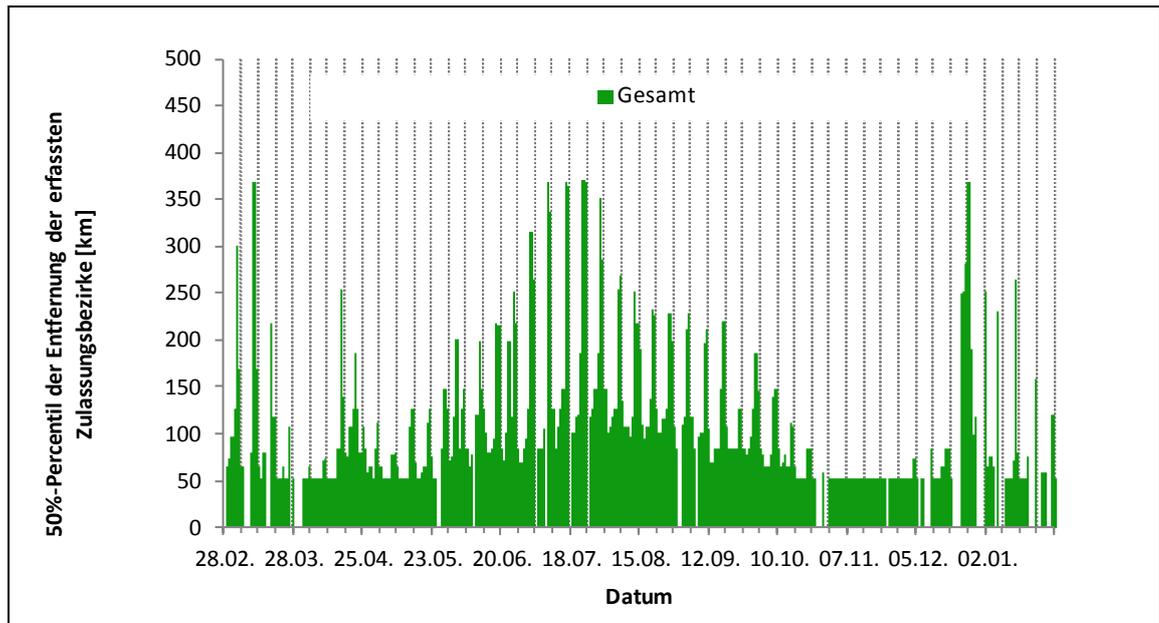


Bild 56: 50 %-Perzentil der Entfernung der erfassten Zulassungsbezirke zum RMQ Hofoldinginger Forst

Dass jedoch eine ähnliche Entfernungsverteilung, gekennzeichnet durch Mittelwert und 50 % Perzentil, aus sehr unterschiedlichen Nachfragesituationen entstehen kann, ist in Bild 57 verdeutlicht. Dargestellt ist die Herkunft der Fahrzeuge je 100.000 Einwohner im Landkreis aus Deutschland für die beiden Samstage am 16.07.2011 und am 23.07.2011. Sowohl der Mittelwert für den Fernverkehr in Bild 55 als auch das 50 %-Perzentil in Bild 56 zeigen für beide Tage sehr ähnliche Werte. Für die Herkunft der Fahrzeuge hingegen ergeben sich an beiden Tagen erhebliche Unterschiede: Die Anzahl der Fahrzeuge aus Nordrhein-Westfalen (NRW, schwarz umrandet) verdreifacht sich von etwa 20 auf 60 Fahrzeugen pro 100.000 Einwohner. Eine Erklärung für den Anstieg der Fahrzeuge liefert der zwischen diesen beiden Samstagen liegende Sommerferienbeginn in Nordrhein-Westfalen. Im Gegenzug verringert sich die Anzahl der Fahrzeuge aus Niedersachsen, Sachsen und Hessen um etwa zehn Prozent. Darüber hinaus haben natürlich die hier nicht dargestellten Urlaubsverkehre aus den angrenzenden Nachbarstaaten einen Einfluss. Am 23.07.2011 wurden gegenüber dem 16.07.2011 beispielsweise etwa 2.000 mehr Fahrzeuge aus den Niederlanden und etwa 2.000 Fahrzeuge weniger aus Dänemark erfasst. Diese gegenläufigen Effekte führen dazu, dass sich der Mittelwert nicht wesentlich verändert. Das 50 %-Perzentil bleibt von diesen Effekten ohnehin unberührt, da das 50 %-Perzentil unter der mittleren Entfernung der genannten Bundesländer bzw. Nationen liegt.

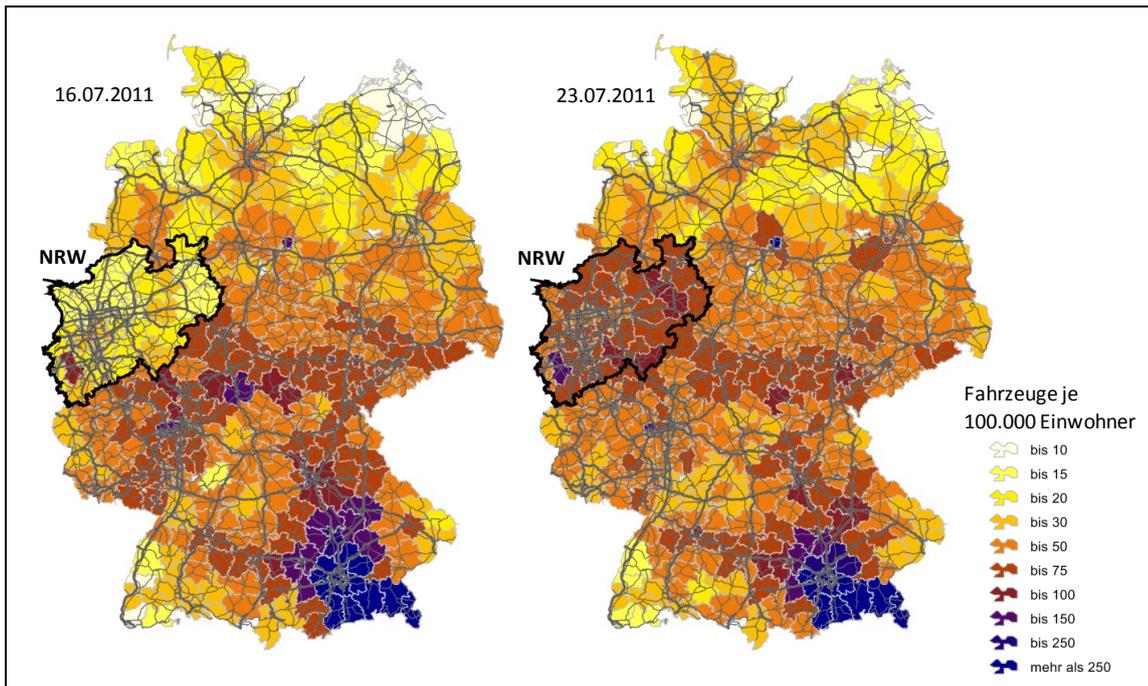


Bild 57: Herkunft der detektierten Fahrzeuge am RMQ Hofolding Forst für den 16.07.2011 und den 23.07.2011

Der Einfluss der Schulferien für das Verkehrsaufkommen von Nordrhein-Westfalen wird nochmals in Bild 58 deutlich. Dargestellt sind die hochgerechneten Tagesverkehrsaufkommen der Fahrzeuge mit einem Kennzeichen aus Nordrhein-Westfalen. Zusätzlich ist der Hintergrund hellgrün eingefärbt, wenn Schulferien waren. Es sind deutliche Spitzen zum Oster-, Sommer und Weihnachtsferienbeginn zu erkennen. Im Februar hingegen ist der Urlaubsverkehr zum Teil unabhängig von den Schulferien. Auch im September ergeben sich Urlaubsspitzen, außerhalb der Schulferien.

In Kapitel 3.3.2.2 wurde bereits beschrieben, dass für alle Bundesländer eine Regressionsanalyse durchgeführt wurde. In Tabelle 24 sind als Ergebnis der Regressionsanalyse diejenigen Ereignisse gekennzeichnet, welche einen signifikanten Einfluss auf das Verkehrsaufkommen besitzen. Es zeigt sich, dass bereits bei der Betrachtung eines Bundeslandes ein sehr differenziertes Ergebnis für die jeweiligen Wochentage entsteht. Einzig die Sommerferien haben auf jeden Wochentag bis auf Sonntag einen signifikanten Einfluss. Einzelnen Feiertagen kommt ebenso eine Bedeutung zu.

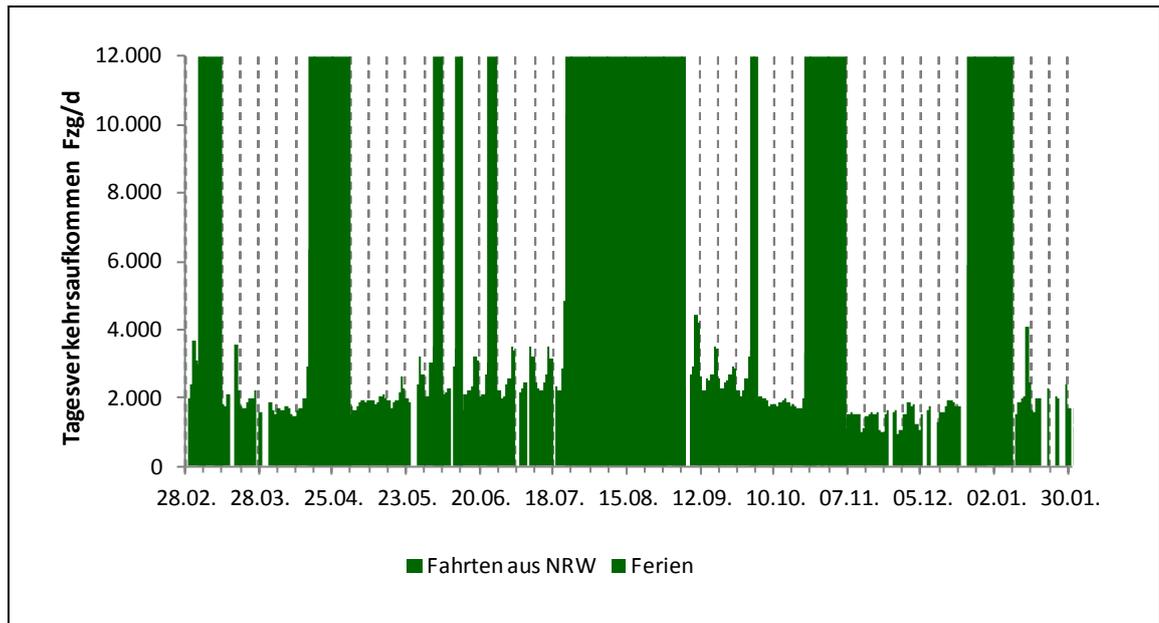


Bild 58: Tagesverkehrsaufkommen der Fahrzeuge aus Nordrhein-Westfalen für den ANPR-Erfassungszeitraum am RMQ Hofolding Forst

Tabelle 24: Relevante Regressionskoeffizienten für das Verkehrsaufkommen aus Nordrhein-Westfalen

	Osterferien- beginn	Karfreitag	Christi Himmelfahrt	Sommerferien- beginn	Sommerferien	Oktoberfest	Weihnachts- ferienbeginn	Weihnachts- ferien	1.Weihnachts- feiertag	2.Weihnachts- feiertag
Montag					X	X		X		X
Dienstag					X			X		
Mittwoch					X			X		
Donnerstag			X		X					
Freitag		X		X	X	X	X	X		
Samstag	X			X	X					
Sonntag									X	

Letztendlich soll an diesem Beispiel aus Nordrhein-Westfalen verdeutlicht werden, dass schon für ein einzelnes Bundesland die Definition von Verkehrstagen sehr differenziert geschehen muss. Auch lassen sich die Erkenntnisse für ein einzelnes Bundesland nicht ohne weiteres auf andere Bundesländer übertragen. Das in Kapitel 3.3.2.1 aufgeführte Beispiel der Niederländer zeigt zum Beispiel die sehr hohe Bedeutung des Urlaubsverkehrs der Niederländer außerhalb der Schulferien. Eine Definition von Verkehrstagen, welche nicht nur das auf der Untersuchungsstrecke beobachtbare Verkehrsaufkommen sondern auch die überregionale Herkunft in Betracht zieht, ist somit sehr komplex. Ein Lösungsansatz wäre an dieser Stelle für

jedes (Bundes-)Land eine gesonderte Definition an Verkehrstagen vorzunehmen. Für statistisch gesicherte Aussagen reicht dafür allerdings der Erhebungszeitraum von einem Jahr nicht aus. Die Definition von Verkehrstagen erfolgt daher anhand der lokalen Gesamtverkehrsaufkommen aus den Detektoren entlang der Untersuchungsstrecke und wird in Kapitel 3.3.3.3 umgesetzt.

Bezüglich des Wetters ergaben sich aus der Analyse der Entfernungsverteilungen keine Erkenntnisse, die über die bereits in Kapitel 3.3.2.2.3 dargestellten Ergebnisse hinausgehen. Für die mittlere Entfernung und die Entfernungsverteilung konnte keine Wetterabhängigkeit festgestellt werden.

3.3.3.2 Analyse MiD

Analog zum Verkehrsaufkommen wurde auch für die Analyse der Zielwahl die Haushaltsbefragung MiD ausgewertet. Eine wetterabhängige Zielwahl kann zum einen daraus entstehen, dass bestimmte Ziele ein wetterabhängiges Attraktionspotenzial aufweisen (vgl. Kapitel 3.3.2.2.3). Zum anderen kann eine wetterabhängige Zielwahl daraus entstehen, dass die Bereitschaft weiter zu fahren vom Wetter beeinflusst wird. Zur Analyse dieser wetterabhängigen Bereitschaft wurden aus der Haushaltsbefragung Reiseweitenverteilungen für die Wetterklassen "Topwetter", "Mittleres Wetter" und "Schlechtes Wetter" abgeleitet. Die Wetterklasse "Schnee" konnte aufgrund der kleinen Anzahl an Datensätze nicht mit einbezogen werden. Für die Auswertung wurden Freizeitwege, die mit dem Pkw zurückgelegt wurden, herangezogen. Auf eine Unterscheidung nach Wochentagen wurde zu Gunsten der höheren statistischen Sicherheit der Ergebnisse verzichtet.

Die entstandenen Reiseweitenverteilungen sind in Bild 59 als Verlauf der relativen Klassenhäufigkeit und als Summenhäufigkeit der Reiseweitenklassen dargestellt. Im Falle von Topwetter werden anteilmäßig weniger kurze (< 20 km) und mehr lange Wege (> 20 km) durchgeführt. Bei schlechtem Wetter hingegen mehr kurze und weniger lange Wege. Die mittlere Reiseweite mit dem Pkw für den Wegezweck Freizeit steigt bei Topwetter gegenüber mittlerem Wetter von 15,1 auf 16,8 km und verringert sich bei schlechtem Wetter auf 13,8 km.

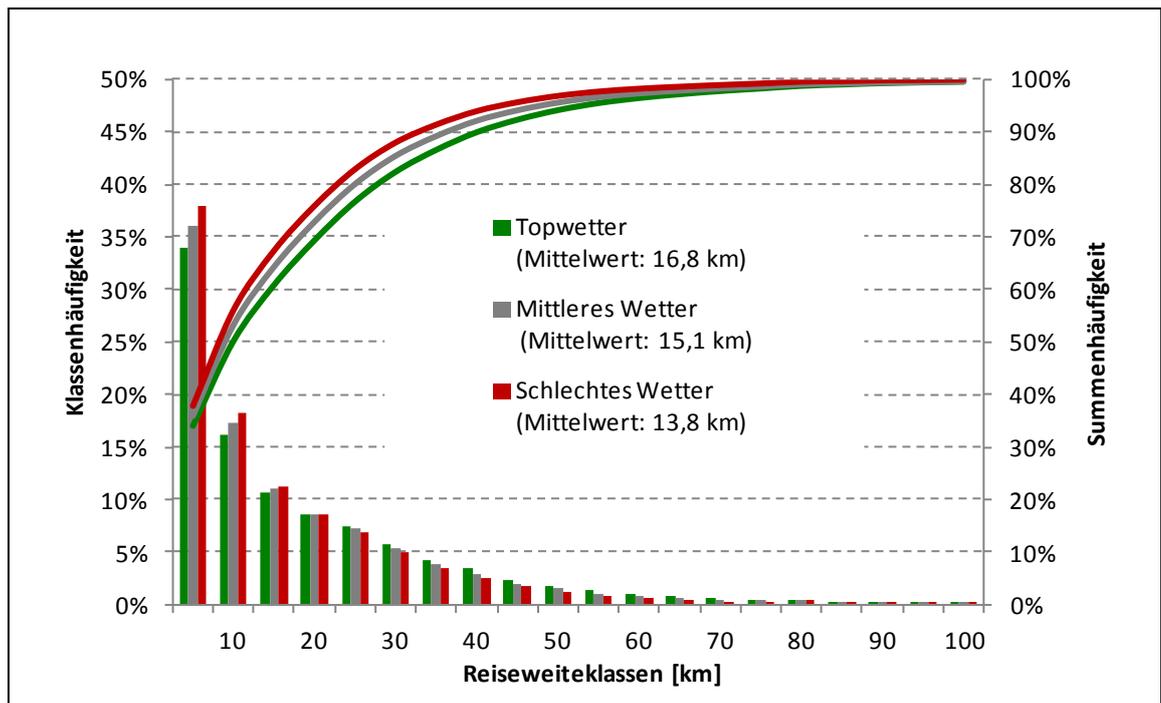


Bild 59: Reiseweitenverteilung für Freizeitwegen zurückgelegt mit dem Pkw je Wetterklasse

3.3.3.3 Erzeugung der stundenfeinen Nachfragematrizen je Verkehrstagtyp

Erzeugen der clusterbasierten Prognose

Die Netzganglinie wird aus 55 RMQs entlang des Untersuchungsgebietes gebildet. Die Clusteranalyse wird über den Zeitraum von Januar 2008 bis Dezember 2011 durchgeführt. Alle notwendigen Parameter für die Clusterung werden von einer Analyse vieler clusterbasierter Prognosen übernommen. Es werden die Parameter verwendet, welche zum bestmöglichen Prognoseergebnis geführt haben. Für die Analyse des bestmöglichen Prognoseergebnisses konnten nur vier ausgewählte RMQ verwendet werden. Die Analyse wurde aus Gründen der Rechenzeit nicht mit allen 55 RMQs durchgeführt. Es wird angenommen, dass das Ergebnis mit vier RMQs auch annähernd für die Clusteranalyse mit 55 RMQ gilt.

Bei der Clusteranalyse wird nach Feiertagen und Wochentagen (Mo-Do, Fr, Sa, So) vorklassifiziert. Als Distanzmaß wird ein GEH-Wert von 8 verwendet. Damit entstehen auf der einen Seite 75 Cluster, welche die unterschiedlichen Wochentage und Ferienkonstellationen gut repräsentieren und auf der anderen Seite eine nicht zu große Anzahl an Cluster, so dass der Aufwand zur Weiterverarbeitung nicht zu groß ist. Jedes Cluster wird durch eine Netzganglinie beschrieben, welche für die 55 Detektoren für alle 24 Stundenintervalle einen Verkehrsstärkewert enthält.

Von den insgesamt 75 Clustern wurden 58 Cluster in der Prognose (Prognosezeitraum Januar 2008 bis Dezember 2013) zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt, wie in Kapitel 3.3.2.3.1, S. 93) beschrieben, anhand von Eigenschaften der Tage. Einem Prognosetag wird das Cluster mit der größten Übereinstimmung der Eigenschaften zugeordnet. Als Eigenschaften wurden die einzelnen Wochentage, einzelnen Feiertage (IstNeujahr, IstDreiKönige, IstKarfreitag, usw.), die einzelnen Ferien (IstOsterferien, IstPfingstferien, usw.), Brückentage, Werktag vor einem Feiertag und relevante Ferien der Nachbarstaaten (Winterferien in Belgien und Tschechien und Sommerferien in Dänemark, Frankreich und den Niederlanden) verwendet.

Verwenden der clusterbasierten Prognose

Für jedes Cluster werden eine Tagesmatrix und 24 Stundenmatrizen erzeugt, welche die Verkehrsstärkewerte des Clusters als Randbedingungen erfüllen. Das Vorgehen der Matrixberechnung ist in Bild 60 schematisch dargestellt. Eingangsdaten für die Hochrechnung sind auf der einen Seite die Netzganglinien aus der Clusterung und auf der anderen Seite die Tages- und Stundenmatrizen aus dem VIB-Modell. Die Matrizen im VIB-Modell sind differenziert in 5 Wochentagstypen (Montag, Dienstag bis Donnerstag, Freitag, Samstag und Sonntag) und wurden von der PTV [19] mit einer entsprechender Netzdatei und den passenden Umlegungsparametern zur Verfügung gestellt. Für das Untersuchungsgebiet ergab sich aus der Clusteranalyse kein separates Montagscluster, so dass die gesonderte Betrachtung des Montags bei der clusterbasierten Prognose wegfällt.

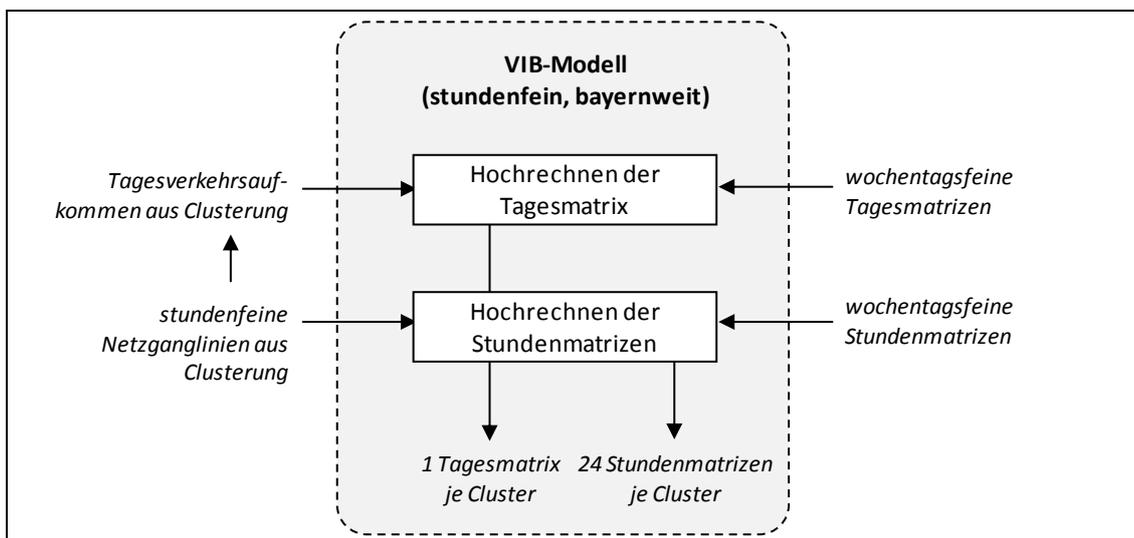


Bild 60: Verwenden der Clusterung für die Hochrechnung der Nachfragematrizen

Für jedes Cluster wird nun in einem ersten Schritt für jeden Detektor das Tagesverkehrsaufkommen bestimmt. Für jedes Cluster werden anhand der Vorklassifizierung die wochentagstypische Tagesmatrix und die zugehörigen Stundenmatrizen

herangezogen. Schrittweise werden dann zunächst die Tagesmatrix und dann jede einzelne Stundenmatrix hochgerechnet. Für jeden relevanten Detektor wird dabei der entsprechende Wert aus der Netzganglinie als Randbedingung vorgegeben. Als Hochrechnungsverfahren wird das in der Verkehrsmodellierungssoftware VISUM implementierte Verfahren VStromFuzzy verwendet.

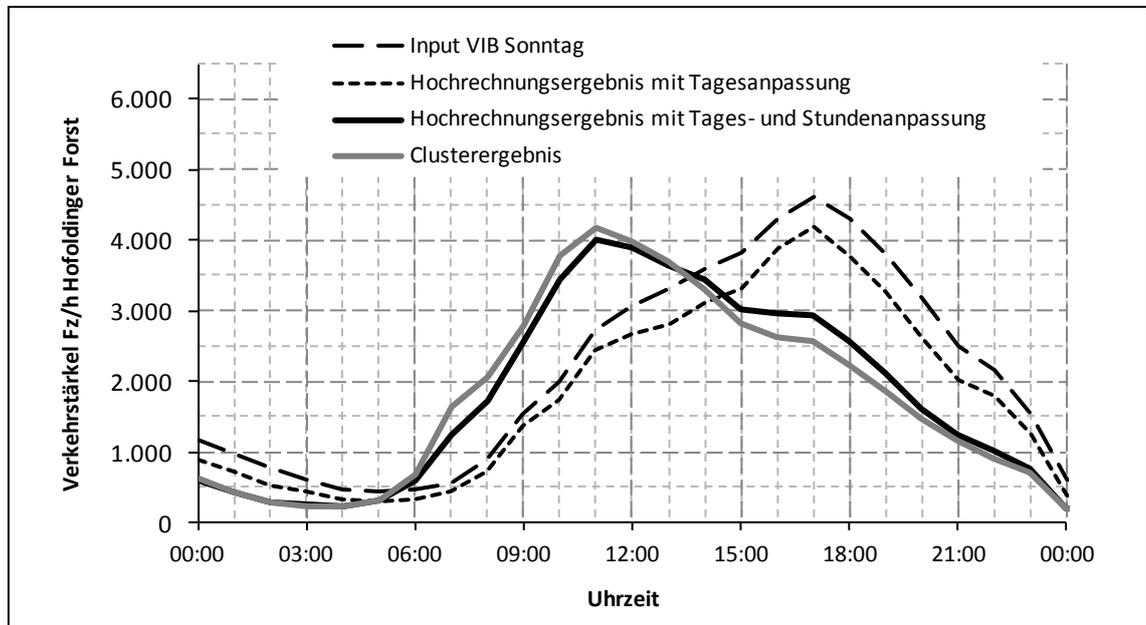


Bild 61: Ergebnis der Matrixhochrechnung auf Grundlage der Clusterung

In Bild 61 sind die Zwischenergebnisse dieser zwei Hochrechnungsschritte (Tages- und Stundenanpassung) beispielhaft illustriert. Dargestellt sind für den RMQ Hofoldinger Forst die repräsentative Tagesganglinie eines Sonntagsclusters (grau) und die Tagesganglinie, welche aus dem VIB-Modell resultiert (schwarz, grob gestrichelt). Es ist erkennbar, dass das Ergebnis aus der VIB ein etwas zu hohes Verkehrsaufkommen aufweist und darüber hinaus der Tagesgang nicht der Ganglinie des Clusters entspricht. Durch die Anpassung der Tagesmatrix wird zunächst das Niveau auf Tagesebene korrigiert und durch die Anpassung der einzelnen Stundenmatrizen wird der Verlauf der Ganglinie aus der Clusterung letztendlich sehr gut nachgebildet. Als Ergebnis liegen für jedes Cluster 24 Stundenmatrizen und eine Tagesmatrix vor. Jedes der 58 Cluster stellt einen typischen Verkehrstag innerhalb des Untersuchungszeitraumes mit kalenderspezifischen Eigenschaften dar, und wird aufgrund der Matrixanpassung durch die entsprechenden Matrizen und das daraus resultierende stundenfeine, netzweite Umlegungsergebnis präsentiert.

3.3.3.4 Zusammenfassung Zielwahl

Eine Auswertung der ANPR-Daten ergab, dass die Mittelwerte und 50 %-Perzentile der Fahrtweiten für den Fernverkehr über das Jahr sehr stark schwanken, vor allem an

Wochenenden. Dies kommt vor allem durch Urlaubsverkehr innerhalb und außerhalb der Schulferien zustande. Die Definition typischer Verkehrstage müsste letztendlich für jedes Bundesland separat geschehen. Eine Wetterabhängigkeit anhand der Herkunft konnte bis auf Bayern für kein Bundesland festgestellt werden. Auch für den Regionalverkehr konnte keine wetterabhängige Fahrtweitenverteilung abgeleitet werden.

Analog zum Verkehrsaufkommen wurde für die Analyse der Zielwahl die Haushaltsbefragung MiD ausgewertet. Herangezogen wurde die Fahrtweitenverteilung des Freizeitverkehrs mit dem PKW. Es konnte gezeigt werden, dass bei schlechtem Wetter die Wege tendenziell kürzer und bei Topwetter die Wege tendenziell länger sind.

Eine Definition von Verkehrstagen, welche nicht nur das auf der Untersuchungsstrecke beobachtbare Verkehrsaufkommen sondern auch die überregionale Herkunft in Betracht zieht, gestaltet sich sehr komplex. Die Definition von Verkehrstagen erfolgt daher anhand der lokalen Gesamtverkehrsaufkommen aus den Detektoren entlang der Untersuchungsstrecke. Dazu wurden Netzganglinien aus den Tagesganglinien aus 55 RMQs geclustert und anhand der Eigenschaften der Tage eine clusterbasierte Prognose durchgeführt. Die clusterbasierte Prognose der Netzganglinien wurde als Eingangsgröße für eine Matrixhochrechnung herangezogen. Ergebnis sind stundenfeine Nachfragematrizen je Verkehrstagtyp.

3.3.4 Einfluss des Wetters auf die Fahrzeit

Die Ziele der Untersuchung des Einflusses des Wetters auf die Fahrzeit waren folgende:

- Analyse des Zusammenhangs zwischen Wettersituation und Fahrzeitniveau bzw. des Fahrzeitindex als Zuverlässigkeitsindikator
- Ableitung von Hinweisen auf die tageszeit- und wetterabhängige Verbindungsqualität
- Identifikation von Merkmalen, die einen signifikanten Einfluss auf die Fahrzeiten und deren Verteilung haben. Hierzu sollen in der Analyse der Verbindungsqualität Zusammenhänge zwischen Zuverlässigkeit, Verkehrsnachfrage und Wetter analysiert werden. Die Zuverlässigkeit wird dabei durch die Streuung der Fahrzeiten (Fahrzeitindex), die Pünktlichkeit und die Verlustzeit quantifiziert.

Das Wetter hat einen Einfluss auf die gefahrene Geschwindigkeit. Zum einen kann das Wetter die Sichtweite beeinflussen (z. B. bei Nebel, Starkregen oder Schneefall), zum anderen verändert das Wetter z. B. bei nasser Fahrbahn den Kraftschluss zwischen den Reifen der Fahrzeuge und der Fahrbahn. In beiden Fällen verändert sich das Fahrverhalten der Fahrer.

In diesem Kapitel wird der Einfluss des Wetters auf die Fahrzeit quantifiziert. Die Herausforderung liegt darin, den Einfluss des Wetters auf die Fahrzeit neben den anderen Einflüssen wie der Verkehrsstärke, der Unfälle, der Baustellen oder auch der Verkehrszusammensetzung herauszufiltern. Eine Auswertung mit den ANPR-Fahrzeiten für den Abschnitt von Hofoldingen Forst zum AD Inntal (vgl. Bild 62) zeigt, dass eine Verspätung in 3 % aller Zeiten auftritt. Eine Verspätung ist definiert als eine Unterschreitung der mittleren Geschwindigkeit von 80 km/h. Die Hauptursache für die Verspätung ist die Verkehrsstärke. In 83 % aller Verspätungen liegt ein großer Wert für die Verkehrsstärke in der Nähe der Kapazität vor. Weitere Gründe für die Verspätung sind Unfälle und Regen, welche auch in Kombination auftreten können.

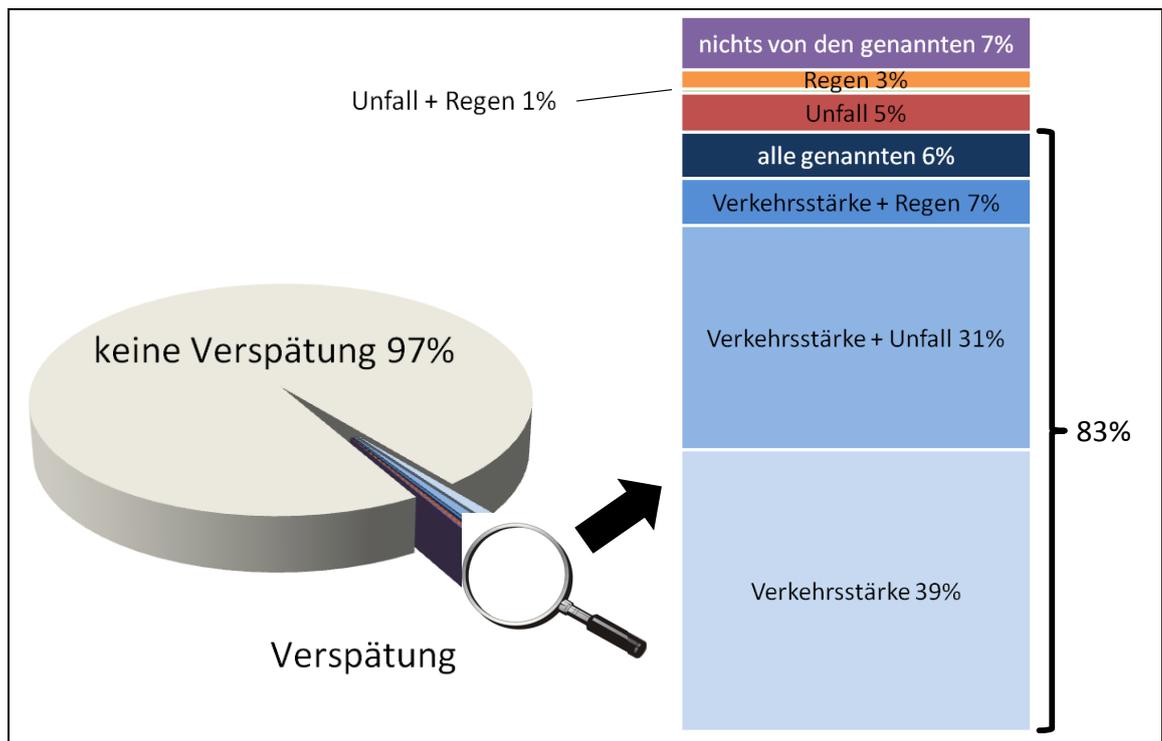


Bild 62: Ursache von Verspätungen für Abschnitt 1: München – AD Inntal

Für die Ermittlung des Wettereinflusses wird bei der Untersuchung auf Kenngrößen der Zuverlässigkeit der Fahrzeiten zurückgegriffen, welche eine Bewertung über einen längeren Zeitraum ermöglichen. Je länger der ausgewertete Zeitraum ist, desto wahrscheinlicher werden andere Einflussfaktoren relativiert und der zu untersuchende Einfluss auf das Wetter kann präziser nachgewiesen werden. Die Datenbasis bilden die Fahrzeiterhebungen mit den ANPR-Kamerasystemen (Kapitel 3.2.3.2.4, Seite 44). und die Wetterdaten (Kapitel 3.2.3.5, Seite 53).

Aus den Einzelfahrzeitmessungen werden repräsentative Fahrzeiten für ein 15-Minuten-Zeitintervall gebildet. Die repräsentative Fahrzeit eines 15-Minuten-Zeitintervalls ergibt sich aus dem 15 %-Perzentil aller Einzelfahrzeiten innerhalb des Zeitintervalls. Damit wird sichergestellt, dass Fahrten, welche auf dem Abschnitt unter-

brochen werden (z. B. durch Tanken oder Pausen) oder gesetzlichen Geschwindigkeitsbeschränkungen unterworfen sind (z. B. Lkw oder Fahrzeuge mit Anhänger), nicht in die Bewertung mit einbezogen werden. Mit Hilfe der Wetterdaten werden Fahrzeitverteilungen für unterschiedliche Wettersituationen („kein / leichter Niederschlag“ und „mäßiger / starker Niederschlag“) gebildet, aus denen die Kenngrößen abgeleitet werden. Aus den unterschiedlichen Kenngrößen wird der Einfluss des Wetters auf die Fahrzeit abgeleitet.

Das Wetter kann sich lokal unterscheiden. Regnet es z. B. zu Beginn eines Abschnitts, kann es im weiteren Verlauf dennoch trocken sein. Nicht bei allen untersuchten Abschnitten wird das Wetter über den Verlauf des Abschnitts erfasst. Auf dem Abschnitt vom AD Inntal nach Kiefersfelden, befindet sich keine fahrbahnseitige Wettermeldeanlage. Für diesen Abschnitt wird das Wetter mit Hilfe der synoptischen Wetterstation in Kiefersfelden bestimmt. Bei den anderen beiden Abschnitten werden alle verfügbaren fahrbahnseitigen Wettersensoren zur Ermittlung der Wettersituation verwendet.

Die Fahrzeiten werden im Folgenden für eine bessere Vergleichbarkeit immer als Geschwindigkeiten dargestellt. Die Geschwindigkeiten berechnen sich aus dem Quotienten von Fahrzeiten und der Länge des Abschnitts.

3.3.4.1 Kenngrößen

Fahrzeitverteilungen werden in der Literatur auf unterschiedliche Art und Weise bewertet. Neben den statistischen Kenngrößen (Standardabweichung) gibt es Zeitindizes (z. B. Fahrzeitindex), Verlustzeitkenngrößen und wahrscheinlichkeits-basierte Kenngrößen. Um den Einfluss des Wetters zu bewerten, werden drei Kenngrößen verwendet:

- Der Fahrzeitindex um die Verteilung der Fahrzeiten zu berücksichtigen,
- der Anteil der Zeiträume mit Verspätung, damit die Versagenswahrscheinlichkeit abgedeckt wird, und die
- Verlustzeit.

Der Fahrzeitindex beschreibt die Verteilung mit Hilfe einer Fahrzeit im unteren (Soll-Fahrzeit, z. B. das 15 %-Perzentil) und oberen Bereich (Störung des Verkehrsablaufs, z. B. das 99 %-Perzentil). Das Verhältnis gibt an, um welchen Faktor die Fahrzeit in einem schlechten Fall verglichen zur Soll-Fahrzeit steigt. Mit zunehmendem Wert des Fahrzeitindex ergibt sich eine breitere Fahrzeitverteilung und damit eine niedrigere Zuverlässigkeit.

$$\text{Fahrzeitindex} = \frac{t_{99\%}}{t_{15\%}}, \quad (3.16)$$

mit $t_{x\%}$ x %-Perzentil der Fahrzeit [h]

Der Anteil der Zeiträume mit Verspätung gibt in einer Prozentzahl an, in wie vielen Zeitintervallen eine Soll-Fahrzeit überschritten wird. Bei der Verlustzeit geht zusätzlich die Schwere der Verluste mit ein. Für die Vergleichbarkeit wird die Verlustzeit auf die Anzahl der Fahrzeuge und die Abschnittslänge normiert. Falls keine Information über die Fahrleistung zur Verfügung steht, kann die Verlustzeit alternativ auch über die Anzahl der Intervalle I normiert werden.

$$\text{Verspätung} = \frac{\sum_{i=1}^I V(t_i, t_{soll})}{I}, V(t_i, t_{soll}) \begin{cases} 1, & t_i > t_{soll} \\ 0, & t_i \leq t_{soll} \end{cases} \quad (3.17)$$

$$\text{Verlustzeit} = \frac{\sum_{i=1}^I \left\{ \begin{array}{l} t_i - t_{soll} \mid t_i > t_{soll} \\ 0 \mid t_i \leq t_{soll} \end{array} \right.}{L \cdot \sum_{i=1}^I Q_i} \quad (3.18)$$

mit I Anzahl der Zeitintervalle [-]
 t_i Fahrzeit im Zeitintervall i [h]
 t_{soll} Soll-Fahrzeit [h]
 L Länge des Abschnitts [km]
 Q_i Anzahl der Fahrzeuge auf dem Untersuchungsabschnitt im Zeitintervall i [Fz]

Ein Beispiel dieser ausgewählten Kenngrößen ist in Bild 63 zu sehen. Hier ist die Fahrzeitverteilung aller 15-Minuten Intervalle für den Abschnitt München – AD Inntal zu sehen. Im oberen Diagramm ist der Fahrzeitindex dargestellt. Dieser wird aus dem Verhältnis des 15 %-Perzentil und dem 99 %-Perzentil der Fahrzeit (das entspricht dem 85 %-Perzentil und 1 %-Perzentil der Geschwindigkeit) gebildet. Im unteren Diagramm sind die Kenngrößen Verspätung und Verlustzeit dargestellt. Jedes Unterschreiten der Soll-Geschwindigkeit (rote Balken) wird bei diesen beiden Kenngrößen berücksichtigt. Die Kenngröße Verspätung berücksichtigt nur, ob die Soll-Geschwindigkeit unterschritten wird. Im Gegensatz dazu berücksichtigt die Verlustzeit zusätzlich die Höhe der Fahrzeitüberschreitung und bringt diese in Bezug zur Fahrleistung im Untersuchungszeitraum. Die Fahrleistung wird aus den lokalen Detektoren entlang des Abschnitts ermittelt.

Da für die Kenngröße Verspätung eine Soll-Fahrzeit aus einem Perzentil nicht sinnvoll ist¹, wird hier als Soll-Fahrzeit die Fahrzeit abgeleitet aus der Geschwindigkeit 80 km/h verwendet. Die Geschwindigkeit von 80 km/h entstammt aus den angestrebten Pkw-Fahrgeschwindigkeiten der RIN, welche für Autobahnen mit Standardentfernungen zwischen 10 – 70 km einen Bereich zwischen 70 und 90 km/h angeben.

¹ Wird als Soll-Fahrzeit das 15%-Perzentil verwendet, würde die Kenngröße Verspätung aus ihrer Definition ebenfalls 15% betragen.

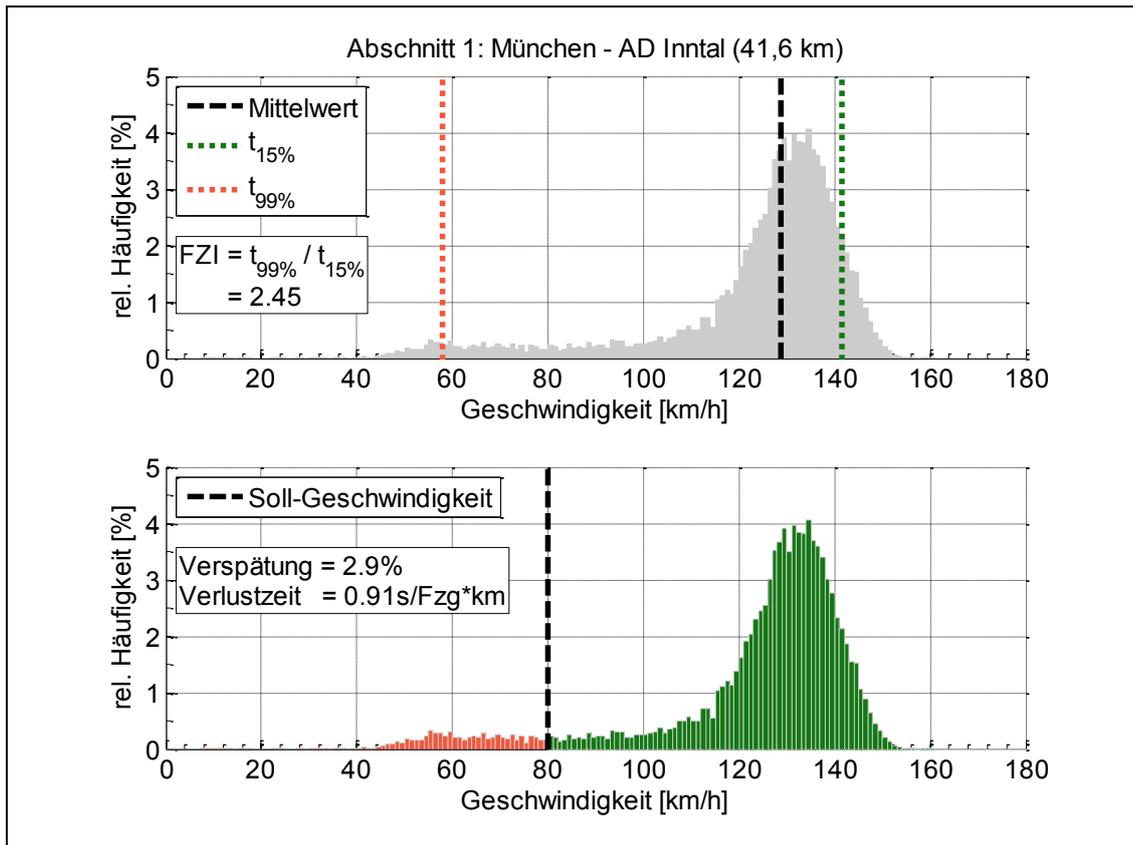


Bild 63: Ausgewählte Kenngrößen zur Bewertung der Fahrzeit und deren Anwendung

Als Wetterklassen wird zwischen „kein / leichter Niederschlag“ und „mäßiger / starker Niederschlag“ unterschieden (vgl. Tabelle 12, Seite 57). Einem 15-Minuten-Zeitintervall wird die Wetterklasse „mäßiger / starker NS“ zugewiesen, wenn die Niederschlagsintensität von allen Wettermeldeanlagen des Abschnitts innerhalb des Zeitintervalls im Mittel mehr als 0,5 mm/h beträgt (vgl. Kapitel 3.2.3.5, Seite 53). Ein Zeitintervall wird nicht zur Analyse verwendet, falls keine Fahrzeiten vorliegen oder nicht mindestens die Hälfte der Wettermeldeanlagen gültige Werte für die Niederschlagsintensität liefern. Bei der Kenngröße Verlustzeit wird zusätzlich die Verkehrsstärke benötigt, weswegen bei Datenausfällen in den Verkehrsstärken zusätzlich Zeitintervalle wegfallen. Tabelle 25 zeigt die Anzahl der Zeitintervalle für die Analyse in Abhängigkeit der Abschnitte und der Wetterklasse.

Tabelle 25: Anzahl der 15-Minuten Zeitintervalle mit entsprechender Wetterklasse

Anzahl Zeitintervalle	kein / leichter Niederschlag	mäßiger / starker Niederschlag
Abschnitt 1: München – AD Inntal	21.029	2.083
Abschnitt 2: AD Inntal – Kiefersfelden	17.758	1.201
Abschnitt 3: AD Inntal – Salzburg	20.594	2.295

3.3.4.2 Ergebnisse

Werden die Fahrzeiten nach den Wetterklassen getrennt ausgewertet, ergeben sich die in Bild 64 dargestellten Geschwindigkeitsverteilungen. In diesem Bild sind die Häufigkeiten der repräsentativen Geschwindigkeiten aller 15-Minuten Zeitintervalle aufgetragen. Die Maxima in den Geschwindigkeitsverteilungen liegen bei allen Relationen im Fall „mäßiger / starker Niederschlag“ weiter links. Die Geschwindigkeiten ab 100 km/h sind bei „mäßiger / starker NS“ je nach Abschnitt um 10-20 km/h nach links verschoben und damit niedriger. Diese hohen Geschwindigkeiten werden im freien Verkehr erreicht. Bei niedrigeren Geschwindigkeiten (kleiner als 100 km/h) kann mithilfe von den Geschwindigkeitsverteilungen (vgl. Bild 64) keine Aussagen getroffen werden. Für die Analyse dieses Bereichs eignen sich die Kenngrößen der Zuverlässigkeit.

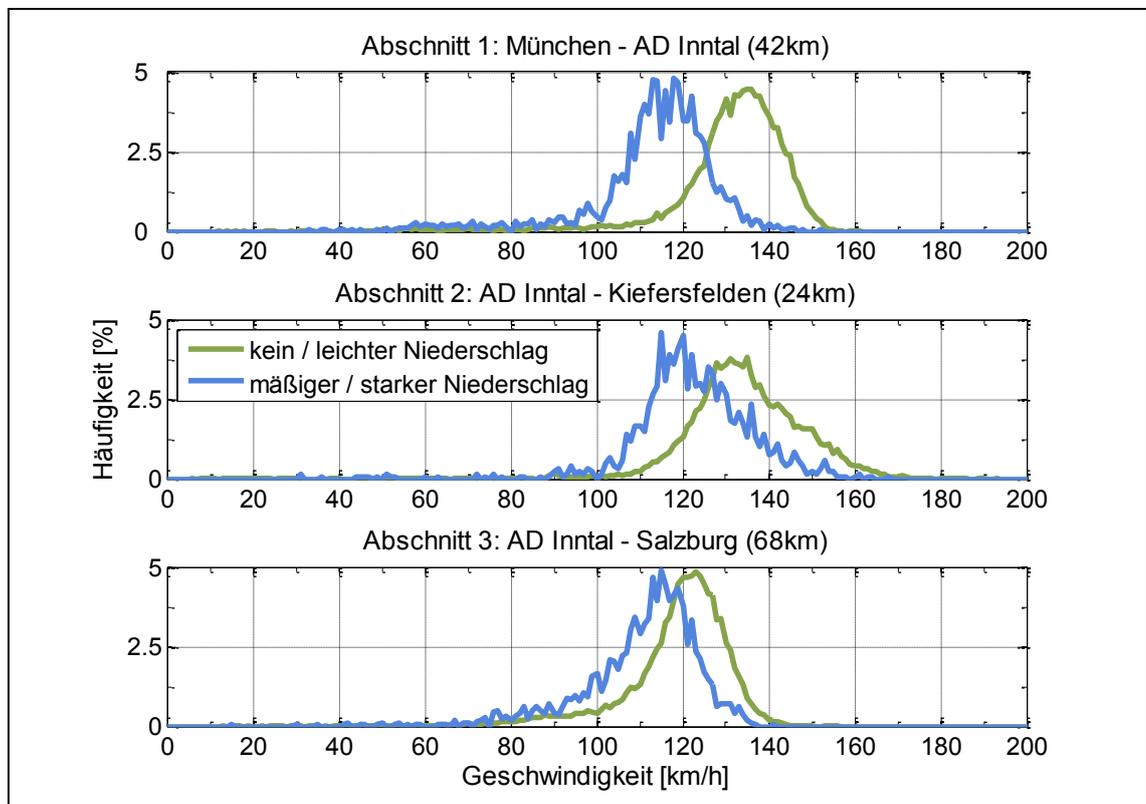


Bild 64: Geschwindigkeitsverteilung für unterschiedliche Wetterklassen.

In Tabelle 26 sind die Kennwerte der drei Kenngrößen für die unterschiedlichen Abschnitte dargestellt. In der letzten Spalte ist jeweils die prozentuale Änderung des Kennwerts von der Wetterklasse „kein / leichter Niederschlag“ zu „mäßiger / starker Niederschlag“ aufgeführt.

Tabelle 26: Kennwerte der Abschnitte getrennt nach Wetterklasse.

Fahrzeitindex [-]	kein / leichter Niederschlag	mäßiger / starker Niederschlag	proz. Änderung
Abschnitt 1: München – AD Inntal	2,34	2,47	6 %
Abschnitt 2: AD Inntal – Kiefersfelden	1,64	2,61	59 %
Abschnitt 3: AD Inntal – Salzburg	1,81	1,92	6 %
Anteil Zeiträume mit Verspätung [%]	kein / leichter Niederschlag	mäßiger / starker Niederschlag	
Abschnitt 1: München – AD Inntal	2,15	5,09	137 %
Abschnitt 2: AD Inntal – Kiefersfelden	0,69	1,67	142 %
Abschnitt 3: AD Inntal - Salzburg	1,96	3,31	69 %
Verlustzeit [s/Fz*km]	kein / leichter Niederschlag	mäßiger / starker Niederschlag	
Abschnitt 1: München – AD Inntal	0,71	1,35	90 %
Abschnitt 2: AD Inntal – Kiefersfelden	0,74	0,85	15 %
Abschnitt 3: AD Inntal - Salzburg	0,39	0,43	10 %

In allen Fällen erhöhen sich die Kennwerte im Zustand „mäßiger / starker Niederschlag“, was schlechteren Verkehrsablauf bedeutet. Der größte prozentuale Anstieg liegt bei der Kenngröße Verspätung vor, was bedeutet, dass die Soll-Fahrzeit, welche einer Geschwindigkeit von 80 km/h entspricht, im Zustand „mäßiger / starker Niederschlag“ weniger häufig erreicht wird. Das liegt daran, dass zum einen durch den Wettereinfluss die gefahrene Geschwindigkeit geringer ist (vgl. Bild 64), zum anderen, weil sich die Kapazität durch den Wettereinfluss verringert und dadurch der Verkehr schneller zusammenbricht. Um diese beiden Effekte getrennt voneinander zu betrachten, wird im nächsten Kapitel 3.3.4.3 das Fundamentaldiagramm betrachtet.

Die Verlustzeit verändert sich aufgrund der Wetterlage weniger stark als die Verspätung. Das bedeutet, dass die mittleren Verluste pro Verspätung im Fall „mäßiger / starker Niederschlag“ kleiner sind. Es gibt im Fall „mäßiger / starker Niederschlag“ prozentual mehr kleine Verluste (z. B. 70-80 km/h) und weniger häufig große Verluste (z. B. 10-50 km/h) als bei „kein / leichter Niederschlag“. Daraus lässt sich schließen, dass das Wetter bei starken Verlusten eine untergeordnete Rolle spielt und von anderen Faktoren (z. B. sehr hohe Nachfrage, Unfälle) überlagert wird (vgl. Bild 62). Dieser Effekt kann mit dem Fahrzeitindex bestätigt werden: Die 99 %-Perzentil-Fahrzeit ändert sich im Fall „mäßiger / starker Niederschlag“ nur für Abschnitt 2 signifikant. Bei den beiden anderen Abschnitten liegen die hohen Fahrzeiten für beide Wetterklassen auf einem ähnlichen Niveau.

3.3.4.3 Betrachtung der Fahrzeiten mit Hilfe des Fundamental- diagramms

Die Fahrzeit wird im Allgemeinen durch die Verkehrsnachfrage und das Verkehrsangebot bestimmt. Schlechtes Wetter kann sowohl das Verkehrsangebot als auch die Verkehrsnachfrage beeinflussen, wobei in dieser Analyse die Einflüsse auf die Verkehrsnachfrage vernachlässigt werden. Mit Hilfe des Fundamentaldiagramms wird die Geschwindigkeit, welche direkt aus der Fahrzeit abgeleitet werden kann, in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke betrachtet (vgl. Bild 65). Das dargestellte Fundamentaldiagramm bezieht sich auf einen gesamten Autobahnabschnitt. Im Gegensatz dazu analysiert der Projektpartner MickS [26] das Fundamentaldiagramm in Abhängigkeit des Wetters lokal. Die Geschwindigkeit wird aus den ANPR-Fahrzeiten und der Abschnittslänge berechnet. Die Verkehrsstärke wird aus mehreren RMQ entlang des Abschnitts ermittelt.

Jeder grüne Punkt in Bild 65 repräsentiert ein 15-Minuten Zeitintervall mit der zugeordneten Wetterklasse „kein / leichter Niederschlag“. Entsprechend repräsentieren die blauen Punkte die Zeitintervalle der Wetterklasse „mäßiger / starker Niederschlag“. Beide Punktwolken werden durch ein Modell zur Beschreibung des Fundamentaldiagramms (VAN AERDE, [30]) repräsentiert. Mit Hilfe dieses Modells kann die freie Geschwindigkeit und die Kapazität abgelesen werden.

Bild 65 macht den Unterschied in der Fahrzeit (Geschwindigkeit) zwischen den Wetterklassen „kein / leichter Niederschlag“ und „mäßiger / starker Niederschlag“ deutlich: Die Kapazität des Abschnitts, das ist die maximale erreichte Verkehrsstärke, ist bei „kein / leichter Niederschlag“ 500 Fz/h höher als bei „mäßiger / starker Niederschlag“. Das bedeutet, dass der Verkehrsablauf bei „mäßiger / starker Niederschlag“ bereits bei niedrigerer Verkehrsnachfrage zusammenbricht. Im unteren Bereich des Fundamentaldiagramms (bis 50 km/h) gibt es wenig Punkte. Hier liegen zudem Störungen vor (starke Nachfrage und/oder Unfälle), welche den Verkehrsablauf stärker beeinflussen als das Wetter, sodass der Einfluss des Wetters in diesem Bereich mit den verfügbaren Daten nicht abzuschätzen ist.

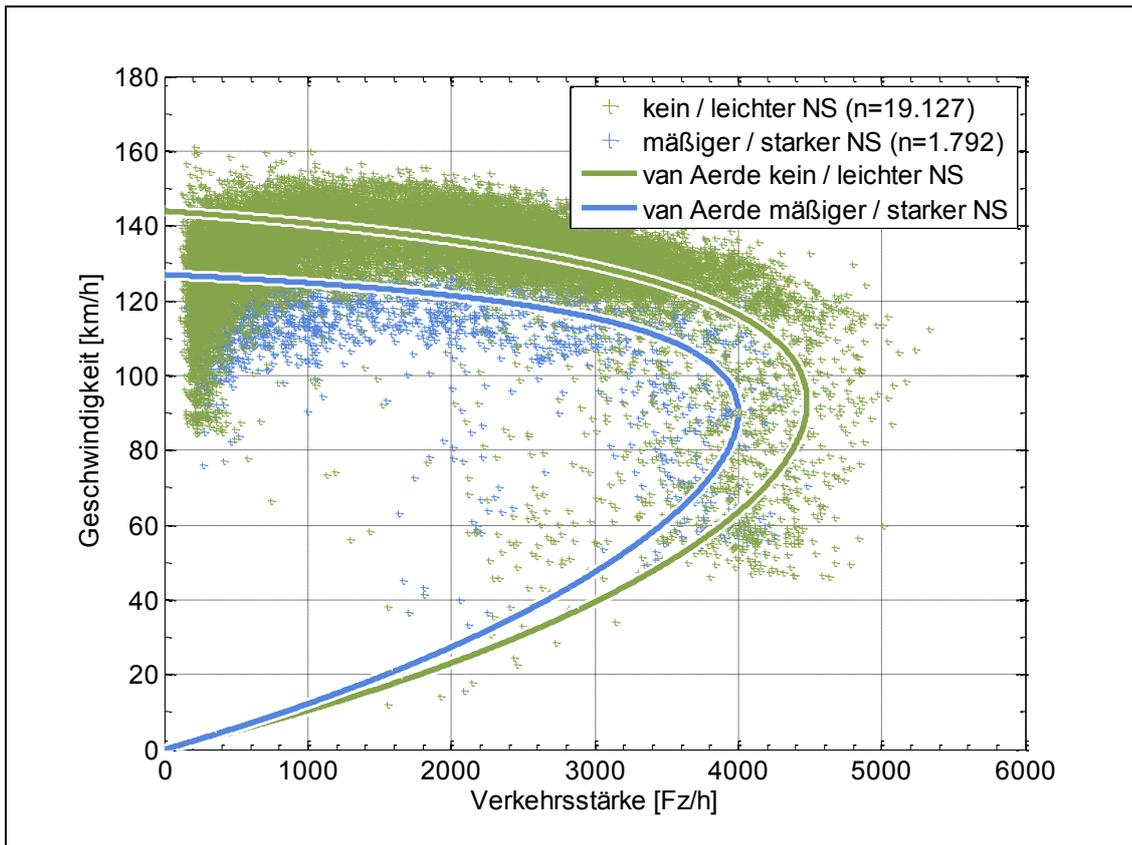


Bild 65: Fundamentaldiagramm in Abhängigkeit der Wetterklasse für den Abschnitt 1: München – AD Inntal.

Die weiteren Fundamentaldiagramme der Abschnitte 1 und 2 befinden sich im Anhang, Bild 83 und 84, Seite 175.

Mit Hilfe der ANPR-Messung konnten weitere Einflussfaktoren auf die Fahrzeit (Geschwindigkeit) nachgewiesen werden. Wie im Fall der Verkehrssicherheit (Kapitel 3.3.1, Seite 60) wird festgestellt, dass die Herkunft der Fahrzeuge (siehe Beschreibung in Kapitel 3.2.3.2.5, Seite 45) einen Zusammenhang zur Fahrzeit hat.

Bild 66 zeigt die Fundamentaldiagramme für unterschiedliche Anteile des Regionalverkehrs. Es zeigt sich, dass bei wenig Regionalverkehr die Kapazität des Abschnitts am geringsten ist. Die Kapazität bei wenig Regionalverkehr ist um 5 % kleiner verglichen mit der Kapazität bei mittlerem oder viel Regionalverkehr. Die Kapazität zwischen mittlerem und viel Regionalverkehr unterscheidet sich minimal, jedoch ist die Geschwindigkeit bei der Kapazität bei viel Regionalverkehr mit 97 km/h um fast 15 km/h größer als bei mittlerem Regionalverkehr (73 km/h). Als Ursache für die größere Geschwindigkeit bei sehr großer Verkehrsstärke wird vermutet, dass die Kapazität in den Zeitintervallen mit viel Regionalverkehr selten erreicht wird und noch größer sein könnte. Ein Indikator ist der Anteil der Zeitintervalle über der Kapazität. Dieser Anteil ist bei viel Regionalverkehr mit 1 % deutlich kleiner als bei wenig (3,2 %) oder mittlerem Regionalverkehr (2,2 %).

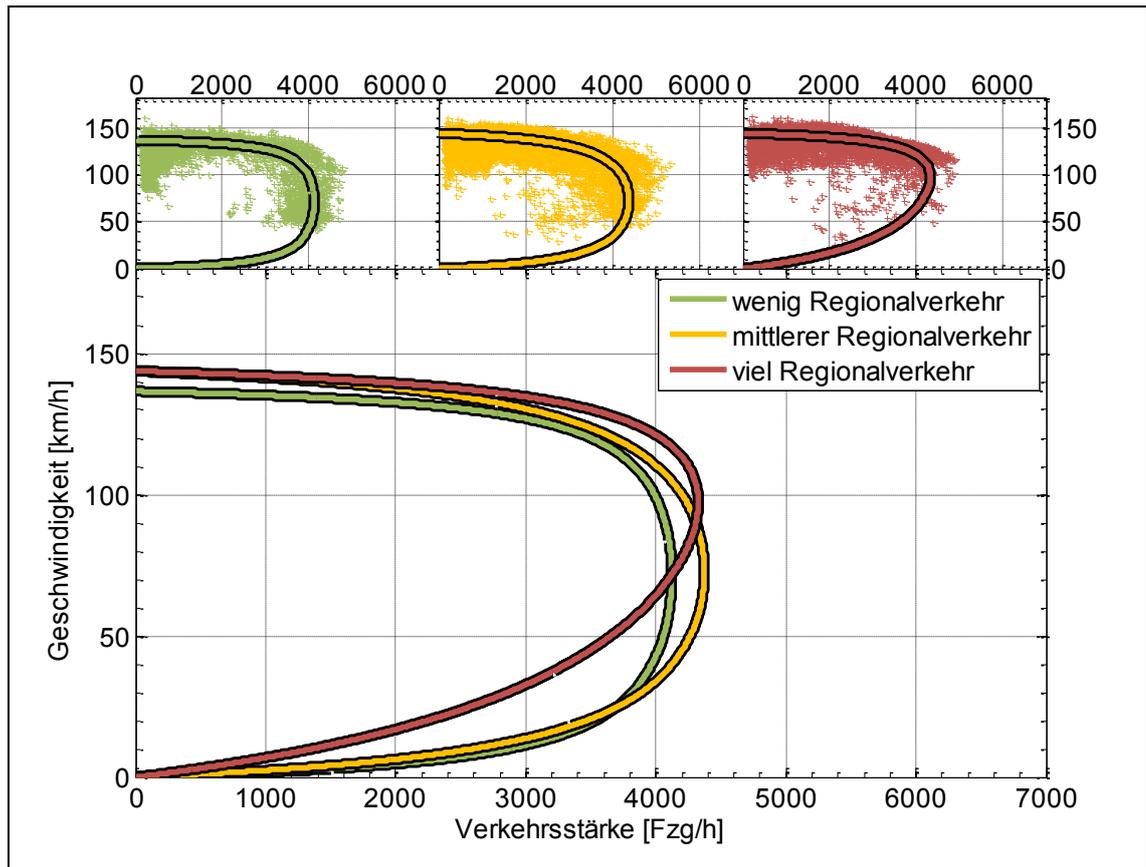


Bild 66: Fundamentaldiagramm in Abhängigkeit der Herkunft der Fahrzeuge für Abschnitt 1: München – AD Inntal.

3.3.4.4 Zusammenfassung Fahrzeit

Mit Hilfe der ANPR-Fahrzeitdaten konnte nachgewiesen werden, dass sich bei „mäßiger / starker Niederschlag“ die mittlere Geschwindigkeit, um ca. 10 % verringert. Da die maximale Verkehrsleistung (Kapazität) abnimmt, verdoppelt sich die Verspätungswahrscheinlichkeit (unterschreiten einer Soll-Fahrzeit) im Mittel über alle untersuchten Abschnitte. Bei großen Verlustzeiten (sehr lange Fahrzeiten) wird vermutet, dass schlechtes Wetter eine untergeordnete Rolle spielt. Diese Fahrzeitverlängerungen resultieren primär aus starker Verkehrsnachfrage und / oder Störungen (z. B. Unfälle). Eine detailliertere Untersuchung von verschiedenen Wettersituationen (z. B. Schnee, Glätte) war nicht möglich, da für diese Wettersituationen zu wenige Fahrzeiten zur Verfügung stehen.

Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die Verkehrszusammensetzung nach der Herkunft der Fahrzeuge einen Einfluss auf den Verkehrsablauf hat. Bei einem großen Anteil an regionalen Fahrzeugen werden bei gleichen Verkehrsstärken größere Geschwindigkeiten erreicht.

3.3.5 Zusammenfassung Analyse

Mit Hilfe der Unfalldaten konnte nachgewiesen werden, dass bei „Niederschlag“ das Unfallrisiko (Unfallrate) um durchschnittlich 30 % steigt. Vor allem bei niedriger Verkehrsstärke bewirkt das schlechte Wetter ein deutlich höheres Unfallrisiko. Die Unfallkostenrate wird stark von den seltenen und schweren Unfällen (Unfälle mit Getöteten oder Schwerverletzten) bestimmt, da die Kostensätze für diese Unfälle sehr hoch sind. Auf Grund der geringen Anzahl dieser Unfälle, konnte der Zusammenhang zwischen dem Wetter und der Unfallkostenrate nicht genau herausgearbeitet werden. Die mittleren Unfallkosten sind jedoch für die beiden Wetterklassen „kein Niederschlag“ und „Niederschlag“ ähnlich. Das Sicherheitspotential ist für alle Abschnitte bei „Niederschlag“ deutlich größer als bei „kein Niederschlag“, was auf die erhöhte Unfallrate zurückzuführen ist.

Mit Hilfe der ANPR-Kameraerfassung konnte die Unfallrate zusätzlich in Abhängigkeit der Herkunft der Fahrzeuge analysiert werden. Hier zeigte sich ein doppelt so großes Unfallrisiko, wenn viel Fernverkehr im Vergleich zu viel Regionalverkehr auf dem Streckenabschnitt unterwegs ist.

Die Zeitverluste durch einen Unfall sind abhängig von der Unfallkategorie. Bei schweren Unfällen mit Personenschäden sinkt die Geschwindigkeit deutlich für eine Zeitdauer von mindestens einer Stunde. Bei Sachschäden konnte keine klare Beeinträchtigung nachgewiesen werden.

Der Einfluss des Wetters auf das Verkehrsaufkommen wurde anhand von vier Methoden untersucht: Einer deskriptiven Analyse, Regressionsanalyse, Clusteranalyse und anhand der MiD-Daten. Maßgebenden Einfluss auf das Verkehrsaufkommen haben die Wochentage, Schulferien und Feiertage. Der Einfluss des Wetters konnte im Besonderen am Wochenende für den regionalen Verkehr nachgewiesen werden. Topwetter führt dabei zu einer Erhöhung und schlechtes Wetter zu einer Verringerung des Tagesverkehrsaufkommens. Mit Hilfe der deskriptiven Analyse konnte gezeigt werden, dass sonntags bei Topwetter im Mittel ca. 10 % mehr Regionalverkehr als bei mittlerem Wetter beobachtet wird. Bei schlechtem Wetter verringert sich das Verkehrsaufkommen gegenüber mittlerem Wetter um ca. 15 %. Diese Tendenz konnte mit der Regressionsanalyse des Gesamtverkehrs für die Wochentage Freitag, Samstag und Sonntag bestätigt werden (vgl. Bild 43). Es konnte gezeigt werden, dass die Einflussstärke des Wetters auf das Verkehrsaufkommen vom Wochentag, von der räumlichen Lage des Untersuchungsquerschnittes und vom Wetterereignis abhängig ist. Schneereignisse haben die stärkste verringernde Wirkung auf das Gesamtverkehrsaufkommen.

Mit Hilfe der Regressionsanalyse konnte ebenfalls gezeigt werden, dass nur der Verkehr aus Bayern, abhängig vom Wetter ist. Aus diesem Grund musste bei der Clusteranalyse der regionale Verkehr betrachtet werden, um eine Abhängigkeit zum

Wetter nachzuweisen. Die Clusteranalyse konnte die Wetterabhängigkeit für den regionalen Verkehr am Wochenende abbilden. Im Gegensatz zur Regressionsanalyse führt bei der Clusteranalyse die Berücksichtigung des Wetters in der Prognose zu keiner Verbesserung.

Mit MiD konnte der Einfluss des Wetters auf die Anzahl der mit dem PKW zurückgelegten Wege ausgewertet werden. Es wurde gezeigt, dass die Anzahl Freizeitwege am Wochenende (Freitag – Sonntag) bei Topwetter stark zunimmt (Bild 54). Schlechtes Wetter führt zu mehr Wegen an Samstagen und weniger Wegen an Sonntagen. Die Zunahme der Wege an Sonntagen kann sich durch Verkehrsmittelwahleffekten erklären lassen. Bei schlechtem Wetter werden hier in der Grundgesamtheit weniger Wege gemacht, aber der Anteil der mit dem PKW-zurückgelegten Freizeitwege steigt an.

Die Auswertung der ANPR-Daten bezüglich der Zielwahl und somit der Fahrtweitenverteilung ergab, dass die Mittelwerte und 50 %-Perzentile der Fahrtweiten für den Fernverkehr über das Jahr sehr stark schwanken, vor allem an Wochenenden. Dies kommt vor allem durch Urlaubsverkehr innerhalb und außerhalb der Schulferien zustande. Die Definition typischer Verkehrstage müsste letztendlich für jedes Bundesland separat geschehen. Eine Wetterabhängigkeit anhand der Herkunft konnte bis auf Bayern für kein Bundesland festgestellt werden. Auch für den Regionalverkehr konnte keine wetterabhängige Fahrtweitenverteilung abgeleitet werden.

Analog zum Verkehrsaufkommen wurde für die Analyse der Zielwahl die Haushaltsbefragung MiD ausgewertet. Herangezogen wurde die Fahrtweitenverteilung des Freizeitverkehrs mit dem PKW. Es konnte gezeigt werden, dass bei schlechtem Wetter die Wege tendenziell kürzer und bei Topwetter die Wege tendenziell länger sind.

Eine Definition von Verkehrstagen, welche nicht nur das auf der Untersuchungsstrecke beobachtbare Verkehrsaufkommen sondern auch die überregionale Herkunft in Betracht zieht, gestaltet sich sehr komplex. Die Definition von Verkehrstagen erfolgt daher anhand der lokalen Gesamtverkehrsaufkommen aus den Detektoren entlang der Untersuchungsstrecke. Dazu wurden Netzganglinien aus den Tagesganglinien aus 55 RMQs geclustert und anhand der Eigenschaften der Tage eine clusterbasierte Prognose durchgeführt. Die clusterbasierte Prognose der Netzganglinien wurde als Eingangsgröße für eine Matrixhochrechnung herangezogen. Ergebnis sind stundenfeine Nachfragematrizen je Verkehrstagtyp.

Mit Hilfe der ANPR-Fahrzeitdaten konnte nachgewiesen werden, dass sich bei „mäßiger / starker Niederschlag“ die mittlere Geschwindigkeit, um ca. 10 % verringert. Da die maximale Verkehrsleistung (Kapazität) abnimmt, verdoppelt sich die Verspätungswahrscheinlichkeit (Unterschreiten einer Soll-Fahrzeit) im Mittel über alle untersuchten Abschnitte. Bei großen Verlustzeiten (sehr lange Fahrzeiten) wird vermutet, dass schlechtes Wetter eine untergeordnete Rolle spielt. Diese Fahrzeitverlängerungen resultieren primär aus starker Verkehrsnachfrage und / oder Störungen

(z. B. Unfälle). Eine detailliertere Untersuchung von verschiedenen Wettersituationen (z. B. Schnee, Glätte) war nicht möglich, da für diese Wettersituationen zu wenige Fahrzeiten zur Verfügung stehen.

Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die Verkehrszusammensetzung nach der Herkunft der Fahrzeuge einen Einfluss auf den Verkehrsablauf hat. Bei einem großen Anteil an regionalen Fahrzeugen werden bei gleichen Verkehrsstärken größere Geschwindigkeiten erreicht.

3.4 Erzeugung wetterabhängiger Verkehrsnachfragematrizen

Die Ziele der Erzeugung wetterabhängiger Verkehrsnachfragematrizen waren folgende:

- Ermittlung von Parametern für die Modellierung des Verkehrsaufkommens und die Zielwahl im Untersuchungsgebiet
- Berechnung wetterabhängiger Verkehrsnachfragematrizen für die Tagesprognose

Die Universität Stuttgart war an folgenden Aufgaben beteiligt:

- Erzeugung wetterabhängiger Verkehrsnachfragematrizen für die Tagesprognose (verantwortlich)

3.4.1 Vorhandene Netzmodelle

Als Basis zur Erzeugung der Matrizen wurden von der PTV [19] zwei Netzmodelle inklusive enthaltener Nachfragematrizen übergeben. Zum einen wurde das Validate-Modell, das Deutschland inklusive des europäischen Umlandes abbildet, zur Verfügung gestellt. Zum anderen wurde das bayernweite VIB-Modell bereitgestellt. Das VIB-Modell ist ein Teilmodell des Validate-Modells und enthält ausschließlich Strecken, Knoten und Verkehrszellen, die auch Teil des Validate-Modells sind (vgl. Bild 67).

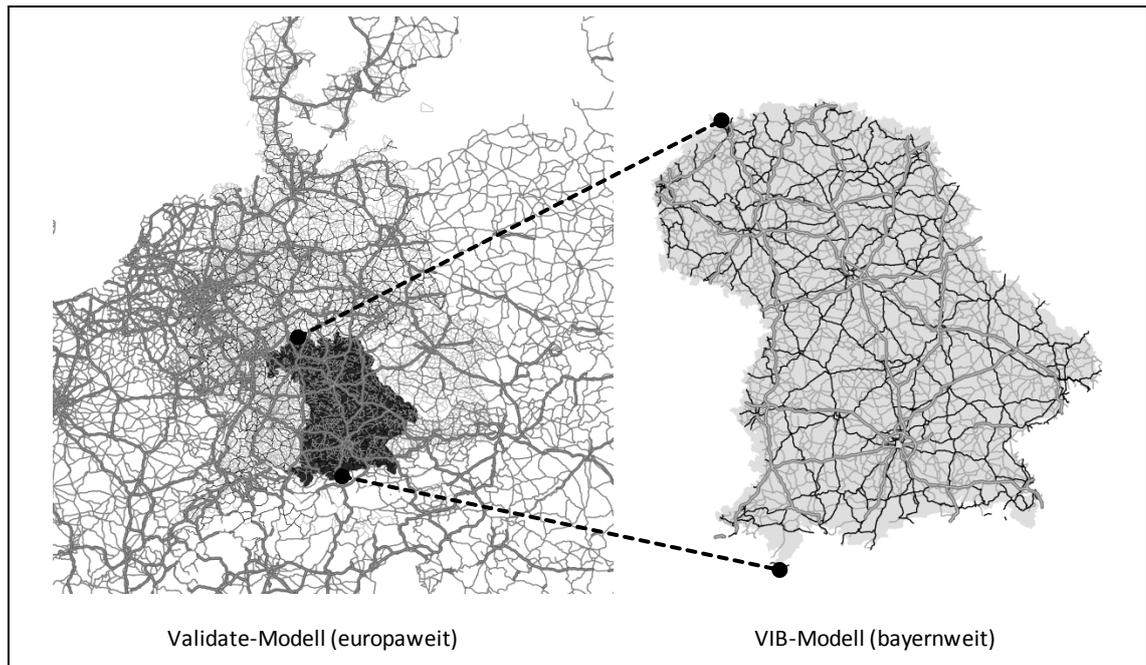


Bild 67: Verwendete Netzmodelle in WOLKE

Mit dem Validate-Modell wurden aktivitätenfeine Tagesmatrizen übergeben, bei denen u. a. der Freizeitverkehr richtungsfrein als separate Matrix vorliegt. Für das VIB-Modell liegt hingegen ausschließlich eine Gesamtverkehrsmatrix vor, die allerdings stundenfein ist. Die wochentagtypische Unterscheidung der Matrizen sowie die Segmentierung in Pkw- und Lkw-Verkehr ist für beide Modelle vorgenommen worden. In Tabelle 27 sind die wichtigsten Merkmale beider Netzmodelle nochmals zusammengefasst.

Tabelle 27: Merkmale der vorhandenen Netzmodelle

Merkmals	Validate-Modell	VIB-Modell
Untersuchungsgebiet	Deutschland	Bayern
Abbildung Umland	Netzmodell Europa	Kordonbezirke
Verkehrszelleneinteilung	Deutschland: gemeindefein und kleiner Umland: bundeslandfein, nationenfein	gemeindefein und kleiner
Differenzierung der Fahrtzwecke	Arbeit Vollzeit, Arbeit Teilzeit, Dienstlich Einkaufen, Freizeit, Sonstiges, Fernverkehr	Gesamtverkehr (keine Differenzierung)
Abgebildeter Modus	Pkw	Pkw
Unterscheidung Schwerverkehr	Lkw	Lkw
Zeitliche Differenzierung	Tagesmatrizen	Tagesmatrizen, Stundenmatrizen
Wochentagarten	Mo, Di-Do, Fr, Sa, So	Mo, Di-Do, Fr, Sa, So

3.4.2 Verfahrensablauf

Ausgehend von diesen beiden Netzmodellen und den bereits in den Kapiteln 3.3.2.4 (Seite 103) und 3.3.3.2 (Seite 112) dargestellten wetterabhängigen Verhaltensparametern aus der Haushaltsbefragung MiD sollen nun Korrekturmatriizen für mögliche Wettersituationen berechnet werden. Das Schema in Bild 68 skizziert die dafür durchgeführten Verfahrensschritte, die in den folgenden Unterkapiteln 3.4.3 bis 3.4.5 vertieft erläutert werden.

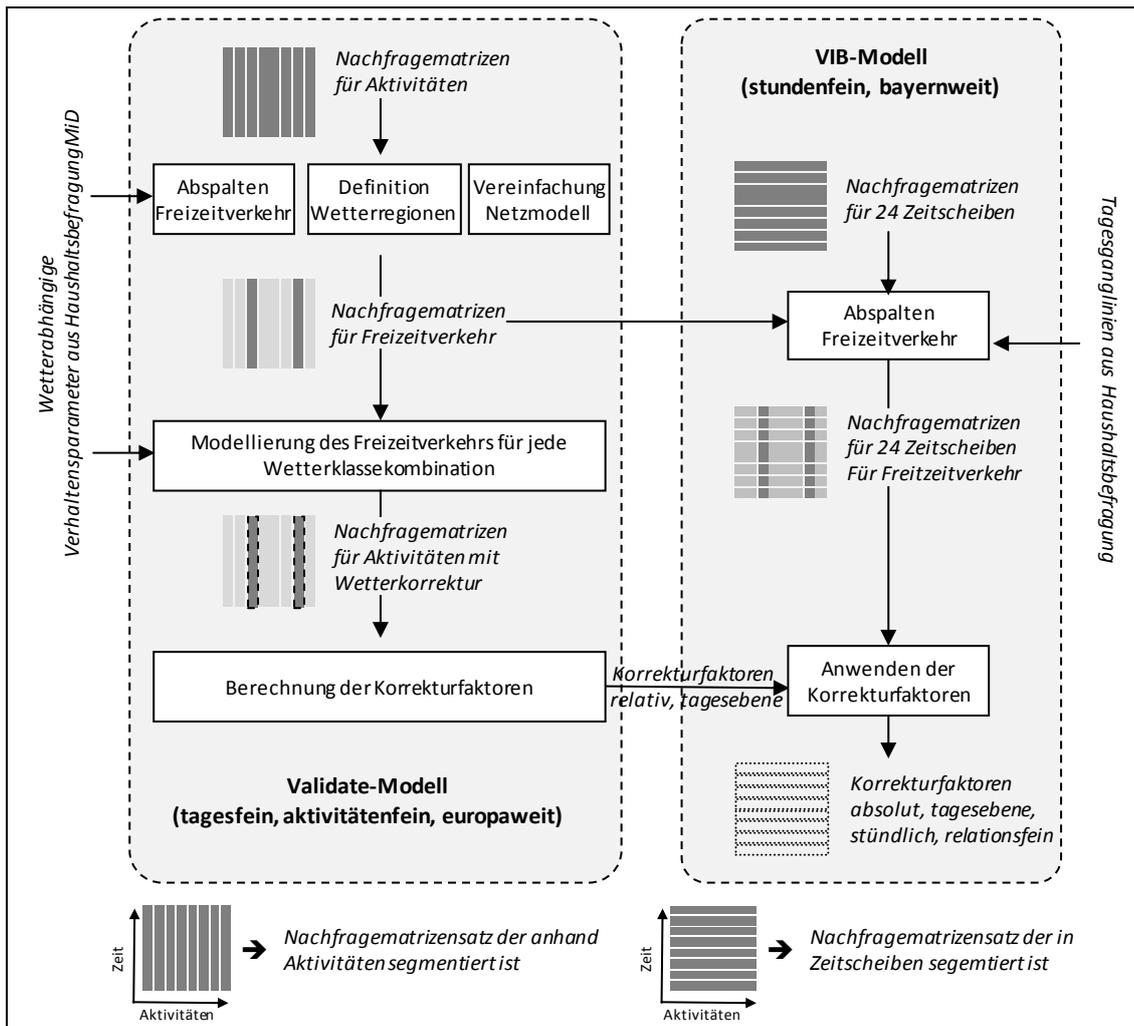


Bild 68: Verfahrenübersicht zum Erstellen der wetterabhängigen Korrekturmatriizen

Zunächst sind für beide Modelle Datenaufbereitungsschritte durchzuführen. Das Validate-Modell wird dabei aus rechentechnischen Gründen zunächst außerhalb von Bayern aggregiert, es werden Wetterregionen definiert und der relationsfeine Anteil des Freizeitverkehrs bestimmt. Diese Anteile werden auf VIB-Ebene übernommen, so dass hier ebenfalls der Freizeitverkehr abgespalten werden kann. Anhand von Tagesgang-

linien aus der Haushaltsbefragung werden auf VIB-Ebene dann stundenfeine Matrizen erzeugt (vgl. Kapitel 3.4.3).

Auf Ebene des Validate-Modells wird nun der Freizeitverkehr mithilfe der vorhandenen Freizeitverkehrsmatrix als Randsummenbedingung zunächst mit einer durchgeführten Verkehrserzeugung und Verkehrsverteilung reproduziert. Diese entstandenen Matrizen und die kalibrierten Parameter werden als Referenz für den Fall „Mittleres Wetter“ definiert (vgl. Kapitel 3.4.4).

Mithilfe der wetterabhängigen Parameter wird für jede Wetterkombination der Freizeitverkehr neu berechnet und relative Korrekturfaktoren auf Validate-Ebene berechnet. Diese Korrekturfaktoren werden auf die Freizeitmatrizen auf VIB-Ebene angewandt. Ergebnis sind stundenfeine Korrekturfaktoren für jede Wetterklassen-kombination für das VIB-Modell (vgl. Kapitel 3.4.5).

3.4.3 Aufbereitung der Netzmodelle

Vereinfachung des Netzmodells

Aufbauend auf dem vorliegenden Validate-Netz wurde für die wetterabhängige Berechnung des Freizeitverkehrs ein vereinfachtes Validate-Netz entwickelt. Dieses vereinfachte Netzmodell beinhaltet:

- alle Strecken, Knoten und Verkehrszellen des VIB-Netzes: Dadurch sind Berechnungen auf Matrixebene direkt auf das VIB-Netz übertragbar.
- das europaweite Umland in aggregierter Form: In Österreich bilden in den Bundesländern Vorarlberg, Tirol und Salzburger Land jeweils die Verwaltungsbezirke eine Verkehrszelle. In Baden-Württemberg bildet jedes Regierungspräsidium eine Verkehrszelle. Die restlichen deutschen und österreichischen Bundesländer bilden jeweils eine Verkehrszelle. Die europäischen Länder bilden ebenfalls jeweils eine Verkehrszelle
- Alle aktivitätenfeinen Nachfragematrizen aus dem Validate-Netz: Dadurch wird eine separate Berechnung des Freizeitverkehrs möglich.
- die TMC-Locations für das Untersuchungsgebiet in Südostbayern: Somit besteht ein räumliches Matching zu den Daten aus der Messdatenbank.

Abspaltung des Freizeitverkehrs

In Kapitel 3.3.2.4 wurde aufgezeigt, dass die wetterabhängigen Änderungen bezüglich des Pkw-Verkehrs zu großen Teilen durch veränderte Ausprägungen der Freizeitwege erklärbar sind. Vor diesem Hintergrund wird der Freizeitverkehr vom Gesamtverkehr

zunächst auf Ebene des vereinfachten Validate-Netzes separiert. Auf Validate-Ebene existieren für den Freizeitverkehr zwei Matrizen. Eine Matrix enthält die Wege von der eigenen Wohnung zur Freizeitaktivität (Hinweg). Die andere Matrix enthält die Wege von der Freizeitaktivität zur eigenen Wohnung (Rückweg). Für jede Relation wird zunächst der Anteil für die Wohnen-Freizeit- und die Freizeit-Wohnen-Wege für jede Relation bestimmt. Diese Anteile werden auf die im VIB-Modell enthaltenen Gesamtverkehrsmatrizen übertragen. Der relationsfeine Anteil der Freizeitverkehre muss deswegen bestimmt werden, weil die Gesamtverkehrsmatrix im VIB-Modell bereits speziell auf das Untersuchungsgebiet Bayern kalibriert wurde und nicht mehr mit der Gesamtverkehrsmatrix im vereinfachten Validate-Modell übereinstimmt. Durch die Übertragung der Anteile und nicht der absoluten Werte wird dieser Anpassung Rechnung getragen.

Tabelle 28: Betrachtete Nachfragesegmente für die verwendeten Netzmodelle

Netzebene	Beschreibung	Formelzeichen für die Fahrten auf der Relation von i nach j
Vereinfachtes Validate-Netz	Lkw-Verkehr, tagesfein, für jede Wochentagsart WT	$F_{i,j,Val,LKW,Tag,WT}$
Vereinfachtes Validate-Netz	Pkw-Verkehr ohne Freizeitwege, tagesfein, für jede Wochentagsart WT	$F_{i,j,Val,PKW \text{ ohne Freizeit,Tag,WT}}$
Vereinfachtes Validate-Netz	Pkw-Verkehr, Wege von der Wohnung zur Freizeitaktivität, tagesfein, für jede Wochentagsart WT	$F_{i,j,Val,PKW WF,Tag,WT}$
Vereinfachtes Validate-Netz	Pkw-Verkehr, Wege von der Freizeitaktivität zur Wohnung, tagesfein, für jede Wochentagsart WT	$F_{i,j,Val,PKW FW,Tag,WT}$
VIB-Netz	Lkw-Verkehr, tagesfein, für jede Wochentagsart WT	$F_{i,j,VIB,LKW,Tag,WT}$
VIB-Netz	Pkw-Verkehr ohne Freizeitwege, tagesfein, für jede Wochentagsart WT	$F_{i,j,VIB,PKW \text{ ohne Freizeit,Tag,WT}}$
VIB-Netz	Pkw-Verkehr, Wege von der Wohnung zur Freizeitaktivität, tagesfein, für jede Wochentagsart WT	$F_{i,j,VIB,PKW WF,Tag,WT}$
VIB-Netz	Pkw-Verkehr, Wege von der Freizeitaktivität zur Wohnung, tagesfein, für jede Wochentagsart WT	$F_{i,j,VIB,PKW FW,Tag,WT}$
VIB-Netz	Lkw-Verkehr, stundenfein, für jede Wochentagsart WT	$F_{i,j,VIB,LKW,h,WT}$
VIB-Netz	Pkw-Verkehr ohne Freizeitwege, stundenfein, für jede Wochentagsart WT	$F_{i,j,VIB,PKW \text{ ohne Freizeit,h,WT}}$
VIB-Netz	Pkw-Verkehr, Wege von der Wohnung zur Freizeitaktivität, stundenfein, für jede Wochentagsart WT	$F_{i,j,VIB,PKW WF,h,WT}$
VIB-Netz	Pkw-Verkehr, Wege von der Freizeitaktivität zur Wohnung, stundenfein, für jede Wochentagsart WT	$F_{i,j,VIB,PKW FW,h,WT}$

In einem weiteren Schritt werden auf Ebene des VIB-Modells die Fahrten des Freizeitverkehrs auf Stundenebene bestimmt. Da der Freizeitverkehr für jede Relation richtungsfein (getrennt für Hin- und Rückweg) vorliegt, können dazu richtungsfeine Tagesganglinien aus MiD herangezogen werden. Für jede Relation wird der tagesfeine Freizeitverkehr anhand dieser Tagesganglinien aufgeteilt. Somit liegen für die beiden Netzebenen Matrizen mit Nachfragewerten für die in Tabelle 28 aufgelisteten Segmente vor:

Definition von Wetterregionen

Um eine differenzierte Integration des Wetterzustands im Untersuchungsgebiet zu ermöglichen, werden für das Untersuchungsgebiet Wetterregionen definiert. Dazu wird das Gebiet, das die Basis für die Definition des Regionalverkehrs bildet (vgl. Bild 25, S. 48), in drei Regionen mit einer zugehörigen Wetterstation unterteilt. Für die Zuordnung der Landkreise zu den Wetterregionen wurde für den ANPR-Erhebungszeitraum geprüft, inwiefern sich die Änderung des Verkehrsaufkommens mit der gemessenen Wetterklasse an der jeweiligen Station erklären lässt. Die Wetterstation mit der höchsten Korrelation zwischen auftretenden Wetterklassen und Änderung des landkreisfeinen Verkehrsaufkommens wurde den Verkehrszellen des Landkreises zugeordnet. Insgesamt umfasst das Gebiet der Wetterregionen 414 Verkehrszellen, für die der Verkehr wetterabhängig abgebildet wird.

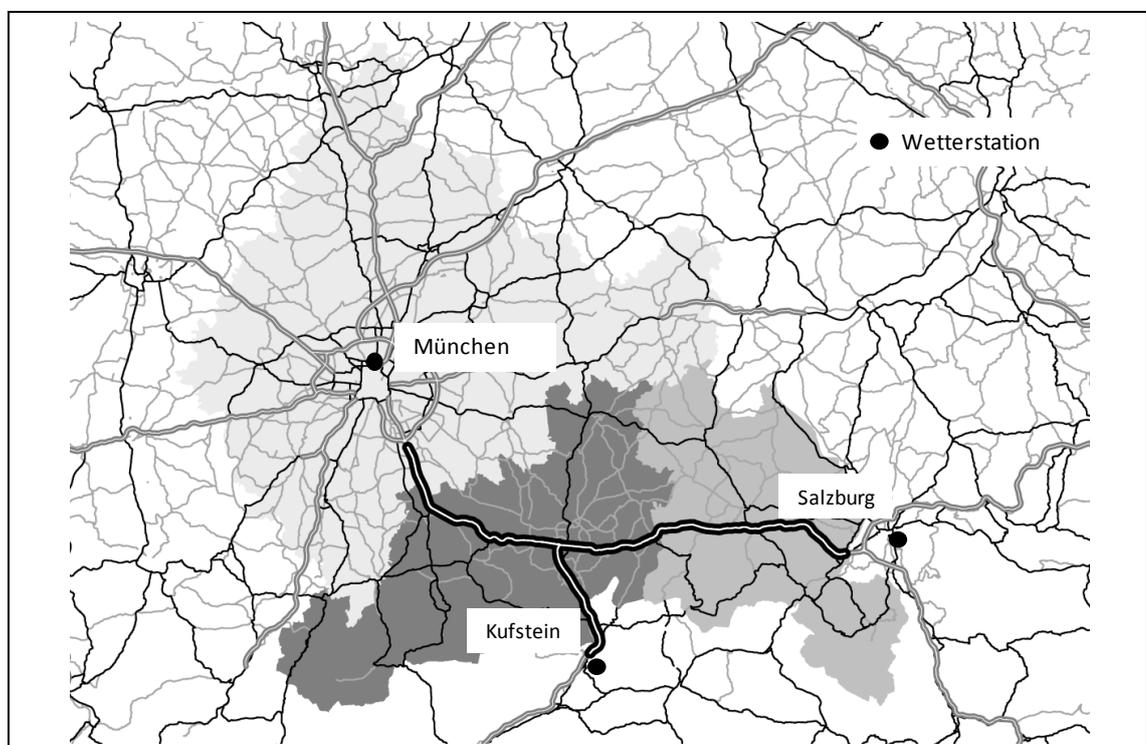


Bild 69: Festgelegte Wetterregionen im Untersuchungsgebiet mit zugeordneten Wetterstationen

3.4.4 Neuberechnung des Freizeitverkehrs

Die Matrizen der Nachfragesegmente Wohnen-Freizeit (WF) und Freizeit-Wohnen (FW) werden Neuberechnet und dann für verschiedene Wettersituationen korrigiert. Die Korrektur findet auf Ebene der Verkehrserzeugung und der Zielwahl statt.

Verkehrserzeugung

Die Verkehrserzeugung dient der Berechnung der Quell- und Zielverkehrsaufkommen einer Verkehrsnachfragematrix (vgl. SCHNABEL et al. [28]). Für die Freizeitwege liegen die Quell- und Zielverkehrsaufkommen für die Nachfragesegmente WF und FW bereits aus dem Validate-Netz vor und müssen nicht neu berechnet werden. Es wird angenommen, dass die verwendeten Modellparameter für die Berechnung dieser Matrizen für den durchschnittlichen Tag, als einen Tag mit mittlerem Wetter, kalibriert wurden. Desweiteren wird davon ausgegangen, dass für die Berechnung dieser Matrix ein übliches Erzeugungsmodell der folgenden Form verwendet wurde (vgl. FRIEDRICH [13]):

$$P_{g,i} = \sum_{k=1}^K \mu_{g,k} \cdot Z_{i,k} \text{ bzw. } A_{g,i} = \sum_{k=1}^K \eta_{g,k} \cdot Z_{i,k} \quad (3.19)$$

mit	$P_{g,i}$	erzeugte Ortsveränderungen P einer Gruppe g in Verkehrszelle i
	$A_{g,i}$	angezogene Ortsveränderungen A einer Gruppe g in Verkehrszelle i
	$Z_{i,k}$	Ausprägung der Strukturgröße k in Verkehrszelle i
	$\mu_{g,k}$	Erzeugungsrate in einer Gruppe g für Strukturgröße k
	$\eta_{g,k}$	Anziehungsrate in einer Gruppe g für Strukturgröße k

Zielwahl

Zielwahlmodelle dienen der Berechnung der Verkehrsströme zwischen einer Quelle i und einem Ziel j. Die Verkehrsströme liegen zwar ebenfalls für die zwei betrachteten Matrizen bereits vor, jedoch wird das Ergebnis zunächst reproduziert, um dann durch Variation der Zielwahlparameter eine wetterabhängige Zielwahl durchzuführen.

Die Zielwahl für das Nachfragesegmente g="WF" bzw. g="FW" wird mit folgenden Berechnungsvorschriften reproduziert (vgl. FRIEDRICH [13]):

$$F_{WF,i,j} = P_{WF,i} \cdot \frac{A_{WF,j} \cdot f(V_{ij})}{\sum_{j=1}^J A_{WF,j} \cdot f(V_{ij})} \text{ bzw. } F_{FW,i,j} = P_{FW,i} \cdot \frac{A_{FW,j} \cdot f(V_{ij})}{\sum_{j=1}^J A_{FW,j} \cdot f(V_{ij})} \quad (3.20)$$

mit	$F_{g,i,j}$	Ortsveränderungen in Gruppe g von Quellzelle i nach Zielzelle j
	$P_{g,i}$	erzeugte Ortsveränderungen P einer Gruppe g in Zelle i
	$A_{g,i}$	angezogene Ortsveränderungen A einer Gruppe g in Zelle j

$f(V_{ij})$	Bewertungsfunktion
V_{ij}	Nutzen der Relation von i nach j

Die Größen P und A sind aus der Verkehrserzeugung bereits bekannt. Darüber hinaus ist für die Reproduktion der Matrizen die Bewertungsfunktion $f(V_{ij})$ zu bestimmen und zu kalibrieren. Folgende Bewertungs- und Nutzenfunktion wurden verwendet:

$$\text{verwendete Bewertungsfunktion: } f(V_{ij}) = a \cdot V_{ij}^b \cdot e^{c \cdot V_{ij}} \quad (3.21)$$

$$\text{verwendete Nutzenfunktion: } V_{ij} = \alpha \cdot w_{i,j} = \alpha \cdot (t_{akt,i,j} + 0,02 \cdot FW_{ij}) \quad (3.22)$$

mit	$f(V_{ij})$	Bewertungsfunktion
	V_{ij}	Nutzen der Relation von i nach j
	a, b, c	Parameter der Bewertungsfunktion $f(V_{ij})$
	α	Widerstandsparameter für die Zielwahl
	$w_{i,j}$	Widerstand zwischen Quellzelle i und Zielzelle j
	$t_{akt,i,j}$	Aktuelle Reisezeit [s] auf der Relation von i nach j
	FW_{ij}	Mittlere Fahrtweite [m] auf der Relation von i nach j

Die verwendete Bewertungsfunktion kombiniert die Potential- und die Exponentialfunktion miteinander und enthält die drei Parameter a, b und c. Der resultierende Funktionsverlauf ist für vier verschiedene Parametersätze in Bild 70 dargestellt. Durch die Kombination beider Funktionen steigt die Funktion im Bereich kleiner Werte zunächst an und zeigt erst ab einem bestimmten Wert den typischen fallenden Verlauf. Dieser Funktionsverlauf ermöglicht speziell für den motorisierten Verkehr eine adäquate Modellierung im Bereich kurzer Wege (vgl. SCHNABEL et al. [28]), da so für kurze Wege der Einfluss konkurrierender Verkehrsarten abgebildet werden kann, ohne eine explizite Moduswahl modellieren zu müssen.

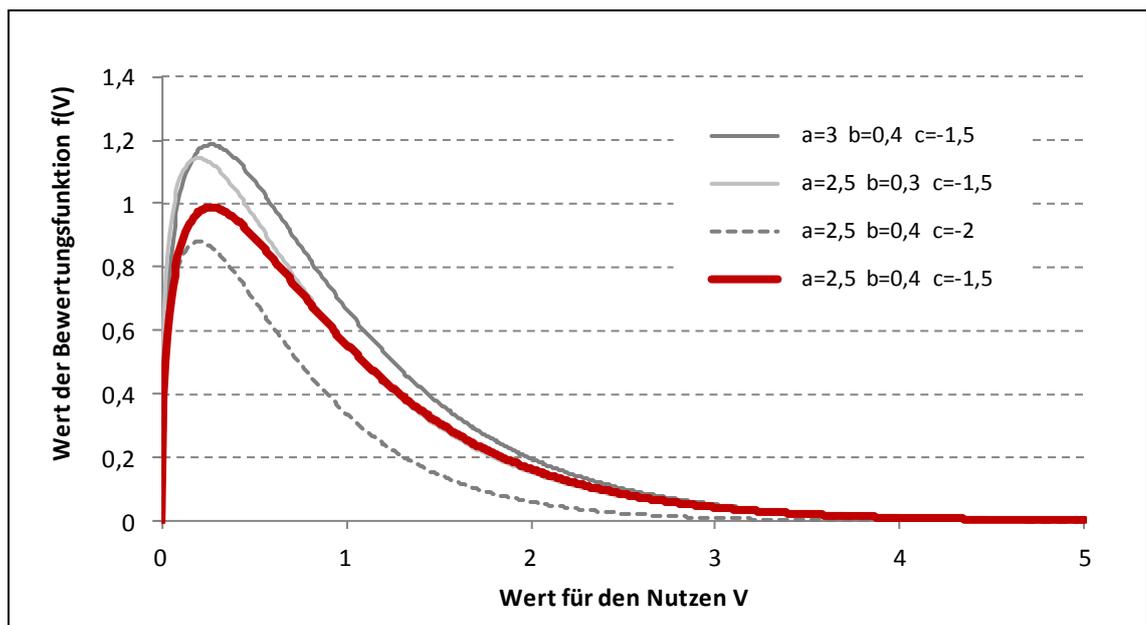


Bild 70: Verwendete Nutzenfunktion für die Zielwahl

Die verwendete Nutzenfunktion beinhaltet den Widerstandsparameter α sowie die aktuelle Reisezeit (im belasteten Netz) und die Fahrtweite. Der Faktor 0,02 normiert hierbei die Fahrtweite mit der Einheit [m] auf die Einheit der aktuellen Reisezeit [s] und wurde aus dem kalibrierten Routenwahlmodell aus dem VIB-Modell übernommen.

Die Parameter a , b , c und α wurden daraufhin mit dem Ziel kalibriert, die Fahrtweitenverteilungen der vorhandenen Validate-Matrix mit der Fahrtweitenverteilung der reproduzierten Matrix bestmöglich nachzubilden. Für die Parameter der Bewertungsfunktion haben sich die Werte $a=2,5$, $b=0,4$ und $c=-1,5$ der in Bild 70 rot eingefärbten Kurve ergeben. Die Anpassung des Widerstandsparameters α ist beispielhaft in Bild 71 verdeutlicht. Die Fahrtweitenverteilungen sind hier als Summenhäufigkeiten dargestellt. Die schwarze Kurve repräsentiert die Fahrtweitenverteilung, die sich aus der Validate-Matrix ergibt. Die rote Kurve für den Widerstandsparameter $\alpha=0,07$ ist die Kurve, welche letztendlich sowohl der Fahrtweitenverteilung der Validate-Matrix als auch dem Mittelwert aus den MiD-Daten für mittleres Wetter (15,1 km, vgl. Bild 59, S. 113) am genauesten entspricht.

Darüber hinaus verdeutlicht Bild 70 den direkten Einfluss des Widerstandsparameters α auf den Verlauf der Fahrtweitenverteilung und den resultierenden Mittelwert. Eine Erhöhung des Widerstandsparameters führt zu einer strengeren Bewertung der längeren Wege. Somit werden mehr kürzere Wege gefahren, was zu einer Verringerung der mittleren Fahrtweite führt.

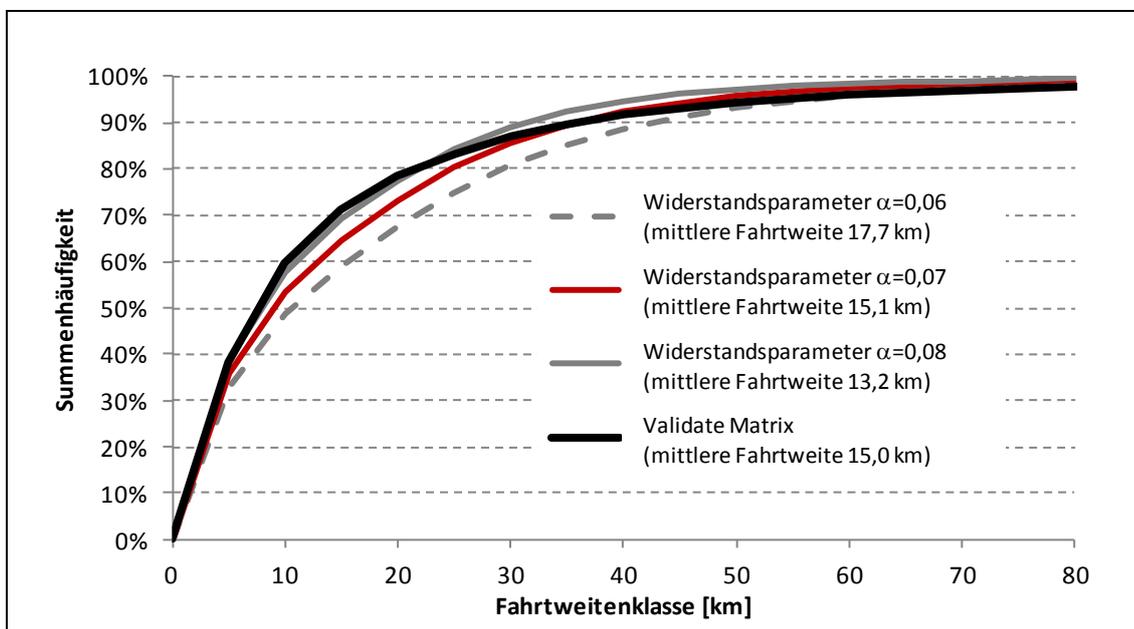


Bild 71: Resultierende Fahrtweitenverteilung in Abhängigkeit vom Widerstandsparameter

Ergebnis dieses Arbeitsschrittes sind Nachfragematrizen für die Freizeitwege in Hin- bzw. Rückrichtung, die den Wetterzustand "Mittleres Wetter" in allen drei Wetter-

regionen repräsentieren. Diese Matrizen liegen ausschließlich für das vereinfachte Validate-Netz vor.

3.4.5 Wetterabhängige Berechnung des Freizeitverkehrs

Auf Grundlage des oben beschriebenen Erzeugungs- und Zielwahlmodells werden für jede Kombination von Wetterklassen in den Wetterregionen Korrekturfaktoren erstellt. Dies geschieht zunächst auf Tagesebene im vereinfachten Validate-Modell und dann auf Stundenebene im VIB-Modell.

Wetterabhängige Erzeugung

Im ersten Schritt werden die Erzeugungsraten angepasst. Dazu werden die Ergebnisse der bereits im Kapitel 3.3.2.4 dargestellten Analyse herangezogen. Die Auswertung der Haushaltsbefragung MiD ergab für die Wochentage Freitag, Samstag sowie Sonntag Korrekturfaktoren für die Erzeugungsraten differenziert nach Wetterklassen (vgl. Bild 54, S. 105). Die Korrekturfaktoren der Erzeugungsraten sind in Tabelle 29 zusammengefasst.

Tabelle 29: Herangezogene Parameter zur wetterabhängigen Modellierung der Erzeugung

Netzebene	Topwetter WF/FW	Mittelwetter WF/FW	Schlechtes Wetter WF/FW	Schnee WF/FW
Korrekturfaktor Erzeugungsraten $kf_{\mu,Fr}$	1,03/1,04	1/1	1,03/0,95	0,87/0,82
Korrekturfaktor Erzeugungsraten $kf_{\mu,Sa}$	1,71/1,61	1/1	1,24/1,15	0,91/0,71
Korrekturfaktor Erzeugungsraten $kf_{\mu,So}$	1,37/1,28	1/1	0,87/0,86	0,81/0,73
Korrekturfaktor Erzeugungsraten $kf_{\eta,München}$	1,00	1	1,50	1,50
Vereinfachtes Validate-Netz $kf_{\eta,Touristen\ schwach}$	1,00	1	0,40	0,40
Vereinfachtes Validate-Netz $kf_{\eta,Touristen\ mittel}$	1,25/	1	0,40	0,40
Vereinfachtes Validate-Netz $kf_{\eta,Touristen\ stark}$	2,00	1	0,40	0,40

Die Anpassung der Attraktionsraten auf der Attraktionsseite erfolgte differenziert nach Gebieten. Die dabei entstehenden Verkehrsaufkommen für die jeweiligen Wetterklassen wurden anhand der Ergebnisse aus der landkreisfeinen Regressionsanalyse validiert. Dabei ergab sich, dass eine räumliche Differenzierung nach Stadt und Land sowie eine Differenzierung nach Anzahl der Übernachtungszahlen zur Bestimmung der

Korrekturfaktoren sinnvoll ist. Für die Korrekturfaktoren in der Stadt München wurde angenommen, dass sich die Attraktionsrate bei schlechtem Wetter erhöht, für die Verkehrszellen außerhalb Münchens verringert sich die Attraktivität. Im Falle von Topwetter erhöht sich die Attraktivität in Abhängigkeit der touristischen Attraktivität. Dazu wurden die Gemeinden anhand der Übernachtungszahlen pro Einwohner im Jahr 2009 in drei Klassen eingeteilt:

- schwach ausgeprägter Tourismus: <0,1 Übernachtungen pro Einwohner und Jahr
- mäßig ausgeprägter Tourismus: <2 Übernachtungen pro Einwohner und Jahr
- stark ausgeprägter Tourismus: >2 Übernachtungen pro Einwohner und Jahr

Für jede dieser Klassen wurde ein eigener Korrekturfaktor für die Attraktionsrate kalibriert. Eine Übersicht der Korrekturfaktoren der Attraktionsraten findet sich in Tabelle 29.

Mittels dieser Korrekturfaktoren für die Erzeugungs- bzw. Attraktionsraten werden für jede Verkehrszelle die wetterabhängige Anzahl der erzeugten Ortsveränderungen P und die Anzahl der angezogenen Ortsveränderungen A berechnet:

$$\text{Produktionsseite: } P_{g,i,WK} = \sum_{k=1}^K k_{f_{\mu,g,WK}} \cdot \mu_{g,k} \cdot Z_{i,k} = k_{f_{\mu,g,WK}} \cdot P_{g,i,Validate} \quad (3.23)$$

$$\text{Attraktionsseite: } A_{g,i,WK} = \sum_{k=1}^K k_{f_{\eta,WK}} \cdot \eta_{g,k} \cdot Z_{i,k} = k_{f_{\eta,WK}} \cdot A_{g,i,Validate} \quad (3.24)$$

mit	$A_{g,i}$	angezogene Ortsveränderungen A einer Gruppe g (g entspricht den Nachfrage-segment "WF" oder "FW") in Zelle i aus der Validate Matrix
	$P_{g,i}$	erzeugte Ortsveränderungen P einer Gruppe g in Zelle i aus der Validate Matrix
	$\mu_{g,k}$	Erzeugungsrate in einer Gruppe g für Strukturgröße k
	$\eta_{g,k}$	Anziehungsrate in einer Gruppe g für Strukturgröße k
	$A_{g,i,WK}$	angezogene Ortsveränderungen A einer Gruppe g in Zelle i für die Wetterklasse WK
	$P_{g,i,WK}$	erzeugte Ortsveränderungen P einer Gruppe g in Zelle i für die Wetterklasse WK
	$k_{f_{\mu,g,WK}}$	Korrekturfaktor für die Erzeugungsrate, differenziert nach Gruppe g, Wetterklasse WK, Wochentag
	$k_{f_{\eta,WK}}$	Korrekturfaktor für die Attraktionsrate, differenziert nach Wetterklasse, räumlicher Lage der Zelle

Wetterabhängige Zielwahl

Die Wetterabhängige Zielwahl wurde mittels des Zielwahlparameters α realisiert. Folgende Formel zeigt das verwendete Zielwahlmodell:

$$F_{WF,i,j,WK} = P_{WF,i,WKP} \cdot \frac{A_{WF,i,WKA} \cdot f(V_{ij})}{\sum_{j=1}^J A_{WF,i,WKA} \cdot f(V_{ij})} \text{ bzw. } F_{FW,i,j} = P_{FW,i,WKP} \cdot \frac{A_{WF,i,WKA} \cdot f(V_{ij})}{\sum_{j=1}^J A_{WF,i,WKA} \cdot f(V_{ij})} \quad (3.25)$$

$$f(V_{ij}) = 2,5 \cdot \left(\left(\alpha_{WKP} \cdot (t_{akt,ij} + 0,02 \cdot FW_{ij}) \right) \right)^{0,4} \cdot e^{-1,5 \cdot (\alpha_{WKP} \cdot (t_{akt,ij} + 0,02 \cdot FW_{ij}))} \quad (3.26)$$

mit	$F_{g,i,j,WKK}$	Ortsveränderungen in Gruppe g von i nach j für die Wetterklassenkombination WKK
	$P_{g,i}$	erzeugte Ortsveränderungen P einer Gruppe g in Zelle i für Wetterklasse WKP auf der Produktionsseite
	$A_{g,i}$	angezogene Ortsveränderungen A einer Gruppe g in Zelle j für Wetterklasse WKA auf der Attraktionsseite
	$f(V_{ij})$	Bewertungsfunktion
	$V_{i,j}$	Nutzen der Relation von i nach j
	α_{WKP}	Widerstandsparameter für die Zielwahl in Abhängigkeit der Wetterklasse WKP auf der Produktionsseite
	$t_{akt,i,j}$	Aktuelle Reisezeit [s] auf der Relation von i nach j
	FW_{ij}	Mittlere Fahrtweite [m] auf der Relation von i nach j

Das verwendete Zielwahlmodell erzeugt für jede Relation die Anzahl Ortsveränderungen in Abhängigkeit von der Wetterklasse an der Quelle und am Ziel. Der verwendete Zielwahlparameter wird in Abhängigkeit der Wetterklasse ausgewählt, die auf der Produktionsseite vorliegt.

Als Kalibrierungsgröße wurden die mittleren Fahrtweiten aus der Haushaltsbefragung MiD herangezogen, die bereits im AP4 "Datenanalyse" bestimmt wurden (vgl. Bild 59, S. 113) Die entstandenen Parameterwerte und die daraus resultierenden mittleren Reiseweiten sind in Tabelle 30 zusammengefasst.

Tabelle 30: Herangezogene Parameter zur wetterabhängigen Modellierung der Zielwahl

Netzebene	Topwetter WF/FW	Mittelwetter WF/FW	Schlechtes Wetter WF/FW	Schnee WF/FW
Widerstandsparameter α	0,063	0,070	0,076	0,076
Resultierende mittlere Fahrweite [km]	16,8	15,1	13,8	13,8

Die Wetterklassen können an Quell- und Zielort verschieden sein, z. B. Topwetter in München, schlechtes Wetter in Kufstein, mittleres Wetter in Salzburg (vgl. Bild 72). Für dieses Beispiel wird folgendermaßen vorgegangen:

- Für die Verkehrszellen in der Wetterregion München werden die angezogenen und erzeugten Wege für Topwetter korrigiert, für Kufstein für schlechtes Wetter und für die Region Salzburg erfolgt keine Korrektur in der Verkehrserzeugung, da hier mittleres Wetter vorliegt.
- Für das Nachfragesegment Wohnen-Freizeit wird nun der Zielwahlparameter für Topwetter, für diejenigen Wege herangezogen, die in München starten (Produktionsseite an der Quelle, rechte Seite Formel (3.25)). Für das Nachfragesegment Freizeit-Wohnen wird der Zielwahlparameter für Topwetter für diejenigen Ortsveränderungen herangezogen, die in München enden (Produktionsseite am Ziel, linke Seite Formel (3.25)).

- Der Zielwahlparameter für schlechtes Wetter wird im dargestellten Beispiel für Wege von der Wohnung zur Freizeitaktivität angewendet, die in der Wetterregion Kufstein starten bzw. für Wege von der Freizeitaktivität zur Wohnung, die in der Wetterregion Kufstein enden.
- Für die Wege von der Wohnung zur Freizeitaktivität, die in der Wetterregion Salzburg beginnen bzw. für die Wege von der Freizeitaktivität zur Wohnung, die in der Wetterregion Salzburg enden, wird der Zielwahlparameter für "mittleres Wetter" verwendet.

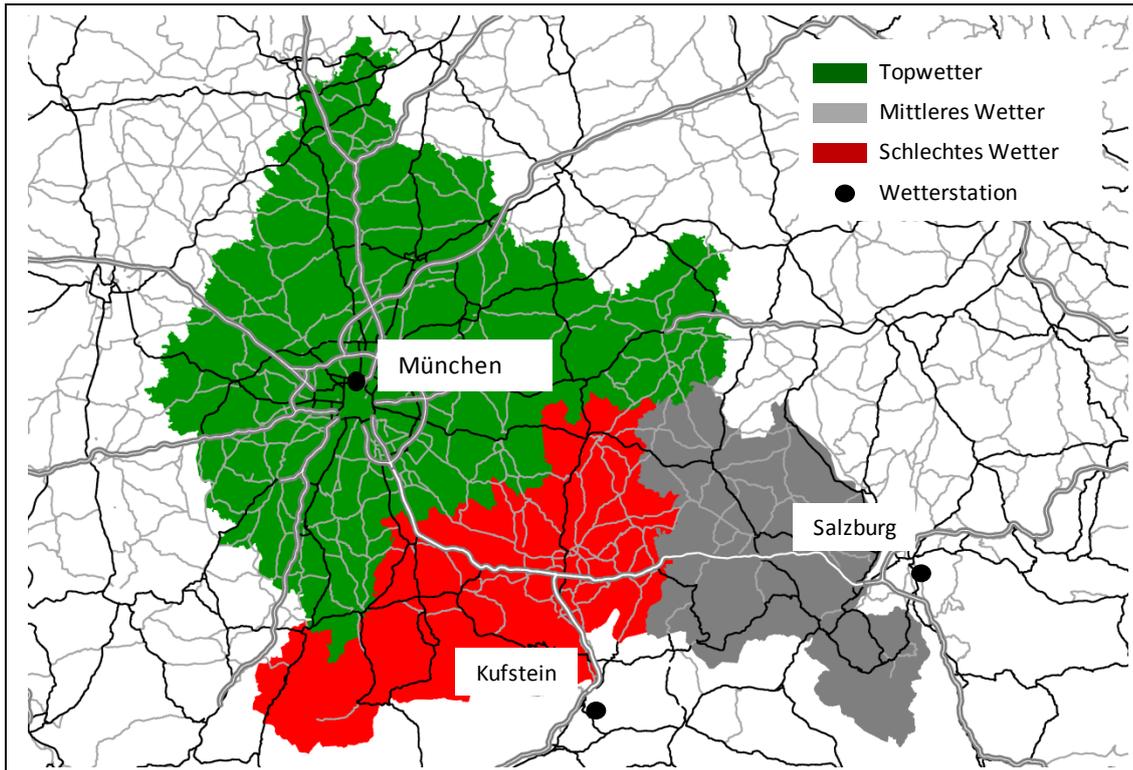


Bild 72: Beispiel für eine Wettersituation, definiert durch die Wetterklassen in den jeweiligen Wetterregionen

In jeder Wetterregion können vier Wetterklassen auftreten, so dass bei drei Wetterregionen insgesamt $4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$ Wetterklassenkombinationen WKK auftreten können. Jede Wetterkombination wird durch ein dreistelliges Tupel beschrieben, das die Wetterklasse für jede dieser Region enthält. Das in Bild 72 dargestellte Beispiel kann mit dem Tupel (123) beschrieben werden: Die erste Ziffer beschreibt die Wetterklasse in der Region München, die zweite Ziffer beschreibt die Wetterklasse in der Region Kufstein und die dritte Ziffer beschreibt die Wetterklasse in der Region Salzburg.

Für jede dieser Kombinationen WKK (111, 112, ..., 443, 444) wird für die Nachfrage-segmente g (WF, FW) und die Wochentage WT (Fr, Sa, So) eine Tagesmatrix für das vereinfachte Validate-Netz erzeugt. Diese Matrix enthält die Anzahl der Ortsveränderung $F_{g,ij,WT,WKK,VAL}$. Zu jeder dieser Tagesmatrizen wird nun ein relativer

Korrekturfaktor auf Ebene des vereinfachten Validate-Netzes berechnet, in dem die Relative Veränderung der WKK bezogen auf die Wetterklassenkombination (222) bestimmt wird. Die Wetterklassenkombination (222) bedeutet "mittleres Wetter" in allen drei Wetterregionen und stellt den Referenzfall dar:

$$KF_{g,ij,WT,WKK,VAL} = \frac{F_{g,ij,WT,WKK,VAL} - F_{g,ij,WT,222,VAL}}{F_{g,ij,WT,222,VAL}} \quad (3.27)$$

mit	$KF_{g,ij,WT,WKK,VAL}$	Korrekturfaktor für die Gruppe g, von i nach j, am Wochentag WT, für die Wetterklasse WKK, auf Tagesebene des vereinfachten Validate-Netzes
	$F_{g,ij,WT,WKK,VAL}$	Ortsveränderungen Gruppe g, von i nach j, am Wochentag WT, für die Wetterklasse WKK, auf Tagesebene des vereinfachten Validate-Netzes
	$F_{g,ij,WT,222,VAL}$	Ortsveränderungen Gruppe g, von i nach j, am Wochentag WT, für die Wetterklasse (222), auf Tagesebene des vereinfachten Validate-Netzes

Die Korrekturfaktoren auf Ebene des vereinfachten Validate-Netzes sind Eingangsgröße für die Berechnung der Korrekturfaktoren auf Ebene des VIB-Modells.

Stundenfeine Korrektur im VIB-Modell

Grundlage für die Berechnung der stündlichen Korrekturfaktoren der VIB-Ebene sind tagesfeine Korrekturfaktoren auf der VIB-Ebene. Auf Tagesebene des VIB-Modells werden die Korrekturfaktoren für das VIB-Modell wie folgt berechnet:

$$KF_{g,ij,WT,WKK,VIB} = (KF_{g,ij,WT,WKK,VAL} - 1) \cdot F_{g,ij,WT,VIB} \quad (3.28)$$

mit	$KF_{g,ij,WT,WKK,VIB}$	Korrekturfaktor für die Gruppe g, von i nach j, am Wochentag WT, für die Wetterklasse WKK, auf Tagesebene des vereinfachten Validate-Netzes
	$KF_{g,ij,WT,WKK,VAL}$	Korrekturfaktor für die Gruppe g, von i nach j, am Wochentag WT, für die Wetterklasse WKK, auf Tagesebene des VIB-Netzes
	$F_{g,ij,WT,VIB}$	Ortsveränderungen Gruppe g, von i nach j, am Wochentag WT, für die auf Tagesebene des VIB-Netzes

Die für das VIB-Modell entstehenden Korrekturfaktoren sind additiv, d.h. sie beinhalten absolute Werte für die Korrektur der Tagesmatrizen aus der VIB. Diese absoluten Werte werden als Berechnungsgrundlage für die stundenfeinen Korrekturfaktoren auf VIB-Ebene herangezogen. Auf Stundenebene des VIB-Modells erfolgt die Berechnung der Korrekturfaktoren mit nachstehender Formel:

$$KF_{g,ij,WT,WKK,VIB,h} = KF_{g,ij,WT,WKK,VIB} \cdot TG_{g,ij,WT,VIB,h} \quad (3.29)$$

mit	$KF_{g,ij,WT,WKK,VIB,h}$	Korrekturfaktor für die Gruppe g, von i nach j, am Wochentag WT, für die Wetterklasse WKK, auf Ebene des VIB-Netzes für die Stunde h
	$KF_{g,ij,WT,WKK,VIB}$	Korrekturfaktor für die Gruppe g, von i nach j, am Wochentag WT, für die Wetterklasse WKK, auf Tagesebene des VIB-Netzes
	$TG_{g,ij,WT,VIB,h}$	Anteil des Tagesverkehrsaufkommens für die Gruppe g, von i nach j, am Wochentag WT, für das VIB-Netz für die Stunde h

Die verwendeten Tagesganglinien sind dabei nicht für alle Relationen identisch, da sich die Tagesganglinie z. B. in Abhängigkeit der Fahrweite ändert. Dazu wurden für die Wochentage Samstag und Sonntag zwei Entfernungsklassen gebildet. Unterschieden werden dabei Freizeitwege mit einer Fahrweite von weniger bzw. mehr als 30 km. In Bild 73 sind beispielhaft die verwendeten Tagesganglinien für Sonntag dargestellt. Es ist erkennbar, dass für Wege von der Wohnung zur Freizeitaktivität (WF) für längere Wege die Morgenspitze ausgeprägter ist. Umgekehrt ist für die Rückrichtung (FW) für längere Wege die Abendspitze stärker ausgeprägt. Für Relationen, die über die ANPR-messquerschnitte verlaufen, wurden die Tagesganglinien anhand der direkt erfassten Tagesganglinien zusätzlich kalibriert und angepasst.

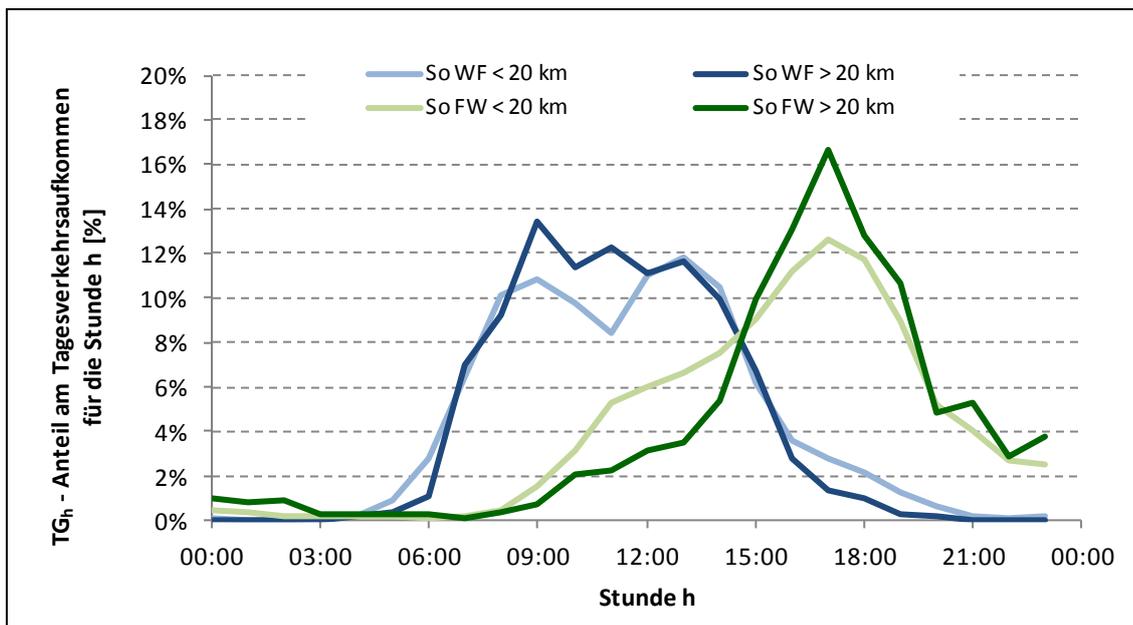


Bild 73: Verwendete Tagesganglinien aus der Haushaltsbefragung MiD

Die entstandenen Korrekturfaktoren für die zwei Gruppen g werden abschließend für jeden Wochentag (3), jede Wetterklassenkombination (64) und jede Stunde (24) bzw. für den Tag (1) zusammengefasst. Insgesamt wurden somit 4608 Matrizen mit stündlichen Korrekturfaktoren und 192 Matrizen mit Tageskorrekturfaktoren erzeugt und an die PTV übergeben.

3.4.6 Verwendung der Nachfragematrizen

Die Verwendung der Korrekturmatriizen erfolgt nach dem in Bild 74 dargestellten Prinzip. Für einen bestimmten Prognosetag wird anhand des Wochentages und der prognostizierten Wetterklasse für jede Wetterregion (=prognostizierte Wetterklassenkombination) die passende Korrekturmatrix für die Tagesebene und die 24 passenden Korrekturmatriizen für die Stundenebene ausgewählt. Anhand der Standardtagesmatrix aus der ViB für den Wochentag wird durch Addition der Korrekturfaktoren auf Tages-

ebene eine wetterabhängige Tagesnachfragematrix erzeugt und umgelegt. Anschließend werden die stündlichen Korrekturmatrizen auf die Standardstundenmatrizen addiert. Anhand dieser wetterabhängigen Stundenmatrizen wird auf Basis der wetterabhängigen Tagesumlegung eine pseudodynamische Umlegung durchgeführt, welche dann ein wetterabhängiges Umlegungsergebnis für jede Stunde des Tages als Ergebnis liefert.

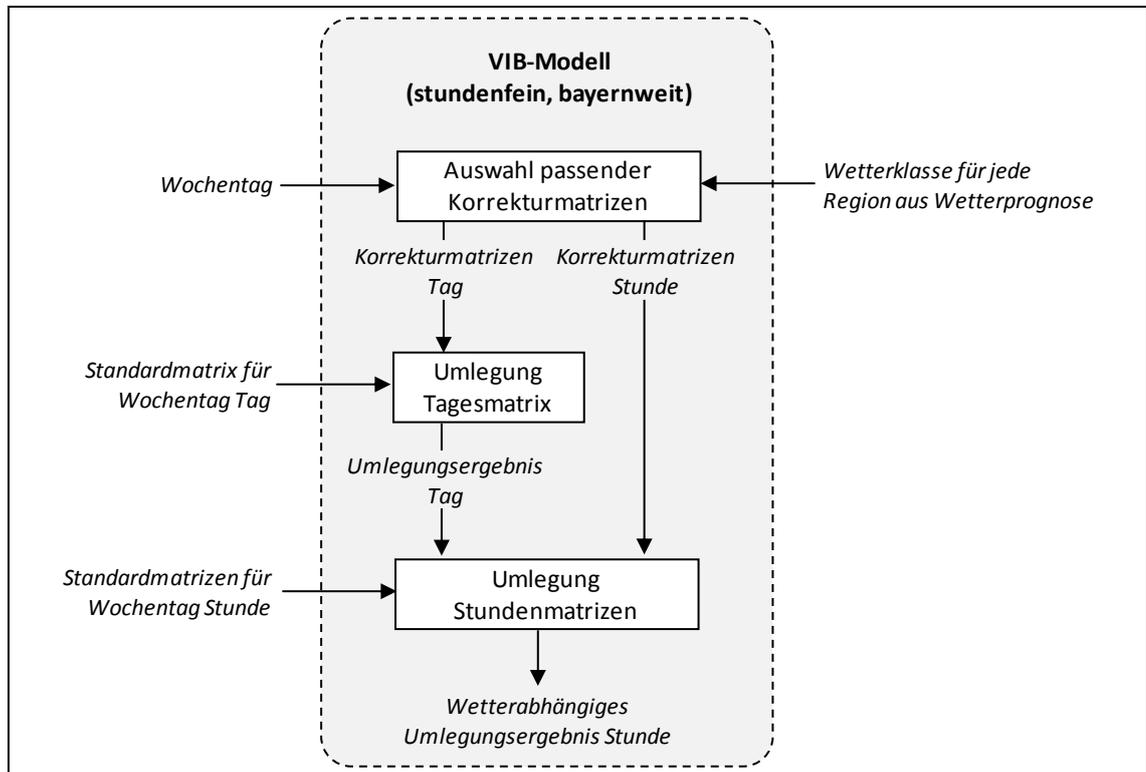


Bild 74: Vorgehen bei der wetterabhängigen Wetterprognose für das VIB-Modell

3.4.7 Zusammenfassung wetterabhängige Verkehrsnachfragematrizen

Im Rahmen von AP5 wurden von der Universität Stuttgart wetterabhängige Parameter für die Verkehrserzeugung und die Zielwahl abgeleitet. Grundlage hierfür bildeten die Analyseergebnisse der Haushaltsbefragung MiD. Mithilfe dieser Parameter wurde der Freizeitverkehr auf Ebene des von der PTV zur Verfügung gestellten Validate-Netzes Neuberechnet. Dazu wurden das deutschlandweite Validate-Netz zunächst vereinfacht und es wurden Wetterregionen definiert. Für alle möglichen Wetterklassenkombinationen wurden sowohl tages- als auch stundenfeine Korrekturfaktoren berechnet, die auf Ebene des VIB-Modells übertragen wurden. Mithilfe dieser Korrekturfaktoren wurden Korrekturmatrizen auf VIB-Ebene berechnet. Insgesamt wurden 4608 stündliche Korrekturmatrizen und 192 Tageskorrekturmatrizen für das VIB-Modell an die PTV übergeben.

3.5 Evaluierung und Bewertung der Ergebnisse

Im Mittelpunkt der Evaluierung stand die Fragestellung, inwieweit die Kombination aus den Faktoren wetterabhängige Nachfrage und wetterabhängige Kapazitätsreduktion zu einer verbesserten Prognose der Verkehrslage führt. Die Universität Stuttgart hatte in diesem Zusammenhang die Aufgabe, zu evaluieren, inwieweit durch Integration des Wetters, die Stunden- und Tagesprognosen der Verkehrsnachfrage verbessert werden können.

In Zusammenarbeit mit der PTV und MicKS wurde ein Evaluierungskonzept ausgearbeitet, das im Wesentlichen die folgenden Punkte beinhaltet:

- unterschieden werden drei Zustände:
 - Verkehrslage "mW": resultiert aus Matrizen mit Ferien- und Wettereinfluss
 - Verkehrslage "oW": resultiert aus Matrizen mit Ferien aber ohne Wettereinfluss
 - Verkehrslage "ref": Referenzverkehrslage, resultiert aus aktueller Verkehrslage, welche im VIB-System durch ASDA-Foto repräsentiert wird.
- Validiert wird für einen ausgesuchten Prognosehorizont. Somit ist ein Prognosezeitpunkt festzulegen.
- Validiert wird auf TMC-Ebene. Somit ist ein Abschnitt richtungsbezogen und in etwa durch zwei BAB-Ausfahrten begrenzt. Einbezogen werden alle TMC-Abschnitte in beiden Richtungen entlang der Untersuchungsstrecke im Untersuchungsraum von WOLKE (grün eingefärbt in Bild 75).

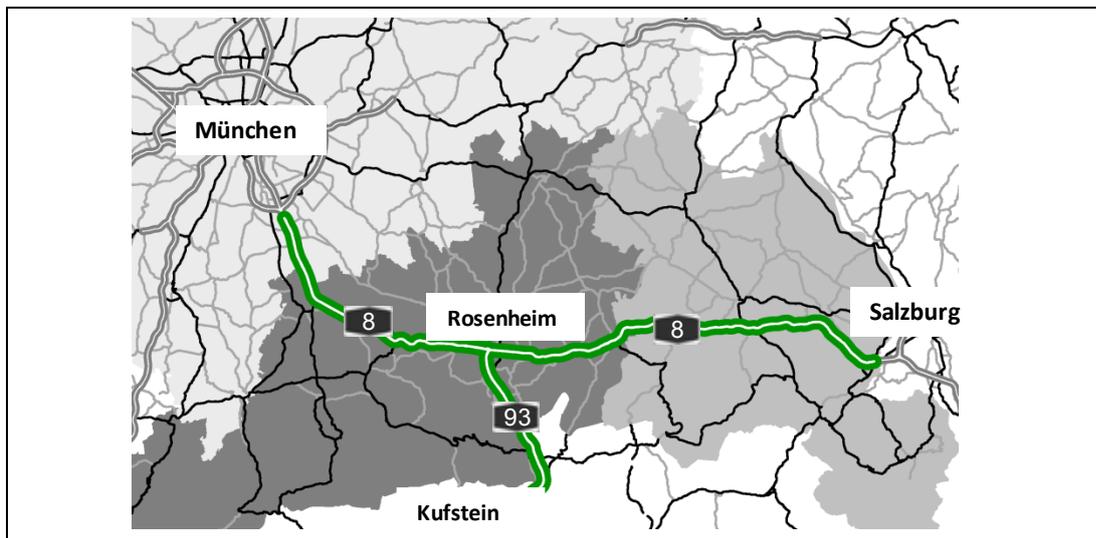


Bild 75: Evaluierte Untersuchungsstrecke im Untersuchungsgebiet für WOLKE

- Grundprinzip der Validierung ist die Quantifizierung der Verbesserung. Ermittelt wird die Abweichung von Verkehrslage "oW" zu "ref" und von "mW" zu "ref".

- Für den stundenbasierten Level-of-Service (LOS) als Kenngröße der Verkehrslage, kann so abschnittsweise ermittelt werden, wie oft der LOS_{oW} und LOS_{mW} richtig lagen. Daraus lässt sich ein abschnittsbezogenes Qualitätsmaß ableiten, das sich sowohl sinnvoll als Karte als auch in aggregierter Form sehr gut darstellen lässt.
- Analog zu den LOS-Werten können für die Verkehrsstärken auf Stunden und auf Tagesbasis die Abstände der Verkehrsstärken Q_{oW} zur Referenzverkehrsstärke Q_{ref} und die Abstände der Verkehrsstärken Q_{mW} zur Referenzverkehrsstärke Q_{ref} verglichen werden. Als Abstandsmaß wird der GEH-Wert herangezogen:

$$GEH_{oW} = \sqrt{\frac{2 \cdot (Q_{ref} - Q_{oW})^2}{Q_{ref} + Q_{oW}}} \quad (3.30)$$

In diesem Fall kann eine qualitative (wie oft wird der Abstand kleiner?) und quantitative (wie viel größer oder kleiner wird der Abstand im Mittel?) Auswertung erfolgen.

- Als Validierungszeitraum wird Dezember 2012 bis April 2013 festgelegt.

3.5.1 Verwendung des Clustermodells

Die Evaluierung der Korrekturmatrizen sollte ursprünglich auf Basis der Mittelfristprognose aus dem VIB-Modell erfolgen. Probleme bei der Datenarchivierung führten hier jedoch dazu, dass die Daten, wie sie in der ausgearbeiteten Spezifikation zur Evaluierung festgehalten wurden, nicht an die Universität Stuttgart übergeben werden konnten.

Um die wetterabhängigen Korrekturmatrizen dennoch auf Ebene des VIB-Modells validieren zu können, wurden die in AP 4 erstellten Matrizen, die anhand der Clusterprognose hochgerechnet wurden, herangezogen. Das dabei angewandte Vorgehen ist Bild 76 dargestellt.

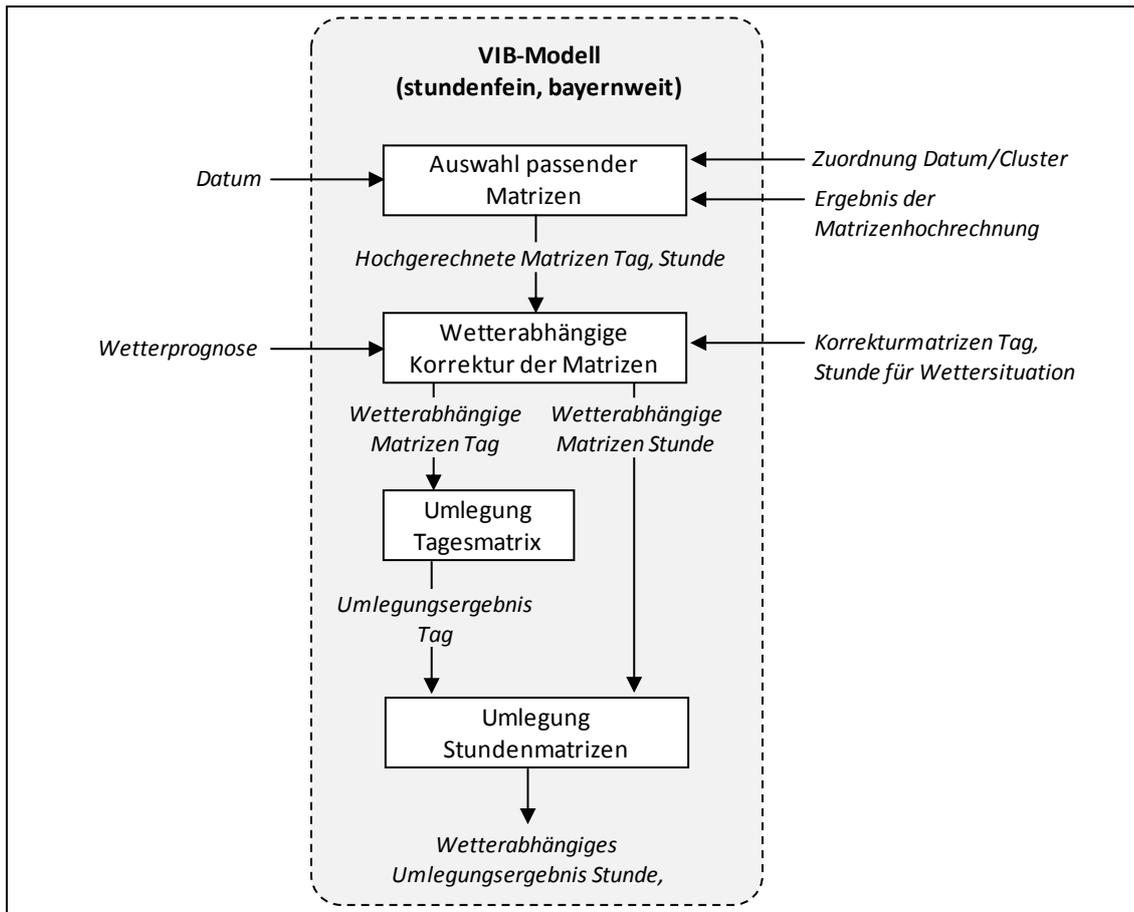


Bild 76: Vorgehen bei der Prognose auf Grundlage der clusterbasierten Modellprognose und der vorhandenen Wetterkorrekturmatrizen

Für den Validierungszeitraum liegt für jeden Tag eine clusterbasierte Prognose ohne Berücksichtigung des Wetters vor. Diese wird anhand der Wetterprognose unter Beachtung des Wochentags mit der zugehörigen Korrekturmatrix angepasst. Dazu wird zunächst eine wetterabhängige Tagesprognose und darauffolgend ein stundenfeines Umlegungsergebnis erzeugt. Die für die Umlegung benötigten Verfahrensparameter stammten aus dem VIB-Modell und wurden von der PTV zur Verfügung gestellt. Die Verkehrsdaten aus den Zählstellen, welche als Validierungsreferenz herangezogen wurden, wurden von der ZVM bereit gestellt. Die Bereitstellung der Wetterdaten erfolgte durch MicKS. Hier handelt es sich um aufgezeichnete Wetterdaten, da die Validierung nach Ablauf des Validierungszeitraumes durchgeführt wurde. Dadurch konnte der Fehler, der bei der Prognose der Wetterdaten begangen wird, ausgeschlossen werden.

In Bild 77 ist beispielhaft dieser Anpassungsvorgang anhand eines Umlegungsergebnisses für die Tagesganglinie des RMQ Hofolding Forst an einem Sonntag mit überwiegend Topwetter in den drei Wetterregionen dargestellt. Es ist erkennbar, dass das Niveau der clusterbasierten Prognose für diesen Tag etwas unterhalb des Zählwertniveaus liegt. Mit Korrektur des Wetters stimmen beide Ganglinien sehr gut überein (mittlerer GEH-Wert = 2,8). Es ist ebenfalls gut erkennbar, dass die Anpassung

durch das Wetter durchaus abhängig von der Tageszeit ist: Die Wetterintegration führt für richtigerweise ausschließlich zu einer Erhöhung zwischen 6:00 und 15:00.

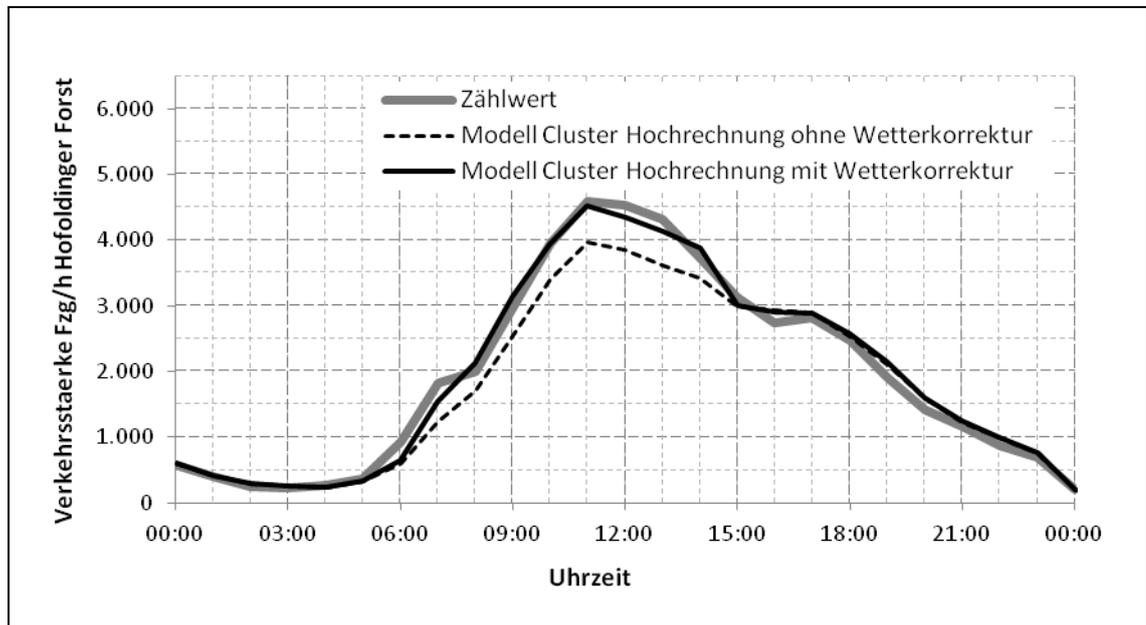


Bild 77: Beispielhafte Darstellung einer prognostizierten Tagesganglinie mit und ohne Wetterkorrektur

3.5.2 Evaluierung

Die Evaluierungsergebnisse sind in den folgenden Abbildungen 78 bis 82 zusammengefasst. Evaluiert wurden ausschließlich die Tages- und Stundenverkehrsstärken, da für die LOS-Daten keine Referenzdaten zur Verfügung standen. Es wurden nur Tage mit einbezogen, an denen in mindestens einer der Wetterregionen eine Wetterklasse abweichend von mittlerem Wetter beobachtet wurde, da nur an diesen Tagen eine Matrixkorrektur durchgeführt wurde. Die Wetterklassenkombination "Mittleres Wetter" in allen Wetterregionen ist der Referenzfall und führt im Modell zu keiner Veränderung in der Nachfrage aufgrund von Wetter (vgl. Kapitel 3.4.5, S. 137).

In Bild 78 und 79 ist die absolute Prognosequalität für das clusterbasierte Hochrechnungsmodell (grau, Modell ohne Wetter) und das clusterbasierte Hochrechnungsmodell mit Anwendung der wetterabhängigen Korrekturmatrizen (grün, Modell mit Wetter) dargestellt. Die Prognosequalität beider Modelle ist sowohl für die Tagesprognose (Bild 78) als auch für die Stundenprognose (Bild 79) nahezu identisch.

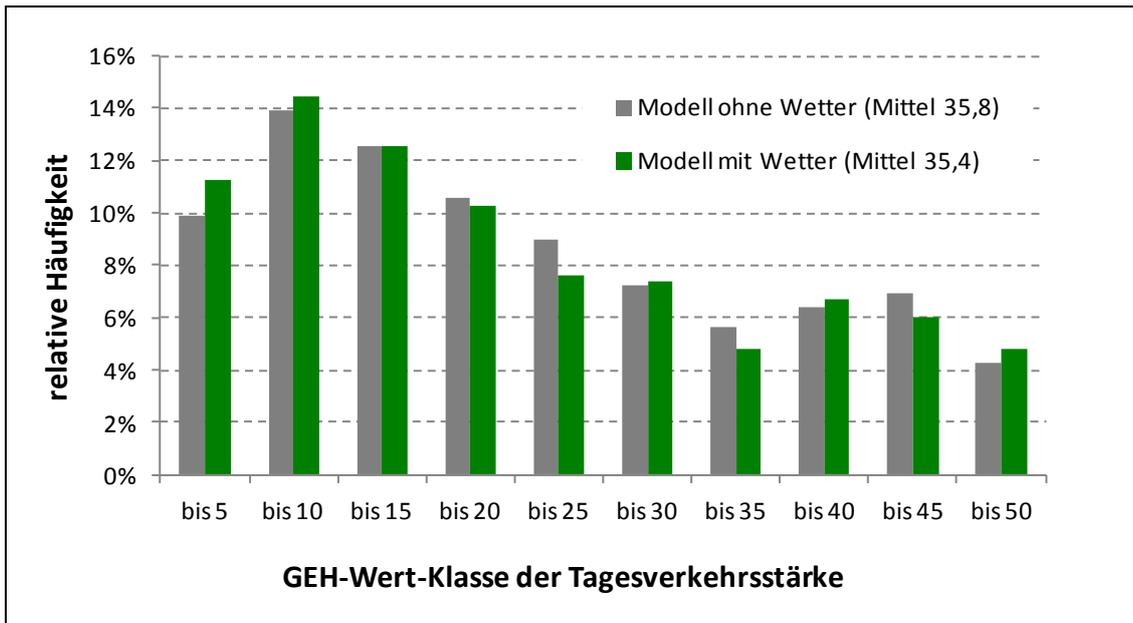


Bild 78: Prognosequalität des stündlichen Verkehrsstärke ohne und mit Betrachtung des Wetters

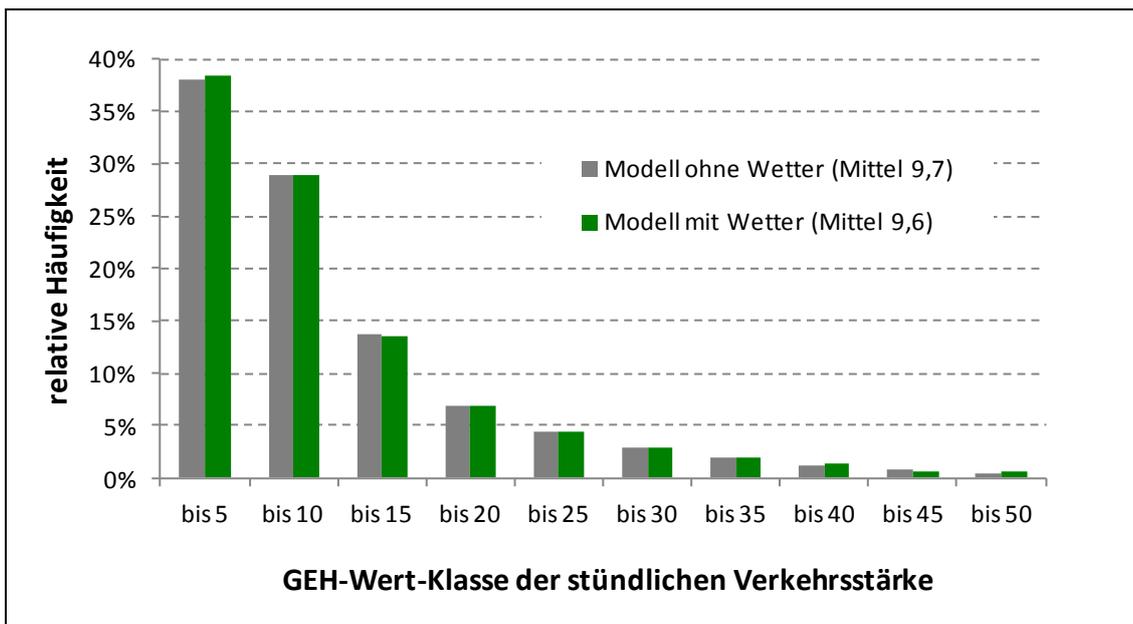


Bild 79: Prognosequalität der Tagesverkehrsstärke ohne und mit Betrachtung des Wetters

Für die Tagesprognose sind die GEH-Wertklassen "bis 5" und "bis 10" bei Integration des Wettereinflusses etwa einen Prozent häufiger, was zu einer Senkung des Mittelwerts von 35,8 auf 35,4 führt. Transformiert man diesen Wert auf die gemessene Spitzenstunde mit einem angenommenen Spitzenstundenanteil von 10 %, entspricht das einer Verringerung des GEH-Wertes von 11,3 auf 11,2. Für die stündliche Prognose führt die Betrachtung des Wetters dazu, dass ca. 0,5 % mehr GEH-Werte in

der GEH-Klasse "bis 5" liegen. Der Mittelwert des GEH-Wertes wird durch die stündlichen Korrekturmatrizen von 9,7 auf 9,6 gesenkt.

In den Bildern 80 bis 82 ist die Änderung der Prognosequalität ausgehend vom Modell ohne Wetter zum Modell mit Wetter dargestellt. Die Auswertung wurde für die Tagesprognose (grauer Balken) und stündliche Prognose (grüner Balken) differenziert nach Wochentagen durchgeführt. Darüber hinaus wurde ausgewertet inwiefern sich die Prognosequalität für Stunden mit starker Auslastung (>75 %) ändert (roter Balken). Keine Änderung der Prognosequalität liegt vor, wenn sich der Betrag des GEH-Wertes um weniger als 1 ändert. Eine leichte Veränderung wird definiert als Betragsänderung des GEH-Werts zwischen 1 und 5. Für Freitage (Bild 80) ist zu sehen, dass das Modell in weniger als ein Prozent aller Stunden leicht besser wird. Für die Stunden mit starker Auslastung liegen leichte Änderungen im Bereich unter 0,5 % der Fälle vor. Für die stündliche Prognose an Freitagen führen die Korrekturmatrizen zu keiner Änderung der Prognosequalität. Für die Tagesprognose steigt die Qualität in 18 % der Fälle an, wird allerdings auch in 8 % der Fälle schlechter. Insgesamt wird die Qualität der Tagesprognose für Freitage leicht positiv beeinflusst.

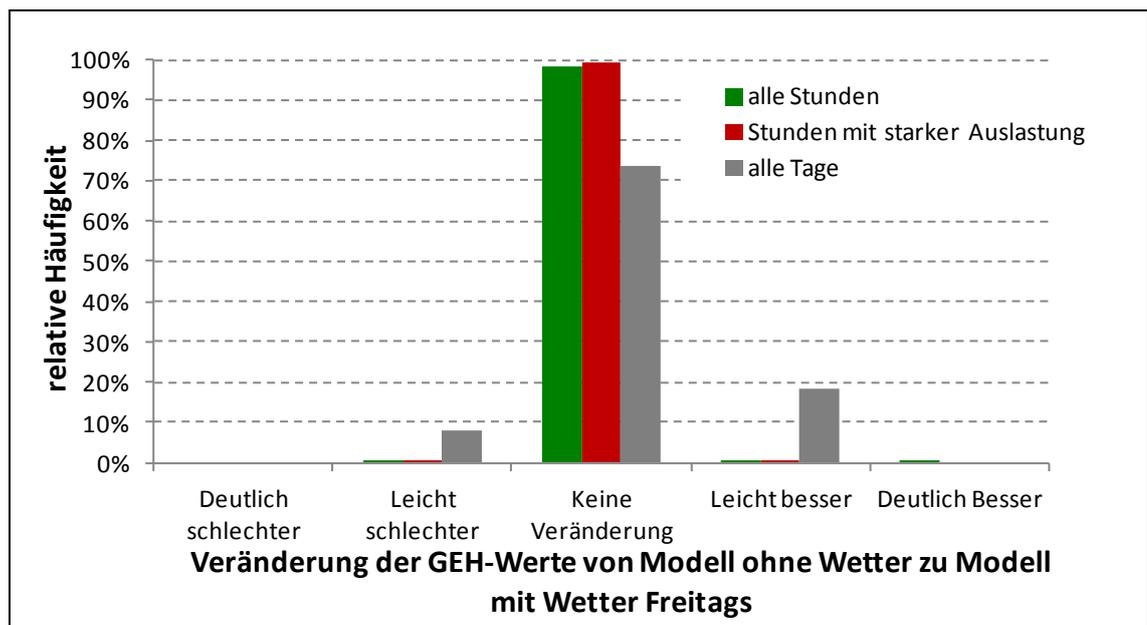


Bild 80: Veränderung der Prognosequalität durch Einbezug des Wetters an Freitagen

An Samstagen (Bild 81) wird in 11 % Prozent aller Stunden eine leicht verbesserte Prognosequalität erreicht. In 0,3 % aller Stunden verbessert sich die Prognosequalität deutlich. Betrachtet man nur die Stunden mit starker Auslastung, ergibt sich hier eine etwa gleichbleibende Prognosequalität: In etwa 7 % der Fälle wird die Prognosequalität leicht schlechter, hingegen aber auch in 7 % der Fälle leicht schlechter. Die Tagesprognose für Samstage verbessert sich in 20 % aller Fälle leicht, im Gegenzug verschlechtert sie sich auch in 20 % der Fälle leicht. Allerdings kann in 4 % der Fälle

eine deutlich bessere Qualität der Tagesprognose erreicht werden. Für Samstag kann also eine leichte Verbesserung der Stunden- und der Tagesprognose erreicht werden.

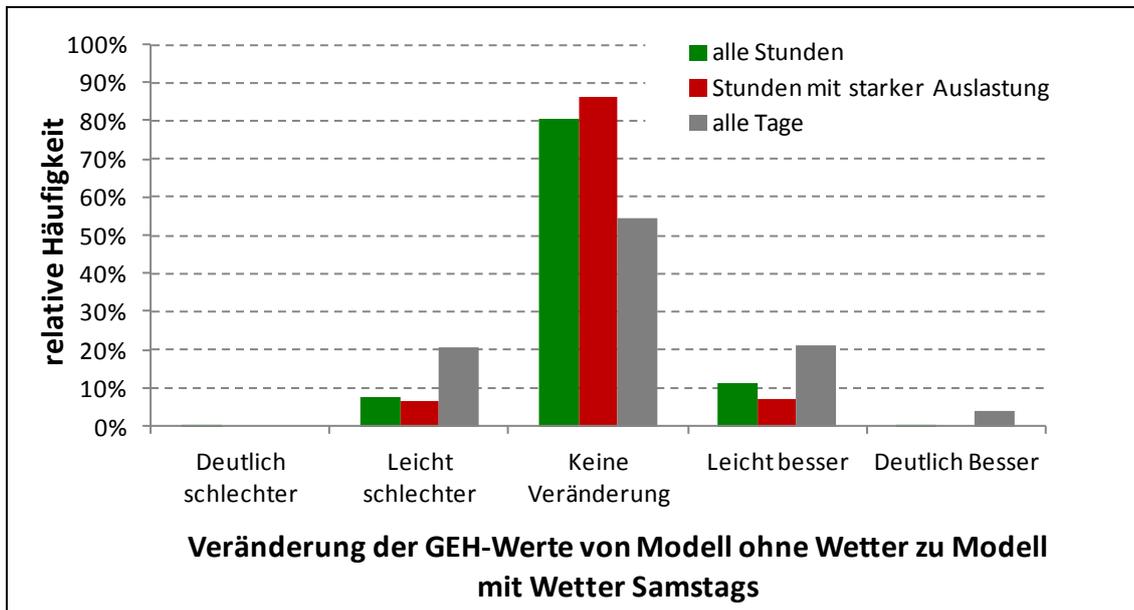


Bild 81: Veränderung der Prognosequalität durch Einbezug des Wetters an Samstagen

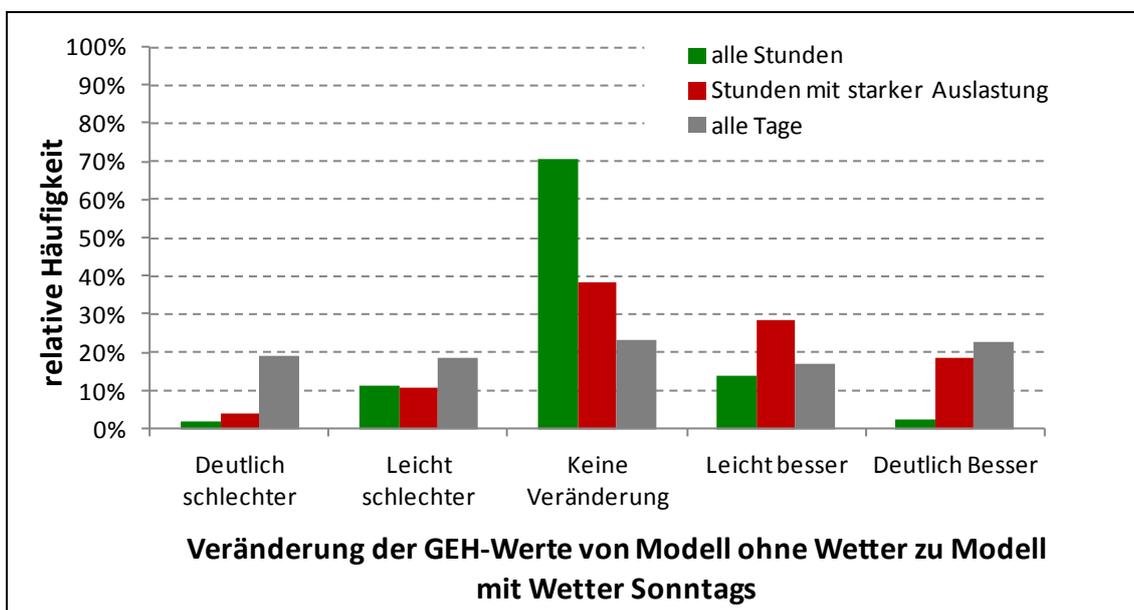


Bild 82: Veränderung der Prognosequalität durch Einbezug des Wetters an Sonntagen

In Bild 82 sind die Ergebnisse für die Sonntage zusammengefasst. Hier zeigt sich, dass eine leichte Verbesserung in 14 % aller stündlichen Prognosefälle erreicht werden kann. Am deutlichsten ist die Verbesserung für Stunden mit starker Auslastung erkennbar: Hier wird in 29 % der Fälle eine leichte und in 18 % aller Fälle eine

deutliche Verbesserung erzielt. Die Tagesprognosequalität wird in 19 % der Fälle deutlich schlechter, aber hingegen auch in 23 % der Fälle deutlich besser. Die Nachfragekorrektur aufgrund der beobachteten Wetterereignisse hat somit für das Untersuchungsgebiet für Sonntage den positivsten Effekt.

Aus den voran gegangenen Abbildungen wird deutlich, dass die Prognosequalität durch die Wetterkorrektur an manchen Stellen schlechter und an manchen Stelle besser wird. Dadurch erklärt sich die resultierende Verteilung der GEH-Werte, die sich nicht wesentlich verändert. Das Verkehrsaufkommen ist im Untersuchungsgebiet von vielen anderen Einflüssen, wie Urlaubsverkehr, sehr stark beeinflusst. Wenn diese anderen Einflüsse nicht adäquat modelliert werden, bringt die Wetterintegration keine wesentliche Verbesserung, da dann die Wetterkorrektur einer fehlerhaften Prognose zufällig in die richtige oder falsche Richtung wirkt. Dies geschieht vor allem immer dann, wenn sich mehre Einflüsse wie Feiertage und Ferienbeginn überlagern.

3.5.3 Zusammenfassung Evaluierung und Bewertung

Im abschließenden AP6 wurde ein Validierungskonzept erarbeitet, dass sowohl eine Validierung der Verkehrsstärke als auch der Verkehrslage auf Stunden- und Tagesebene erlaubt. Die Evaluierung der in AP5 erstellten Korrekturmatrizen erfolgte mithilfe der in AP4 erstellten Matrizen, die anhand einer clusterbasierten Prognose hochgerechnet wurden. Im Rahmen der Evaluierung wurde die Veränderung der Prognosegüte des Modells vom Zustand "ohne Wetter" zum Zustand "mit Wetter" bestimmt. Es zeigte sich, dass für Freitage die Prognosegüte weitestgehend unbeeinflusst bleibt, für Samstag eine leichte Verbesserung zu verzeichnen ist und an Sonntagen die Prognosegüte vor allem in den stark ausgelasteten Stunden zum Teil deutlich verbessert werden kann. Es zeigte sich allerdings auch, dass die Wetterkorrektur die Prognosequalität zum Teil auch deutlich verschlechtert. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn sich andere starke Einflüsse wie Feiertags- und Urlaubsverkehr überlagern. Bevor eine Integration des Wettereinflusses in ein Nachfragemodell erfolgt, sollte zunächst geprüft werden, inwiefern Faktoren mit größerem Einfluss, wie Urlaubsverkehr, bereits Bestandteil des Modells sind. Diese adäquate Modellierung dieser Einflussgrößen ist Basis für eine verbesserte Prognosegüte durch Integration des Wetters.

4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertungsplan

Im Rahmen des Projekts WOLKE wurden von der Universität Stuttgart folgende wesentliche Beiträge geleistet und Ergebnisse erzielt:

Die Universität Stuttgart lieferte eine umfassende Analyse der Einflussgrößen auf Verkehrssicherheit, Verkehrsaufkommen, Zielwahl und Fahrzeit. Neben der Haupteinflussgröße Wetter wurden auch anderer Einflussgrößen (Kalendarische Ereignisse, Verkehrszusammensetzung) nachgewiesen und quantifiziert. Diese Einflussgrößen können direkt im Verkehrsmodell verwendet werden.

Die Analyse zur Verkehrssicherheit quantifiziert den Zusammenhang der Unfallrate mit Wetter und der Verkehrszusammensetzung (Regionalverkehr). Maßgebenden Einfluss auf das Verkehrsaufkommen haben die Wochentage, Schulferien und Feiertage. Der Einfluss des Wetters konnte im Besonderen am Wochenende für den regionalen Verkehr nachgewiesen werden. Die Zielwahl ist primär von kalendarischen Eigenschaften beeinflusst, jedoch konnte auch eine Wetterabhängigkeit für die Fahrzeuge aus Bayern nachgewiesen werden. Die Verwendung von MiD zeigte, dass vor allem der Freizeitverkehr von Wetter beeinflusst ist. Mithilfe der genauen Fahrzeitdaten der ANPR-Kameraerfassungssysteme wurde nachgewiesen, dass sich der Verkehrsablauf bei Niederschlägen und größerem Anteil des Fernverkehrs verschlechtert.

Es wurde eine Methode zur Erstellung wetterabhängiger Verkehrsnachfragematrizen ausgearbeitet und umgesetzt. Dabei zeigte sich, dass die Prognosequalität nicht wesentlich verbessert werden konnte. Voraussetzung dafür ist, die stärkeren Einflussgrößen wie Ferien- und Ausflugsverkehr, sowie jahreszeitliche Schwankungen adäquat ins Nachfragemodell zu integrieren.

Mit der Clusterung ist ein Tool entstanden, welches über das Einsatzgebiet hinaus eine automatisierte Clusteranalyse und Prognose von Verkehrsstärkeganglinien mit Hilfe von Eigenschaften der einzelnen Tage durchführt. Dieses Tool kann auch für andere bereitgestellt werden. Weiter wurde die bekannte Methode von van Aerde zur Beschreibung des Fundamentaldiagramms als Tool der Universität Stuttgart verfügbar gemacht.

5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Ergebnisse und Veröffentlichungen im Themenfeld Wetter und Verkehr aus anderen Projekten (z. B. "Wetter und Verkehr") wurden gesichtet und in WOLKE berücksichtigt. Die Literaturanalyse hat gezeigt, dass im Bearbeitungszeitraum keine vergleichbaren Untersuchungen bei anderen Stellen durchgeführt wurden.

6 Veröffentlichungen von Projektergebnissen

6.1 Partner übergreifende Veröffentlichungen

Fachzeitschriften:

Bakircioglu, I., Friedrich, M., Lohmiller, J., Janko, J., Pillat, J., Schedler, K. (2014): Wetterabhängige Kalibrierung von Verkehrsmodellen für eine optimierte Verkehrssteuerung, Straßenverkehrstechnik, Kirschbaum Verlag, Bonn (in Planung).

Konferenzberichte:

Heilmann, B., Reinthaler, M., Asamer, J., Fehrenbach, L., Pillat, J., Lohmiller, J., Friedrich, M., Schedler, K., (2013): Integrating Weather Impact in Traffic Demand Models for Private Motorised Transport, *Proceedings of ITM (3. Innovations in Travel Modeling)*

6.2 Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik

Fachzeitschriften:

Friedrich, M., Lohmiller, J., Pillat, J. (2014): Kontinuierliche Erfassung von Fahrzeiten und Verkehrszusammensetzungen mit Kennzeichenerfassungssystemen, Straßenverkehrstechnik, Kirschbaum Verlag, Bonn (in Vorbereitung).

Konferenzberichte:

Lohmiller, J., Friedrich, M. (2012): Factors influencing the travel time reliability of motorway sections, *Proceedings of the 6th international symposium Networks for Mobility*, Stuttgart.

Pillat, J. (2013): Analyse des Wettereinflusses auf das Verkehrsaufkommen auf Autobahnen, *Tagungsband zur Universitätstagung Verkehrswesen 2013*, Zürich.

Pillat, J. (2013): Wetterabhängige Prognose des Verkehrsaufkommens, in: Institut für Straßen- und Verkehrswesen (ed.), *Kurzfassungen der Vorträge zum 12. Fachkolloquium Straße und Verkehr 2012*, Stuttgart.

Pillat, J., Lohmiller, J. (2014): Clusterbasierte Prognose von Ganglinien – ein Zuordnungsverfahren, *Heureka*, Stuttgart.

Sonstiges:

Pillat, J. (2013): Analyse des Wettereinflusses auf das Verkehrsaufkommen auf Autobahnen, Kurzfassung des Vortrags beim Fortbildungsseminar des VSVI Baden-Württemberg am 06.06.2013, Mitgliederzeitschrift des VSVI Baden-Württemberg, S.22-23

Lohmiller, J. (2013): Einflussfaktoren auf die Zuverlässigkeit im Verkehrsablauf auf Autobahnen, *Kurzfassung des Vortrags beim Fortbildungsseminar des VSVI Baden-Württemberg am 06.06.2013*, Mitgliederzeitschrift des VSVI Baden-Württemberg, S.22

7 Glossar

Abstandfunktion

Funktion zur Bestimmung der Ähnlichkeit bzw. der Differenz zweier Ganglinien. Definierte Funktionen sind z. B. die Summe der Abstandskquadrate (SAQ), der GEH-Wert und die Prozentfunktion.

ANPR

Abkürzung für Automatic Number Plate Recognition (Automatische Kennzeichenerfassungssysteme)

Attributierung

Die Versorgung von Netzobjekten (Strecke, Streckenzug, Route) mit Attributen wird als Attributierung bezeichnet. Dabei können die Attribute statisch, d.h. über die Zeit unveränderlich sein (Länge, Fahrzeit im unbelasteten Netz etc.), oder dynamisch, d.h. über die Zeit veränderlich sein (aktuelle Fahrzeit, Level-of-Service etc.).

BAB

Abkürzung für Bundesautobahn.

Bestimmtheitsmaß

Das Bestimmtheitsmaß ist ein Maß für den Erklärungswert eines statistischen Modells. Es berechnet sich aus dem Quotienten aus erklärter Streuung und gesamter Streuung.

Bewerteter Nutzen

Der subjektive Nutzen U ergibt sich als Bewertung der Nutzenfunktion V , z. B. $U = e(V)$.

Bewertungsfunktion

Die Bewertungsfunktion $B(\cdot)$ beschreibt die abnehmende Bereitschaft zur Auswahl einer Alternative, wenn der Aufwand zunimmt und modelliert die subjektive Einschätzung der Aufwände der Verkehrsteilnehmer. Beispiele sind die e-Funktion, die EVA-Funktion etc. Die Bewertungsfunktion bildet den stochastischen Anteil ε des subjektiven Nutzens U ab. Verlauf und Varianz der Bewertungsfunktion bestimmen das Korrelationsmuster der Kenngrößen.

Cluster

Anhand eines Clusterverfahrens und einer Abstandsfunktion bestimmte Gruppe von Objekten (Ganglinie, Tagesganglinie, Netzganglinie ...) die ähnliche Eigenschaften haben

Friktion

Unter Friktion (engl.: „friction“) versteht man die Reibung zwischen Reifen und Fahrbahnoberfläche. In der deutschen Literatur auch als Kraftschlussbeiwert bezeichnet. Quantitativ wird die Friktion als dimensionsloser Koeffizient zwischen 0 und 1 angegeben. Er beschreibt das Verhältnis zwischen tangentialer Bremskraft (Horizontalkraft) und der senkrecht auf die Fahrbahnoberfläche über die Reifen wirkenden Gewichtskraft des Fahrzeuges. Die Friktion ist streng genommen über einen Bremsvorgang nicht gleich bleibend. Vielmehr gibt es Phasen mit Haftreibung und Gleitreibung etc. Im Sinne der Modellbildung kann aber vereinfacht unter der Friktion derjenige effektive Koeffizient verstanden werden, der bei einer Vollbremsung während des gesamten Anhalteweges im Mittel anzusetzen ist.

Ganglinie

Menge von Datensätzen über entsprechende Zeitintervalle eines Tages (z. B. 24 Messwerte über 60-Minutenintervalle oder 96 Messwerte über 15-Minuten-Intervalle).

GEH

Wert zum Vergleich von Verkehrsstärken. Ein stündlicher GEH-Wert kleiner als 5 ist als sehr gut einzustufen, ein GEH-Wert kleiner als 10 als gut (vgl. UK HIGHWAY AGENCY [29]).

Glättemeldeanlagen

Ist die Amtsbezeichnung für Messstationen, die für den Winterdienst auf Straßen alle Parameter messen, welche für die Glättebildung auf der Fahrbahn relevant sind und für die Vorwarnung vor Glättezuständen dienen.

INTREST-Datenmodell

Georeferenzierungs- und Austauschplattform für verkehrsrelevante Daten.

Kontrastschwelle

Der Begriff Kontrastschwelle wird in der Sichtweitenmessung gebraucht. Die Schwelle in % angegeben bezeichnet den Grenzwert für den Kontrastunterschied (oder auch Helligkeitsunterschied) zwischen zwei optisch zu beobachtenden Flächen, bei dem zu den herrschenden Sichtverhältnissen gerade noch ein Unterschied festzustellen ist. Die Sichtweite ist im Straßenverkehr auf eine Kontrastschwelle von 5 % bezogen.

Lokale Detektordaten

Lokale Detektoren (Induktionsschleifen, etc.) messen die Verkehrsstärke und die Geschwindigkeit eines Streckenquerschnitts. Sie werden kontinuierlich und automatisch erfasst.

Massenkonzentration

Eine Massenkonzentration ist eine Gehaltsangabe, welche die Masse eines Stoffes i bezogen auf das Volumen eines Stoffgemisches oder einer Lösung angibt.

Meldungsdaten

Verkehrsmeldungen aus unterschiedlichen Quellen: Freiwillige Staumelder, Polizei, Verkehrswarndienst, ADAC etc. Sie werden unregelmäßig und nicht automatisch erfasst.

Netzganglinie

Die erfassten Ganglinien aller RMQ eines Tages als zusammengefasstes Objekt.

Nutzenfunktion

Die Nutzenfunktion beschreibt den Zusammenhang und Einfluss der einzelnen Kenngrößen über die Funktion $V = f(x_1, x_2)$. V entspricht dem messbaren (deterministischen, objektiven) Anteil des subjektiven Nutzens U .

Optisches Streulichtverfahren

Bezeichnet ein optisches Messverfahren, bei der die Dichte von Aerosolen (z. B. Nebel oder auch Rauch etc.) in der Luft bestimmt werden kann. Bei diesem Verfahren wird eine Lichtstrahl ausgesendet, der von den Aerosolen je nach Dichte mehr oder weniger gestreut (abgelenkt bzw. reflektiert) wird. Je nach dem Winkel zum Lichtstrahl, bei dem das gestreute bzw. reflektierte Licht gemessen wird, unterscheidet man zwischen Vorwärts- oder Rückwärts-Streulichtverfahren. Heutzutage wird im Straßenbereich die

optische Dichte von Nebel und damit die Sichtweite, überwiegend mit Geräten nach dem Vorwärts-Streulichtprinzip gemessen. Das Luftvolumen in dem gemessen wird, ist dabei im Zentimeterbereich relativ klein.

Projektnetz

Strategisches bzw. maßnahmenrelevantes Verkehrsnetz. Datenhaltung der Verkehrslagedaten.

Richtungsmessquerschnitte (RMQ)

Stelle auf einer Strecke, an der durch einen stationären Detektor Messwerte erfasst werden.

Sättigungskonzentration

Ist ganz allgemein diejenige Massenkonzentration (siehe Massenkonzentration) bei der die Lösung gesättigt ist, d.h. dass keine weitere Menge des zu lösenden Stoffes aufgenommen werden kann. Wird in diesem Zusammenhang bei wässriger Lösung von Tausalzen gebraucht

SBA

Ist die Abkürzung für StreckenBeeinflussungsAnlage. Synonym verwendet findet man auch den Begriff „VBA“ (= VerkehrsBeeinflussungsAnlage). Eine Anlage besteht aus Streckenstationen die Verkehrs- und Umfeld-Daten aus der Strecke erfassen und mit Hilfe von Anzeigequerschnitten mit Wechsel-Verkehrszeichen und –Wegweisung den Verkehr beeinflussen und in Abhängigkeit der aktuellen Verkehrs- und Umfeldbedingungen für einen gleichmäßigen Verkehrsfluss sorgen.

Schaltzustand

Zustand der Wechselwegweisungs- und Streckenbeeinflussungsanlagen.

Sprühfahnen

Der Begriff soll die hinter einem fahrenden Fahrzeug auf nasser Straße von den Reifen aufgewirbelte Gischt (Wasseraerosol) bezeichnen. Sprühfahnen können bei dichtem Verkehr eine nicht unerhebliche Sichtbehinderung darstellen.

Streulichtsignale

Im Zusammenhang mit Streulichtverfahren gebraucht und bezeichnen die elektrischen Signale bzw. Impulse, die am optischen Messaufnehmer durch das an Aerosolen gestreute Licht abgegriffen und ausgewertet werden können.

SWIS

Ist die Abkürzung für Straßenwetter-Information-System. Ein umfassendes SWIS existiert auf Bundesautobahnen in Deutschland, die in Auftragsverwaltung des Bundes von den zuständigen Straßenbauverwaltungen der Länder errichtet und betrieben werden. Im Englischen gibt es den gleichbedeutenden Begriff RWIS (= Road Weather Information System).

synoptische Wetterstationen

Darunter versteht man Wetterstationen, die möglichst umfassend alle für eine synoptische Wetterprognose erforderlichen Wetterbeobachtungen erfasst. Synoptisch bedeutet in diesem Zusammenhang „Gesamtschau“, also Berücksichtigung aller relevanten Parameter. Heutzutage arbeiten die meisten Wetterstationen automatisch und übermitteln die Daten über Fernwirktechnik bzw. Netzwerk an die jeweiligen Wetterzentralen. Der Deutsche Wetterdienst betreibt in Deutschland ein großes Messnetz von synoptischen Wetterstationen unterschiedlicher Ausbaustufen und auch so genannte Klimastationen, welche für die langfristige Klimatologie vorgesehen sind. Auch einige private Wetterdienste unterhalten eigene Messnetze (z. B. Meteomedia).

Taupunkttemperatur

Der Taupunkt bezeichnet diejenige Temperatur bei dem die in einem bestimmten Luftvolumen befindliche Wasserdampfmenge gerade noch aufgenommen werden kann. Wird die Taupunkttemperatur unterschritten, kondensiert der Wasserdampf. Es entsteht Nebel in der Luft an sog. Kondensationskeimen oder es schlägt sich z. B. Feuchte auf einer Fahrbahn nieder, deren Oberflächentemperatur unter der Taupunkttemperatur der Luft liegt. Die Taupunkttemperatur kann aus der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte hinreichend genau berechnet werden.

TLS

TLS bedeutet „Technischen Lieferbedingungen für Streckenstationen“, die von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) für Bundesdeutsche Fernstraßen herausgegeben wird und die technischen Anforderungen an die Datenkommunikation für Streckenstationen regelt.

TMC-Location

Codierte Position eines POIs auf dem Straßennetz.

TMC-Locationcodeabschnitt

Streckenabschnitt (vonKM, bisKM) auf einer Strecke des Projektnetz auf dem eine TMC-Location definiert ist.

Umfelddatenmessstellen

Umfelddatenmessstellen bzw. Umfelddatenerfassung ist der Überbegriff in der **TLS** (siehe TLS) für alle Messstellen auf Bundesfernstraßen die verkehrsrelevante Umweltbedingungen erfassen (Glätte auf der Fahrbahn, Wetter in der Atmosphäre, Sichtverhältnisse, Emission und Immissionen durch Luftschadstoffe etc.).

Verkehrslagedaten

Verkehrslagedaten werden durch Fusion der Daten aus einer oder mehreren Datenquellen generiert. Kenngrößen der Verkehrslage können auf eine Strecke (LOS, Reisezeit, Verlustzeit, Verkehrsstärke, Staulänge) oder eine Relation (LOS, Reisezeit, Verlustzeit, Staulänge) bezogen sein.

Verkehrsinformationsdaten

Informationen über die Verkehrslage, die an die Verkehrsteilnehmer weiter gegeben werden (Verkehrsfunk, RDS-TMC, Internet, straßenseitige Informationen).

8 Literatur

- [1] BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W., WEIBER, T. (2006) *Multivariate Analysemethoden*. 13. Auflage, Springer, Berlin.
- [2] BAST (2011): *Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle 2009*, *Forschung kompakt 4/2011*, Bundesanstalt für Straßenwesen, .Bergisch Gladbach.
- [3] BAST (2012): *Stauprävention auf BAB im Winter*, *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik Heft V 215*, Bundesanstalt für Straßenwesen, .Bergisch Gladbach.
- [4] BASTIAN, M. (2002) *Entscheidungsunterstützung durch Analytische Informationssysteme und Übertragung des Konzepts auf den Verkehr*. *Straßenverkehrstechnik* 46(3), S. 134-143, Kirschbaumverlag, Bonn.
- [5] BAYERN INFO (2013): *Internetauftritt der VIB Verkehrsinformationsagentur Bayern GmbH*, Stand 01.06.2013, www.bayerninfo.de
- [6] CHUNG, E., OHTANI, O., WARITA, H., KUWAHARA, M., MORITA, H. (2006): *Does weather affect highway capacity?*, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Japan.
- [7] CHUNG, E., OHTANI, O., KUWAHARA, M. (2005): *Effect of rainfall on travel time and travel demand*, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Japan.
- [8] COST TU0702 (2010), *Real-time monitoring, surveillance and control of road networks under adverse weather conditions*, *Les collections de l'INRETS – Ref.: R283*, Dec. 2010.
- [9] FELLENDORF, M., NEUHOLD, R., CIK, M. (2011) *Typisierung von Verkehrsbelastungsganglinien und die Anwendung in der Emissionsberechnung*. *Tagungsband HEUREKA'11*, S. 561-577, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln.
- [10] FRIEDRICH, M., JEHLICKA, P., SCHLAICH, J. (2009a): *Erfassung von Verkehrsdaten mit automatischen Kennzeichenerfassungssystemen*, *Straßenverkehrstechnik*, Heft 12, S. 789-795, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- [11] FRIEDRICH, M., IMMISCH, K., JEHLICKA, P., OTTERSTÄTTER, T., SCHLAICH, J. (2009b): *Bericht zur Trajektoriengenerierung und den Arbeitspaketen 5-7 (Anlage zum Abschlussbericht des Projektes Do-iT)*, *Forschungsbericht Förderkennzeichen 19 B 5007* unterstützt und gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bonn.
- [12] FRIEDRICH, B., FRIEDRICH, M., ET. AL. (2010): *Zeitabhängige Verbindungsqualität in Straßennetzen*, FE 18.0019/2007, 1.Zwischenbericht, Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Bergisch-Gladbach.

-
- [13] FRIEDRICH, M. (2011): Wie viele? Wohin? Womit? Was können uns Verkehrsnachfragemodelle wirklich sagen?, *Tagungsbericht Heureka '11*, FGSV Verlag, Köln.
- [14] FRIEDRICH, M., MANDIR, E., PILLAT, J. (2012): *wiki* – Wirkungen von individueller und kollektiver ontrip Verkehrsbeeinflussung auf den Verkehr in Ballungsräumen, *Schlussbericht der Universität Stuttgart*, Forschungsbericht Förderkennzeichen 19 P 7048 B (BMW), verfügbar bei der Technischen Informationsbibliothek und Universitätsbibliothek Hannover.
- [15] EISENBERG, D. (2004), The mixed effects of precipitation on traffic crashes, *Accident Analysis and Prevention* 36, Seite 637–647.
- [16] ESN (2003), Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN), Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln.
- [17] HIPPI, M., JUGA, I., NURMI, P. (2010): *A statistical forecast model for road surface friction*, SIRWEC Conference, Quebec, Canada.
- [18] INFAS, DLR (2010): Mobilität in Deutschland 2008, Endbericht zum Forschungsprojekt -Nr. 70.801/2006, gefördert durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.
- [19] JANKO, J. (2014): WOLKE - Wetterabhängige Kalibrierung von Verkehrsmodellen für eine optimierte Verkehrssteuerung,, *Schlussbericht der PTV AG*, Forschungsbericht Förderkennzeichen 19P10017A unterstützt und gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW), verfügbar bei der Technischen Informationsbibliothek und Universitätsbibliothek Hannover.
- [20] KIRSCHFINK H., POSCHMANN M., ZOBEL D., SCHEDLER K.E.(2012): Stauprävention auf BAB im Winter, *Berichte der BAST Unterreihe Verkehrstechnik, Heft V 215*, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- [21] MacQUEEN, J. B. (1967): Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, S. 281-297, University of California Press
- [22] MAZE T.H., AGARWAL, M., BURCHETT, G. (2005): Whether weather matters to traffic demand, traffic safety and traffic flow, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, USA.
- [23] OETTING, A. (2002): Angebotsabhängige Modellierung der reisezweckspezifischen Verkehrserzeugung und ihre Anwendung auf den städtischen Freizeitverkehr, Dissertation an der RWTH Aachen.
- [24] ORTUZAR, J.D.D., WILLUMSEN, L. G. (2006) *Modelling Transport*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, London, UK
- [25] PINKOFSKY, L. (2006) Typisierung von Ganglinien der Verkehrsstärke und ihre Eignung zur Modellierung der Verkehrsnachfrage. *Dissertation*, Schriftenreihe

- des Instituts für Verkehr und Stadtbauwesen der Technischen Universität Braunschweig, Heft 54, Shaker Verlag, Aachen.
- [26] SCHEDLER, K. (2014): WOLKE - Wetterabhängige Kalibrierung von Verkehrsmodellen für eine optimierte Verkehrsteuerung, *Schlussbericht der MicKS Meß-, Steuer- und Regelungssysteme GmbH*, Forschungsbericht Förderkennzeichen 19 P 0017 D unterstützt und gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), verfügbar bei der Technischen Informationsbibliothek und Universitätsbibliothek Hannover.
- [27] SCHLICH, R., SIMMA, A., AXHAUSEN, K.W. (2003): Zielwahl im Freizeitverkehr, Institut für Verkehrsplanung und Transportsystem, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH).
- [28] SCHNABEL, W., LOHSE, D. (2009): Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung, Band 2, 3.Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin.
- [29] UK HIGHWAY AGENCY (2008), *Design Manual for Roads and Bridges (DMRB)*, Volume 12, Section 2, Part 1, Office of Official Publications. Richmond, Surrey, Großbritannien.
- [30] VAN AERDE, M: (1995), A Single Regime Speed-Flow-Density Relationship for Congested and Uncongested Highways, Presented at the 74th TRB Annual Conference, Washington D.C., Paper No. 95080, Washington D.C.
- [31] VORTISCH, P. (2006) Modellunterstützte Messwertpropagierung zur Verkehrslageschätzung in Straßennetzen. *Dissertation*, Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen, Universität Karlsruhe (Technische Hochschule), Heft 64, Karlsruhe.
- [32] Wetter&Verkehr (2009): Wetter und Verkehr - Erforschung der Auswirkungen der Wetterlage auf das Verkehrsgeschehen zum Zweck der Modellierung in einem Verkehrsmanagementsystem, *Endbericht* zum Forschungsvorhaben mit der Projektnummer: 816035, gefördert vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- [33] WILD, D. (1996): Die Prognose von Verkehrsstärken anhand klassifizierter Ganglinien, Shaker-Verlag, Aachen
- [34] ZUMKELLER, D., MANZ, W., LAST, J., CHLOND, B. (2005): Die intermodale Vernetzung von Personenverkehrsmitteln unter Berücksichtigung der Nutzerbedürfnisse (INVERMO), Schlussbericht, Förderkennzeichen 19 M 9832 A0 im Programm "Mobilität und Verkehr besser verstehen", Karlsruhe

9 Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Analyseziele im Projekt WOLKE	6
Bild 2:	Überblick der in den Arbeitspaketen bearbeiteten Themenfelder	10
Bild 3:	Schematisch-funktionaler Systemaufbau des VIB Systems mit Ergänzung des Wettermoduls	20
Bild 4:	Aufbau der Wetterplattform	21
Bild 5:	Systemaufbau zur Erzeugung der wetterabhängigen Verkehrsnachfrage	21
Bild 6:	Untersuchungsgebiet auf deutscher Seite (Quelle: Google Maps)	23
Bild 7:	Struktur der Messdatenbank	25
Bild 8:	Projektnetz des Untersuchungsgebiets mit verorteten Dauerzählstellen, Umfelddatenerfassung und Anzeigequerschnitten der SBA	26
Bild 9:	Projektnetz des Untersuchungsgebiets mit TMC-Locations, Kamera- messquerschnitten und synoptischen Wetterstationen	26
Bild 10:	Beispiel für Ganglinien zweier Detektoren Richtung München bzw. Salzburg	28
Bild 11:	Datenvollständigkeit der Detektoren für Verkehrsstärke	29
Bild 12:	Datenvollständigkeit der Detektoren für Geschwindigkeiten	29
Bild 13:	Kennzeichenerfassungsgeräte im WOLKE Testfeld	31
Bild 14:	Kamerastandorte und erfasste Zielgebiete	32
Bild 15:	Datenvollständigkeit der Kamerasysteme	34
Bild 16:	Statistik erfasster Kennzeichen	35
Bild 17:	Zuordnung der Gebietskennzeichen als Quellen bzw. Ziele	36
Bild 18:	Definierte Kordongebiete mit Kameramessquerschnitten	37
Bild 19:	Beispiel erfasster Ströme an zwei RMQs	38
Bild 20:	Anteil erfasster Durchgangsverkehre zwischen RMQ1 und RMQ2	40
Bild 21:	Tage mit vollständiger ANPR-Erfassung	42
Bild 22:	Anzahl der detektierten Fahrten je 1.000 Einwohner pro Landkreis für alle RMQs	43
Bild 23:	Verlauf der Geschwindigkeiten zwischen Anschlussstelle Hofoldingen Forst und Autobahndreieck Inntal mit Stauereignis	45
Bild 24:	Pkw/Lkw-Klassifizierung der Fahrzeuge mit Hilfe der Kameradaten	47
Bild 25:	Landkreise, welche als Regionalverkehr definiert sind	48
Bild 26:	Räumliche Übersicht der Streckenbeeinflussungsanlagen	50
Bild 27:	Verortete Unfälle mit Personenschaden für das Jahr 2010	52
Bild 28:	Grobe Übersicht die Standorte zur Wetterdatenerfassung (▲ = Straßenwetter; ● = synoptische Wetterstation)	54
Bild 29:	Modellbeispiel für die Ermittlung der Fahrleistung	63
Bild 30:	Unfallrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke pro Fahrstreifen	64
Bild 31:	Unfallkostenrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke pro Fahrstreifen	65

Bild 32:	Unfallrate in Abhängigkeit der Verkehrsstärke pro Fahrstreifen unterteilt in unterschiedlichen Anteil an Regionalverkehr	67
Bild 33:	Geschwindigkeitsverlauf bei Unfällen getrennt nach Unfallkategorie.....	69
Bild 34:	Jahresganglinie (2011) eines Detektors im Untersuchungsgebiet und die Zusammensetzung des Verkehrsaufkommens nach Herkunft.....	72
Bild 35:	Mittlerer relativer Wochengang für das Gesamtverkehrsaufkommen am RMQ Hofoldingen Forst	73
Bild 36:	Variationskoeffizient der Tagesverkehrsstärken, differenziert nach Herkunft und Wochentag	74
Bild 37:	Verkehrsaufkommen des regionalen Verkehrs an Sonntagen.....	75
Bild 38:	Vorauswahl der Regressionskoeffizienten am Beispiel der Niederländer	80
Bild 39:	Einflussgrößen des Jahresgangs des Gesamtverkehrsaufkommens	85
Bild 40:	Einflussgrößen des Verkehrsaufkommens nach Wochentagen, Gesamtverkehr	86
Bild 41:	Einflussgrößen des Verkehrsaufkommens nach Herkunft, sonntags.....	87
Bild 42:	Einflussgrößen nach Herkunft, sonntags, landkreisfein.....	88
Bild 43:	Relative Veränderung des mittleren Tagesverkehrsaufkommens differenziert nach Wochentag	88
Bild 44:	Relative Änderung des durchschnittlichen Tagesverkehrsaufkommens nach Herkunft, sonntags, Topwetter	89
Bild 45:	Relative Änderung des durchschnittlichen Tagesverkehrsaufkommens nach Herkunft, sonntags, schlechtes Wetter.....	90
Bild 46:	Streckenfeine Änderung des Tagesverkehrsaufkommens bei Topwetter.....	91
Bild 47:	Streckenfeine Änderung des Tagesverkehrsaufkommens bei schlechtem Wetter	92
Bild 48:	Vorgehen bei der clusterbasierten Analyse und Prognose.....	94
Bild 49:	Ergebnis Clusteranalyse, Gesamtverkehrsaufkommen, große zugelassene Distanz, Einfärbung nach Wochentagen	98
Bild 50:	Ergebnis Clusteranalyse, Gesamtverkehrsaufkommen, kleine zugelassene Distanz, Einfärbung nach Wetterklassen.....	99
Bild 51:	Ergebnis Clusteranalyse, sonntags, Verkehrsaufkommen des regionalen Verkehrs.....	100
Bild 52:	Einfluss des Wetters auf die Prognose auf Basis einer Clusteranalyse in Abhängigkeit vom Wochentag.....	102
Bild 53:	Anzahl zurückgelegter Wege pro Tag (Gesamt und Freizeitwege)	104
Bild 54:	Veränderung der Erzeugungsrate der Freizeitwege länger als 10 km, zurückgelegt mit dem Pkw je Wetterklasse	105
Bild 55:	Mittlere Entfernung der erfassten Zulassungsbezirke zum RMQ Hofoldingen Forst	108

Bild 56:	50 %-Perzentil der Entfernung der erfassten Zulassungsbezirke zum RMQ Hofoldinger Forst.....	109
Bild 57:	Herkunft der detektierten Fahrzeuge am RMQ Hofoldinger Forst für den 16.07.2011 und den 23.07.2011	110
Bild 58:	Tagesverkehrsaufkommen der Fahrzeuge aus Nordrhein-Westfalen für den ANPR-Erfassungszeitraum am RMQ Hofoldinger Forst.....	111
Bild 59:	Reiseweitenverteilung für Freizeitwegen zurückgelegt mit dem Pkw je Wetterklasse.....	113
Bild 60:	Verwenden der Clusterung für die Hochrechnung der Nachfragematrizen	114
Bild 61:	Ergebnis der Matrixhochrechnung auf Grundlage der Clusterung.....	115
Bild 62:	Ursache von Verspätungen für Abschnitt 1: München – AD Inntal.....	117
Bild 63:	Ausgewählte Kenngrößen zur Bewertung der Fahrzeit und deren Anwendung	120
Bild 64:	Geschwindigkeitsverteilung für unterschiedliche Wetterklassen.	121
Bild 65:	Fundamentaldiagramm in Abhängigkeit der Wetterklasse für den Abschnitt 1: München – AD Inntal.....	124
Bild 66:	Fundamentaldiagramm in Abhängigkeit der Herkunft der Fahrzeuge für Abschnitt 1: München – AD Inntal.....	125
Bild 67:	Verwendete Netzmodelle in WOLKE	129
Bild 68:	Verfahrensübersicht zum Erstellen der wetterabhängigen Korrekturmatriizen	130
Bild 69:	Festgelegte Wetterregionen im Untersuchungsgebiet mit zugeordneten Wetterstationen.....	133
Bild 70:	Verwendete Nutzenfunktion für die Zielwahl	135
Bild 71:	Resultierende Fahrtweitenverteilung in Abhängigkeit vom Widerstandsparameter	136
Bild 72:	Beispiel für eine Wettersituation, definiert durch die Wetterklassen in den jeweiligen Wetterregionen.....	140
Bild 73:	Verwendete Tagesganglinien aus der Haushaltsbefragung MiD.....	142
Bild 74:	Vorgehen bei der wetterabhängigen Wetterprognose für das VIB- Modell.....	143
Bild 75:	Evaluierte Untersuchungstrecke im Untersuchungsgebiet für WOLKE ...	144
Bild 76:	Vorgehen bei der Prognose auf Grundlage der clusterbasierten Modellprognose und der vorhandenen Wetterkorrekturmatriizen.....	146
Bild 77:	Beispielhafte Darstellung einer prognostizierten Tagesganglinie mit und ohne Wetterkorrektur	147
Bild 78:	Prognosequalität des stündlichen Verkehrsstärke ohne und mit Betrachtung des Wetters	148
Bild 79:	Prognosequalität der Tagesverkehrsstärke ohne und mit Betrachtung des Wetters	148
Bild 80:	Veränderung der Prognosequalität durch Einbezug des Wetters an Freitagen	149

Bild 81:	Veränderung der Prognosequalität durch Einbezug des Wetters an Samstagen	150
Bild 82:	Veränderung der Prognosequalität durch Einbezug des Wetters an Sonntagen	150
Bild 83:	Fundamentaldiagramm in Abhängigkeit der Wetterklasse für den Abschnitt 2: AD Inntal – Kiefersfelden.....	175
Bild 84:	Fundamentaldiagramm in Abhängigkeit der Wetterklasse für den Abschnitt 3: AD Inntal – Salzburg.....	176

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der Kameramessquerschnitte	32
Tabelle 2: Erhebungsstatistik der Kameramessquerschnitte	33
Tabelle 3: Beschreibung der definierten Kordongebiete	36
Tabelle 4: Erfassungsraten an den vier ANPR-RMQs	38
Tabelle 5: Übersicht erfasste Fahrzeuge und Fahrten.....	46
Tabelle 6: Anzahl und mittlere Verkehrsstärke der Zeitintervalle mit wenig, mittlerem und viel Regionalverkehr aufgeteilt nach Wochenzeit am Messquerschnitt Hofoldingen Forst.	49
Tabelle 7: Übersicht der Daten aus Streckenbeeinflussungsanlagen	51
Tabelle 8: Übersicht über erfasste Schaltzustände für einen Querschnitt in Nähe des Hofoldingen Forst (Fahrtrichtung Salzburg)	51
Tabelle 9: Unfallstatistik nach Jahr und Unfallkategorie	53
Tabelle 10: Liste der Standorte der archivierten WQ Messstationen und deren Datentypen (nähere Erläuterungen im Text).....	55
Tabelle 11: Liste der für WOLKE ausgewählten synoptischen Wetterstationen und die dazugehörigen Datentypen.	56
Tabelle 12: Vereinfachte Wetterklassen für die Analyse der Verkehrssicherheit und Fahrzeiten	57
Tabelle 13: Vereinfachte Wetterklassen für die Analyse der Verkehrsnachfrage.....	58
Tabelle 14: Häufigkeit der Wetterklassen für die Wetterstationen für den gesamten Erhebungszeitraum	58
Tabelle 15: Anzahl der Unfälle im Untersuchungsgebiet nach Wettersituation	61
Tabelle 16: Kostensätze je verunglückte Person beziehungsweise je Unfall im Jahr 2009 (in Euro). Quelle BAST [1].....	63
Tabelle 17: Sicherheitspotential der verschiedenen Abschnitte getrennt nach „kein Niederschlag“ und „Niederschlag“	66
Tabelle 18: Anzahl der Unfälle im Untersuchungsgebiet für unterschiedliche Anteile an Regionalverkehr.....	67
Tabelle 19: Anhand der aufgestellten Thesen abgeleitete Regressionskoeffizienten.....	79
Tabelle 20: Übersicht betrachtete Bundesländer und europäische Nachbarstaaten und ihre im Weiteren verwendeten Kürzel	79
Tabelle 21: Relevante Regressionskoeffizienten für die Koeffizientengruppen F_{GER} und F_{EUR}	81
Tabelle 22: Entwickelte Modellkombinationen.....	81
Tabelle 23: Ergebnisse für die getesteten Modellkombinationen.....	82
Tabelle 24: Relevante Regressionskoeffizienten für das Verkehrsaufkommen aus Nordrhein-Westfalen.....	111
Tabelle 25: Anzahl der 15-Minuten Zeitintervalle mit entsprechender Wetterklasse ..	120
Tabelle 26: Kennwerte der Abschnitte getrennt nach Wetterklasse.....	122
Tabelle 27: Merkmale der vorhandenen Netzmodelle	129

Tabelle 28: Betrachtete Nachfragesegmente für die verwendeten Netzmodelle	132
Tabelle 29: Herangezogene Parameter zur wetterabhängigen Modellierung der Erzeugung	137
Tabelle 30: Herangezogene Parameter zur wetterabhängigen Modellierung der Zielwahl	139
Tabelle 31: Anhand der aufgestellten Thesen abgeleitete Regressionskoeffizienten.....	177

11 Anhang

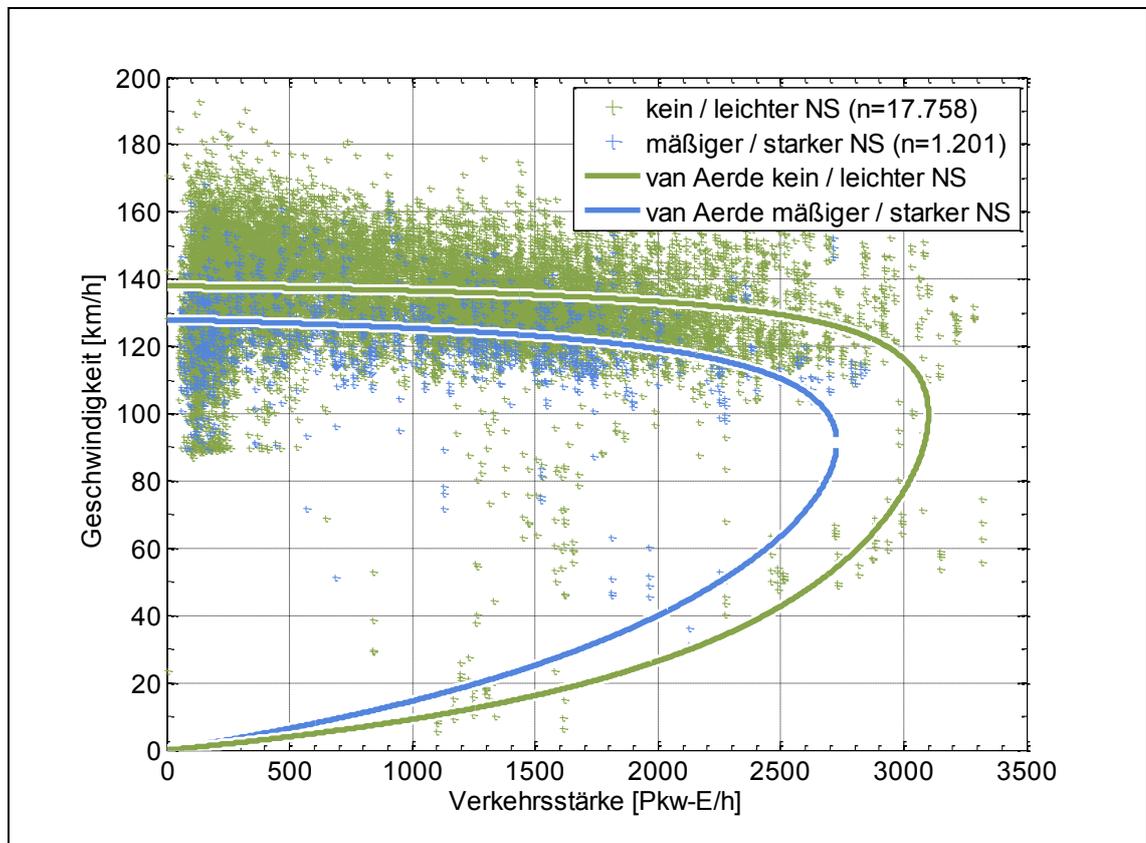


Bild 83: Fundamentaldiagramm in Abhängigkeit der Wetterklasse für den Abschnitt 2: AD Inntal – Kiefersfelden.

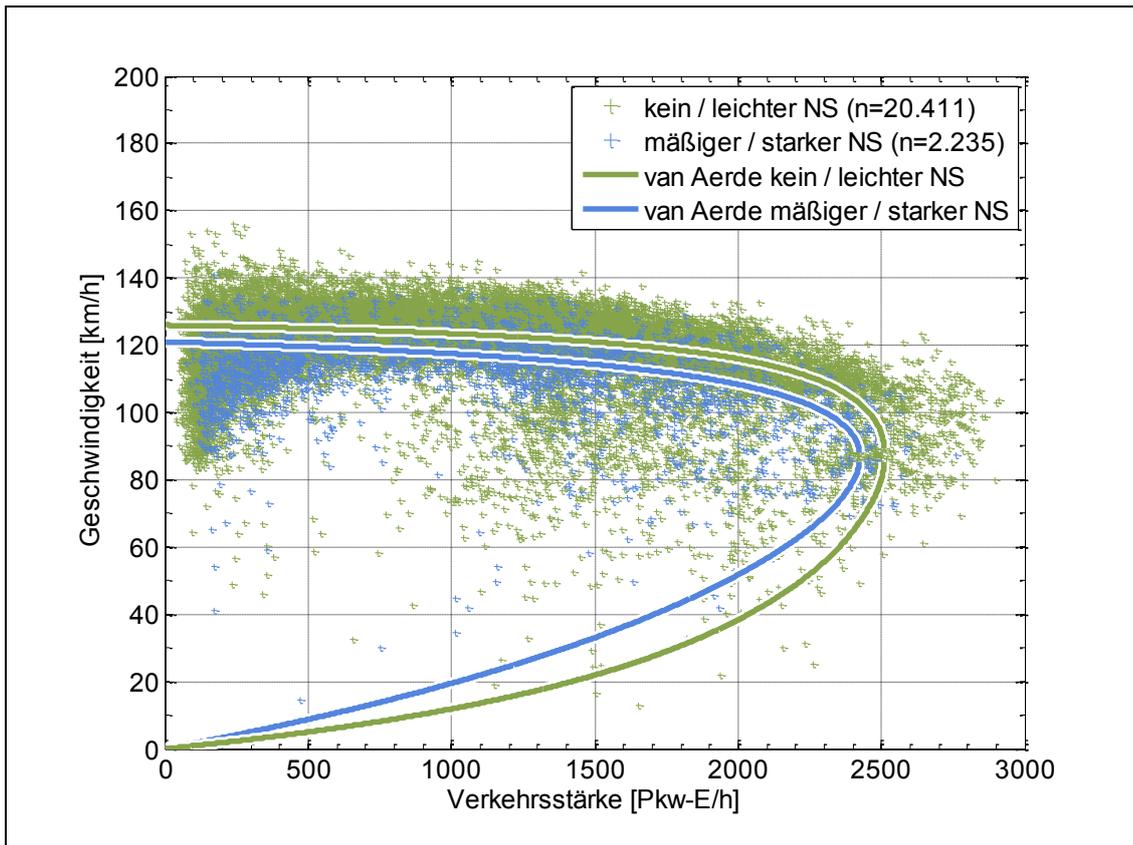


Bild 84: Fundamentaldiagramm in Abhängigkeit der Wetterklasse für den Abschnitt 3: AD Inntal – Salzburg.

Tabelle 31: Anhand der aufgestellten Thesen abgeleitete Regressionskoeffizienten

Variablengruppe	Verwendete Variablen
Ferien Bundesland (F _B L)	Winterferien Brandenburg, Ferienbeginn Brandenburg, Sommerferien Berlin, Winterferien Berlin, erster Ferientag Berlin, Ferienbeginn Berlin, letzter Tag vor Ferien Bayern, Sommerferien Hamburg, Winterferien Hamburg, erster Ferientag Hamburg, Sommerferien Niedersachsen, erster Ferientag Niedersachsen, Sommerferien Nordrhein-Westfalen, Ferienbeginn Nordrhein-Westfalen, Sommerferien Schleswig-Holstein, erster Ferientag Schleswig Holstein, Ferienbeginn Schleswig-Holstein, Sommerferien Sachsen, erster Ferientag Sachsen, Ferienbeginn Sachsen, Sommerferien Thüringen, erster Ferientag Thüringen, Ferienbeginn Thüringen
Ferien Europa (F _{EUR})	Winterferien Belgien, erster Ferientag Belgien, Ferienbeginn Belgien, erster Ferientag Schweiz, letzter Tag vor Ferien Schweiz, Ferienbeginn Schweiz, Osterferien Tschechien, Winterferien Tschechien, erster Ferientag Tschechien, Ferienbeginn Tschechien, Pfingstferien Dänemark, Sommerferien Frankreich, erster Ferientag Frankreich, Sommerferien Niederlanden, erster Ferientag Niederlanden, letzter Tag vor den Ferien Niederlanden, Ferienbeginn Niederlanden, erster Ferientag Polen
Wetter (We)	Topwetter, Schlechtes Wetter, Schnee (Wetterklasse Mittelwetter wird durch die konstante repräsentiert)
Ferien Bayern (F _{BY})	Herbstferien, Osterferien, Pfingstferien, Sommerferien, Weihnachtsferien, Winterferien
Ferienbeginn/Ende (F* _{GER})	Erster Ferientag, letzter Tag vor den Ferien, Ferienbeginn, letzter Ferientag
Sondertag (S)	Feiertag, Brückentag, Werktag vor Feiertag
Feiertag einzeln (FT)	1, Weihnachtsfeiertag, 2.Weihnachtsfeiertag, Allerheiligien, Buß- und Bettag, Christi Himmelfahrt, Fronleichnam, Heilige 3 Könige, Karfreitag, Maria Himmelfahrt, Neujahr, Ostermontag, Ostersonntag, Pfingstmontag, Pfingstsonntag, Tag der Arbeit, Tag der deutschen Einheit, Heiligabend
Oktoberfest (O)	Oktoberfest
Jahreszeiten (JZ)	Frühling, Sommer, Winter (Herbst wird durch die konstante repräsentiert)
Monate (M)	Januar, Februar, März, April, Mai, Juni, Juli, August, September, Oktober, November (Dezember wird durch die konstante repräsentiert)

