

Beitrag zur Dimensionierung des Platz- angebotes im ÖPNV in Abhängigkeit wetter- bedingten Fahrgastverhaltens in touristisch geprägten Regionen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktorin der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

vorgelegt der
Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
an der Technischen Universität Dresden

vorgelegt von **Beate Lux**

Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer König
Technische Universität Dresden

Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Bogenberger
Technische Universität München

Datum der Abgabe: 30. September 2021

Datum der Verteidigung: 19. Juli 2022

GELEITWORT

Eine Dissertation neben Beruf, Familie und den weiteren Herausforderungen des Lebens zu schreiben, war zu keiner Zeit einfach. Viele Menschen haben mich auf diesem Weg begleitet und unterstützt. An dieser Stelle möchte ich allen danken, die zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Dazu zählt an erster Stelle Professor Rainer König, dem ich für die wissenschaftliche Unterstützung und die immer neuen wegweisenden und konstruktiven Vorschläge sowie die Übernahme des Erstgutachtens danke.

Weiterhin bedanke ich mich bei Prof. Klaus Bogenberger für seine Unterstützung und spontane Bereitschaft zur Übernahme des Zweitgutachtens.

Meinem Kollegen Steffen Dutsch danke ich für seinen Beitrag zu meiner fachlichen Entwicklung in den letzten 20 Jahren. Er hat mit seinen Hinweisen wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen – ich weiß es zu schätzen, dass er mir dafür so viel von seiner kostbaren Zeit geopfert hat.

Herrn Jörgen Boße, dem Geschäftsführer der UBB, danke ich, dass er mir und meinen Kollegen mit seinem unerschütterlichen Glauben an unsere fachlichen Qualitäten seit vielen Jahren durch eine Vielzahl gemeinsamer Projekte den Bezug zur real existierenden ÖPNV-Welt erhält. Dadurch wurde ich mit Informationen und Daten aus dem ÖPNV-Alltag versorgt, die wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beitrugen.

Mein beharrlichster Kritiker und Ehemann Ingo hat mich wie bisher in allen schwierigen Lebenslagen auch bei diesem Projekt selbstverständlich unterstützt und vorangebracht. Das kann ich nicht genug würdigen, ich habe es hiermit wenigstens versucht.

Alle weiteren Kollegen und Wegbegleitern die mich unterstützt haben, möchte ich ebenfalls danken, ganz besonders meinem EBL-Team für seine Rückendeckung und Geduld.

Beate Lux

Dresden, August 2022

KURZFASSUNG

Der Kapazitätsplanung im Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) obliegt die Aufgabe, ein auf die Verkehrsnachfrage abgestimmtes Platzangebot zur Verfügung zu stellen. Sie agiert im Spannungsfeld zwischen dem (kostenträchtigen) Einsatz von Personal- und Fahrzeugressourcen und dem Anspruch, den Erwartungen der Nutzer im Hinblick auf den Erfolg der ÖPNV-Dienstleistung gerecht zu werden. Ungeachtet dieser Bedeutung finden nutzergruppenspezifische Abhängigkeiten zur Nachfrage abseits des Berufs- und Ausbildungsverkehrs bisher wenig Berücksichtigung in diesem Planungsprozess. Insbesondere die Nachfrage durch den Freizeitverkehr kann starken wetterabhängigen Schwankungen unterliegen, die jedoch in ihrer zeitlichen und örtlichen Ausprägung nur kurzfristig anhand der Wetterprognose absehbar sind.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet die Entwicklung eines Verfahrens zur Berücksichtigung wetterabhängiger Nachfrageszenarien im ÖPNV. Mittels statistischer Methoden wird unter Einbeziehung sachlogischer Kenntnisse zunächst die Nachfrage hinsichtlich ihrer Wetterabhängigkeit analysiert. Damit werden Schichtungen identifiziert, bei denen die bisher aufgetretenen Nachfrageschwankungen einer Wetterabhängigkeit unterlagen. Anhand der ermittelten Ergebnisse können sowohl kapazitätsrelevante als auch kapazitätsunabhängige Maßnahmen zur Verbesserung der Dienstleistungsqualität oder der Effizienz des Ressourceneinsatzes abgeleitet werden.

Ob die Wetterabhängigkeit der Nachfrage eine Veränderung des Platzangebotes erfordert, und ob diesen Erfordernissen entsprochen werden kann, wird ebenfalls geprüft. Dafür ist es notwendig, die regions- und angebotsspezifischen Erwartungen der Nutzer an das jeweilige Platzangebot zu kennen. Die bisher verwendeten Qualitätsstandards bilden diesen Erwartungen nicht ausreichend ab. Daher wird eine Akzeptanzgrenze für das Auftreten von Abweichungen zwischen erforderlichem und angebotenem Platzangebot eingeführt.

Das Verfahren wurde anhand von Nachfragedaten für fünf Eisenbahnlinien der Usedomer Bäderbahn getestet. Aufgrund unterschiedlicher Anteile an erforderlichen und freiwilligen Fahrtzwecken in den einzelnen Linien wurden sachlogisch begründbare Differenzen in der Wetterabhängigkeit der Nachfrage erwartet. Diese konnten statistisch bestätigt werden. Zudem wurden mit dem Verfahren Fälle mit einer Notwendigkeit einer wetterabhängigen Anpassung des Platzangebotes identifiziert.

Detaillierte Untersuchungen zu Möglichkeiten und Grenzen kurzfristiger Kapazitätsanpassungen ergänzen die Verfahrensentwicklung. Es wird dabei herausgearbeitet, welcher Handlungsspielraum für betriebliche und organisatorische Maßnahmen zur Herstellung der erforderlichen Flexibilität beim Personal- und Fahrzeugeinsatz besteht. Eine wichtige Erkenntnis ist, dass in Verkehrsverträgen Regelungen für kurzfristige Kapazitätsanpassungen enthalten sein müssen.

ABSTRACT

Capacity planning in local public transport has the task of providing a supply of capacity that is tailored to the demand for transport. It operates in the area of conflict between the (costly) use of personnel and vehicle resources and the claim to meet the expectations of users with regard to the success of the public transport service. Despite this importance, user group-specific dependencies on demand outside of commuter and educational traffic have been given little consideration in this planning process so far. Demand from leisure traffic in particular can be subject to strong weather-dependent fluctuations, the timing and location of which can only be predicted in the short term on the basis of weather forecasts.

The present work contains the development of a procedure for the consideration of weather-dependent demand scenarios in public transport. Using statistical methods and factual knowledge, the demand is first analysed with regard to its weather dependency. In this way, cases are identified in which the fluctuations in demand that have occurred so far were subject to weather dependency. Based on the results, both capacity-relevant and capacity-independent measures for improving service quality or the efficiency of resource utilization can be derived.

It will also be examined, whether the weather-dependency of demand requires a change in the supply of capacity, and whether these requirements can be met. For this purpose, it is necessary to know the region- and supply-specific expectations of the users with regard to the respective available number of seats. The quality standards used to date do not adequately reflect these expectations. Therefore, an acceptance limit is introduced for the occurrence of deviations between required and offered space.

The method was tested on the basis of demand data for five railroad lines of the Usedomer Bäderbahn. Due to different proportions of required and voluntary travel purposes in the individual lines, factually justifiable differences in the weather dependence of demand were expected. These could be confirmed statistically. In addition, the procedure was used to identify cases with a need for weather-dependent adjustment of the number of seats on offer.

Detailed researches on the possibilities and limits of short-term capacity adjustments complement the development of the process. The scope for operational and organizational measures to achieve the necessary flexibility in the deployment of personnel and vehicles is identified. One important finding is that transport contracts must contain provisions for short-term capacity adjustments.

Inhalt

GELEITWORT	I
ABSTRACT	III
TABELLENVERZEICHNIS	VIII
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	XI
BEGRIFFE UND ABKÜRZUNGEN	XIII
FORMELVERZEICHNIS	XV
1 Motivation, Zielstellung und Aufbau der Arbeit	1
2 Wetterabhängigkeit der Verkehrsnachfrage	4
2.1 Verkehrsbedarf und Verkehrsnachfrage	4
2.2 Wetterabhängigkeit der Verkehrsnachfrage	6
2.3 Verkehrsnachfrage durch den Freizeitverkehr	11
2.4 Wetterabhängigkeit von Freizeitaktivitäten	15
2.5 Zusammenfassung zum Stand der Forschung in Bezug auf die Wetterabhängigkeit der Verkehrsnachfrage	19
3 Kapazitätsplanung als wesentliche Planungsaufgabe im ÖPNV	22
3.1 Begriff Kapazität.....	22
3.2 Aufgabe der Kapazitätsplanung im Handlungsumfeld des ÖPNV	22
3.3 Verantwortlichkeiten für die Kapazitätsplanung	24
3.4 Anspruchsgruppen gegenüber der Kapazitätsplanung.....	25
3.5 Einordnung der Kapazitätsplanung in die Abfolge der Planungsaufgaben bei der Erstellung von Verkehrsangeboten	26
3.6 Allgemeiner Prozessablauf bei der Kapazitätsplanung	28
3.7 Beschreibung der Nachfrage als Basis für die Kapazitätsplanung	29
3.7.1 Realisierte Nachfrage	29
3.7.2 Prognose der zu erwartenden Nachfrage	29
3.7.3 Kenndaten zur Beschreibung der jeweiligen Nachfrage.....	33
3.8 Nachfrageunabhängige Einflussgrößen und Randbedingungen	36
3.8.1 Vorgaben zur Beförderungsqualität	36
3.8.2 Anforderungen und Restriktionen durch Fuhrpark und Infrastruktur	38
3.9 Fahrtgenaue Kapazitätsdimensionierung je Betriebstag als Input weiterer Planungsschritte.....	40
3.10 Disposition von Fahrzeugen und Personal	43
3.11 Schlussfolgerungen für die Berücksichtigung wetterabhängiger Nachfrageschwankungen bei der Kapazitätsplanung.....	44
4 Möglichkeiten und Grenzen kurzfristiger Kapazitätsanpassungen in einem Verkehrsunternehmen	45
4.1 Vorbemerkungen	45
4.2 Kapazitätsrelevante Produktionsfaktoren	45
4.3 Handlungszeitraum.....	48
4.4 Formen der Kapazitätsanpassung	49
4.4.1 Anpassungsformen aus Sicht der Produktionslogistik.....	49
4.4.2 Anpassungsformen aus betriebswirtschaftlicher Sicht und Adaption auf Verkehrsunternehmen	50
4.4.3 Abschätzung der Wirkung von kurzfristigen Kapazitätsanpassungsmaßnahmen auf die Produktionsfaktoren	55
4.5 Vergaberechtliche und vertragliche Rahmenbedingungen	56
4.5.1 Relevanz der Pflichten des ÖPNV hinsichtlich Kapazitätsanpassungen.....	56
4.5.2 Anforderungen durch Dienstleistungsverträge	57
4.5.3 Genehmigungspflicht bei straßengebundenem Verkehr	58
4.5.4 Trassenbestellpflicht beim SPNV.....	59
4.6 Arbeitsrecht und Sozialvorschriften	61
4.6.1 Vorgaben aus Rechtsnormen	61
4.6.2 Tarifverträge.....	63
4.6.3 Flexibilität personeller Anpassungen	65

4.7	Anforderungen durch System- und Fahrgastinformation.....	67
4.8	Inanspruchnahme von Reserven für kurzfristige Kapazitätsanpassungen.....	69
4.8.1	Fahrzeugreserven	69
4.8.2	Personalreserven	71
4.9	Steuerung der Fahrgastnachfrage	72
4.10	Resultierende Maßnahmen zur kurzfristigen Kapazitätsanpassung	74
5	Verfahren zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung	76
5.1	Verfahrensaufbau und erforderliche Datengrundlage.....	76
5.2	Datenermittlung.....	77
5.2.1	Fahrgastaufkommensdaten	77
5.2.2	Wetterdaten.....	84
5.2.3	Daten der wetterunabhängig geplanten Kapazität.....	86
5.3	Datenaufbereitung (Verfahrensstufe 1).....	87
5.3.1	Skalenniveau.....	87
5.3.2	Kategorisierung der Wetterdaten	89
5.3.3	Kategorisierung des Fahrgastaufkommens	91
5.4	Ermittlung von Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage (Verfahrensstufe 2).....	94
5.4.1	Statistische Methoden und Arbeitsweisen	94
5.4.2	Softwareunterstützte Datenauswertung.....	95
5.4.3	Einteilung der Analyseverfahren und Skalenniveau der Variablen.....	96
5.4.4	Analyse von Methoden zum Prüfen von Zusammenhängen	98
5.4.5	Auswahl geeigneter Methoden	112
5.4.6	Ableitung der Wetterabhängigkeit der Nachfrage.....	113
5.4.7	Ergänzende Analysen zur Bewertung der Assoziationsmaße.....	115
5.4.8	Ablauf der Ermittlung von Zusammenhängen zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen in der Verfahrensstufe 2.....	116
5.5	Ableitung kapazitätsrelevanter Szenarien (Verfahrensstufe 3)	116
5.5.1	Ermittlung der Kapazitätsfälle	119
5.5.2	Analyse von Zusammenhängen zwischen Kapazitätsfällen und Wetter	120
5.5.3	Ableitung der Kombinationen aus Wetterkategorie und Schichtung, die eine Kapazitätsanpassung erfordern	121
6	Anwendungsbeispiel	124
6.1	Untersuchungsregion	124
6.1.1	Bediengebiet der Usedomer Bäderbahn	124
6.1.2	Mobilitätsbedürfnisse	126
6.1.3	Frequentierung der Streckenabschnitte.....	129
6.1.4	Fahrtzwecke und Einschätzung der Wettereinflüsse auf das Fahrgastaufkommen einzelner Streckenabschnitte.....	130
6.2	Datengrundlage.....	133
6.2.1	Nachfragedaten und Untersuchungszeitraum	133
6.2.2	Wetterdaten.....	134
6.2.3	Fahrzeugeinsatzdaten	135
6.3	Datenaufbereitung (Verfahrensstufe 1).....	135
6.3.1	Aufbereitung der Wetterdaten.....	135
6.3.2	Aufbereitung der Fahrgastaufkommensdaten	137
6.4	Ermittlung von Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage (Verfahrensstufe 2).....	146
6.4.1	Vorbetrachtungen	146
6.4.2	Kontingenzanalyse.....	147
6.4.3	Konkordanzanalyse	151
6.4.4	Korrespondenzanalyse	153
6.4.5	Zusammenstellung der festgestellten Zusammenhänge zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen im Untersuchungsgebiet.....	155
6.4.6	Bewertung und Schlussfolgerungen	156
6.4.7	Vergleich des Anteils Fahrtzweck Freizeit mit der Wetterabhängigkeit der Nachfrage im Untersuchungsgebiet	156

6.5	Ableitung kapazitätsrelevanter Szenarien (Verfahrensstufe 3)	158
6.5.1	Vorbetrachtungen	158
6.5.2	Ermittlung der Kapazitätsfälle	159
6.5.3	Analyse von Zusammenhängen zwischen Kapazitätsfällen und Wetter	160
6.5.4	Ableitung der Kombinationen aus Wetterkategorie und Schichtung, die eine Kapazitätsanpassung erfordern	160
6.5.5	Bewertung und Schlussfolgerungen	162
6.6	Fazit zur Verfahrensanwendung	163
7	Zusammenfassung und Ausblick	164
7.1	Zusammenfassung	164
7.2	Ausblick	165
	QUELLENVERZEICHNIS	167

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1:	Ideale Wetterbedingungen in verschiedenen Tourismusumgebungen.....	16
Tabelle 2-2:	Zusammenfassung des Stands der Forschung zur Wetterabhängigkeit der Verkehrsnachfrage	20
Tabelle 3-1:	Zu berücksichtigende Interessen von Fahrgästen und Verkehrsunternehmen bei der Kapazitätsplanung	25
Tabelle 3-2:	Beteiligung der Anspruchsgruppen in den Prozessstufen der Kapazitätsplanung ...	26
Tabelle 3-3:	Mögliche kurzfristige Ursachen für Schwankungen der Fahrgastzahlen	34
Tabelle 3-4:	Beförderungsqualität, gemessen am Platzangebot	36
Tabelle 3-5:	Empfehlungen für Grenzwerte des Besetzungsgrades	37
Tabelle 3-6:	Beispiele für infrastrukturelle und betriebliche Anforderungen für die Fahrzeugeinsatzplanung	39
Tabelle 3-7:	Infrastrukturelle und betriebliche Vorgaben und mögliche Auswirkungen auf den Ressourceneinsatz	40
Tabelle 3-8:	Erkenntnisse und Schlussfolgerungen für die Berücksichtigung wetterabhängiger Nachfrageschwankungen bei der Kapazitätsplanung	44
Tabelle 4-1:	Wesentliche kapazitätsrelevante betriebswirtschaftliche Produktionsfaktoren in einem Verkehrsunternehmen	47
Tabelle 4-2:	Anpassungsformen aus Sicht der Produktionslogistik und deren Planungshorizont (eigene Darstellung nach ARNOLD ET AL. 2008, S. 332)	49
Tabelle 4-3:	Kapazitätsrelevante Personalgruppen nach Verkehrsmittel im ÖV	53
Tabelle 4-4:	Verfahrensweise bei Fahrplanänderungsanträgen	59
Tabelle 4-5:	Arbeitszeitparameter aus dem ArbZG	62
Tabelle 4-6:	Vorgaben zu Lenk- und Ruhezeiten im straßengebundenen öffentlichen Verkehr ..	63
Tabelle 4-7:	Vorgaben zu Lenk- und Ruhezeiten im schienengebundenen öffentlichen Verkehr	63
Tabelle 4-8:	Durchschnittswerte der Anteile an Fahrzeugreserven	70
Tabelle 4-9:	Übersicht zum Handlungsspielraum für kurzfristige Kapazitätsanpassungen	74
Tabelle 5-1:	Datenquellen zum Ableiten der Verkehrsnachfrage im ÖPNV	77
Tabelle 5-2:	Vergleich der Datenquellen zur Ermittlung bzw. Abschätzung der Höhe des Fahrgastaufkommens.....	83
Tabelle 5-3:	Beispiele für mögliche langfristige wetterunabhängige Veränderungen der Nachfrage	84
Tabelle 5-4:	Grundsätzlich zur Verfügung stehende Parameter der einzelnen Elemente im Portal WESTE-XL des DWD je Wetterstation	86
Tabelle 5-5:	Beispiel für einen Fahrzeugeinsatzplan	87
Tabelle 5-6:	Skalenniveaus	87
Tabelle 5-7:	Verwendete Wetterkategorien für die Analyse der Verkehrsnachfrage in Nahverkehrszügen	90
Tabelle 5-8:	Verwendete Wetterkategorien für die Analyse der Verkehrsnachfrage auf Autobahnen im Projekt Wolke	90
Tabelle 5-9:	Vergleich Faktoren- und Clusteranalyse als Beispiel für strukturen-entdeckende Verfahren.....	97
Tabelle 5-10:	Charakterisierung strukturen-prüfender Verfahren nach dem Skalenniveau.....	97
Tabelle 5-11:	Beispiele von Paarbeziehungen bezüglich ihrer Rangordnung	103
Tabelle 5-12:	mögliche Paare von Fällen.....	103
Tabelle 5-13:	Kontingenztafel der beobachteten Häufigkeiten	106
Tabelle 5-14:	Ermittlung der erwarteten Häufigkeiten	106
Tabelle 5-15:	Interpretationsempfehlung von Cramers V	113
Tabelle 5-16:	Allgemeine Interpretationsempfehlung von Assoziationsmaßen	113
Tabelle 5-17:	Aussagefähigkeit der analysierten Parameter zu Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage	114
Tabelle 5-18:	Kontingenztafel zur Überprüfung von Zusammenhängen zwischen Kapazitätsfällen und Wetterkategorie	120
Tabelle 5-19:	Beispiel für die Anteile der Kapazitätsplanfälle je Wetterkategorie	122
Tabelle 6-1:	Kategorisierung der Wetterzustände.....	136
Tabelle 6-2:	Beispieldatensätze der Fahrgastzählung	138
Tabelle 6-3:	Zuordnung der Nachfrage zu Aufkommenskategorien	141
Tabelle 6-4:	Beispiel für die Ermittlung der Grenzwerte für die Einordnung in fahrtbezogene Aufkommenskategorien	141

Tabelle 6-5:	Aufbereitete Daten für die Verfahrensstufe 2 mit fahrtbezogener Aufkommenskategorie.....	141
Tabelle 6-6:	Beispiel für die Ermittlung der Grenzwerte für die Einordnung in tagesbezogene Aufkommenskategorien	145
Tabelle 6-7:	Aufbereitete Daten für Verfahrensstufe 2 mit tagesbezogener Aufkommenskategorie.....	146
Tabelle 6-8:	Kennwerte der Kontingenzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien ..	148
Tabelle 6-9:	Kennwerte der Kontingenzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien ..	148
Tabelle 6-10:	Maximalzahl der Freiheitsgrade (FG_{max})	148
Tabelle 6-11:	Darstellung aller Assoziationsmaße Cramers V bei nachgewiesener statistischer Signifikanz	149
Tabelle 6-12:	Kontingenztafel Linie 1 (Sommer, MoFr, Ferien)	150
Tabelle 6-13:	Relative Abweichung der beobachteten von erwarteten Anzahl, Linie 1 (Sommer, MoFr, Ferien).....	150
Tabelle 6-14:	Zuordnung der Wetterkategorien zu Rängen.....	151
Tabelle 6-15:	Kennwerte der Konkordanzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien ..	152
Tabelle 6-16:	Kennwerte der Konkordanzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien ..	152
Tabelle 6-17:	Darstellung aller Assoziationsmaße Somers' d bei nachgewiesener statistischer Signifikanz (nur Sommerperiode).....	153
Tabelle 6-18:	Darstellung aller Assoziationsmaße mit nachgewiesener statistischer Signifikanz aus Kontingenz- und Konkordanzanalyse für relevante Schichtungen	155
Tabelle 6-19:	Aufbereitete Daten mit Kapazitätsfällen	159
Tabelle 6-20:	Häufigkeiten der Kapazitätsfälle (Sommer, Tagesgruppe MoFr) auf den Linien 1, 4 und 5	159
Tabelle 6-21:	Ergebnisse der Kontingenzanalyse zwischen Wetterkategorie und Kapazitätsfällen	160
Tabelle 6-22:	Anteile der Kapazitätsfälle je Wetterkategorie und Schichtung	161
Tabelle 6-23:	Kapazitätsrelevante Szenarien für $p_Q = 90\%$	161
Tabelle 6-24:	Kapazitätsrelevante Szenarien für $p_Q = 80\%$	162
Tabelle A-1:	Mobilitätsrelevante Entscheidungen, die in einem Verkehrsmodell abgebildet werden und zugehörige Einflussfaktoren.....	177
Tabelle B-1:	Windchilleffekt: Gefühlte Temperaturen in Abhängigkeit vom Wind	178
Tabelle B-2:	Hitzeindex: Gefühlte Temperaturen in Abhängigkeiten der Luftfeuchtigkeit.....	178
Tabelle B-3:	Beaufortskala zur Beurteilung der Windverhältnisse	179
Tabelle G-1:	Kennwerte der Kontingenzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien nach Tagesart	187
Tabelle G-2:	Kennwerte der Kontingenzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien nach Tagesart	187
Tabelle G-3:	Kennwerte der Kontingenzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien	188
Tabelle G-4:	Kennwerte der Kontingenzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien	188
Tabelle G-5:	Kennwerte der Kontingenzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien und Tagesart.....	189
Tabelle G-6:	Kennwerte der Kontingenzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien und Tagesart.....	189
Tabelle H-1:	Kontingenztafel Linie 1 (Sommer) MoFr, Schule	190
Tabelle H-2:	Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl Linie 1 (Sommer) MoFr, Schule ..	190
Tabelle H-3:	Kontingenztafel Linie 1 (Sommer) SaSo, Ferien	191
Tabelle H-4:	Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl Linie 1 (Sommer) MoFr, Ferien ...	191
Tabelle H-5:	Kontingenztafel Linie 5 (Sommer) MoFr, Ferien	191
Tabelle H-6:	Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl Linie 5 (Sommer) MoFr, Ferien ...	191
Tabelle I-1:	Kennwerte der Konkordanzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien nach Tagesart	192
Tabelle I-2:	Kennwerte der Konkordanzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien nach Tagesart	192
Tabelle I-3:	Kennwerte der Konkordanzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien	193
Tabelle I-4:	Kennwerte der Konkordanzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien	193

Tabelle I-5:	Kennwerte der Kontingenzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien und Tagesart.....	194
Tabelle I-6:	Kennwerte der Kontingenzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien und Tagesart.....	194
Tabelle K-1:	Kontingenztabelle Kapazitätsfälle und Wetterkategorien (Linie 1, Sommer, MoFr, Ferien).....	198
Tabelle K-2:	Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl der Kapazitätsfälle (Linie 1, Sommer, MoFr, Ferien).....	198
Tabelle K-3:	Kontingenztabelle Kapazitätsfälle und Wetterkategorien (Linie 1, Sommer, MoFr, Schule).....	198
Tabelle K-4:	Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl der Kapazitätsfälle (Linie 1, Sommer, MoFr, Schule).....	198
Tabelle K-5:	Kontingenztabelle Kapazitätsfälle und Wetterkategorien (Linie 5, Sommer, MoFr, Ferien).....	199
Tabelle K-6:	Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl der Kapazitätsfälle (Linie 5, Sommer, MoFr, Ferien).....	199
Tabelle K-7:	Kontingenztabelle Kapazitätsfälle und Wetterkategorien (Linie 5, Sommer, MoFr, Schule).....	199
Tabelle K-8:	Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl der Kapazitätsfälle (Linie 5, Sommer, MoFr, Schule).....	199

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2-1:	Erforderliche und freiwillige Zwecke der Ortsveränderung	4
Abbildung 2-2:	Faktoren der Verkehrsmittelwahl	5
Abbildung 2-3:	Anteil der Nicht-Mobilen aufgrund schlechten Wetters in der Schweiz	7
Abbildung 2-4:	Verkehrsleistung und Verkehrsaufkommen nach Jahreszeit und Wetter	8
Abbildung 2-5:	Veränderung der Fahrgastzahlen in Abhängigkeit der Wetterbedingungen in 3 US-amerik. urbanen Regionen	10
Abbildung 2-6:	Modal-Split-Anteil des ÖPNV in Dresden 2018	10
Abbildung 2-7:	Anteil Freizeitwege nach Wochentag	12
Abbildung 2-8:	Mittlere Wegelänge und Wegedauern an Wochentagen in Deutschland	12
Abbildung 2-9:	Verkehrsaufkommen nach Wegezwecken und Wochentagen	13
Abbildung 2-10:	Verkehrsmittelwahl für Freizeitwege	14
Abbildung 2-11:	beförderte Personen mit dem Fahrtzweck Freizeit	14
Abbildung 2-12:	Tagesgang der ÖV-Nutzung nach Wegezwecken	15
Abbildung 2-13:	Tagesgang der Freizeitwege nach Wochentag	15
Abbildung 2-14:	Einschätzung der Wichtigkeit von Wetterbedingungen nach verschiedenen touristischen Umgebungen	16
Abbildung 2-15:	Personen (=Pixelanzahl) am Strand in Abhängigkeit vom Wetter	17
Abbildung 2-16:	Anteile Reiseentscheidung je Wetterlage	18
Abbildung 2-17:	Spontanität der Planung (links) und Wetterabhängigkeit (rechts) einer Fahrt bei Fahrgästen des Molli	19
Abbildung 2-18:	Wetterabhängige Planung der Fahrt in Abhängigkeit von der Aufenthaltsdauer	19
Abbildung 3-1:	Organisationsformen des ÖPNV in Deutschland	24
Abbildung 3-2:	Angebotsplanung im öffentlichen Personennahverkehr	26
Abbildung 3-3:	Teilaufgaben der operativen ÖPNV-Planung	27
Abbildung 3-4:	Prozessablauf in der Kapazitätsplanung	28
Abbildung 3-5:	Vereinfachte Darstellung des Zusammenspiels der Teilmodelle bei der Verkehrsnachfragemodellierung	30
Abbildung 3-6:	Veränderung der Prognosequalität durch Einbezug des Wetters für den Freitag	32
Abbildung 3-7:	Veränderung der Prognosequalität durch Einbezug des Wetters für den Samstag .	33
Abbildung 3-8:	Vergleich der tatsächlichen Besucherzahlen und den im Modell berechneten Werten	33
Abbildung 3-9:	Beispiel für fahrtgenaue Anforderungen zur Platzanzahl aus Verkehrsverträgen	38
Abbildung 3-10:	Schematische Darstellung eines beispielhaften Variantenbaumes in Planungssystemen	42
Abbildung 4-1:	Einteilung betriebswirtschaftlicher Produktionsfaktoren	46
Abbildung 4-2:	Zusammenhang aller Anpassungsformen untereinander in Bezug auf Kapazitätsanpassungen im ÖV	55
Abbildung 4-3:	Fahrzeuggesamtbedarf	69
Abbildung 4-4:	typisches Beispiel der Veränderung der Fahrzeugreserve zwischen HVZ und NVZ	70
Abbildung 5-1:	Notwendige Datengrundlage zum Ableiten von Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage und zur Ableitung wetterabhängiger Nachfrageszenarien	76
Abbildung 5-2:	Verfahren zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung	76
Abbildung 5-3:	Anteil erforderlicher Zählfahrten bei $d_r = 0,05$ ($S = 95\%$)	78
Abbildung 5-4:	Beispiel eines Streudiagramms von Fahrgastzahlen aller Fahrten aus einer Stichprobe für eine Linie	92
Abbildung 5-5:	Vorgehensweise einer statistischen Arbeitsweise	95
Abbildung 5-6:	Analysearten	96
Abbildung 5-7:	Methoden der Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Variablen	101
Abbildung 5-8:	Ablaufschema der Korrespondenzanalyse	109
Abbildung 5-9:	Beispiel für ein Biplot (eigene Darstellung)	110
Abbildung 5-10:	Ablauf für die Ermittlung von statistisch gesicherten Zusammenhängen zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen	116
Abbildung 5-11:	Ablauf der Verfahrensstufe 3 (vereinfachte Darstellung)	117
Abbildung 5-12:	Programmablaufplan für die Verfahrensstufe 3 und die darauf aufbauende Kapazitätsplanung (gestrichelt umrandeter Teil)	118
Abbildung 6-1:	Untersuchungsregion	124
Abbildung 6-2:	Streckennetz der UBB	125
Abbildung 6-3:	Einwohnerzahlen 2016 der Gemeinden entlang der UBB-Strecken	126

Abbildung 6-4:	Pendlerströme um Untersuchungsgebiet.....	127
Abbildung 6-5:	Mittlere tägliche Streckennutzung durch den Ausbildungsverkehr	127
Abbildung 6-6:	Lage von Freizeiteinrichtungen entlang der UBB-Strecken	128
Abbildung 6-7:	Übernachtungen und Gästeankünfte 2016 der Orte mit über 3.000 Ankünften sowie resultierende mittlere Übernachtungsdauer	129
Abbildung 6-8:	Mittlere tägliche Gesamtstreckenbelastung Montag – Freitag	130
Abbildung 6-9:	Anteile der Fahrtzwecke nach Streckenabschnitt und Erhebungsperiode	131
Abbildung 6-10:	Erhebungszeiträume	133
Abbildung 6-11:	Wetterstationen im Untersuchungsgebiet	134
Abbildung 6-12:	Ausschnitt aus Triebfahrzeugeinsatzplan Nr. 06/2016 der UBB (aus UBB 2016A)	135
Abbildung 6-13:	Anteile der Tage mit den einzelnen Wetterkategorien in der Stichprobe.....	137
Abbildung 6-14:	Boxplots mit Streuungs- und Lagemaßen der Stichprobendaten	139
Abbildung 6-15:	Verteilung des Fahrgastaufkommens zwischen Züssow und Świnoujście	140
Abbildung 6-16:	Mittlerer Tagesgang der betrachteten Fahrten	143
Abbildung 6-17:	Dendrogramme zur Verdeutlichung der Fusionierungsschritte der Ganglinien zu Clustern (Average Linkage-Verfahren, SPSS-Darstellung)	144
Abbildung 6-18:	Ergebnis Clusteranalyse der Ganglinien für den Betrachtungszeitraum im Anwendungsbeispiel	145
Abbildung 6-19:	Mittlere fahrtbezogene Aufkommenskategorie in Abhängigkeit von Wetterkategorie und Erhebungsperiode	146
Abbildung 6-20:	Mittlere tagesbezogene Aufkommenskategorie in Abhängigkeit von Wetterkategorie und Erhebungsperiode	147
Abbildung 6-21:	Biplots der Korrespondenzanalyse Linie 1 (Sommer).....	154
Abbildung 6-22:	Gegenüberstellung der Anteile des Fahrtzwecks Freizeit und der Assoziationsmaße (Sommer)	157
Abbildung C-1:	Taktgefüge der Streckenabschnitte 2004-2016	180
Abbildung C-2:	Weg-Zeit-Diagramm (Ausschnitt) mit schematischer Darstellung des Fahrplangefüges im Sommerfahrplan 2014 (DB 2014) im abgebildeten Zeitraum	180
Abbildung D-1:	Bevölkerungsentwicklung entlang den UBB-Strecken.....	181
Abbildung D-2:	Entwicklung der Gästeankünfte in den touristischen Orten entlang der UBB-Strecken im Untersuchungszeitraum	182
Abbildung E-1:	Verteilung des Fahrgastaufkommens nach Linie und Periode	184
Abbildung J-1:	Biplots der Korrespondenzanalyse Linie 2 (Sommer).....	195
Abbildung J-2:	Biplots der Korrespondenzanalyse Linie 3Z (Sommer)	195
Abbildung J-3:	Biplots der Korrespondenzanalyse Linie 4 (Sommer).....	196
Abbildung J-4:	Biplots der Korrespondenzanalyse Linie 5 (Sommer).....	197

BEGRIFFE UND ABKÜRZUNGEN

AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
AFZS	automatische Fahrgastzählsysteme
Aggregat	Einheit eines Produktionsfaktors
ArbZG	Arbeitszeitgesetz
AT	Aufgabenträger
Ba	Barth
Beförderungsqualität	Gesamtheit aller Qualitätsmerkmale eines Verkehrsangebotes, einschließlich des Reisekomfort und des Services
Betriebstag	Tag mit identischen Planungsregeln, repräsentiert einen bestimmten Betriebszustand an einem stellvertretenden Verkehrstag
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
DWD	Deutscher Wetterdienst
EFM	elektronisches Fahrgeldmanagement
ERegG	Eisenbahnregulierungsgesetz
euklidische Distanz	Distanzmaß zwischen zwei Punkten, im zweidimensionalen Raum entspricht die Berechnung dem Satz des Pythagoras
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
Fahrgastaufkommen	im ÖPNV beförderte Personenanzahl je Zeiteinheit
Fg	Fahrgäste
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FpersG/FPersV	Fahrpersonalgesetz/Fahrpersonalverordnung
Fz	Fahrzeug
GPS	Global Positioning System
HVZ	Hauptverkehrszeit
Kapazität	Leistungsvermögen bzw. Leistungsfähigkeit innerhalb eines Zeitabschnittes
Kapazitätsszenario	Platzangebot je Gültigkeitsszenario
KBS	Kursbuchstrecke
Nachfrage/Verkehrsnachfrage	Höhe des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung (im ÖPNV: Anzahl der Fahrgäste oder Personenkilometer)
Modal Split	Anteil eines Verkehrsmittels am Gesamtverkehrsaufkommen
MID	Mobilität in Deutschland
MIV	motorisierter Individualverkehr
MND	Mobile Network Data
Mo-Fr	Tagesgruppe Montag bis Freitag
MV	Mecklenburg-Vorpommern
N	Stichprobenumfang bzw. Fallzahl
NVZ	Nebenverkehrszeit
ÖPFV	öffentlicher Personenfernverkehr
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
ÖPV	öffentlicher Personenverkehr
ÖV	öffentlicher Verkehr
PBefG	Personenbeförderungsgesetz
Pee	Peenemünde

Platzkapazität	Platzangebot je Zeiteinheit (Sitz- und Stehplätze)
Potentialfaktor	Produktionsfaktor, der nicht schon durch eine einmalige Nutzung sondern erst durch die Zeit aufgebraucht wird
Produktionsfaktor	Faktor, der den Produktionsprozess maßgeblich mitbestimmt
S	Sommer
SaSo	Tagesgruppe Samstag und Sonntag
Schichtung	Spaltung der Nachfragedaten zur Herstellung der Vergleichbarkeit nach dafür relevanten Kriterien wie Linie, Richtung, Tagesgruppe etc.
Signifikanzniveau	Wahrscheinlichkeit, dass die zutreffende Nullhypothese fälschlicherweise verworfen wurde
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
Str	Stralsund
StrPNV	straßengebundener Personennahverkehr
Swi	Świnoujście
touristisch geprägte Region	Region, in der Tourismus eine wirtschaftlich bedeutende Rolle spielt
touristische Verkehre	Gesamtheit aller Wege, die nicht im gewohnten Arbeits- und Wohnumfeld stattfinden
TzBfG	Teilzeit- und Befristungsgesetz
UBB	Usedomer Bäderbahn
UG	Untersuchungsgebiet
V	Variationskoeffizient
VO	Verordnung
VDV	Verband deutscher Verkehrsunternehmen
VU	Verkehrsunternehmen
W	Winter
Wol	Wolgast
Zi	Zinnowitz
Zü	Züssow

Linienbezeichnungen im Anwendungsbeispiel:

1	Linie Peenemünde - Zinnowitz
2	Linie Barth - Stralsund
3	Linie Stralsund - Świnoujście
3Z	Linie Stralsund - Züssow
4	Linie Züssow - Świnoujście
5	Linie Wolgast - Świnoujście

FORMELVERZEICHNIS

Formelzeichen der berechneten Größe	Beschreibung	Formel, Seite
A_{Plan}	Anteil Kapazitätsplanfälle je Wetterkategorie	(23), S. 121
A_{gK}	Anteil Kapazitätsplanfälle 1 je Wetterkategorie	(24), S. 121
A_{hK}	Anteil Kapazitätsplanfälle 3 je Wetterkategorie	(25), S. 121
f'_{ij}	Erwartete Häufigkeiten	(13), S. 106
CC	Kontingenzkoeffizient	(15), S. 107
CC_{max}	Maximalwert des Kontingenzkoeffizienten	(16), S. 107
Cramers V	Assoziationsmaß Cramers V	(17), S. 107
$d_{Y=F(X)}$	Somers' d	(12), S. 105
FG	Freiheitsgrade	(4), S. 99
FG_{Tag}	Tagesfahrgastaufkommen	(2), S. 93
K_{Plan}	Kapazitätsplanfall	(22), S. 120
$n_{Fahrten}$	Stichprobenumfang als Fahrten/Umläufe im Erhebungszeitraum	(1), S. 78
N_T	Gesamtheit aller möglichen Paare	(7), S. 103
$P(y=1)$	Wahrscheinlichkeit, dass $y = 1$ (log. Regression)	(19), S. 111
Phi	Assoziationsmaß Phi	(14), S. 107
Pl_{erf}	erforderliches Platzangebot	(20), S. 119
p_Q	Akzeptanzgrenze für A_{Plan}	(26), S. 122
y	Schätzer der abhängigen Variable (log. Regression)	(18), S. 111
Δ_{Pl}	Differenz maximales planmäßiges Platzangebot zu Platznachfrage	(21), S. 119
ρ	Korrelationskoeffizient nach Spearman	(6), S. 102
τ_a	Konkordanzkoeffizient a nach Kendall	(9), S. 104
τ_b	Konkordanzkoeffizient b nach Kendall	(10), S. 104
τ_c	Konkordanzkoeffizient c nach Kendall	(11), S. 105
χ^2	Teststatistik	(3), S. 99
χ^2_{korr}	Yates Korrektur	(5), S. 100
γ	Goodman und Kruskals Gamma	(8), S. 104

1 MOTIVATION, ZIELSTELLUNG UND AUFBAU DER ARBEIT

Die Kapazitätsplanung im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) dimensioniert das dem Kunden zur Verfügung gestellte Platzangebot. Sie wird mit dem Ziel durchgeführt, der Nachfrage mit einem möglichst minimalen Fahrzeugeinsatz gerecht zu werden. Die Prognose der zu erwartenden Nachfrage erfolgt in der Regel unter Verwendung von Kennzahlen aus Verkehrsnachfragemodellen oder der Analyse der realisierten Nachfrage. Trotzdem kommt es in der Praxis immer wieder vor, dass die bereitgestellte Kapazität nicht der erforderlichen entspricht, also Fahrzeuge überfüllt oder fast leer unterwegs sind. Neben betrieblichen Einflüssen wie Verspätungen und Ausfall von Leistungen liegt die Ursache auch darin, dass die verwendeten Kennzahlen nur den Mittelwert des Fahrgastverhaltens abbilden. Um präziser auf mögliche Nachfrageschwankungen reagieren zu können, ist es notwendig, neben den für den Planungszeitraum standardmäßig einbezogene Einflussfaktoren wie z. B. Wochentag, Ferien, Feiertage etc. bisher wenig oder nicht berücksichtigte kurzfristig wirkende Faktoren in die Kapazitätsplanung einzubeziehen. Einer dieser Faktoren ist das Wetter.

Es ist allgemein bekannt, dass das Wetter Aktivitäten und damit Reiseentscheidungen beeinflusst. Besonders in touristisch geprägten Regionen führen die Wetterbedingungen zu merklichen Veränderungen der Verkehrsnachfrage. Diese sind oft nur kurzfristig vorhersehbar, unterliegen aber trotzdem in Abhängigkeit von den regionalen Gegebenheiten einer gewissen Systematik. In Wanderregionen beispielsweise wird bei regnerischem Wetter eher auf Ausflüge verzichtet. In Küstenregionen ist es umgekehrt. Dort verringern sich die Ausflugsaktivitäten in die Umgebung bei schönem Wetter, da mehr Zeit am Strand verbracht wird. ÖPNV-Fahrten selbst bieten sich auch als Schlechtwetter-Freizeitaktivität an. Das ist beispielsweise in Regionen zu beobachten, in denen für die ÖPNV-Fahrt keine weiteren Kosten auftreten, weil ein umlagefinanzierter Beitrag schon mit der Kurtaxe beglichen wurde (vgl. HARRER ET AL., 2016, S. 91). Dauert der Aufenthalt länger, werden aufgrund der heute mit Hilfe digitaler Medien leicht zugänglichen und auch sehr zuverlässigen kurzfristigen Wettervorhersagen¹ Ausflüge zunehmend spontaner wetterabhängig geplant und unternommen. Trotz dieser grundsätzlich bekannten Tatsachen ist häufig zu beobachten, dass in Verkehrsmitteln des öffentlichen Verkehrs das tatsächlich angebotene Platzangebot dem Wetter nicht angepasst wird. Die Gründe dafür sind vielschichtig. Zum einen erfolgt in der Kapazitätsplanung im Allgemeinen keine explizite Betrachtung der Wetterabhängigkeit der Nachfrage. Zum anderen gibt es kaum unternehmerische Anreize, die eingespielten betrieblichen Abläufe wetterabhängig zu verändern.

Die Wetteraffinität ist im Freizeit²- und Tourismusverkehr höher als bei anderen verkehrlichen Zielgruppen. In den letzten Jahrzehnten stieg im öffentlichen Personenverkehr die Anzahl der beförderten Personen mit dem Fahrtzweck Freizeit stetig an (vgl. BMVI, 2018). Diese Zielgruppe gerät deshalb zunehmend in den Fokus des ÖPNV, dessen Angebote sich bisher vielerorts vorrangig auf die Bewältigung von Ausbildungs-, Pendler- sowie weiterer alltäglicher

¹ Die Trefferquote der Vorhersagewerte für den Folgetag liegt für die Niederschlagsmengen aktuell bei über 80 %, für Temperaturen bei über 90 % mit zunehmender Tendenz (DWD, 2019c).

² Der Begriff Freizeitverkehr wird im Kapitel 2.3 erläutert.

Verkehre konzentrierten. Ein Großteil dieser Zielgruppe kann frei darüber bestimmen, welches Verkehrsmittel sie benutzt. Grundsätzlich wird daher die Sensibilität gegenüber Qualitätseinbußen im Freizeitverkehr höher eingeschätzt als die von Pendlern und Auszubildenden. Diese nutzen regelmäßig die gleichen Fahrten und haben sich auf das vorhandene Angebot eingestellt, während vor allem Fahrgäste im nichtalltäglichen Freizeitverkehr recht flexible Angebote erwarten. Unerfreuliche „Erlebnisse“ durch fehlende Rückfahrmöglichkeiten bei Wetterumschwüngen oder überfüllte Züge können sich schnell als negative ÖPNV-Erfahrungen verfestigen und werden dann auch so weiterkommuniziert (vgl. WENDT, 2016). Wenn erst einmal negative Erfahrungen, vielleicht sogar beim spontanen Ausprobieren einer Alternative zum Auto im Urlaub gemacht wurden, wird es schwierig, diese Fahrgäste von einer wiederholten Nutzung des ÖPNV zu überzeugen.

Für die Beurteilung der Attraktivität eines ÖPNV-Angebotes für den potentiellen Nutzer spielt neben weiteren räumlichen und zeitlichen Kriterien das Platzangebot eine wesentliche Rolle. Markterfolg und somit das öffentliche Image sind damit eng verknüpft. Um die Nachfragepotentiale aus dem Marktsegment Freizeitverkehr erfolgreich erschließen zu können, müssen die nachfrageseitigen Ansprüche bekannt sein und die Angebotsentwicklung muss in der Lage sein, diesen Ansprüchen gerecht zu werden. Der Fahrzeugeinsatz sollte sowohl die Ansprüche des Fahrgastes (keine überfüllten Fahrzeuge) als auch die unternehmerischen Ziele (Vermeidung unnötiger Kosten) berücksichtigen. Daher wird ein Minimum an Unter- und Überkapazitäten angestrebt. Die Dimensionierung des Platzangebotes orientiert sich jedoch in der Regel an Mittelwerten der Nachfrage an maßgebenden Querschnitten nach Zeitintervallen und einer Berücksichtigung von Qualitätsstufen (vgl. FGSV, 2010).

Obwohl allgemein bekannt ist, dass die Verkehrsnachfrage auch durch das Wetter beeinflusst wird, erfolgt bisher kaum eine explizite Berücksichtigung bei der Kapazitätsplanung. Ein Grund dafür ist, dass es nur wenige Untersuchungen und auch nur wenige konkrete Erkenntnisse zu dem Thema für den ÖPNV gibt. Folglich existieren auch keine Planungswerkzeuge, mit denen das Wetter bei der Kapazitätsplanung berücksichtigt werden kann. Ziel dieser Arbeit ist es, ein Verfahren zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung im ÖPNV³ zu entwickeln. Damit sollen wetterabhängige Kapazitätsanpassungen insbesondere in touristisch geprägten Regionen ermöglicht werden, um auf diese Weise das Angebot besser auf die Bedürfnisse der Kunden abzustimmen. Die Arbeit soll deshalb Antworten auf folgende Fragen geben:

- In welchem Umfang werden schon heute in der Kapazitätsplanung angebotsrelevante Wechselwirkungen zwischen Wetterbedingungen und der Verkehrsnachfrage im ÖPNV berücksichtigt?
- Welche Möglichkeiten der Kapazitätsanpassungen können mit den gegenwärtigen Rahmenbedingungen kurzfristig in einem Verkehrsunternehmen realisiert werden?
- Welche Daten sind erforderlich und wie können diese erfasst bzw. erhoben werden?

³ Im Fokus dieser Arbeit stehen die Planungs- und Handlungsprozesse im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Auf den öffentlichen Personenfernverkehr (ÖPFV) wird nicht eingegangen, weil er in Teilen anderen betrieblichen, rechtlichen und nachfrageseitigen Spezifikationen unterliegt.

- Mit welchen Methoden können die auftretenden Wechselwirkungen zwischen Wetter und Nachfrage im ÖPNV analysiert werden?
- Wie können wetterabhängige kapazitätsrelevante Nachfrageszenarien ermittelt werden?

Für die Beantwortung dieser Fragen erfolgt im zweiten Kapitel zunächst eine Recherche zu Aussagen aus der Literatur über Zusammenhänge zwischen Wetterbedingungen und Verkehrsnachfrage. Die wesentlichen Erkenntnisse werden abschließend zusammengefasst.

Im Kapitel 3 wird der Prozess der Kapazitätsplanung im ÖPNV analysiert und es werden Schlussfolgerungen für die Berücksichtigung wetterabhängiger Nachfrageschwankungen abgeleitet. Diese Erkenntnisse bilden eine wichtige Grundlage für die Entwicklung des Verfahrens im Kapitel 5.

Bevor die Verfahrensentwicklung erfolgt, wird in Kapitel 4 der Handlungsspielraum für eine wetterabhängige und damit kurzfristige Kapazitätsanpassung durch Verkehrsunternehmen in Deutschland bewertet. Dafür wird das breite Spektrum rechtlicher, betrieblicher und sozialer Randbedingungen hinsichtlich des Einflusses auf die kurzfristige Anpassung von kapazitätsrelevanten Produktionsfaktoren analysiert.

Im fünften Kapitel wird das Verfahren zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung entwickelt. Dabei werden die erforderlichen Verfahrensstufen abgeleitet und es wird auf die notwendigen Eingangsdaten eingegangen. Es erfolgt die Aufstellung von Hypothesen zur Aufdeckung von Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage. Für deren Überprüfung werden auf der Grundlage einer umfassenden Analyse geeignete statistische Methoden identifiziert. Schließlich wird die Methodik zur Ableitung kapazitätsrelevanter wetterabhängiger Nachfrageszenarien - auch unter Verwendung von Erkenntnissen aus dem in Kapitel 6 dargestellten Anwendungsbeispiel - entwickelt.

Anschließend wird im Kapitel 6 die Anwendung des Verfahrens am Beispiel des Bedienegebietes der Usedomer Bäderbahn demonstriert.

In Kapitel 7 werden die wesentlichen Erkenntnisse und Schlussfolgerungen aus dieser Arbeit zusammengefasst und es wird dargestellt, welche Voraussetzungen und Bedingungen geschaffen werden müssen, um zukünftig wetterabhängige Kapazitätsszenarien entwickeln und umsetzen zu können.

2 WETTERABHÄNGIGKEIT DER VERKEHRSNACHFRAGE

2.1 Verkehrsbedarf und Verkehrsnachfrage

Wenn zur Durchführung von Aktivitäten eine Ortsveränderung stattfindet, entsteht ein Verkehrsbedarf. Der Zweck der Ortsveränderung entscheidet in Abhängigkeit von den weiteren Faktoren maßgebend über die Frage, ob, wie und wann eine Ortsveränderung stattfindet. Maßgebend für die Entscheidung zur Ortsveränderung ist, ob diese erforderlich⁴ ist oder freiwillig bzw. zum Selbstzweck⁵ erfolgt.

Eine zweckmäßige Untergliederung des Zwecks der Ortsveränderung hinsichtlich dieser Fragestellung ist in Abbildung 2-1 dargestellt. Je weiter oben der Zweck in der Auflistung steht, umso höher ist der Anteil an erzwungener Mobilität. Nach unten hin nimmt dieser Anteil ab. Der Fahrtzweck ist zunehmend freiwillig. Zwischen der Freiwilligkeit und der Spontanität kann ebenfalls ein Zusammenhang hergestellt werden. Je mehr Entscheidungsfreiheit für den jeweiligen Fahrtzweck besteht, umso spontaner kann die Durchführung erfolgen oder eben auch nicht. Die Darstellung in Abbildung 2-1 wurde an KUMMER (2010), S. 45 angelehnt.

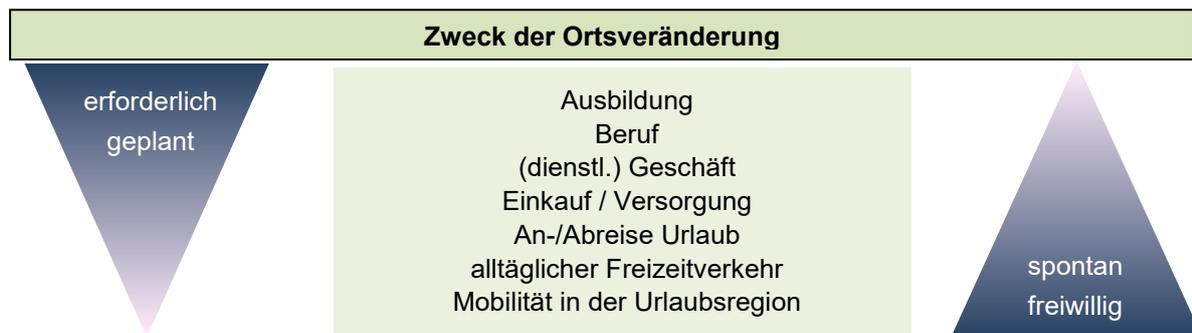


Abbildung 2-1: Erforderliche und freiwillige Zwecke der Ortsveränderung (eigene Darstellung nach KUMMER, 2010)

Der bei KUMMER nicht explizit aufgeführte nichtalltägliche Freizeitverkehrszweck An-/Abreise Urlaub wurde in die Darstellung aufgenommen, da der Zeitpunkt der An- und Abreise besonders bei länger dauernden Aufenthalten in der Regel langfristigeren Entscheidungen und Planungen zugrunde liegt als beim alltäglichen Freizeitverkehr oder bei Ortsveränderungen im Urlaub vor Ort. Alltägliche Freizeitverkehre realisieren Wege zu regelmäßigen Freizeitaktivitäten wie Sport und Kultur sowie privaten Besuchen oder Ähnlichem.

Die Verkehrsnachfrage „[...] entsteht, wenn der Verkehrsbedarf mit einem bestimmten Verkehrsmittel realisiert wird.“ (vgl. KIRCHHOFF, 2002, S. 72). Art und Maß der Verkehrsnachfrage hängen nach LOHSE UND SCHNABEL (1997) im Wesentlichen von den nachstehenden drei Kriterien ab:

⁴ Es wird dafür auch häufig die Begriffe „erzwungene Mobilität“ oder „Zwangsmobilität“ in der Literatur verwendet

⁵ Zum Selbstzweck kann beispielsweise eine Mitfahrt in einem Zug aus Hobby-Interessen erfolgen.

- soziodemografische Merkmale (wie Alter, Geschlecht, Erwerbstätigkeit, Kfz-Verfügbarkeit, Führerscheinbesitz)
- räumliche Verteilung der Flächennutzungen
- Art und Güte des Verkehrsangebotes (wie Lage, Bedienungsquantität und -qualität)

Eine differenziertere Gliederung weist die Einteilung der auf die Nachfrage wirkenden Einflussfaktoren nach FORST-LÜRKEN (2003) aus:

- soziodemografische Strukturen
- Aktivitäten und Verhaltensstrukturen
- Mobilitätsstrukturen
- Raumstrukturen
- Rahmenstrukturen des Verkehrs
- verfügbares Verkehrssystem

Schon Veränderungen in einer der genannten Strukturen können die Verkehrsnachfrage wesentlich verändern. Wetter als eigenständiges Kriterium findet sich in keiner der beiden Einteilungen wieder.

Jede Ortsveränderung wird zu Fuß oder mit einem Verkehrsmittel zurückgelegt. Bei der Verkehrsmittelwahl spielen zeitliche und monetäre Aufwände sowie die Verfügbarkeit eine große Rolle. Diese beeinflussen den Entscheidungsprozess, ob und auf welche Art und Weise ein Weg unternommen wird oder eben auch nicht. Die Wahl des Verkehrsmittels wird wesentlich durch die drei nachstehenden Faktoren beeinflusst:

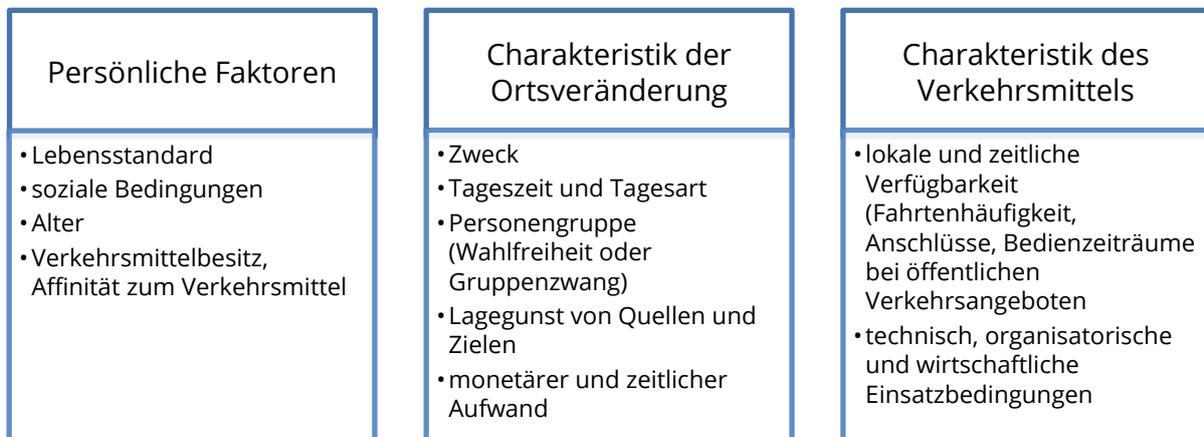


Abbildung 2-2: Faktoren der Verkehrsmittelwahl (eigene Darstellung nach LOHSE UND SCHNABEL, 1997)

Die Nachfrage eines bestimmten Verkehrsmittels bildet die Grundlage für die Dimensionierung dieses Verkehrsangebotes. Die Verkehrsmittelnutzung hängt sowohl vom Verkehrsbedarf als auch vom Verhältnis der Angebotsqualitäten aller vorhandenen Verkehrsangebote ab. (vgl. KIRCHHOFF, 2002, Kap. 4.1). Um der Nachfrage mit einer optimalen Angebotsqualität im ÖPNV entsprechen zu können, muss die lokale und temporale Nachfrage auch bestmöglich bekannt sein. Es ist deshalb notwendig, deren Entstehungsursachen zu kennen. Das Wetter kann dabei eine mehr oder weniger wichtige Rolle spielen, auch wenn es nicht unabhängig von den weiteren maßgebenden Einflüssen betrachtet werden kann. Im nächsten Kapitel wird daher

zunächst der Stand der Forschung zu Aspekten der Wetterabhängigkeit der Nachfrage dargestellt.

2.2 Wetterabhängigkeit der Verkehrsnachfrage

Es gibt an sich sehr viele Untersuchungen, welche sich mit den Auswirkungen des Wetters auf den Straßenverkehr beschäftigen. Darin werden neben Einflüssen der Verkehrsnachfrage zu meist Aspekte der Verkehrssicherheit und Zusammenhänge zwischen Verkehrsfluss und Kapazität auf Straßen untersucht. MAZE ET AL. (2005) arbeiten beispielsweise heraus, dass Regen oder Schnee und die dadurch veränderten Sichtverhältnisse einen größeren Einfluss auf die Straßenkapazität haben als Lufttemperatur und Wind. Eine Vielzahl von Publikationen widmet sich der Bedeutung der grundsätzlichen Klimaverhältnisse für die Wahl des Reisezieles sowie den Zusammenhängen und Auswirkungen der globalen Klimaveränderungen auf die Tourismusbranche. Von Interesse für diese Arbeit sind jedoch Aussagen zum Mobilitätsverhalten im Zusammenhang mit Wettereinflüssen, vor allem in touristisch geprägten Regionen, um Verhaltensmuster innerhalb einer abgegrenzten Zeitspanne im Hinblick auf die begrenzte Aufenthaltsdauer von Touristen im Urlaubsgebiet ableiten zu können. Es gibt aber an sich wenige Beiträge in der Literatur, welche sich explizit mit Einflussfaktoren auf die spontane touristische Mobilität⁶ auseinandersetzen. In der Regel steht mehr die Alltagsmobilität und weniger der Freizeitverkehr im Fokus von Primärerhebungen zum Mobilitätsverhalten. Das ist zum Beispiel auch in Analysen zur Mobilität in Deutschland so (z. B. INFAS/DLR, 2010A), daher liegt wenig Wissen zur wetterabhängigen Verkehrsnachfrage in touristisch geprägten Regionen vor. Diese Tatsache wird auch in FREYER ET AL. (2008), S. 207, festgestellt: „*Explizite Veröffentlichungen zu den Themenbereichen Mobilitätsverhalten von Touristen am Aufenthaltsort und der Erhebung von Daten ihres Mobilitätsverhaltens [...] wurden keine gefunden*“. Zu demselben Schluss kommen HARRER ET AL. (2016, S. 28) bei ihrer Literaturrecherche: „*Primärerhebungen zum Mobilitätsverhalten sind relativ selten [...]*“, wobei sich diese Feststellung auf Angaben zum touristischen Mobilitätsverhalten bezieht. WEGELIN ET AL. (2017) stellen fest, dass „*[...] relativ wenig empirisch fundiertes Wissen über den genauen Zusammenhang von Wetter und Reiseverhalten im Freizeitbereich [...]*“ existiert. Es konnten trotzdem einige für die Thematik relevante Veröffentlichungen ausgemacht werden, die im Folgenden vorgestellt werden.

Bestimmte Wetterbedingungen, insbesondere Kälte bzw. Wintereinbrüche können an sich zur Vermeidung von Wegen führen. Diese Aussage wird in FREYER ET AL. (2008) anhand der Auswertung einer Befragung von Touristen im Harz untermauert. In dieser Untersuchung werden die Unterschiede zwischen Sommer und Winter herausgestellt, es wird jedoch keine Aussage zu optimalen Wetterbedingungen im Hinblick auf touristische Aktivitäten innerhalb einer Saison getroffen.

Bei Analysen zum Verkehrsverhalten in der Schweiz wurde schlechtes Wetter von 12 Prozent aller dazu befragten Personen als Grund angegeben, nicht mobil zu sein (vgl. SCHWEIZER

⁶ Im Sinne dieser Arbeit wird die „*[...] Befriedigung von Bedürfnissen durch Raumveränderung [...]*“ nach BECKER ET AL. (1999), S. 71 als „Mobilität“ bezeichnet.

BUNDESAMT FÜR STATISTIK, 1996). Dabei gibt es jedoch saisonale und tägliche Unterschiede. Im Frühling scheint der Einfluss des Wetters auf die Mobilität eine weitaus größere Rolle zu spielen als im Sommer (vgl. Abbildung 2-3, linkes Diagramm). Der Gesamtanteil der nicht-mobilen Personen blieb mit 22 Prozent jedoch zu allen Jahreszeiten gleich. Es wurden nur saisonal andere Gründe wie Krankheit, Hausarbeit oder Wetter für das Zuhausebleiben angegeben.

Dass die Wetterbedingungen das Mobilitätsverhalten stärker zu Zeiten von Freizeitaktivitäten beeinflussen, ist deutlich bei der täglichen Differenzierung erkennbar (vgl. Abbildung 2-3, rechtes Diagramm). Der Sonntag sticht hier klar heraus. Der hohe Anteil am Mittwoch erklärt sich durch die Tatsache, dass die Daten aus der Schweiz stammen, wo Schüler in der Regel mittwochs einen freien Nachmittag haben.

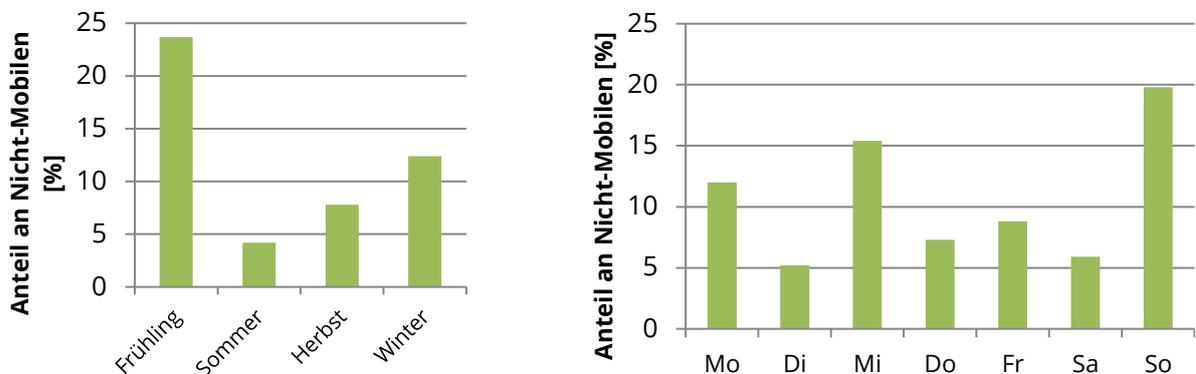


Abbildung 2-3: Anteil der Nicht-Mobilen aufgrund schlechten Wetters in der Schweiz (eigene Darstellung nach SCHWEIZER BUNDESAMT FÜR STATISTIK, 1996, S. 77)

In einer neueren Analyse zum Mobilitätsverhalten in der Schweiz wird der Einfluss von Wetterbedingungen dahingehend erwähnt, dass als Grund für Nicht-Mobilität am Stichtag das Wetter mit am häufigsten genannt wird (vgl. SCHWEIZER BUNDESAMT FÜR RAUMENTWICKLUNG, 2012).

In Deutschland werden regelmäßig Haushaltsbefragungen zum alltäglichen Verkehrsverhalten durchgeführt. Im Rahmen dieser Analysen (Mobilität in Deutschland - MID) wurden zwar bisher keine statistischen Kenngrößen zu Wetter und Verkehrsmittelnutzung erhoben, die befragten Personen wurden jedoch auch „[...] nach ihrer subjektiven Einschätzung der Wetterverhältnisse am Stichtag befragt“. Dabei zeigte „[...] sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen Mobilität und Einschätzung der Wetterlage [...]“ (INFAS/DLR, 2010A). Die im Rahmen der Befragung ermittelten wetterabhängigen täglichen Verkehrsleistungen sind in Abbildung 2-4 dargestellt. Die Zahlen untermauern die bereits getroffene Feststellung, dass vor allem Regen und Schnee zu einem Rückgang der Mobilität führen.

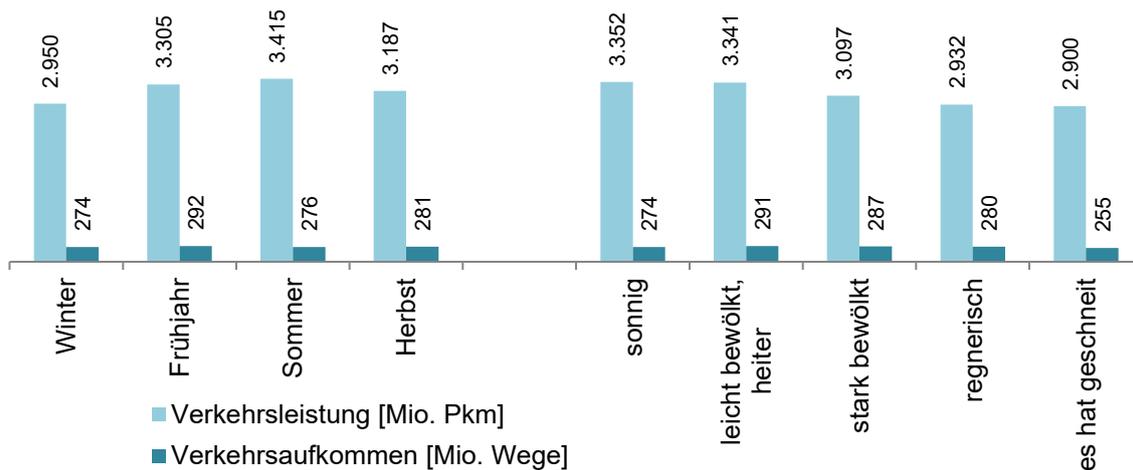


Abbildung 2-4: Verkehrsleistung und Verkehrsaufkommen nach Jahreszeit und Wetter (eigene Darstellung nach INFAS/DLR, 2010A, S. 146)

Im Jahr 2014 wurden Wirkungszusammenhänge zwischen Wetter und Verkehr im Rahmen des Projektes „WOLKE – Wetterabhängige Kalibrierung von Verkehrsmodellen für eine optimierte Verkehrssteuerung“ untersucht (vgl. SCHEDLER UND SCHRÖDER, 2014). Dabei stand neben den Schwerpunktthemen Verkehrsfluss und Verkehrssicherheit auch die Verkehrsnachfrage auf der Straße im Fokus. Untersuchungsstrecke war dafür ein Autobahnteilnetz in Oberbayern zwischen München und Salzburg bzw. Kufstein. Es wurde festgestellt, dass neben dem Grundverkehrsaufkommen der Jahreszyklus, die Lage der Schulferien und auch das Wetter Einfluss auf das Verkehrsaufkommen haben. Hierbei wurde als interessanter Aspekt ermittelt, dass das Wetter ausschließlich einen messbaren Einfluss auf das Verkehrsaufkommen einheimischer Fahrzeuge hatte, deren Anteil am Gesamtaufkommen jedoch recht niedrig war. Am Sonntag lag dieser beispielsweise nur bei 5 Prozent. Sehr gutes Wetter führte demzufolge zu einer sehr geringen Erhöhung und schlechtes Wetter zu einer sehr geringen Verringerung des Tagesverkehrsaufkommens. Die Intensität der Veränderung war vom Wochentag und von der räumlichen Lage des betrachteten Querschnittes abhängig. So waren die Veränderungen am Sonntag sowohl bei gutem als auch bei schlechtem Wetter am höchsten. In der Wochenmitte hatte nur schlechtes Wetter messbare Auswirkungen, gutes Wetter steigerte das Verkehrsaufkommen an diesen Tagen dagegen nicht. Ob es typische Verkehrstage neben dem Sonntag gibt, welche durch bestimmte Wetterlagen systematisch beeinflusst werden, konnte nicht eindeutig festgestellt werden. Um die Anzahl der Wege differenziert nach Wetter und Wochentagen auszuwerten, wurden deshalb im Rahmen des Projektes Daten aus INFAS/DLR (2010A) herangezogen. Die Auswertung zeigt, dass vor allem die Freizeitwege am Wochenende (Freitag, Samstag und Sonntag) bei sehr gutem Wetter zunehmen (vgl. SCHEDLER UND SCHRÖDER, 2014).

LIU ET AL. (2014) kombinierten Daten zum Reiseverhalten mit Wetterdaten für Untersuchungen zum Mobilitätsverhalten in verschiedene schwedische Regionen. Dabei wurde ein leichter Zusammenhang zwischen den Freizeitwegedauern und den Wetterverhältnissen festgestellt, dessen Ausprägung jedoch regional unterschiedlich ausfiel. Die Untersuchungen schlossen Berufspendler aus, da davon ausgegangen wurde, dass deren Mobilität weniger vom Wetter als von anderen Einflüssen abhängt.

Aussagen zur wetterabhängigen Verkehrsmittelwahl und insbesondere zur Nutzung von ÖV-Angeboten lassen diese Erkenntnisse noch nicht zu. Darüber sollen die folgenden Recherchen Auskunft geben.

Untersuchungen zu Einflüssen von Wetterveränderungen auf Reisegewohnheiten in der Stadt Bergen in Norwegen durch AAHEIM UND HAUGE (2005) zeigen auf, dass in dieser Region, welche durch schnelle und extreme Wetterwechsel geprägt ist, die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel mit sinkenden Temperaturen und steigender täglicher Niederschlagsmenge leicht zunimmt. Mit zunehmender Niederschlagsmenge wurde auch eine Abnahme der Reiseweite sowohl für Arbeits-, Freizeit- als auch Versorgungszwecke registriert. Bei steigenden Temperaturen erhöht sich zwar die Reiseweite für Arbeits- und Freizeitwecke, für die Versorgung werden dagegen geringere Wege zurückgelegt. Die Ergebnisse der Studie in Bergen wurden anhand weiterer Städte und Regionen in Norwegen verifiziert. Allerdings wurden Ferien- und Wochenendverkehre nicht betrachtet.

KHATTAK ET AL. (1997) untersuchte die Wahl des Verkehrsmittels unter verschiedenen Umständen bei Berufspendlern in Brüssel. Es wird herausgearbeitet, dass der saisonale Wechsel der Wetterverhältnisse zwischen Sommer und Winter die Wahl des Verkehrsmittels nur gering beeinflusst. Die Nutzung von Wettervorhersagen hat allerdings einen kleinen messbaren Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit, das Verkehrsmittel zu wechseln, wobei die Stichprobe nur Autonutzer enthielt und an sich sehr klein war. Eher als der Wechsel zu einem anderen Verkehrsmittel wird jedoch die Abfahrtszeit aufgrund von Wettervorhersagen verlagert. Zu ähnlichen Schlüssen gelangen die Untersuchungen von BOLBOL ET AL. (2012) zu Wirkungen des Wetters auf die Reisezeiten und -weiten anhand von kamera-basierten Fahrzeugkennzeichenauswertungen in der Region London.

Eine Studie aus den Vereinigten Staaten untersuchte Zusammenhänge zwischen dem Fahrgastaufkommen in drei S-Bahn-ähnlichen Verkehrssystemen und den Wetterbedingungen in den Großstädten New York, Chicago und San Francisco (vgl. KALKSTEIN ET AL., 2009). Ein leichter Rückgang der Fahrgastzahlen war dabei insbesondere an feuchten und kalten Tagen am Wochenende zu beobachten, wohingegen schlechte Wetterverhältnisse unter der Woche zu einer gering höheren Frequentierung der Züge führten (vgl. Abbildung 2-5). Diese Studie bezog sich auf Städte mit stark ausgeprägten ÖPNV-Angeboten. Menschen, die in der Regel zu Fuß oder mit dem Rad unterwegs sind, bot sich somit die Möglichkeit, die Verkehrsmittelnutzung den Wetterverhältnissen anzupassen.

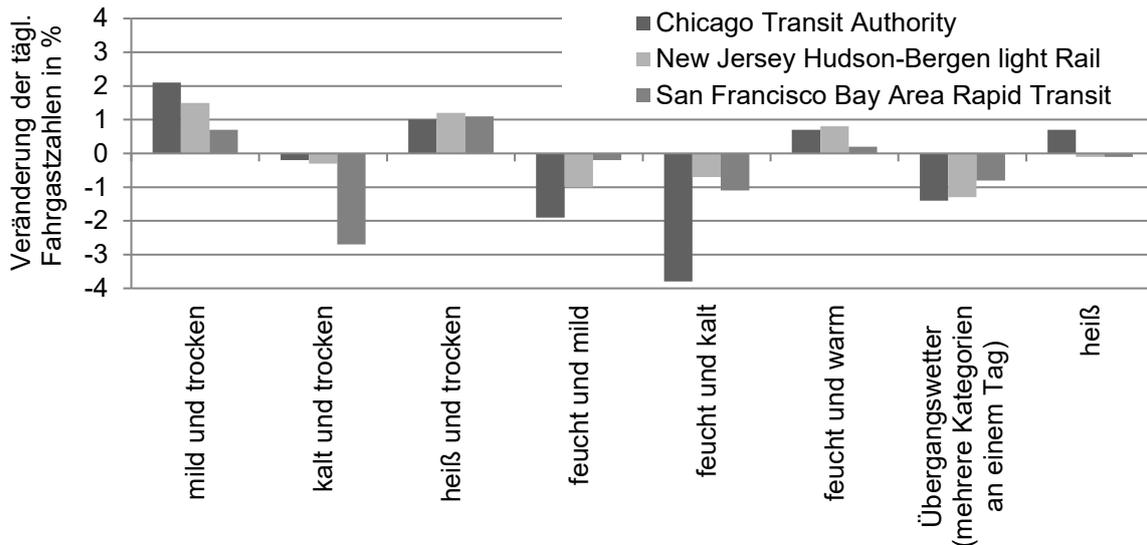


Abbildung 2-5: Veränderung der Fahrgastzahlen in Abhängigkeit der Wetterbedingungen in 3 US-amerik. urbanen Regionen (eigene Darstellung nach KALKSTEIN ET AL. (2009), S. 203, Fig. 2.)

Ergebnisse aus Untersuchungen zur Mobilität in Dresden (vgl. RÜDE ET AL., 2018) zeigen auf, dass der Modal-Split-Anteil des ÖPNV bei sehr schlechtem Wetter deutlich ansteigt, andere Wetterverhältnisse jedoch keine nennenswerten Anteilsveränderungen generieren (vgl. Abbildung 2-6).

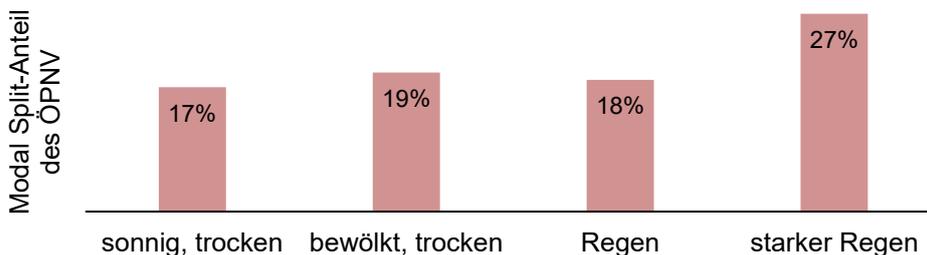


Abbildung 2-6: Modal-Split-Anteil des ÖPNV in Dresden 2018 (nach RÜDE ET AL., 2018)

Dass eine wetterabhängige ÖPNV-Nachfrage auch durch den Wechsel von oder zu einem anderen wetteraffineren Verkehrsmittel entstehen, zeigen u. a. die Untersuchungen von MÜLLER (2016). In diesen wurden Buchungszahlen von Car-Sharing-Systemen in München und Berlin in Bezug auf statistisch belegbare Zusammenhänge zwischen Wetter und Nachfrage analysiert. Es konnten für schlechtes Wetter - vor allem in den Nachtstunden - geringe Veränderungen gegenüber schönem Wetter belegt werden. Für Unterschiede am Tage konnten aus den erfassten Daten keine auf das Wetter zurückzuführenden Erklärungen gefunden werden. Die Ursachen dafür konnten aufgrund der Datenlage nicht vollständig geklärt und verifiziert werden. Es wird vermutet, dass auch die Dauer der Schlechtwetterperiode und die tageszeitliche Lage des schlechten Wetters eine Rolle spielen.

Dass Wetterwechsel die Buchungsnachfrage weniger in den Morgenstunden, sondern eher in der zweiten Tageshälfte beeinflussen, wird in den Untersuchungen von SCHMÖLLER ET AL. (2015) herausgearbeitet. Die Wirkung von Wetteränderungen auf Fahrradnutzung und Bike-sharingnachfrage fällt dagegen deutlich aus. Regen, Kälte, Hitze und Dunkelheit verringern

die Nutzung, wie GEBHART UND NOLAND (2013) nachweisen konnten. REISS (2017) zeigte auf, dass nicht so sehr Temperatur und Wind, sondern der Niederschlag zu einer deutlichen Verringerung der Buchungszahlen von Bikesharing-Systemen in München führte. Dieser Effekt war bis zu etwa drei Stunden nach einem Regenereignis messbar. Dass Fußgänger und Radfahrer besonders sensibel auf veränderte Wetterbedingungen reagieren zeigt SANEINEJAD (2010) in Untersuchungen für Toronto auf. Die Radnutzung verringerte sich dort allerdings erst bei Temperaturen unter 15 °C, wohingegen bei Fußgängern sogar erst ein Rückgang bei Temperaturen unter 5 °C eintrat, allerdings mit deutlich geringerer Ausprägung als bei den Radfahrern. Wind und Niederschläge beeinflussen den Radverkehr negativer als den Fußverkehr (vgl. SANEINEJAD, 2010).

Als wesentliche Erkenntnis der bisherigen Untersuchungen kann herausgearbeitet werden, dass der Wettereinfluss auf die Verkehrsnachfrage für Freizeit Zwecke höher als bei anderen Reisezwecken ist. Freizeit Zwecke unterliegen auch der größten Zeitflexibilität im Vergleich zu anderen Zwecken (vgl. Kittler, 2010). In Bezug auf die in Kapitel 1 formulierten Forschungsfragen wird daher vermutet, dass die wetterbedingten Einflüsse mit dem Anteil der freizeitbedingten Nutzung eines Verkehrsmittels zunehmen. In den nächsten beiden Kapiteln werden deshalb die Verkehrsnachfrage durch den Freizeitverkehr und die Wetterabhängigkeit von Freizeitaktivitäten beleuchtet.

2.3 Verkehrsnachfrage durch den Freizeitverkehr

Der Freizeitverkehr umfasst alle Fahrten oder Wege im Personenverkehr, die nicht dem Berufs-, Ausbildungs-, Geschäfts- und Dienstreise-, Einkaufs- oder Begleitverkehr zuzuordnen sind (vgl. DIW, 2011). Der Begriff schließt sowohl den regelmäßigen alltäglichen Freizeitverkehr in der Umgebung des Wohnortes als auch den nichtalltäglichen Freizeitverkehr ein. Dazu zählen Tagesausflüge und Urlaubsreisen unterschiedlicher Dauer sowie die Mobilität in der Urlaubsregion. Touristische Verkehre⁷ werden demnach in den nichtalltäglichen Freizeitverkehr eingeordnet. (vgl. FREYER, 2015, Abschn. 2.2)

Im Mittel beträgt der Anteil der Freizeitwege des alltäglichen Freizeitverkehrs am Wegeaufkommen 28 Prozent, an der Verkehrsleistung beträgt der Anteil 34 Prozent (INFAS/DLR 2017A). Diese Anteile unterschieden sich nach Raumtyp⁸ kaum. Größere Differenzen sind nach Altersgruppen und bei Erwachsenen auch nach Geschlecht festzustellen. Erhebliche Unterschiede gibt es erwartungsgemäß zwischen den Arbeitstagen (Montag bis Freitag) und den Wochentagen (vgl. Abbildung 2-7).

⁷ Die Bewegung außerhalb des üblichen Arbeits- und Wohnumfeldes ist begriffsbestimmend für touristische Verkehre (vgl. Freyer, 2015).

⁸ Z. B. Metropole, städtisch, ländlich.

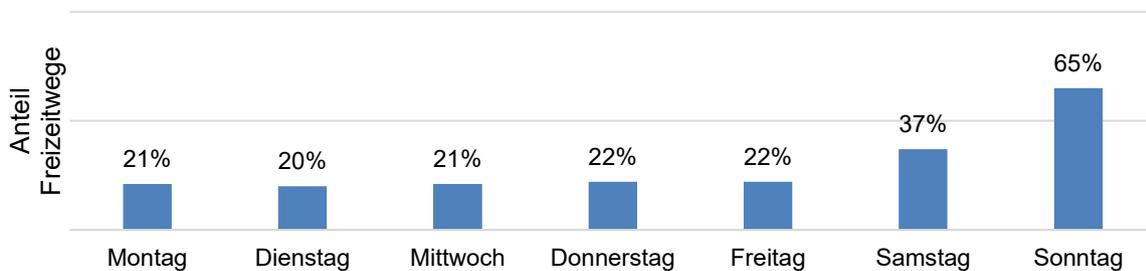


Abbildung 2-7: Anteil Freizeitwege nach Wochentag (eigene Darstellung nach INFAS/DLR (2018), Tabelle B W2, S.209)

Während der Anteil an Freizeitwegen Montag bis Freitag zwischen 20 Prozent und 22 Prozent marginal schwankt, erhöht sich dieser am Wochenende deutlich. Der Maximalwert wird, wie zu erwarten, am Sonntag erreicht.

Dass sich die Anzahl der Freizeitwege an Samstagen und Sonntagen gegenüber den übrigen Wochentagen erhöht, wird an mehreren Stellen festgestellt. Meist wird dabei nur zwischen den Tagesgruppen Montag-Freitag, Samstag und Sonntag differenziert, ohne eine Einzelbetrachtung der Tage zwischen Montag und Freitag. So geschehen beispielsweise bei der Veröffentlichung der Ergebnisse des schweizerischen Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 (SCHWEIZER BUNDESAMT FÜR RAUMENTWICKLUNG, 2012). Das deutsche Pendant MID differenziert bei der Darstellung von Wegezwecken, -längen und -dauern nach jedem einzelnen Wochentag (INFAS/DLR, 2010A). In beiden Ländern sind sowohl die mittlere Wegedauer als auch die zurückgelegte Distanz am Wochenende höher als unter der Woche, am Sonntag sind diese am höchsten. In Abbildung 2-8 ist deutlich zu erkennen, dass sich zwar die Mobilität am Wochenende verringert, Wegelängen und Dauern jedoch vor allem am Sonntag signifikant zunehmen, wohingegen am Samstag diese Zunahme moderat gegenüber den Tagen davor ausfällt.

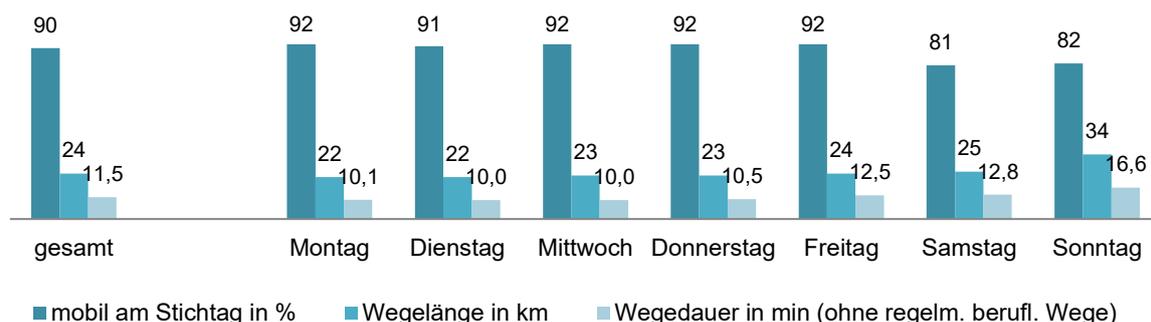


Abbildung 2-8: Mittlere Wegelänge und Wegedauern an Wochentagen in Deutschland (eigene Darstellung nach INFAS/DLR (2010A), S. 142)

Der Wegezweck „Freizeit“ nimmt dabei den größten Anteil in Bezug auf die Höhe der zurückgelegten Personenkilometer ein, dicht dahinter liegt der Wegezweck „Einkaufen“. Abbildung 2-9 fasst die zweckbezogene Verkehrsleistung nach Wochentagen und Wegezwecken in Deutschland zusammen.

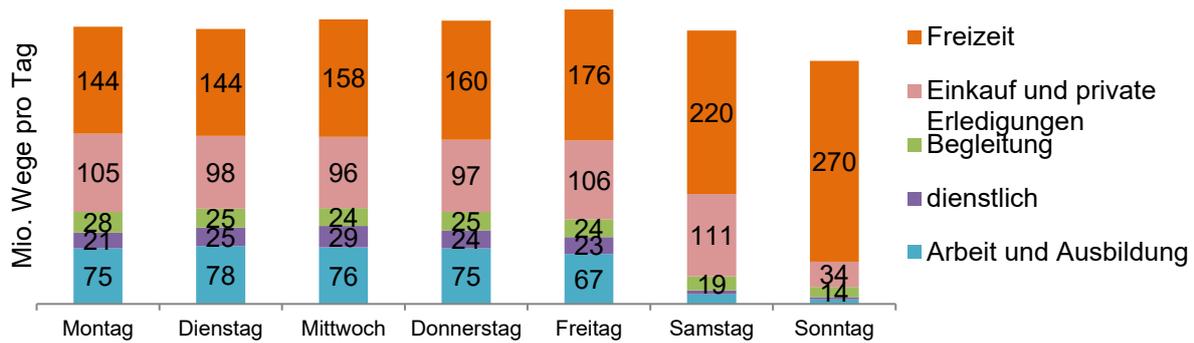


Abbildung 2-9: Verkehrsaufkommen nach Wegezwecken und Wochentagen (eigene Darstellung nach INFAS/DLR (2010A), S. 143)

Es zeigt sich, dass die Verkehrsleistung absolut zwar am Wochenende geringer wird, zum Zwecke der Freizeit jedoch ansteigt.

Um die meist subjektiven Gründe für die Freizeitmobilität besser zu ergründen, wurden 2002 im Rahmen des Verbundprojektes ALERT (Alltags- und Erlebnisfreizeit) Haushaltsbefragungen und Befragungen am Ort der Aktivität in verschiedenen Beispielregionen Deutschlands durchgeführt. Es wird herausgearbeitet, dass Art und Umfang der Planung von Freizeitmobilität nach Aktivitätsart und Personengruppen differieren. Dies trifft auch auf die Spontaneität der Aktivitäten zu. Bei der Bewertung, ob der Ausflug in der Region als spontan oder geplant einzustufen ist, dominierte die Spontaneität vor allen bei Badeausflügen (88 %), Radtouren (70 %) und Spaziergängen (67 %). (vgl. FASTENMEIER, 2003)

Mit welchem Verkehrsmittel tatsächlich in einer bestimmten Region Freizeitwege durchgeführt werden, hängt sowohl stark vom vorhandenen Verkehrsangebot sowie auch den persönlichen Neigungen der Nutzer ab (vgl. RÜGER, 2006). RÜGER arbeitet insbesondere heraus, dass mit zunehmender ÖPNV-Affinität im Alltag die Bereitschaft zunimmt, diesen im Urlaub auch zu nutzen. PKW-Verfügbarkeit und Mobilitätsgewohnheiten im Alltag beeinflussen somit die Freizeitmobilität. Bei längeren Urlaubsreisen nennt RÜGER (2006) folgende Entscheidungskriterien für die Wahl des Verkehrsmittels:

- Gepäckmitnahme,
- Mobilität am Urlaubsort,
- Reisezeit,
- Umstiege, Komfort,
- Fahrpreis.

Voraussetzung für eine Nutzung öffentlicher Verkehrsangebote ist jedoch ein entsprechend attraktives Angebot sowohl für die Anreise, als auch für die Vor-Ort-Mobilität. Dieses muss zielgruppenorientiert zur Verfügung stehen. RÜGER (2006) erläutert auch, dass im Winterreiseverkehr das Auto oft nur als Anreiseverkehrsmittel genutzt wird, für die Mobilität vor Ort aber häufig nicht in so hohem Maße wie im Sommer eingesetzt wird. Das wird in der geringeren Vor-Ort-Mobilität in Winterurlaubsregionen begründet. Der klassische Sommerurlauber möchte dagegen am Urlaubsziel nachweisbar mobiler sein und auch weiter entfernte Ausflüge unternehmen.

Freizeitwege werden im Mittel in Deutschland zum größten Teil mit dem PKW oder zu Fuß zurückgelegt. Lediglich 8 Prozent benutzen dafür den ÖPNV. Der öffentliche Personenfernverkehr (ÖPFV) spielt mit einem Prozent sogar eine noch deutlich geringere Rolle (vgl. Abbildung 2-10).

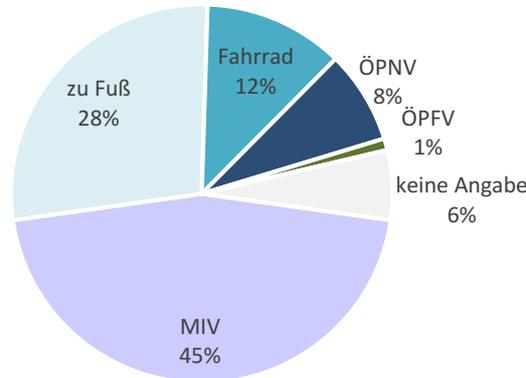


Abbildung 2-10: Verkehrsmittelwahl für Freizeitwege (eigene Darstellung nach INFAS/DLR 2017B):)

Der Anteil an Freizeitwegen, die mit dem ÖPNV durchgeführt werden, unterliegt regionalen Schwankungen. Er liegt beispielsweise in Dresden mit knapp 20 Prozent deutlich über dem bundesdeutschen Durchschnitt von 8 Prozent (vgl. BECKER UND RICHTER, 2018, Abbildung 9).

Die absolute Nachfrage im ÖV aus dem Marktsegment des Freizeit⁹- und Urlaubsverkehrs ist in den letzten Jahren in Deutschland stetig angestiegen (vgl. Abbildung 2-11). Damit steigt auch die Anzahl jener Fahrgäste, welche sich spontan für die Nutzung des öffentlichen Verkehrs entscheiden. Diese Spontaneität erfordert für die Kapazitätsbereitstellung ein kurzfristiges Reagieren auf die damit verbundenen Nachfrageschwankungen.

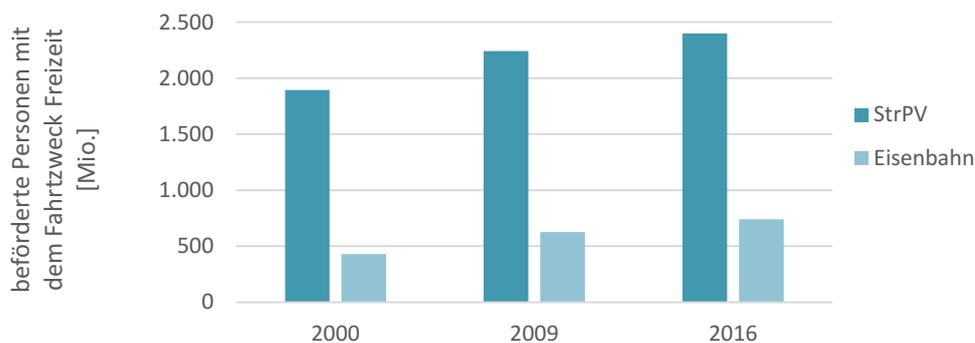


Abbildung 2-11: beförderte Personen mit dem Fahrtzweck Freizeit (nach BMVI 2018, Anhang B5)

Der Tagesgang der Freizeitwege im ÖV unterscheidet sich stark von dem des alltäglichen Verkehrs. Während dieser besonders in den Vormittagsstunden starke Spitzen erzeugt, beginnt die Nachfrage zu Freizeitzielen deutlich später (vgl. Abbildung 2-12).

⁹ Als Freizeitverkehre werden in dieser Arbeit in Anlehnung an HAMANN (1998) alle „[...] Ortsveränderungen [...] zum Zwecke der Freizeitgestaltung [...]“, einschließlich der An- und Abreise betrachtet.

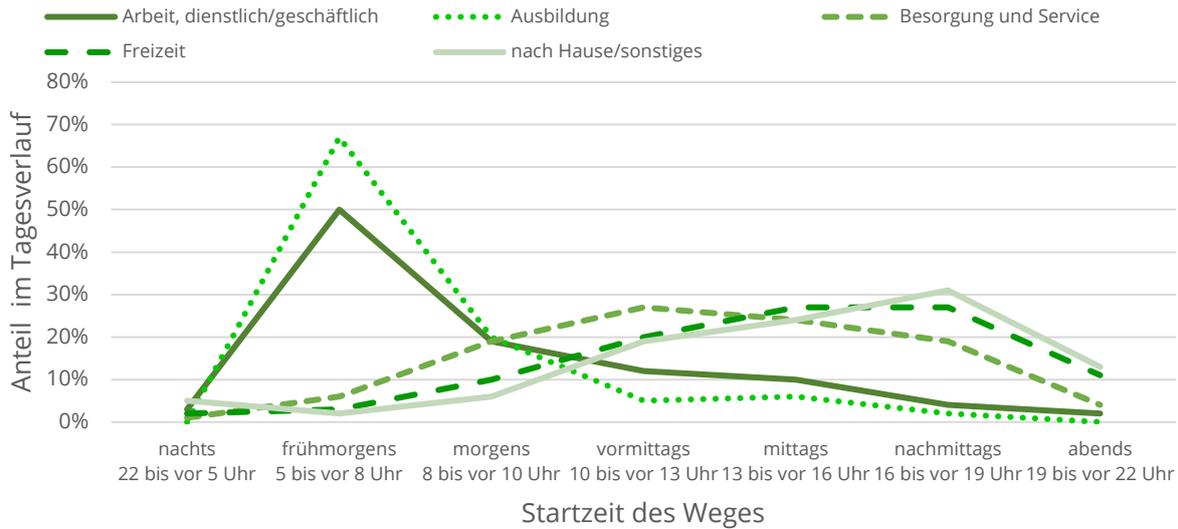


Abbildung 2-12: Tagesgang der ÖV-Nutzung nach Wegezwecken (eigene Darstellung nach INFAS/DLR, 2017B)

Freizeitwege beginnen vor allem in der Woche zumeist erst nach dem Mittag (vgl. Abbildung 2-13). An Sonntagen verlagert sich deren Beginn jedoch deutlich nach vorne.

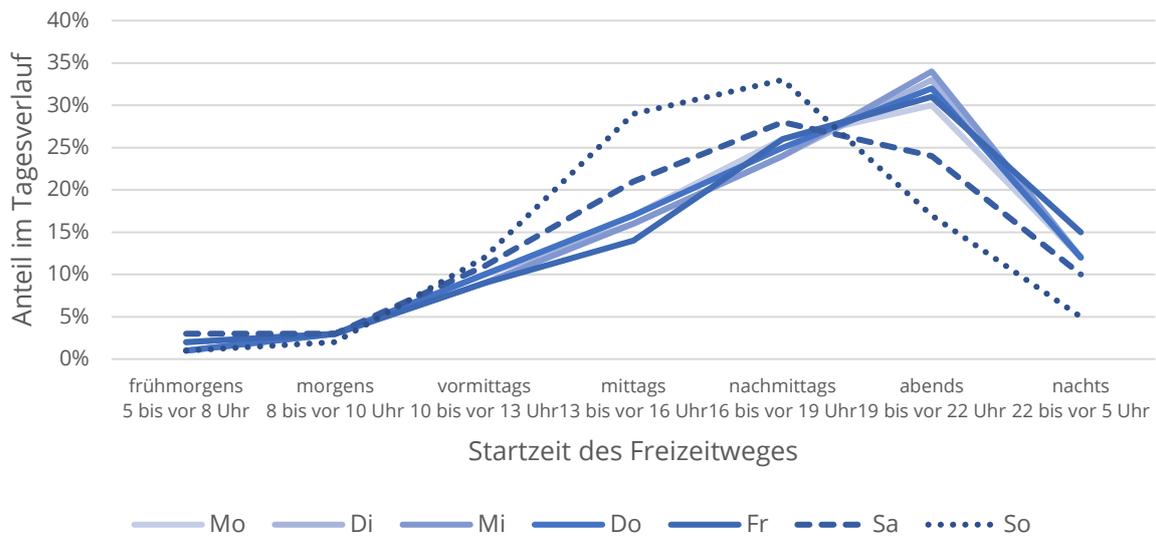


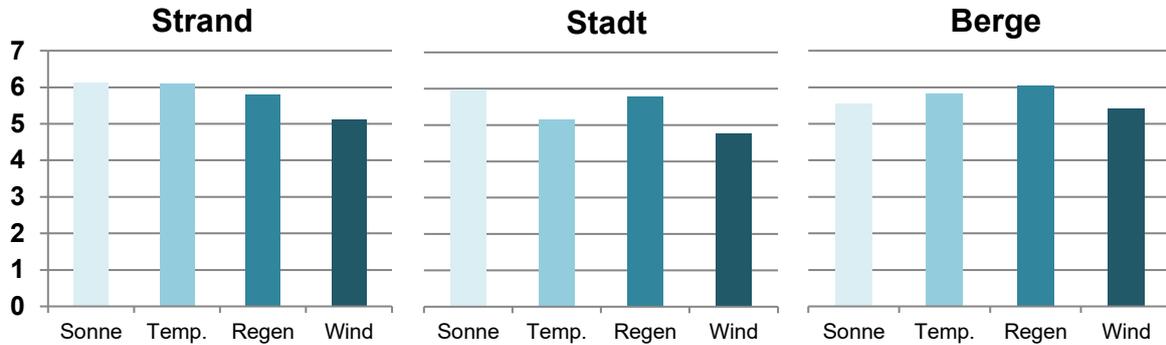
Abbildung 2-13: Tagesgang der Freizeitwege nach Wochentag (eigene Darstellung nach INFAS/DLR, 2017B)

Somit kann eingeschätzt werden, dass ein Großteil der Freizeitwege abgesehen von der Nachmittagshauptverkehrszeit verstärkt in Schwachlastzeiten durchgeführt werden. Aus diesem Grund sind wetterabhängige Schwankungen auch eher dann zu erwarten.

2.4 Wetterabhängigkeit von Freizeitaktivitäten

Welche Wetterbedingungen als optimal für touristische Aktivitäten angesehen werden, untersuchten SCOTT ET AL. (2007) in einer Befragung von Studenten in Canada, Neuseeland und Schweden für die drei Tourismusumgebungen „Strand“, „Stadt“ und „Berge“. Nachstehende

Abbildung zeigt die Einschätzung der Wichtigkeit verschiedener Wetterkriterien in den genannten Umgebungen¹⁰. Während am Strand Sonnenschein und angenehme Temperaturen den höchsten Stellenwert haben, wird die Temperatur für das Umfeld Stadt nicht ganz so wichtig eingeschätzt. In den Bergen sind dagegen beispielsweise der Sonnenschein und angenehme Temperaturen von geringerer Priorität, als das Bedürfnis nach trockenem Wetter („kein Regen“).



Erläuterung der Kriterien: Sonne = „Sonnenschein“ Temp. = „angenehme Temperatur“
 Regen = „kein Regen“ Wind = „kein starker Wind“

Abbildung 2-14: Einschätzung der Wichtigkeit von Wetterbedingungen nach verschiedenen touristischen Umgebungen (eigene Darstellung nach SCOTT ET AL. (2007), S. 22, Tabelle 4)

Neben der Beurteilung der Wichtigkeit von Wetterkriterien werden in der Studie konkrete bevorzugte Bedingungen in Bezug auf Temperatur-, Bewölkungs- und Windverhältnisse herausgearbeitet. Welche Wetterbedingungen für die jeweilige Umgebung als ideal angesehen wurden, zeigt Tabelle 2-1.

Tabelle 2-1: Ideale Wetterbedingungen in verschiedenen Tourismusumgebungen (eigene Darstellung nach SCOTT ET AL., 2007)

Umgebung	bevorzugte Temperatur	Bewölkung					Windgeschwindigkeit			
		keine	leicht	mittel	stark	be-deckt	kein Wind	leichte Brise	moderat	stark
Strand	25-28 °C	41%	54%	4%	<1 %	<1 %	7%	87%	6%	<1%
Stadt	19-26 °C	12%	54%	31%	1%	<1 %	10%	78%	12%	<1%
Gebirge	19-22 °C	23%	57%	18%	3%	<1 %	18%	68%	14%	<1%

Das Ausmaß touristischer Nutzung am Strand und in den angrenzenden Räumen, einschließlich der Wetterabhängigkeit von Strand- und Wanderwegfrequentierung untersuchte KAMMLER (2003) für die Ostseeregion zwischen Warnemünde und Kühlungsborn. Die Strandfrequentierung wurde mithilfe von Webcams erfasst, die Frequentierung der Wanderwege anhand von Zählungen. Dass der Strandbesuch naturgemäß einer hohen Wetterabhängigkeit unterliegt, wurde durch diese Untersuchungen bestätigt. Bei sehr gutem Wetter hielten sich deutlich mehr Personen am Strand auf, als bei den anderen betrachteten Wetterzuständen

¹⁰ Mittelwerte auf einer Skala von 1 bis 7.

(vgl. Abbildung 2-15). Sehr gutes Wetter beinhaltet in den Untersuchungen Strandwetter ab 23 °C, mäßiges Wetter dagegen Regen oder viel Bewölkung.

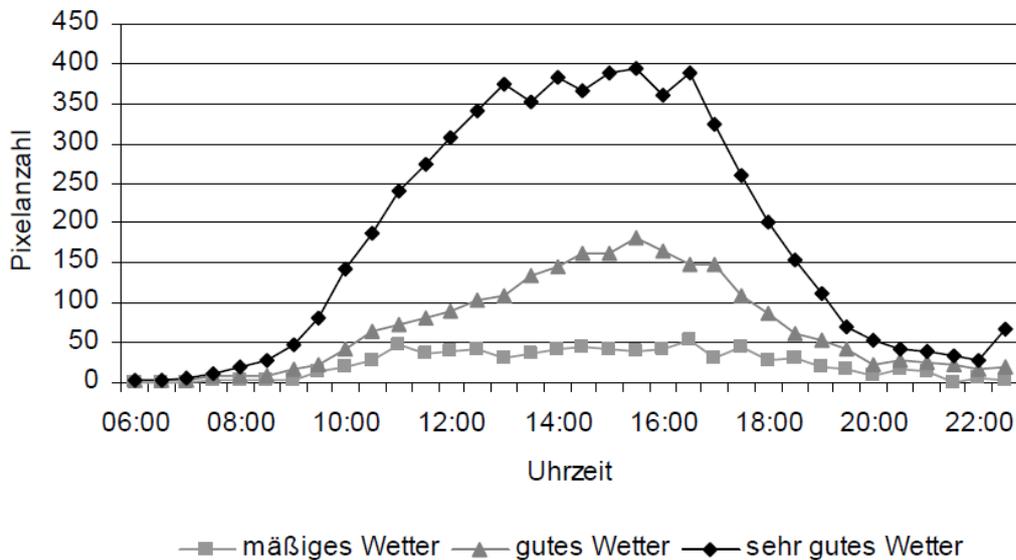


Abbildung 2-15: Personen (=Pixelanzahl) am Strand in Abhängigkeit vom Wetter (KAMMLER (2003), S. 37)

Für die Frequentierung von Wanderwegen zu Fuß oder mit dem Fahrrad konnten in der gleichen Untersuchung dagegen keine eindeutigen Zusammenhänge hinsichtlich Wetterbedingungen ermittelt werden. Allerdings fand nur eine Unterscheidung zwischen „gutem Wetter“ und „sehr gutem Wetter (Strandwetter)“ statt, da während der Erhebungsperiode kein schlechtes Wetter vorkam. Diese zwei verbleibenden Wetterkategorien unterschieden sich nur in Temperatur und Sonnenscheindauer, andere Kriterien wurden nicht herangezogen. Daraus kann wiederum geschlussfolgert werden, dass diese beiden nicht allein die maßgebenden Wetterfaktoren für die Durchführung von Wanderungen und Radfahrten sind.

WEGELIN ET AL. (2017) befassten sich mit den Fragen, welche Bedeutung dem Wetter für Reiseentscheidungen beigemessen wird und welche Rolle Wetterprognosen bei der Planung von Freizeitaktivitäten spielen. Die Daten wurden auf der Montreux Oberland-Bahn erhoben. Der Anteil der Freizeitreisenden betrug dort etwa 70 Prozent. Je nach Alter gaben 51 bis 63 Prozent der Befragten an, dass das Wetter bei der Freizeitgestaltung eine Rolle spielt. Etwa 30 bis 50 Prozent richteten sich nach Wettervorhersagen. Bei Regenwetter war aber der Anteil der Personen, welche sich im Voraus über das Wetter informierten, deutlich geringer als bei schönem Wetter, was dahingehend interpretiert wird, dass wettersensible Aktivitäten eher bei schönem Wetter durchgeführt werden und sich die Personen dann entsprechend über Wetterprognosen informiert haben. Ebenfalls wurde nach dem Zeitpunkt der Reiseentscheidung gefragt. Nur ein Fünftel entschied sich am selben Tag, der Rest plante die Reisen am Vortag oder langfristiger (vgl. Abbildung 2-16).

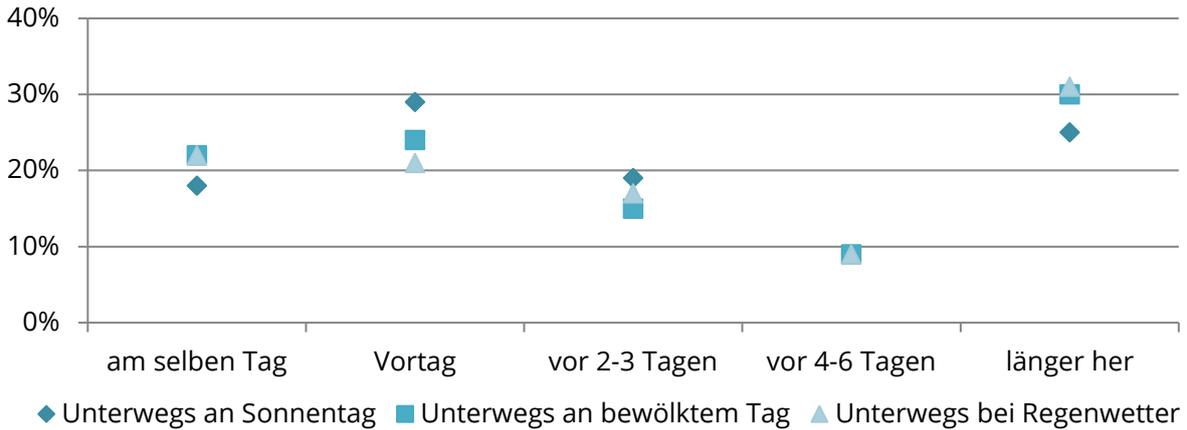


Abbildung 2-16: Anteile Reiseentscheidung je Wetterlage (nach WEGELIN ET AL. (2017), Abbildung 3)

WEGELIN ET AL. (2017) untersuchten auch Zusammenhänge zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen den hauptsächlich touristisch genutzten Rigi-Bahnen (Zahnrad- und Luftseilbahnen) bei Luzern (Schweiz). Die Untersuchungen kommen zu dem Schluss, dass die jährliche Besucherzahl mit der Anzahl von sonnigen Tagen im Jahr steigt. Der Tagesdurchschnitt jedoch sinkt. Der einzelne Sonnentag verliert demzufolge an Zugkraft, je mehr Sonnentage es im Jahr gibt. Je häufiger also schönes Wetter vorkommt, umso mehr lässt die Wirkung des Wetters auf die Fahrgastzahlen nach. Ebenfalls wird geschlussfolgert, dass Fahrten zwar bei schlechtem Wetter nicht angetreten werden, diese jedoch zu mindestens teilweise bei gutem Wetter nachgeholt werden. Die Ergebnisse werden dahingehend interpretiert, dass die „[...] Menschen vermutlich stabile Intentionen haben, welche Ausflüge sie machen wollen“ (vgl. WEGELIN ET AL., 2017). Der Zeitpunkt kann durch das Wetter beeinflusst werden, vermutlich reduzieren sich jedoch die Ansprüche an die Wetterverhältnisse bei durchgehend längeren Schlechtwetterperioden.

Weitaus spontaner entschieden sich die Fahrgäste des Molli-Dampfzuges, der zwischen Bad Doberan und Kühlungsborn entlang der Ostseeküste verkehrt. Diese Bahn dient fast ausschließlich der touristischen Nachfrage. Lediglich ein Prozent der Fahrgäste waren nicht Tagestouristen, Urlauber oder Kurgäste. 90 Prozent aller Fahrgäste sind zu Freizeitwecken unterwegs (vgl. TU DRESDEN, 2015). Mehr als die Hälfte der Fahrgäste planten ihre Fahrt in Abhängigkeit vom Wetter, 46 Prozent sogar erst am selben Tag. Je langfristiger eine Fahrt geplant wurde, umso wetterunabhängiger geschah dieses (vgl. Abbildung 2-17).

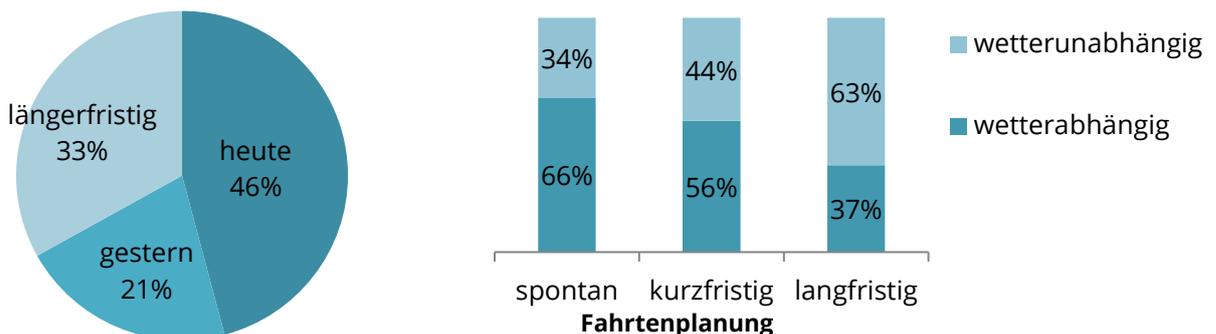


Abbildung 2-17: Spontanität der Planung (links) und Wetterabhängigkeit (rechts) einer Fahrt bei Fahrgästen des Molli (TU DRESDEN, 2015)

Mit zunehmender Aufenthaltsdauer am Urlaubsort nahm die Wetterabhängigkeit der Unternehmungen ebenfalls zu, was sich aus dem höheren zeitlichen Spielraum für eine Verschiebung erklärt (vgl. Abbildung 2-18). Allerdings steigt der Anteil der Wetterabhängigkeit bei Aufenthalten, die länger als 1 Woche dauern, nicht mehr weiter an.

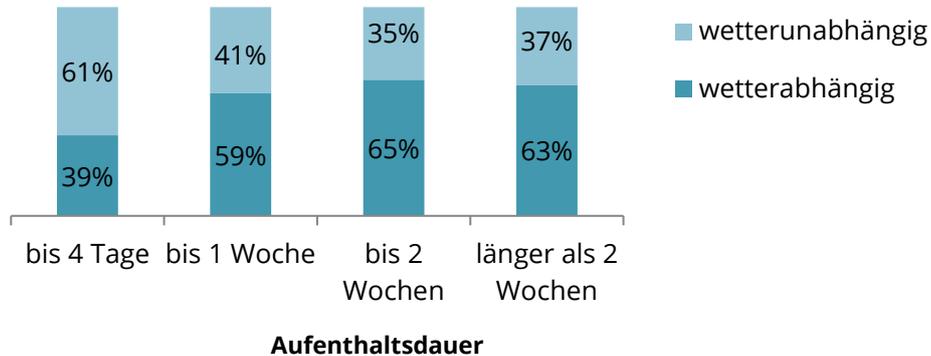


Abbildung 2-18: Wetterabhängige Planung der Fahrt in Abhängigkeit von der Aufenthaltsdauer (TU DRESDEN, 2015)

Erkenntnisse für die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung:

Grad und Richtung von Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage sind abhängig von den regionalen Freizeitmöglichkeiten. Allgemeingültige Aussagen können aus der Literatur nicht abgeleitet werden. Je höher der Anteil an Freizeitzwecken und längerdauernden Aufenthalten in einer Tourismusregion ist, umso größere wetterabhängige Effekte auf das Verkehrsaufkommen können erwartet werden. Diese Tatsache ist eine wesentliche Motivation für die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung in touristisch geprägten Regionen.

2.5 Zusammenfassung zum Stand der Forschung in Bezug auf die Wetterabhängigkeit der Verkehrsnachfrage

Die wesentlichsten Aussagen der vorgestellten Untersuchungen in Bezug auf eine Wetterabhängigkeit der Nachfrage sind in Tabelle 2-2 zusammengestellt.

Tabelle 2-2: Zusammenfassung des Stands der Forschung zur Wetterabhängigkeit der Verkehrsnachfrage

Quelle	Untersuchungsgegenstand und Gebiet	angewandte Methoden	Ergebnis
Aaheim und Hauge	Einfluss von Wetteränderungen auf Reiseverhalten <i>Bergen und andere Städte und Regionen in Norwegen</i>	Telefonbefragung, Korrelationsanalyse	Reiseweite, Wegezwecke und Modal Split verändern sich in Abhängigkeit von Temperatur und Niederschlagsmenge
Schweizer Bundesamt für Statistik	Mobilitätsverhalten <i>Schweiz</i>	Telefonbefragung, deskriptive Statistiken	Wetter beeinflusst Mobilität vor allem bei Freizeitaktivitäten
Fastenmeier	Motive und Aktivitäten in Alltags- und Erlebnisfreizeit <i>Oberbayern</i>	direkte Interviews und Haushaltsbefragung per Fragebogen Aufstellung eines theoretischen Modells und Modifizierung	räumliche und soziale Faktoren beeinflussen das Zustandekommen einer Freizeithandlung, Wetter wird nicht als explizites Motiv herausgearbeitet
Kalkstein et al.	Einfluss des Wetters auf tägliche Fahrgastzahlen <i>New York, Chicago, San Francisco (USA)</i>	Fahrgastzählung, synoptische Einteilung der Wetterverhältnisse in 8 Kategorien, Sensitivitätsanalyse	Wettereinfluss auf Fahrgastaufkommen ist messbar
Khattak et al.	Einfluss von Wetterbedingungen auf die Bereitschaft, Reiseentscheidungen zu ändern <i>Brüssel (Belgien)</i>	Befragung von Berufspendlern (nur Autofahrer), deskriptive Statistiken	bei entsprechender Information zum Wetter werden Fahrtbeginne von autofahrenden Berufspendlern verlagert
MID 2008	Mobilitätsverhalten <i>Deutschland</i>	Haushaltsbefragung per Fragebogen, deskriptive Statistiken	Freizeitverkehr hat hohen Stellenwert, Wetter beeinflusst Mobilität
Pillat	wetterabhängige Kalibrierung von Verkehrsmodellen <i>Oberbayern</i>	Automatische Datenerfassung, Korrelationsanalysen, Clusteranalysen, Definition von Wetterkategorien	Wetter beeinflusst Mobilität, Freizeitverkehr wird von Wetter messbar beeinflusst, Prognosequalität kann aber nicht wesentlich verbessert werden (vgl. auch Kapitel 3.7.2)
Saneinejad	Wettereinfluss auf Modal Split <i>Toronto (Kanada)</i>	Verkehrszählung, lineare Regression	Regen und Kälte verringern in unterschiedlicher Ausprägung Rad- und Fußverkehr
Scott et al.	Optimale Wetterbedingungen, <i>Waterloo (Kanada), Helsingborg (Schweden), Auckland (Neu Seeland)</i>	Interviews, deskriptive Statistiken	Bewertung von klimatischen Bedingungen variiert in Abhängigkeit der Tourismusumgebung
Schedler und Schröder	Methoden zur Analyse und Prognose des Verkehrsaufkommens auf Autobahnen <i>Oberbayern</i>	Regressionsanalyse, Clusteranalyse, verhaltensbasiertes Nachfragemodelle	Freizeitwert verstärkt Wettereffekte, Wettereinfluss auf Gesamtverkehrsaufkommen konnte nur mit Regressionsanalyse nachgewiesen werden
TU Dresden, 2015	Wettereinfluss bei Fahrtplanung, <i>deutsche Ostseeküste</i>	Befragung, deskriptive Statistik	Wettereinfluss bei hohem Anteil an Freizeitverkehr messbar
Wegelin et al.	Entscheidungsfindung und Einfluss des Wetters auf Reiseverhalten <i>Luzern (Schweiz)</i>	Datenerfassung, Korrelations- und Regressionsanalyse, Multivariate Prognose	Freizeitverkehr wird von Wetter messbar beeinflusst, Prognose bei rein touristischer Nutzung recht gut möglich, es können aber nicht alle Effekte abgeschätzt werden (vgl. auch Kapitel 3.7.2)

Die angewandten Untersuchungsmethoden sind im Hinblick auf die Identifizierung geeigneter Analysemethoden für wetterbedingte Nachfrageschwankungen im Kapitel 5.4 ebenfalls ausgewiesen.

Resümierend kann festgestellt werden, dass Zusammenhänge von Mobilität und Wetter bezogen auf den öffentlichen Verkehr bisher wenig untersucht wurden oder nur als Nebenaussage

in den Veröffentlichungen auftreten, da sie oft nicht Hauptgegenstand der jeweiligen Untersuchungen waren. Zumeist auf die Quantität bezogene Aussagen vor allem im Hinblick auf Reiseweite und Fahrgastaufkommen in Abhängigkeit des Reisezweckes liegen für wenige abgegrenzte und in der Regel urbane Untersuchungsgebiete vor. Zudem fokussiert sich der Großteil der Forschungen auf straßengebundene Ortsveränderungen. Aussagen zur Übertragbarkeit auf andere Regionen und Verkehrsmittel beziehungsweise Verallgemeinerungen gibt es in der Literatur jedoch kaum. Es kann jedoch klar herausgearbeitet werden, dass mit zunehmender Freiwilligkeit des Fahrtzwecks Fahrten stärker wetterabhängig durchgeführt werden. Der Wettereinfluss auf den Freizeitverkehr mit seinem recht hohen Grad an Freiwilligkeit wird dabei an einigen Stellen explizit hervorgehoben (vgl. LIU ET AL., 2014, SCHEDLER UND SCHRÖDER, 2014).

Während für die Nachfrage durch Ausbildungs- und Berufsverkehre im urbanen öffentlichen Verkehr meist ein leichter Zuwachs an kalten und Regentagen nachgewiesen werden kann, so verhalten sich Nachfrageschwankungen im Freizeitverkehr weitaus differenzierter und von der Region abhängig. Pauschale Feststellungen zu optimalen Wetterzuständen für verkehrsnachfragerrelevante Freizeitaktivitäten müssen für den konkreten Fall überprüft werden, da bei der Bewertung aktivitätsabhängige und regionale Besonderheiten berücksichtigt werden müssen.

Wetterabhängige Reiseentscheidungen am Urlaubsort werden eher bei langfristigen Aufenthalten getroffen. Je mehr die Fahrt für Freizeit Zwecke genutzt wird, umso spontaner und witterungsabhängiger wird die Fahrtenplanung. Allgemeingültige Aussagen zum Einfluss auf die Höhe des Fahrgastaufkommens in öffentlichen Verkehrsmitteln sind in der Literatur kaum zu finden, hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

3 KAPAZITÄTSPLANUNG ALS WESENTLICHE PLANUNGS-AUFGABE IM ÖPNV

3.1 Begriff Kapazität

Der Begriff Kapazität wird vom lateinischen „capacitas“ für „Fassungsvermögen“ abgeleitet und beschreibt in der betriebswirtschaftlichen Terminologie die mengenmäßige Leistungsfähigkeit¹¹ innerhalb eines Zeitabschnittes, welche durch die zur Verfügung stehenden Produktionsfaktoren¹² erreicht werden kann (vgl. HEINEN, 1985). Die Kapazität beschreibt das Leistungsvermögen als generelles Potential, das sofort verfügbare Potential wird durch die Leistungsbereitschaft erklärt. Somit stellt die Kapazität eine Rahmenbedingung für die Leistungsbereitschaft dar (vgl. CORSTEN UND STUHLMANN, 1997, S. 5 ff.). In der betriebswirtschaftlichen Literatur werden quantitative¹³ und qualitative¹⁴ Dimensionen der Kapazität gesondert betrachtet. Im Fokus dieser Arbeit stehen Anpassungsmöglichkeiten der quantitativen Kapazität im Sinne der Leistungsbereitschaft. Das Gesamtleistungsvermögen eines Verkehrsunternehmens bildet dafür den Rahmen und soll auch aus der Intention dieser Arbeit heraus nicht verändert werden.

3.2 Aufgabe der Kapazitätsplanung im Handlungsumfeld des ÖPNV

Verkehrsunternehmen transportieren Waren oder Güter, wodurch sie eine Dienstleistung zur Befriedigung der Transportbedürfnisse bereitstellen. Sowohl die qualitative als auch die quantitative Kapazität sind Voraussetzung für die Erstellung einer Dienstleistung und damit für die Erzielung von Einnahmen. Während die qualitative Kapazität eines Dienstleistungsanbieters aus offensichtlichen Gründen einen unmittelbaren Einfluss auf die Qualitätswahrnehmung des Dienstleistungsnachfragers hat, besitzt auch die quantitative Kapazitätsdimension dahingehend einen nicht zu unterschätzenden Stellenwert. Das betrifft vor allem Dienstleistungen, bei denen die Reibungslosigkeit des Erstellungsprozesses und die Minimierung von Wartezeiten die Qualität beeinflussen (vgl. CORSTEN UND STUHLMANN, 1997, S. 165). Dazu gehören auch Beförderungsdienstleistungen wie der ÖPNV. Bei einem Dienstleistungsunternehmen ist die wirtschaftliche Nutzung der angebotenen Leistungsbereitschaft erst nach Absatz bzw. Bereitstellung der Dienstleistung möglich (vgl. KLINGE, 1997, S. 58). Wird diese angebotene Leistungsbereitschaft nicht angenommen, entstehen Leerkosten. Übersteigt dagegen die Nachfrage die Leistungsbereitschaft, besteht die Gefahr, dass der Kunde den Anbieter wechselt und Opportunitätskosten (entgangene oder verminderte Gewinne) entstehen. Die Problematik einer optimalen Kapazitätsdimensionierung für ein Verkehrsangebot besteht in der konstanten Vorhaltung der Leistungsbereitschaft der Produktionsfaktoren für eine schwankende Nachfrage. Eine gleichmäßige Nachfragesteuerung als denkbarer Lösungsansatz ist im ÖPNV-

¹¹ Hier: „Leistung“ nicht im Sinne einer physikalischen Leistung, sondern im Sinne von „Output“ (vgl. HEINEN 1985 S. 314).

¹² Der Begriff Produktionsfaktoren wird im Kapitel 3.2 näher erklärt.

¹³ Im Sinne der technischen Maximalkapazität.

¹⁴ Art und Güte des Leistungsvermögens.

Sektor nur sehr begrenzt möglich (vgl. Kapitel 4.9). Die angebotene Leistung in Form eines zeitlich determinierten Verkehrsangebotes ist nicht lagerfähig, das heißt die Dienstleistung befriedigt die Bedürfnisse eines potentiellen Kunden nur im Moment der Leistungserbringung. Im Umkehrschluss kann diese Leistung auch nur zu diesem Zeitpunkt in Anspruch genommen werden. Es ist somit nicht möglich, für eine Spitzennachfrage „vorzuarbeiten“. Das grundsätzliche Leistungsvermögen eines Verkehrsunternehmens ergibt sich aus dem Zusammenspiel der Potentialfaktoren¹⁵ Infrastruktur, Personal und Fahrzeuge (vgl. Kapitel 4.2). Das maximale Leistungsangebot stellt sich im Personenverkehr aus dem Produkt der Anzahl der betriebsbereiten Verkehrsmittel und deren Platzanzahl dar (vgl. KÖBERLEIN, 1997, Begriff „Verkehrskapazität“ S. 208). Das Leistungsvermögen eines räumlich und zeitlich determinierten Verkehrsangebotes ergibt sich aus der Summe der Platzanzahl aller für dieses Angebot eingesetzten Fahrzeuge. Sie kann demnach sowohl räumlich als auch zeitlich durch die Variation von Fahrtenhäufigkeit und Fahrzeuggröße im Betrieb angepasst werden (vgl. SCHNIEDER, 2015, S. 45).

Diese Inanspruchnahme bzw. Nachfrage einer Dienstleistung äußert sich im Personenverkehr in der Höhe des Verkehrsaufkommens, welches durch die Anzahl der Fahrgäste als Beförderungsfälle dargestellt wird und in der Verkehrsleistung, die sich aus dem Produkt der Beförderungsfälle und deren zurückgelegten Distanzen ergibt. Die Verkehrsnachfrage bezieht sich immer auf ein Zeitintervall und sie entsteht nur dann, wenn der Verkehrsbedarf mit einem bestimmten Verkehrsmittel realisiert wird. Jedoch stehen Verkehrsnachfrage und Verkehrsangebot in ständiger Wechselwirkung zueinander (vgl. KIRCHHOFF, 2002, S. 72). So bestimmt die Nachfrage die Dimensionierung des Angebotes und somit die angebotene Kapazität. Die Qualität des Verkehrsangebotes beeinflusst dagegen die Verkehrsmittelwahl und damit wiederum die Nachfrage. Ein nachhaltiges kundenorientiertes Kapazitätsmanagement erfordert daher eine möglichst genaue Kenntnis von Nachfrageschwankungen. Nur dann kann auf diese entsprechend reagiert werden.

In diesem Spannungsfeld wird die Kapazitätsplanung im ÖPNV tätig. Ihr obliegt die Aufgabe, die mengenmäßige Planung des Verkehrsangebotes dergestalt vorzunehmen, dass die in einer Zeiteinheit zur Verfügung gestellten Platzkapazitäten der Nachfrage in dieser Zeiteinheit in Bezug auf eine avisierte Beförderungsqualität entsprechen (vgl. Tabelle 3-4 auf Seite 36). Im Sinne der Wirtschaftlichkeit steht gleichzeitig die Minimierung der Betriebsmittel im Fokus (WEIDMANN, 2011). Dabei muss aber auch ein Augenmerk auf die Aufrechterhaltung der Stabilität des Betriebsablaufes gelegt werden.

¹⁵ Der Begriff „Potentialfaktoren“ wird im Abschnitt 4.2 näher erklärt.

3.3 Verantwortlichkeiten für die Kapazitätsplanung

Die rechtlichen Rahmenbedingungen und Zuständigkeiten für die Organisation des Verkehrs werden durch verschiedene politische Ebenen bestimmt. Grundsätzlich gibt die Europäische Union den rechtspolitischen Rahmen für ihre Mitgliedsstaaten vor¹⁶, welcher in nationales Recht umzuwandeln ist. Der straßengebundene öffentliche Personennahverkehr (StrPNV) wird in Deutschland durch das Personenbeförderungsgesetz (PBefG) geregelt, für den schienegebundenen Personennahverkehr (SPNV) existiert als Pendant das Allgemeine Eisenbahngesetz (AEG). Nachfolgend werden die Zuständigkeiten für die Kapazitätsplanung dargestellt. Eine vertiefte Betrachtung der rechtlichen Rahmenbedingungen in Bezug einer dispositiven Anpassung der Kapazität erfolgt im Kapitel 4.5.

Es existieren in Deutschland drei relevante Organisationsformen für den ÖPNV, die sich durch die Aufteilung der Funktionen Aufgabenträgerschaft (AT) und Verkehrsunternehmen (VU) sowie einer möglichen zwischengeordneten Regieebene unterscheiden (siehe Abbildung 3-1). Die Leistungs- und Zielvorgaben für die Kapazitätsplanung werden immer durch einen Aufgabenträger vorgegeben (vgl. Kapitel 4.5.2). Das Verkehrsunternehmen erfüllt diese Forderungen durch die Bereitstellung der Kapazitäten. Lediglich im Ein-Ebenen-Modell ist eine direkte Interaktion zwischen Planung und Leistungserbringung möglich. Dieses Modell ist in Deutschland nur im StrPNV in mittleren und größeren Städten verbreitet und kann auch nur dort zur Anwendung kommen, wo das Verkehrsunternehmen in kommunalem Besitz ist (vgl. Abbildung 3-1).

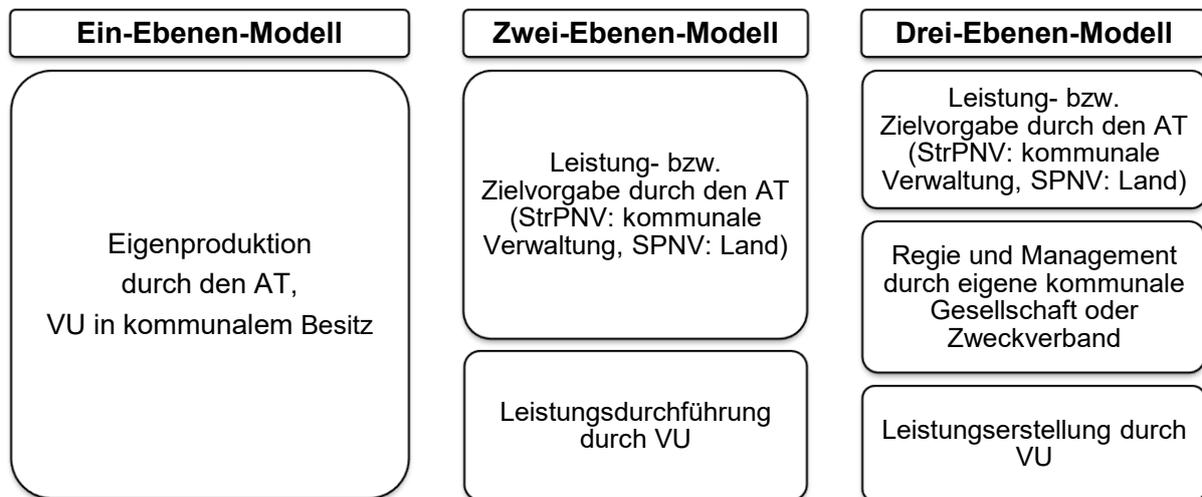


Abbildung 3-1: Organisationsformen des ÖPNV in Deutschland (eigene Darstellung nach EICHMANN ET AL., 2006)

Ein wesentliches Planungsinstrument für die Aufgabenträger ist der Nahverkehrsplan. Dieser „[...] bildet den Rahmen für die Entwicklung des öffentlichen Personennahverkehrs“ (vgl. PBEFG, 2020, § 8 (3)). Darin werden die Anforderungen an Umfang und Qualität eines Verkehrsangebotes festgelegt, welche als Forderungen an die Leistungsersteller weitergegeben

¹⁶ Geregelt durch VO (EG) 1370 (2007).

werden. So werden in Nahverkehrsplänen auch kapazitätsrelevante Qualitätsstandards zu Mindestbedienungshäufigkeit, Betriebszeiten, Auslastung und Sitzplatzverfügbarkeit definiert.

Für die Benutzung von Schienenwegen ergibt sich ein weiterer wesentlicher Aspekt für die Kapazitätsdimensionierung aus dem Eisenbahnregulierungsgesetz (ERegG). Es fordert die rechtliche Trennung zwischen den Betreibern der Schienenwege und den Verkehrsunternehmen (vgl. EREGG, 2020, § 8) und stellt einen diskriminierungsfreien Zugang der Eisenbahnverkehrsunternehmen zu den Schienenwegen sicher. Das Verkehrsunternehmen muss eine Schienenfahrwegkapazität beim Betreiber in Form einer zeitlich und örtlich determinierten Trasse beantragen (Trassenbestellpflicht). Dieser koordiniert alle Anträge, prüft die Verfügbarkeit und stellt gegen Entgelt sowohl die Infrastruktur-Kapazität als auch damit verbundene Serviceleistungen den Verkehrsunternehmen entgeltspflichtig zur Verfügung. Somit nehmen zusätzliche Faktoren im Vergleich zum StrPNV Einfluss auf kapazitätsrelevante Parameter wie beispielsweise der Fahrhäufigkeit. Kapitel 4.5.4 widmet sich in einer vertieften Betrachtung dieser Trassenbestellpflicht unter dem Aspekt kurzfristiger Kapazitätsanpassungen.

Den Verkehrsunternehmen obliegt die Funktion des unmittelbaren Partners für den Kunden. Die Dienstleistung wird primär durch diese bestimmt. Allerdings bestehen durch Qualitätsvereinbarungen Verflechtungen mit weiteren an der Dienstleistung Beteiligten, wie z. B. Aufgabenträger, Leistungsersteller, Verkehrsbehörden. Dadurch bestimmen auch externe Einflüsse die Qualität der Dienstleistung.

3.4 Anspruchsgruppen gegenüber der Kapazitätsplanung

Die Kapazitätsplanung im ÖPNV muss zwei Anspruchsgruppen gerecht werden. Zum einen soll für den Fahrgast ein attraktives Angebot entstehen. Zum anderen möchte das Verkehrsunternehmen die Kosten für die Leistungserstellung minimieren (vgl. FGSV, 2010).

Aufgabe der Kapazitätsplanung ist eine bestmögliche Harmonisierung der verschiedenen Interessenlagen der Verkehrsunternehmen und der Fahrgäste. Deren Hauptanliegen werden in Anlehnung an SCHNIEDER (2015) in Tabelle 3-1 zusammengefasst.

Tabelle 3-1: Zu berücksichtigende Interessen von Fahrgästen und Verkehrsunternehmen bei der Kapazitätsplanung (in Anlehnung an SCHNIEDER 2015)

Interessen des Fahrgastes	Interessen des Verkehrsunternehmens
Bequemlichkeit und persönlicher Raum durch Maximierung der Sitzplatzverfügbarkeit und Minimierung der Stehdauern	Minimierung des Betriebsmitteleinsatzes, einhergehend mit optimaler Anpassung der eingesetzten Kapazitäten
Sicherheit (z.B. Schutz gegen Stürze durch Reduzierung der Stehplätze)	

Aufgrund der Aufgabenteilung zwischen Aufgabenträgern als Besteller und Verkehrsunternehmen als Ersteller von Verkehrsleistungen muss zusätzlich auch den Ansprüchen der Aufgabenträger Rechnung getragen werden. Die Prozesseingaben und -ergebnisse der Kapazitätsplanung gestalten und unterscheiden sich anspruchsgruppenbezogen. Tabelle 3-2 zeigt eine Übersicht zur Beteiligung der Anspruchsgruppen in der Kapazitätsplanung.

Tabelle 3-2: Beteiligung der Anspruchsgruppen in den Prozessstufen der Kapazitätsplanung (nach BERGNER 2018, Abbildung 3.3 und Abbildung 3.4)

Anspruchsgruppen	Ansprüche	Prozess-eingaben	Prozess-durchführung	Prozess-ergebnisse
Verkehrsunternehmen	Ziele	Planungsvorgaben	Ermittlung Prüfung Anpassung	Ressourceneinsatz Konformität
Aufgabenträger	Anforderungen	Anforderungen	-	Konformität
Fahrgäste	Bedürfnisse	Nachfrage	-	Qualität

Nachfolgendes Kapitel zeigt die Planungsaufgaben für die Erstellung von Verkehrsleistungen auf und ordnet die Kapazitätsplanung darin ein.

3.5 Einordnung der Kapazitätsplanung in die Abfolge der Planungsaufgaben bei der Erstellung von Verkehrsangeboten

Um die Komplexität strategischer, taktischer und operativer Planungsziele und Planungszeiträume beherrschen zu können, muss der Planungsprozess der Angebotsgestaltung im ÖPNV in sachlich und organisatorisch abgrenzbare Teilprobleme zerlegt werden. Eine gesamtoptimale Lösungsfindung für realistische Problemgrößen ist mit dem heutigen Stand der mathematischen und rechentechnischen Lösungen noch nicht möglich - auch wenn eine Vielzahl der Teilprobleme schon mit Hilfe von Optimierungsalgorithmen, etwa in der Liniennetzplanung, der Fahrzeugeinsatzplanung oder der Dienstplanung gelöst werden können. Durch die Zerlegung in Teilprobleme leiten sich Planungsaufgaben ab, welche nacheinander abgearbeitet werden, wobei Rückkopplungen zwischen den einzelnen Handlungsfeldern erforderlich sind.

REINHARDT (2011) beschreibt diese Prozessabfolge bildlich und verbal folgendermaßen:

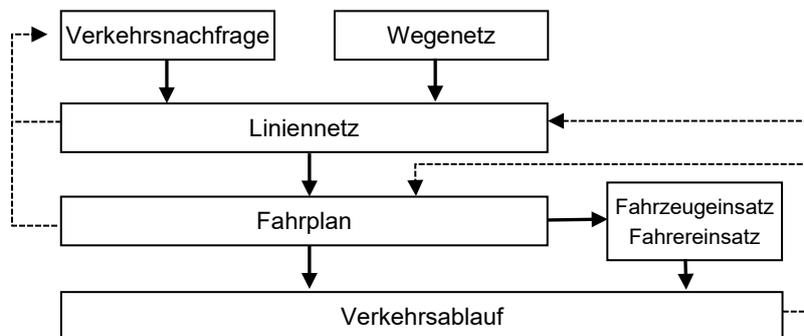


Abbildung 3-2: Angebotsplanung im öffentlichen Personennahverkehr (nach Reinhardt 2011, S. 445)

„[...] Aus der Verkehrsnachfrage und dem realen Wegenetz ergeben sich Linien des ÖPNV. Die Fahrtwünsche der Fahrgäste werden durch die Zahl der Abfahrten erfüllt (Fahrplan), was wiederum den Fahrzeugeinsatz bestimmt und den Fahreinsatz (Dienstplan). Durch den fahrgastgerechten Verkehrsablauf kommt es zu geänderter Inanspruchnahme des ÖPNV, was Änderungen im Fahrplan bedeuten kann (Anschlussicherung) oder im Fahrzeugeinsatz (Fahrzeuggröße).“ (vgl. REINHARDT, 2011, S. 445)

Die Kapazitätsplanung baut auf dem Fahrplan auf. Somit müssen die Prozesse für dessen Erstellung dieser Planungsaufgabe vorgelagert sein. Die strategische Angebotsplanung erfolgt

in der Netz-, Linien- und Fahrplanung. Die Abfolge der danach folgenden operativen Planungsaufgaben und deren Rückkopplungen wird in Abbildung 3-3 noch etwas abgestufter als in der vorhergehenden Grafik veranschaulicht. Zudem wird die Personaleinsatzplanung (Dienstplanung) als eigenständige Planungsaufgabe im Anschluss an die Fahrzeugeinsatzplanung (Umlaufplanung) ausgewiesen, was in der Regel auch dem Vorgehen der Praxis entspricht.

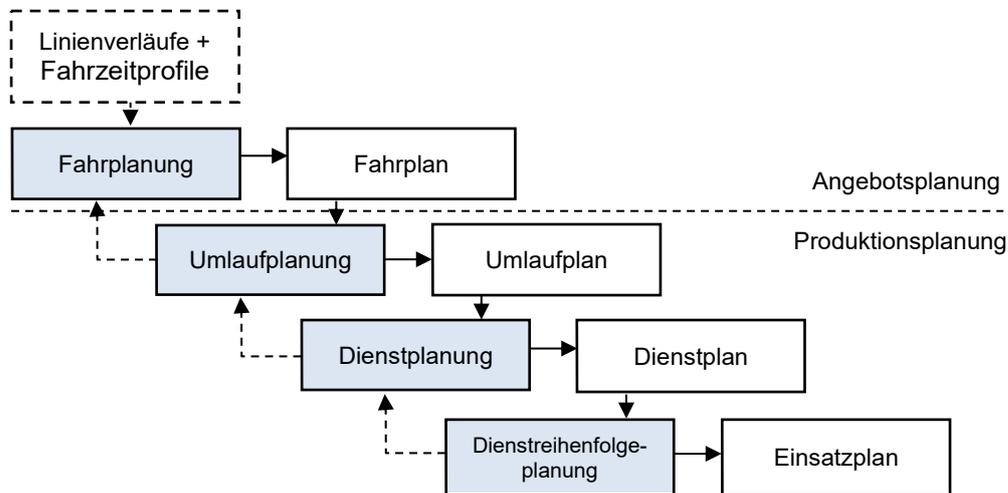


Abbildung 3-3: Teilaufgaben der operativen ÖPNV-Planung (nach GINTNER 2009, S. 7)

Eine differenzierte Betrachtungsweise zwischen verkehrlicher und darauf aufbauender betrieblicher Kapazitätsplanung nimmt BERGNER (2018) vor. Der Mindestumfang des Angebotes wird aus der verkehrlichen Nachfrage abgeleitet, wofür in einem betrieblichen Prozess das Fahrplan- und Platzangebot bereitgestellt wird (vgl. BERGNER, 2018, Abbildung 2.2).

Es existieren auch noch weitaus differenziertere Darstellungen der Abfolge der Planungsprozesse. SCHNIEDER (2015) unterscheidet zwischen strategischer Kapazitätsplanung und operativer Fahrzeugeinsatzplanung, wobei die Kapazitätsplanung als Parallelprozess zur Fahrplanung auf taktischer Planungsebene stattfindet und Rückkopplungen aus der Kapazitätsplanung Modifikationen der Fahrpläne bedingen können. Auch dort wird die Abfolge um Iterationen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Planungsaufgaben erweitert, indem der Anpassungsbedarf aus dem Nachfolgeprozess auf den Vorgängerprozess wirkt.

Auch die gängigen Planungsprogramme erfordern eine recht strenge sequentielle Abfolge der Planungsschritte und verwenden in den nächsten Planungsschritten die Daten der Vorgängerschritte. Rückkopplungen und Eingriffe des Nachfolgeprozesses auf den Vorgängerprozess können dabei aufgrund der zunehmenden Entwicklung integrierter Planungsalgorithmen auch zunehmend systemunterstützt durchgeführt werden. Die prinzipielle Abfolge der Planungsaufgaben erfolgt jedoch weiter wie in Abbildung 3-3 dargestellt.

Die Kapazitätsplanung findet somit grundsätzlich auf Basis der Fahrplanung statt. Diese bildet wiederum die Grundlage für die Dienstplanung. Die daraus resultierenden Erfordernisse für die Berücksichtigung wetterabhängiger Nachfrageschwankungen bei der Kapazitätsplanung werden im Kapitel 3.11 abgeleitet. Weiterhin kann festgestellt werden, dass sich sowohl strategische als auch operative Planungsstufen mit der Kapazitätsplanung befassen.

Kapazitätsrelevante strategische Überlegungen beeinflussen die Ausgestaltung des Fahrtangebotes. In der operativen Fahrzeugeinsatzplanung erfolgt die Zuordnung eines konkreten Fahrzeuges bzw. Fahrzeugverbandes zu jeder Fahrt im Fahrplan.

3.6 Allgemeiner Prozessablauf bei der Kapazitätsplanung

Ziel der Kapazitätsplanung ist es, den Fahrzeugbedarf unter Beachtung der Nachfrage und weiterer relevanter Eingangsgrößen zu minimieren. Der Prozessablauf der Kapazitätsplanung ist nachstehend dargestellt:

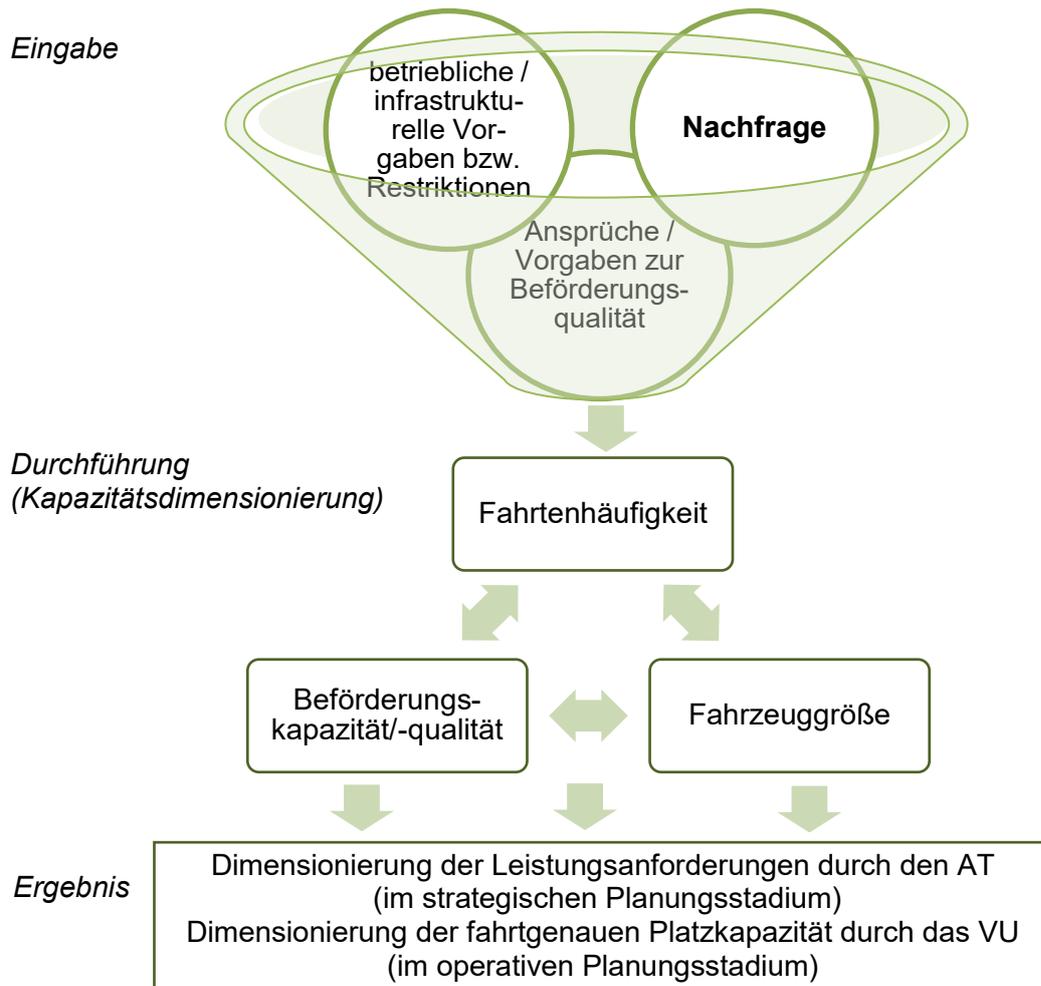


Abbildung 3-4: Prozessablauf in der Kapazitätsplanung (eigene Darstellung)

Es soll verdeutlicht werden, dass die Dimensionierung der Kapazität letztlich iterativ durch Auswahl von Fahrzeuggröße und Festlegung von Fahrtenhäufigkeiten je Zeiteinheit unter Beachtung von Qualitätszielen erfolgt und dass eine Vielzahl an Eingangsgrößen im Planungsprozess berücksichtigt werden muss.

Wichtigste Eingangsgröße bei der Kapazitätsplanung, und daher in Abbildung 3-4 besonders hervorgehoben, ist die Nachfrage. Daten der Verkehrsnachfrage bilden die Ausgangsbasis für die Kapazitätsplanung.

3.7 Beschreibung der Nachfrage als Basis für die Kapazitätsplanung

Es gibt eine Vielzahl an Möglichkeiten, die für die Dimensionierung des Platzangebotes erforderliche Kenntnis über die Struktur und die Stärke dieser Nachfrage zu bekommen. Grundsätzlich können sowohl realisierte als auch prognostizierte Nachfragekennzahlen in die Kapazitätsplanung eingehen. Ob diese Vorgehensweisen schon wetterbedingte Nachfrageeinflüsse berücksichtigen, wird nachfolgend analysiert.

3.7.1 Realisierte Nachfrage

Aus historischen Daten können aussagekräftige Zahlen für Stärke und Richtung des Verkehrsaufkommens im Tages- und Linienverlauf abgeleitet werden. Dafür stehen beispielsweise die folgenden Quellen zur Verfügung (vgl. FGSV, 2012; VDV, 2018; VDV, 2019):

- manuelle oder automatische Fahrgasterhebungen,
- Abfragen aus Verbindungsauskünften,
- Erlösstatistiken,
- Vertriebssysteme.

Aufgrund der inzwischen weitverbreiteten Nutzung von Mobilfunkgeräten in allen Bereichen des öffentlichen Lebens könnten zukünftig auch GPS-Daten als Mobile GPS Data (MGD) oder aus der Netzwerkkommunikation von Mobilfunkanbietern entnommene Datensätze als Mobile Network Data (MND) Aussagen über die historische Verkehrsnachfrage liefern. Ansätze dazu liefern beispielsweise SCHMIDT UND MÄNNEL (2017).

Die Qualität und Belastbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse hängt in allen Fällen stark von der Güte und Repräsentanz der Datengrundlagen ab. Auf die Nutzbarkeit und Aussagefähigkeit einzelner Datengrundlagen wird im Kapitel 5.2.1 näher eingegangen. Tatsache ist, dass aufgrund einer zunehmenden Detektion von Daten - sei es durch automatische Zählsysteme oder Vertriebssysteme u. ä. - die historische Datenmenge stetig wächst. Dieser Effekt wird sich vermutlich durch immer weitere neu erschlossene Datenquellen wie Mobilfunk- und GPS-Daten noch weiter verstärken. Dieser reichhaltige Datenschatz steht dann sicherlich auch für statistische Auswertungen bezüglich Zusammenhängen zwischen Wetter und Verkehrsnachfrage zur Verfügung.

Wenn aber beispielsweise aufgrund noch nicht vorhandener Angebote die realisierte Nachfrage (noch) gar nicht gemessen werden kann, muss die Nachfrage prognostiziert werden.

3.7.2 Prognose der zu erwartenden Nachfrage

Die Prognose der zu erwartenden Nachfrage erfolgt in der Regel unter Verwendung von Verkehrsnachfragemodellen. *„Ein Verkehrsnachfragemodell ist ein Modell, das alle relevanten Entscheidungsprozesse der Menschen nachbildet, die zu Ortsveränderungen führen“* (vgl. FRIEDRICH, 2011, S. 2). Ziel der Modellierung ist es, aus den Strukturdaten einer Region auf die Verkehrsnachfrage zu schließen. Bei der Modellierung werden Entscheidungsmodelle verwendet, in welche Nutzen- und Bewertungsfunktionen einfließen, um vorhandene Zustände in einem Verkehrsnetz darzustellen sowie die Wirkungen geplanter verkehrlicher Maßnahmen zu prognostizieren. Das Ergebnis der Verkehrsnachfragemodellierung ist die Abschätzung der

Verkehrsstärke einer Verkehrsinfrastruktur bzw. eines Verkehrsangebotes. Zur Quantifizierung von Wirkungen für verschiedenen Einsatzbereiche im ÖV werden typischerweise folgende Kenngrößen ermittelt (vgl. FRIEDRICH, 2011):

- Verkehrsstärken differenziert nach Verkehrszeiten auf den ÖV-Linien,
- Reisezeiten ÖV,
- Modal Split.

Um diese Kenngrößen zu ermitteln, werden in Verkehrsnachfragemodellen Entscheidungen, die zu bestimmten Merkmalen einer Ortsveränderung führen, in Teilmodellen abgebildet. Die nachfolgende Darstellung stützt sich auf PILLAT (2014) und LOHSE UND SCHNABEL (1997) und zeigt das Zusammenspiel einzelner Teilmodelle für die Abbildung dieser Entscheidungen mit dem Ziel der Berechnung der Verkehrsnachfrage.

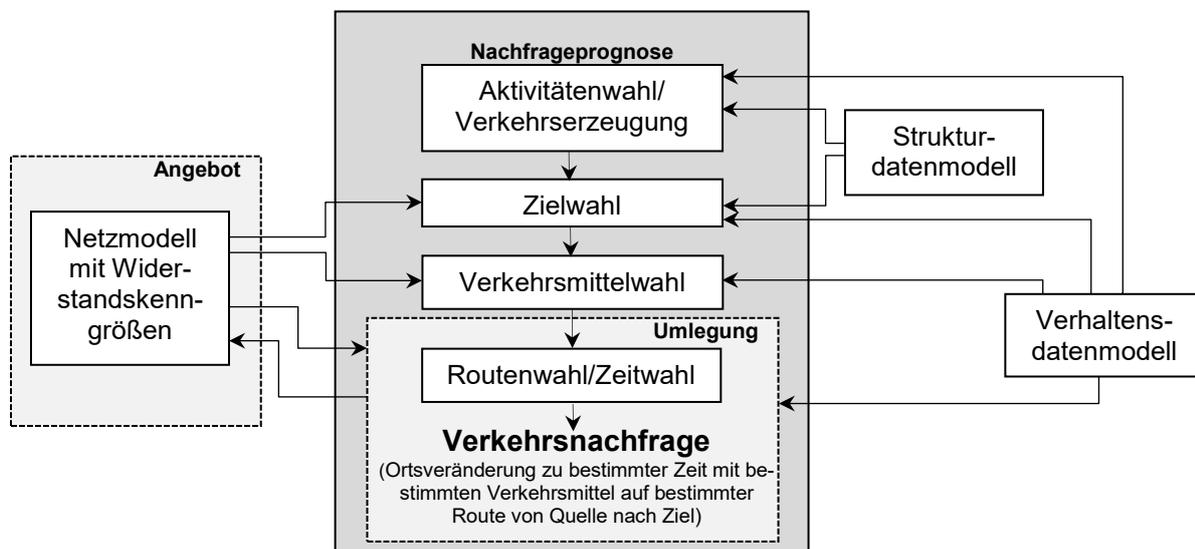


Abbildung 3-5: Vereinfachte Darstellung des Zusammenspiels der Teilmodelle bei der Verkehrsnachfragemodellierung

Mobilitätsrelevante Entscheidungsprozesse und die zugehörigen Einflussfaktoren, die in der Regel in den Teilmodellen abgebildet werden, sind im Anhang A dargestellt. Wetter findet darin jedoch noch keine explizite Berücksichtigung.

In die Verkehrsmodellierung geht somit eine Vielzahl von Randbedingungen und Strukturdaten ein. Diese stehen jedoch nicht immer vollumfänglich für eine Untersuchungsregion in der notwendigen Tiefe und Schichtung¹⁷ zur Verfügung. Deshalb ist es häufig erforderlich, Annahmen zu treffen und Vereinfachungen vorzunehmen. Diese Vorgehensweise beeinflusst dann auch

¹⁷ Als „Schichtung“ werden alle aufkommensrelevanten Splittungen der Nachfragedaten z. B. nach Saison, Linie, Richtung oder Tag bezeichnet. Damit soll auch eine Abgrenzung zu den in der Arbeit verwendeten Begriffen „Wetterkategorie“ und „Aufkommenskategorie“ erfolgen.

die Güte der Lösung. Letztlich bilden die ermittelten Kenngrößen das durchschnittliche Verhalten der gesamten Bevölkerung und nicht das statistisch gesicherte Verhalten des Einzelnen ab. FRIEDRICH (2011) stellt in diesem Zusammenhang fest:

Das "perfekte" Nachfragemodell kann "nur" Folgendes leisten:

- *das Modell zeigt den Mittelwert des Verhaltens,*
- *die Realität zeigt die Abweichungen vom Mittelwert,*
- *Mittelwert und mittlere Realität stimmen für verschiedene Grundgesamtheiten (z.B. alle Personen einer Personengruppe oder alle Personen in einem größeren Gebiet) überein. (vgl. FRIEDRICH, 2011, S. 18)*

Bei der Analyse der Verfahren zur Ermittlung der Nachfrage wurde festgestellt, dass wetterabhängige Entscheidungsprozesse noch nicht in die Verkehrsnachfragemodellierung im ÖPNV berücksichtigt werden. Es liegen jedoch schon erste Untersuchungen zu dieser Thematik vor. Innerhalb des Projektes WOLKE (vgl. Kapitel 2.2) wurde eine Methode zur Erstellung wetterabhängiger Verkehrsnachfragematrizen ausgearbeitet und umgesetzt. Im Ergebnis stellte sich jedoch heraus, dass damit die Prognosequalität nicht wesentlich verbessert werden konnte, weil dafür die Wetterprognosen zu grobräumig gefasst waren. Es wurde vermutet, dass mit steigender Reiseweite andere Faktoren den Einfluss des Wetters überdecken (vgl. SCHEDLER UND SCHRÖDER 2014).

Die Dissertation von PILLAT (2014), die auf Daten des Projektes WOLKE beruht, hatte die Zielsetzung, den Einfluss des Wetters auf das Verkehrsaufkommen auf Autobahnen zu quantifizieren und zu prognostizieren. Darüber hinaus sollten weitere Einflussgrößen auf das Verkehrsaufkommen identifiziert werden. Es konnte in diesem Zusammenhang nachgewiesen werden, dass die Art der Schulferien sowie deren Beginn und Ende wichtige Einflussgrößen auf das Verkehrsaufkommen darstellen. In jener Arbeit wurde auch eine äußerst umfangreiche Literaturrecherche zur bisherigen Integration des Wetters in die Verkehrsmodellierung vorgenommen. In Auswertung dieser Recherche wird durch PILLAT zusammengetragen, dass zwar die verkehrliche Wirkung schon in verschiedensten Projekten analysiert und prognostiziert wurde, die Implementierung des Wettereinflusses in Verkehrsnachfragemodelle jedoch bisher auch aufgrund seiner regionalen und saisonalen Unterschiede nicht zur Anwendungsreife in der Praxis kam. Bezüglich der Wettereffekte wurde festgestellt, dass ein erhöhter Freizeitwert des Untersuchungsgebietes diese Effekte verstärkt. Für eine wetterabhängige Prognose des Verkehrsaufkommens wurden folgende vier verschiedene Modellansätze in dieser Arbeit entwickelt (vgl. PILLAT, 2014):

Lineares Regressionsmodell: Beschreibung der kalendarischen Ereignisse und des beobachteten Wetters durch binäre Variablen

Clusterbasiertes Modell: Clusterung der Netzganglinien und Zuordnung anhand repräsentativer Eigenschaften zu Prognosezeitraum

Verhaltensbasiertes Nachfragemodell: wetterabhängige Verkehrsnachfragemodellierung

Modellkombination aus clusterbasiertem Modell und Nachfragemodell: Netzganglinien gehen in Schätzung der Verkehrsmatrizen ein

Die Prognose erwies sich mit allen Modellansätzen als möglich. Allerdings konnte die Prognosequalität selten merkbar beeinflusst werden, da die abgebildeten Wettereffekte an den meisten Tagen vernachlässigbar waren. Lediglich für das Wochenende wurde eine leicht verbesserte Prognosequalität erreicht. Die beiden nachfolgenden Diagramme verdeutlichen diesen Sachverhalt für die zwei ausgewählten Tage. Der darin dargestellte und hier zitierte GEH-Wert dient der Beschreibung der Distanz zwischen modelliertem und erhobenem Verkehrsstärkewert.

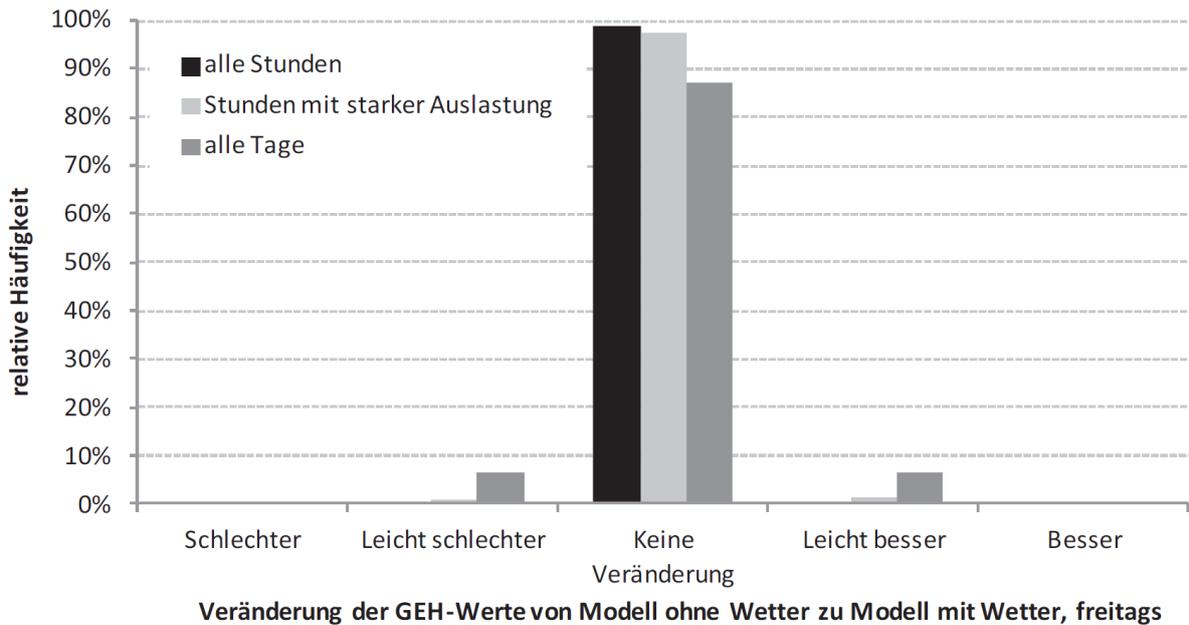


Abbildung 3-6: Veränderung der Prognosequalität durch Einbezug des Wetters für den Freitag (aus PILLAT 2014, S. 163)

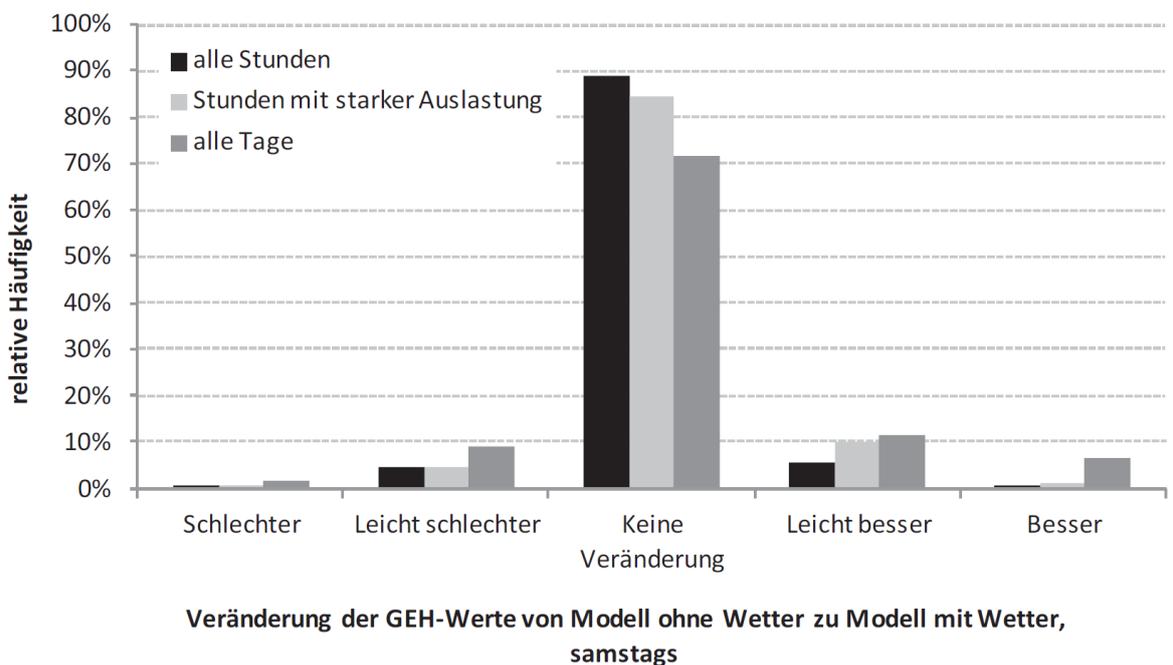


Abbildung 3-7: Veränderung der Prognosequalität durch Einbezug des Wetters für den Samstag (aus PILLAT 2014, S. 164)

Um die bestehenden Forschungslücken weiter zu verringern, stellten WEGELIN ET AL. (2017) die täglichen Gästezahlen der hauptsächlich touristisch genutzten Rigi-Bahnen (Zahnrad- und Luftseilbahnen) bei Luzern (Schweiz) den Wetterverhältnissen des Tages gegenüber. In den Untersuchungen wird ein multivariates Prognosemodell für die Fahrgastzahlen erstellt. In eine erste Modellrechnung gingen zunächst nur zwei Koeffizienten (für sonniges und bewölktetes Wetter) ein. Die Varianz der Besucherzahlen konnte durch das Modell damit nur für 41 Prozent der Fälle erklärt werden. In einer zweiten Modellierung gingen weitere Parameter wie Ferienzeiten, Saison und Wochenendtage ein. Diese Prognosen hatten dann schon eine recht gute Qualität, da 77 Prozent der Varianz der Besucherzahlen damit erklärt werden konnten (vgl. Abbildung 3-8).

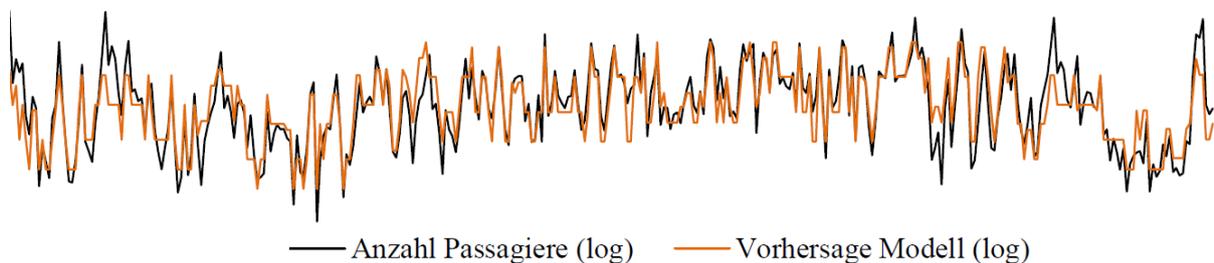


Abbildung 3-8: Vergleich der tatsächlichen Besucherzahlen und den im Modell berechneten Werten (aus WEGELIN ET AL., 2017)

Vor allem stärkere Ausschläge nach oben und unten werden vom Modell noch nicht zufriedenstellend erfasst. Diesbezüglich wird vermutet, dass weitere Erklärungsfaktoren wie Events, Feiertage, das Ende von Ferien, Gruppen und weitere noch unbekannte Effekte Berücksichtigung finden müssten (vgl. WEGELIN ET AL., 2017, S. 27).

Erkenntnisse für die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung:

Eine wetterabhängige Prognose des Verkehrsaufkommens gestaltet sich insofern als schwierig, als dass andere aufkommensbeeinflussende Faktoren den Einfluss des Wetters überdecken können. Bei rein touristischem Aufkommen, wie es bei Bergbahnen beispielsweise der Fall ist, können Prognosemodelle inzwischen gute Ergebnisse liefern. In der Regel geht in den Prozess der Kapazitätsplanung in einem Verkehrsunternehmen bei Berücksichtigung von prognostizierten Nachfragedaten keine wetterabhängige Differenzierung ein, denn die Prognosemodelle müssten mit hohem Aufwand für den konkreten Anwendungsfall sehr spezifisch anhand der regionalen Verhältnisse kalibriert werden. Deshalb müssen andere Möglichkeiten gefunden werden, um den Wettereinfluss auf die Nachfrage zu berücksichtigen.

3.7.3 Kenndaten zur Beschreibung der jeweiligen Nachfrage

Einen wesentlichen Input aus den Nachfrageuntersuchungen für die Kapazitätsplanung liefert die Detektion der Querschnitte mit der höchsten Belastung an Fahrgästen je Verkehrszeitraum im Linienverlauf. Diese sind dann maßgebend für die Dimensionierung des Platzangebotes.

Die maßgebenden Querschnitte können aus der Strecken- bzw. Linienbelastung ermittelt werden, relevante Verkehrszeiträume beispielsweise mithilfe von Tagesganglinien. Für die einzelnen Verkehrszeiten, Linien und Richtungen können verschiedene Querschnitte maßgebend sein. Den steten Schwankungen des Fahrgastaufkommens in den detektierten und differenziert behandelten Verkehrszeiträumen muss letztendlich bestmöglich Rechnung getragen werden. Allerdings werden in der Regel nur die Mittelwerte der Nachfrage innerhalb der betrachteten Zeitintervalle als Nachfrage-Kennwert für die Kapazitätsplanung zugrunde gelegt. Lediglich 21 Prozent von dazu befragten Verkehrsunternehmen berücksichtigten darüber hinaus auch die Streuungen (vgl. BERGNER, 2018, Abbildung 2.27).

Die Ursachen von Schwankungen des Fahrgastaufkommens sind sehr vielfältig (z.B. Tageszeit, Saison, Wochentag, Verspätungen oder Ausfall der Vorgängerfahrt). Einige Ursachen treten sehr kurzfristig auf. Besonders diese sind oft nur begrenzt vorhersehbar. Beispiele für eine kurzfristige Verlagerung der Nachfrage auf andere Fahrten sind in Tabelle 3-3 aufgeführt.

Tabelle 3-3: Mögliche kurzfristige Ursachen für Schwankungen der Fahrgastzahlen

externe Einflüsse	betriebliche (interne) Einflüsse
Wetterbedingungen	Verspätungen
Baustellen	Ausfall von Leistungen
Veranstaltungen	Anschlussverluste
Unfälle	

Um auch diese begrenzt prognostizierbaren Schwankungen so gut wie möglich abfangen zu können, muss eine gewisse statistische Sicherheit in den Kapazitätsplanungen für deren Ausgleich vorgesehen werden. Jedoch werden konstante Sicherheitszuschläge, die dazu allgemein üblich verwendet werden, den gleichzeitig dynamischen Tagesgängen der Nachfrage dem Ziel eines qualitativ hochwertigen und gleichzeitig wirtschaftlichen Angebots nur bedingt gerecht (vgl. BERGNER, 2018, S.32).

Im Planungsprozess muss ebenfalls beachtet werden, dass je nach Richtung und Verkehrszeitraum unterschiedliche maßgebende Querschnitte vorliegen können und bei Bedienung dieses Querschnittes durch mehrere Linien die Belastung auf die einzelnen Linien heruntergebrochen werden muss (VDV 1992). Im praktischen Betrieb ist es aufgrund einer Vielzahl von Randbedingungen nicht immer grundsätzlich möglich, auf jede Schwankung der Nachfrage mit einer Anpassung der Kapazitäten reagieren zu können. Es ist jedoch zweckmäßig, Verkehrszeiträume, innerhalb denen die Nachfrage nahezu gleichen Eigenschaften unterliegt, zu bestimmen. Für die Beherrschbarkeit der betrieblichen Prozesse liegt jedoch auch eine Begrenzung des Veränderns des Platzangebotes im Tagesverlauf im Interesse aller Beteiligten.

Erkenntnisse für die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung:

Ein wesentlicher Input für die Kapazitätsplanung kommt aus der realisierten oder prognostizierten Nachfrage. Wird die realisierte Nachfrage zugrunde gelegt, erfolgt auch eine verfahrensbedingte Berücksichtigung aller aufgetretener Schwankungen, einschließlich des wetterbedingten Schwankungsanteils. Die Differenzierung der Nachfrage erfolgt dagegen in der Regel angebotsabhängig nach relevanten Verkehrszeiträumen. Die Berücksichtigung des wetterbedingten Schwankungsanteiles für die Erstellung von Kapazitätsszenarien erfolgt insbesondere auch wegen des Fehlens einer methodengestützten Vorgehensweise bisher nicht.

Bevor anhand der Nachfrage-Kennzahlen für die maßgebenden Querschnitte eine Auswahl von Fahrzeuggröße und Fahrtenhäufigkeit erfolgen kann, müssen weitere innerbetriebliche sowie externe Vorgaben und Randbedingungen in die Planungsprozesse eingebunden werden. Diese werden daher nachfolgend vorgestellt. Darüber hinaus werden die weiteren Handlungsschritte bis hin zum realisierten fahrtgenauen Ressourceneinsatz erläutert. Ziel ist dabei, den Handlungsbedarf bezüglich der Berücksichtigung wetterabhängiger Nachfrageschwankungen bei der Kapazitätsplanung aufzuzeigen.

3.8 Nachfrageunabhängige Einflussgrößen und Randbedingungen

3.8.1 Vorgaben zur Beförderungsqualität

Die Verfügbarkeit von Sitzplätzen und der Auslastungsgrad der angebotenen Sitz- und Stehplatzkapazität sind wesentliche Qualitätsmerkmale öffentlicher Verkehrsangebote (DIN EN 13816 2002; FGSV 2001, Tabelle 9-3). Zudem stellt die Sitzplatzverfügbarkeit ein recht hartes und objektiv beurteilbares Qualitätskriterium nach VDV (2002) dar.

Allerdings sind Fahrzeuge des öffentlichen Verkehrs recht kostenintensiv. Sie erzeugen langfristige Fixkosten, daher wird in der Regel eine Minimierung des Bestandes angestrebt, wobei eine Reserve unter anderem für Schäden, Störungen oder Aufkommensschwankungen vorgehalten wird (vgl. WEIDMANN, 2011, S. 3/59 und Kapitel 4.8). Aus Aspekten der Kundenzufriedenheit darf ein gewisser Komfort trotzdem nicht über einen längeren Zeitraum unterschritten werden. Besonders hinsichtlich der Konkurrenzsituation mit dem MIV ist es angeraten, dem Fahrgast während der Normalverkehrszeit überwiegend einen Sitzplatz anbieten zu können. Je höher jedoch die Attraktivität eines Angebotes für den Fahrgast ist, umso höher sind meist auch die Kosten für das Verkehrsunternehmen. Daher bedarf es einheitlicher Planungsgrundsätze, welche einen vernünftigen Kompromiss der Zielfunktionen „hohe Attraktivität“ und „geringe Kosten“ aufweisen und die Planer bei ihren Entscheidungen unterstützen (vgl. FGSV, 2010, Abschn. 1). Von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) wurden dafür Empfehlungen in Bezug auf die Beförderungsqualität in Fahrzeugen ausgearbeitet (vgl. FGSV, 2010, Kapitel 4.3). Diese basieren im Wesentlichen auf Aussagen zur Beförderungsqualität aus dem Kapitel 9 des Handbuches für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (FGSV, 2001) sowie den Empfehlungen zur Bemessung des Platzangebotes aus der VDV Schrift 4 (VDV, 2001). Sie umfassen sechs verkehrszeitenunabhängige Qualitätsstufen und deren Vorgaben für die Sitzplatzverfügbarkeit je Fahrgast und die Stehflächenverfügbarkeit je stehender Fahrgast. Zudem erfolgt eine weitere Differenzierung nach Fahrtlänge (vgl. Tabelle 3-4).

Tabelle 3-4: Beförderungsqualität, gemessen am Platzangebot (Zusammenstellung nach FGSV (2010), Tabelle 1 und 12)

Qualitätsstufe und Kriterien (nach VDV 2001)		Verfügbarkeit bei langer Fahrt (> 3 km)		Verfügbarkeit bei kurze Fahrt (≤ 3 km)	
		Sitzplätze [Sitzplatz/Fg]	Stehfläche [m ² /stehender Fg]	Sitzplätze [Sitzplatz/Fg]	Stehfläche [m ² /stehender Fg]
A	Großzügiges Platzangebot	≥1,75	Freie Sitzplätze	≥1,33	Freie Sitzplätze
B	Sitzplätze für alle Fahrgäste vorhanden	≥1,33		≥1,00	
C	Sitzplatzangebot reicht im Allgemeinen noch aus	≥1,00			
D	Platzangebot reicht noch aus	0	≥0,25	0	≥0,20
E	Platzverhältnisse beengt		≥0,20		≥0,15
F	Überfüllte Fahrzeuge		<0,20		<0,15

VDV (2019A) gibt Empfehlungen zum maximalen Grad der Besetzung der Steh- und Sitzplatzkapazitäten in einem Fahrzeug (vgl. Tabelle 3-5).

Tabelle 3-5: Empfehlungen für Grenzwerte des Besetzungsgrades (aus VDV, 2019A, Abschnitt 4.2)

Verkehrszeit	Bemessungszeitraum/-kriterium	max. Besetzungsgrad (BG)
Haupt- verkehrszeit	Mittelwert über 20-Minuten-Spitze	80 % aller Plätze
	Spitzenstunde	65 % aller Plätze
Neben- verkehrszeit	Fahrzeit bis 15 min	50 % aller Plätze
	Fahrzeit über 15 min	100 % aller Sitzplätze
Schwachverkehrszeit		100 % aller Sitzplätze

Der Besetzungsgrad ist der Quotient aus der Anzahl der Fahrgäste und der Anzahl der Plätze (Sitz- und Stehplätze). Dieser muss sich auf den am stärksten belasteten Querschnitt beziehen. Soweit möglich und sinnvoll ist zum Ausgleich zufälliger Spitzen ein Mittelwert über ein Zeitintervall zu bestimmen, welches mindestens zwei Fahrten enthält. Inwiefern diese Maßgabe erfüllt werden kann, hängt auch von der Angebotsdichte ab (vgl. VDV, 2019A). Die Stehplatzanzahl ist vom Fahrzeugtyp und der Charakteristik der Fahrgäste (Schüler, Touristen, etc.) abhängig. Grundsätzlich sollten nicht mehr als 4 Personen je Quadratmeter angesetzt werden. Es ist auch darauf zu achten, nur gut zugängliche Flächen in diesen Ansatz einfließen zu lassen. Durch die Beschränkung auf arithmetische Mittelwerte und die Verwendung pauschaler Angebotszuschläge werden relevante Einflussgrößen wie die Stehdauer oder der Sitzplatzanteil im Fahrzeug vernachlässigt. Daher kann auch die *„[...] entsprechende globale Qualitätsbewertung durch das Unternehmen [...] stark von der individuellen Qualitätsbewertung der Fahrgäste abweichen [...]“*. (vgl. BERGNER, 2018, ABSCHN. 2.11)

Trotzdem orientieren sich die Forderungen zur Beförderungskapazität in Nahverkehrsplänen oder Verkehrsverträgen in der Regel an den VDV-Empfehlungen zum Besetzungsgrad (z. B. in RMV, 2019, S. 73, Tabelle 5). Es ist aber auch möglich, dass darin festgeschriebene Qualitätsstandards in Bezug auf die Platzkapazität von den VDV-Maßgaben abweichen. In der Regel werden diese dann zur Gewährleistung eines höheren Reisekomforts unterschritten. So wird im Nahverkehrsplan Leipzig mit der Begründung, dass eine Vollausslastung der theoretischen Platzkapazität im Regelbetrieb nicht zumutbar ist, ein Planungswert von 60 % der theoretischen Gesamtkapazität bei Straßenbahnen sowie ein konkreter typenabhängiger geringerer Wert bei Bussen vorgegeben (vgl. LEIPZIG, 2019). Nicht selten werden schon zeitlich und räumlich determinierte Forderungen zur Fahrtenhäufigkeit und zur Fahrzeuggröße sowie zu Ausstattungsmerkmalen gestellt. Als Beleg dafür zeigt Abbildung 3-9 einen Ausschnitt aus einem Verkehrsvertrag, Fahrzeugtyp und Traktion und damit die Platzanzahl sind fahrtgenau vorgegeben. In Verkehrsverträgen sind somit schon fahrt- und auch taggenaue Kapazitätsanforderungen definiert, welche auch ein situationsabhängiges Reagieren auf Aufkommenschwankungen erschweren. Kapitel 4.5.2 geht auf diese Problematik vertiefend ein.

KBS 230		RE1 Görlitz - Bautzen - Dresden			gültig ab: 15.12.2013			
Zug Nr	Abfahrt	Jahresfahrplan 2014 VT-Anzahl -Bestellung			Verstärkung auf ...VT		Schwächung auf ...VT	
		W(Sa)	Sa	S	Zeitraum	Fz	Zeitraum	Fz
17000	05:43	2	1	1				
5790	08:43	Mo 2/ 1	2	1	15.12.-22.12.13, 02.12.14 Di-Fr	2	24., 31.12.	1
					29., 30.11., 06., 07., 13.12	3		
					21., 22.04., 10.06.	2		
17004	10:25	1	1	1	12.-22.12.13, 19.11.-13.12.14 nur SaSo	3		
17006	12:25	1	1	1	18.-21.04., 29. 30.05., 07.-09.06.	2		

VT = Triebzug Baureihe 642

Abbildung 3-9: Beispiel für fahrtgenaue Anforderungen zur Platzanzahl aus Verkehrsverträgen (Auszug aus ZVON 2013)

In Nahverkehrsplänen bzw. in den Verkehrsverträgen festgeschriebene Vorgaben haben im Gegensatz zu den Empfehlungen aus VDV- und FGSV-Schriften einen rechtlich bindenden Charakter.

3.8.2 Anforderungen und Restriktionen durch Fuhrpark und Infrastruktur

Wesentliche Planungsgrundlagen für die Kapazitätsplanung resultieren aus den zur Verfügung stehenden Fahrzeugen mit ihren entsprechenden Platzkapazitäten und weiteren Eigenschaften.

Die angebotene Platzkapazität eines einzelnen Fahrzeuges bleibt während der Leistungserbringung konstant. Die ständige Veränderung der Bestuhlung vor, nach oder während einer Fahrt findet aufgrund naheliegender Gründe (Zeit- und Personalaufwand) im öffentlichen Verkehr nicht statt. Es ist möglich, dass ein Teil der Plätze durch eine multifunktionale Nutzungsmöglichkeit (z.B. Klappsitze an Fahrradstellplätzen) durch mehr oder weniger Personen je Nutzungsart belegt werden können. Aber auch dort wird von einer bestimmten Wahrscheinlichkeit je nach Nutzung ausgegangen und als fixer Eingangswert in der Kapazitätsplanung berücksichtigt. Kapazitätsanpassungen sind somit nicht kontinuierlich realisierbar, sondern nur in Sprüngen entsprechend der Platzdifferenz zwischen den verwendeten Fahrzeugeinheiten. Das Minimum der Platzkapazität wird durch das kleinste für die Fahrt einsetzbare Fahrzeug bestimmt. Weil nur auf einen eingeschränkten Fahrzeug- und damit Kapazitätenpool im Fuhrpark eines einzelnen Verkehrsunternehmens zurückgegriffen werden kann, ergeben sich naturgemäß Differenzen zwischen erforderlicher und angebotener Kapazität, welche dann auch für den Ausgleich von Schwankungen zur Verfügung stehen.

Die Kapazität von Bussen kann somit nur durch einen Fahrzeugtausch verändert werden, nur in Ausnahmefällen dürfen in Deutschland auch nach entsprechender Genehmigung durch die zuständigen Behörden Busanhänger für die Personenbeförderung eingesetzt werden. Bei Straßenbahnen und Zügen sind Variationen der Kapazität durch ein An- und Abhängen von Wageneinheiten eher möglich. Vor allem beim Einsatz von Triebfahrzeugen ist die Kompatibilität untereinander jedoch recht begrenzt. Betrieblich sind Bestandsfahrzeuge aktuell in der Regel nur in der gleichen Baureihe miteinander kuppelbar. Auch wenn eine mechanische und pneumatische Kompatibilität in den meisten Fällen gegeben ist, so scheitern die Systeme häu-

fig an der elektrischen Kompatibilität durch unterschiedliche Anordnungen der Elektrokontaktkupplung und der Belegungen der E-Kontaktleiste. Dadurch ist die Kompatibilität der dahinterliegenden sicherheitsrelevanten Leitungen, der elektronischen Leittechnik sowie der nicht fahrzeugseitig betriebenen Systeme wie Fahrgastinformationseinrichtungen eingeschränkt (vgl. RÜSCH, 2018).

Art und Anzahl der vorhandenen Fahrzeuge im Fuhrpark des Verkehrsunternehmens stellen somit eine limitierende Größe im Auswahlprozess dar. Vorgeschriebene maximale Fahrzeuglängen, Haltestellen- bzw. Bahnsteiglängen und -höhen begrenzen die Flexibilität des Fahrzeugeinsatzes ebenfalls.

Neben Fahrzeugeigenschaften und Infrastruktur bestimmt die Personalsituation wesentlich darüber, an welcher Stelle Kapazitäten verändert und damit an die Fahrgastnachfrage angepasst werden können. So sollten Fahrzeuge nur an solchen Stellen ausgewechselt werden, an denen der Fahrgast davon so wenig wie möglich betroffen ist, vorzugsweise am Linienbeginn oder -ende. Für die damit verbundenen Aus- und Einrückevorgänge werden zusätzliche Leerfahrten generiert, welche personell abgedeckt werden müssen. Entsprechende Bereitstellungsressourcen und Abstellmöglichkeiten müssen ebenfalls an den entsprechenden Orten vorhanden sein. Besonders im SPNV werden häufig für das Hinzufügen oder Wegnehmen von Wageneinheiten weitere personelle Ressourcen benötigt, zudem können zusätzliche zeitliche Aufwände erforderlich werden. Ebenso müssen vor Beginn oder nach Beendigung eines Fahrzeugeinsatzes erforderliche Arbeiten wie das Einschalten bzw. Hochfahren von Systemen und Funktionsprüfungen Berücksichtigung im Planungsprozess finden.

Weitere Vorgaben entstehen durch notwendige Wartungszyklen. Bei batteriebetriebenen Fahrzeugen muss zusätzlich zu den Fahrzeuganforderungen deren Reichweite und ein Lademanagement beachtet werden. Einen beispielhaften Überblick zu möglichen Anforderungen bzw. Restriktionen für die Fahrzeugeinsatzplanung zeigt Tabelle 3-6.

Tabelle 3-6: Beispiele für infrastrukturelle und betriebliche Anforderungen für die Fahrzeugeinsatzplanung

infrastrukturelle Anforderungen	betriebliche Anforderungen
<ul style="list-style-type: none"> • Bahnsteiglängen und -höhen • Haltestellenlängen • Abstellmöglichkeiten • Gewichtsvorgaben (Brücken) • Fahrzeughöhe und -breite • Wendevermögen • Leistung (bei Steigungen) • Reichweite (Kraftstoff) 	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeuganzahl/Fahrzeugtypen im Fuhrpark • Ausstattungsmerkmale • technische Eigenschaften • Kuppelbarkeit • Sicherungssysteme • Wartungsvorgaben • Handlungs- und Ressourcenbedarf bei Kapazitätswechsel • Wendezeiten • Betriebsstoff- und Lademanagement • Personalqualifikation

Aufgrund all dieser Randbedingungen ist es nicht immer möglich, zeitnah bzw. fahrtgenau Kapazitäten anzupassen, wodurch unnötige bzw. unerwünschte Kapazitätsüberangebote bzw. Kapazitätsengpässe entstehen können.

Die in Tabelle 3-6 vorgenommene und bei weitem nicht vollständige Aufzählung zeigt, dass durch infrastrukturelle und betriebliche Kriterien Einsatzrestriktionen für die Fahrzeuge bestehen und auch zusätzliche zeitliche Komponenten und personelle Ressourcen benötigt werden. Die nachfolgende Tabelle stellt für eine Auswahl die daraus resultierenden möglichen Einschränkungen auf den Fahrzeugeinsatz sowie den zusätzlichen Zeit- und Ressourcenaufwand dar.

Tabelle 3-7: Infrastrukturelle und betriebliche Vorgaben und mögliche Auswirkungen auf den Ressourceneinsatz

Restriktionen an die Kapazitätsplanung durch	Einsatzbeschränkungen für Fahrzeuge	zusätzlicher Fahrzeugaufwand	zusätzlicher Personalaufwand
Fahrzeugeigenschaften und Ausstattungsmerkmale	x	(x)	
Infrastruktur	x	(x)	(x)
Bereitstellungsressourcen	x	(x)	(x)
Einschränkungen zu Fahrzeugtausch innerhalb eines Umlaufes/Dienstes	x	x	x
Wartungsfristen/-ressourcen	x		
Abstellkapazitäten/Lademöglichkeiten	x	(x)	
Erforderliche Aufrüst-/Abrüstzeiten für vorbereitende oder nachbereitende Tätigkeiten		x	x
Mindestwendezeiten		x	x

x direkte Wirkung auf Ressourceneinsatz

(x) indirekte Wirkung auf Ressourceneinsatz

Erkenntnisse für die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung:

Bei der Umsetzung von wetterabhängigen Kapazitätsszenarien müssen umfangreiche restriktive qualitative, rechtliche und betriebliche Vorgaben beachtet werden.

3.9 Fahrtgenaue Kapazitätsdimensionierung je Betriebstag als Input weiterer Planungsschritte

Unter Beachtung der vorab diskutierten Eingangsgrößen und Randbedingungen erfolgt die Dimensionierung der fahrtgenauen Kapazitäten in dem schon beschriebenen iterativen Prozess (vgl. Kapitel 3.6). Fahrzeuggrößen und Fahrtenhäufigkeit werden als variable Größen innerhalb der bestehenden Möglichkeiten und Grenzen aufeinander abgestimmt. Im Ergebnis dieses grundsätzlichen Planungsprozesses erfolgt auf Basis der Entscheidung über die Fahrtenhäufigkeit zuerst die Fahrplanerstellung je Betriebstag. Ein Betriebstag steht stellvertretend für alle Tage mit identischen Handlungen und Planungsregeln. Er repräsentiert einen bestimmten Betriebszustand an einem typischen Tag. Eine Differenzierung in Betriebstage erfolgt in der Regel immer dann, wenn sich an diesen Tagen die Fahrpläne erheblich unterscheiden. Eine klassische Unterteilung in Betriebstage ist die Differenzierung nach Werk-, Feiertagen, Wochenenden und Feiertagen. Für jeden Betriebstag können dennoch mehrere Fahrplanvarianten existieren, beispielweise aufgrund von Baustellen und Umleitungen.

Wie in Kapitel 3.5 dargelegt, folgen weitere Planungsschritte. Im Anschluss an die Fahrplanung werden die Fahrzeugeinsatzpläne für jede Fahrplanvariante entwickelt, die auch wieder für einen bestimmten Zeitabschnitt gelten. Dabei kann es wiederum Rückkopplungen zwischen Fahrplanung und Einsatzplanung geben. In den Fahrzeugeinsatzplänen werden alle durchzuführenden Fahrplanfahrten den vorhandenen Fahrzeugen zugeordnet. Sie enthalten alle Informationen über die Bereitstellung der Fahrzeuge zu Beginn eines Umlaufes, aller Fahrplan- und Leerfahrten bis hin zur Abstellung am Ende des Umlaufes und vereinen demzufolge alle Transport- und Stillstandsleistungen der Fahrzeuge. Insbesondere bei sehr heterogenen Fahrzeugflotten kann sich die Zuordnung der erforderlichen Kapazitäten und eventuell geforderter Ausstattungsmerkmale recht aufwändig gestalten. Im Gegenzug ermöglichen unterschiedlich große Fahrzeuge im Fuhrpark einen höheren Gestaltungsspielraum des Reagierens auf unterschiedlich hohe Nachfragen. Im straßengebundenem ÖPNV werden die Fahrzeugeinsatzpläne in der Regel für die einzelnen im Unternehmen festgelegten Betriebstage soweit wie nötig differenziert erstellt. Im SPNV ist das Vorgehen grundsätzlich ähnlich, allerdings können aufgrund der größeren zurückgelegten Entfernungen Umläufe hier auch über mehrere Betriebstage verkehren.

Auch bei identischem Fahrplan können an verschiedenen Tagen sehr unterschiedliche aber systematische Anforderungen an den Fahrzeugeinsatz entstehen, die eine variable Ausgestaltung des Fahrzeugeinsatzes erfordern. Als Beispiel dafür seien wochentagsgebundene Veranstaltungen wie Wochenmärkte oder tagesunterschiedliche Öffnungszeiten von Freizeit- und Bildungseinrichtungen genannt. Dem wird im Planungsprozess durch verschiedene Fahrzeugeinsatzvarianten entsprochen, welche alle auf der identischen Fahrplanversion basieren. Aus den verschiedenen Einsatzplänen können wiederum Dienstpläne in verschiedenen Varianten entstehen. Schließlich werden alle Dienstplanvarianten in der Dienstreihenfolgeplanung für jeden Tag den Personalen zugeordnet. Diese Abläufe und Zusammenhänge verdeutlicht Abbildung 3-10.

Die gesamte Dienstplanung liegt somit der Fahrzeugeinsatzplanung zugrunde. Eine vollständige Verplanung aller Fahrzeugumlaufbestandteile erfolgt bei der Dienstbildung, der Planungsschritt der Fahrzeugeinsatzplanung muss dafür abgeschlossen sein. Rückkopplungen und Nachbesserungen zur Verbesserung der Ergebnisqualität aus Sicht der Dienstplanung sind möglich, erfordern aber eine gesamtheitliche Anpassung aller mit dem Fahrzeugeinsatzplan verbundenen Dienstplanvarianten (vgl. Abbildung 3-10).

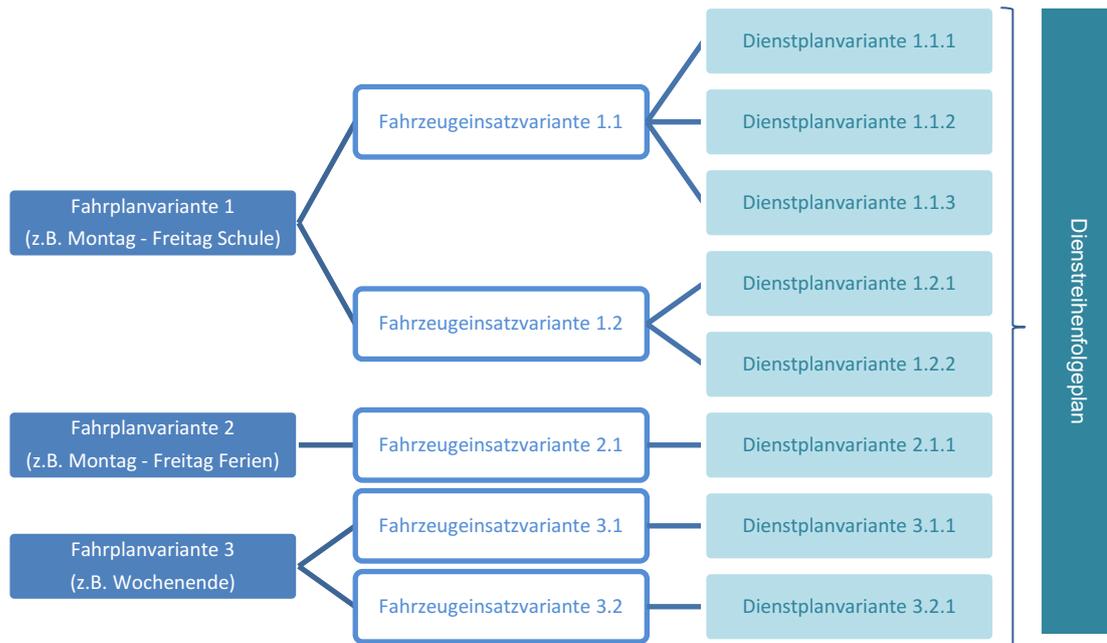


Abbildung 3-10: Schematische Darstellung eines beispielhaften Variantenbaumes in Planungssystemen

In einer Planungsperiode werden dann jedem Kalendertag jeweils genau eine Fahrplan-, Fahrzeugeinsatz- und Dienstplanvariante zugeordnet. Anhand dieser Zuordnung erfolgt die Veröffentlichung von Fahrplänen sowie die Erstellung von Unterlagen für die interne Information und für Arbeitsanweisungen (z.B. Wagenlauf- und Dienstpläne). Mit einer typischen Geltungsdauer von mehreren Monaten ist der Fahrzeugeinsatzplan jedoch in der Regel deutlich langfristiger angelegt als ein Dienstplan, der einer größeren Zahl an Randbedingungen und Optimierungskriterien unterworfen ist.

Dieses Vorgehen zeigt auf, dass die Kapazitätsplanung stark in der langfristigen Planungsebene eingebunden ist, was jedoch nicht heißen soll, dass operative Veränderungen nicht grundsätzlich durchgeführt werden, da bestimmte Ereignisse (z.B. Veranstaltungen, Bauarbeiten, Ersatzverkehre etc.) auch ein kurzfristiges Reagieren erfordern.

Unter dem Aspekt einer wetterabhängigen Kapazitätsdimensionierung wäre es wichtig, nicht nur betriebstagsbezogene, sondern auch wetterabhängige Fahrzeugeinsatz- und damit verbunden auch Personaleinsatzszenarien anzuwenden. Wetterabhängige Szenarien für die Einsatzplanung kommen jedoch aktuell noch nicht zur Anwendung. Es stellt sich daher die Frage, ob es bei bestimmten Voraussetzungen sinnvoller ist, eigenständige wetterabhängige Kapazitätsszenarien zu entwickeln, anstatt die wetterbedingten Fahrgastaufkommensschwankungen nur durch Vorhalten von entsprechenden allgemeingültigen Reserven zu berücksichtigen. Besonders wenn nachgewiesen werden kann, dass diese Reserven nur bei bestimmten Wetterszenarien erforderlich werden, könnte das Herunterfahren der Reserven¹⁸ bei allen anderen Wetterzuständen eine Effizienzsteigerung nach sich ziehen.

¹⁸ Im Abschnitt 4.8 wird näher auf die Dimensionierung der Reserven eingegangen.

Erkenntnisse für die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung:

Dienst- und Personaleinsatzplanung bauen unmittelbar auf der Fahrzeugeinsatzplanung auf. Somit benötigen nachfolgende Planungsprozesse den Output aus diesem Planungsschritt. Wetterabhängige Anpassungen müssen durchgängig über die verschiedenen Planungsstufen realisiert werden können.

3.10 Disposition von Fahrzeugen und Personal

Mit dem operativen Einsatz der konkreten Fahrzeug- und Personalressourcen befasst sich im Wesentlichen die Disposition. Der Begriff Disposition¹⁹ wird im unternehmerischen Alltag recht unterschiedlich verwendet. Im Sinne dieser Arbeit befasst sich die Disposition damit, „[...] geeignete Maßnahmen zur Erhaltung von Ressourcen in den betrieblichen Ablauf zu integrieren.“ (vgl. SCHOLZ, 2012, S. 203). Die Disposition stellt sicher, dass eine konkrete Ressource zu einer konkreten Einsatzzeit für eine konkrete Arbeitsaufgabe zur Verfügung steht. Für die Kapazitätsbereitstellung liefern sowohl die Personal- als auch die Fahrzeugdisposition einen wesentlichen Input. Bei der Personaldisposition werden aus den Diensten und Schichtmustern konkrete Dienstreihenfolgepläne erstellt und ständig den aktuellen Bedürfnissen und Anforderungen angepasst, sodass schließlich für jede Leistung die entsprechenden Personale zur Verfügung stehen. Die Fahrzeugdisposition ordnet jedem Fahrauftrag ein geeignetes Fahrzeug zu und bestimmt über Fahrzeugeinsatz und Abstellung. Darüber hinaus werden Laufleistung, Wartungs- und Reinigungsfristen sowie der Fahrzeugzustand überwacht. Während des Einsatzes von Personal und Fahrzeug wird - wenn nötig - auf aktuelle Leistungsstörungen reagiert und danach erfolgt die Abrechnung anhand der tatsächlich erbrachten Leistung.

Die Disposition trifft demnach wichtige operative Entscheidungen für den konkreten Ressourceneinsatz für eine konkrete Leistung und ist stark beteiligt an dem Prozess der Kapazitätsbereitstellung. Besonders die Möglichkeiten kurzfristiger Kapazitätsanpassungen werden durch die Handlungsfähigkeit der Disposition vorgegeben.

Erkenntnisse für die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung:

Die Disposition entscheidet über den konkreten Ressourceneinsatz, das betrifft auch wetterabhängige Kapazitätsszenarien. Die dispositive Handlungsfähigkeit und Zugriffsmöglichkeit auf die Ressourcen bestimmen insbesondere über deren Einsatz bei Abweichungen vom Planzustand.

¹⁹ Aus dem lat.: dispositio = Aufteilung, Zuweisung, Anordnung, Verfügung.

3.11 Schlussfolgerungen für die Berücksichtigung wetterabhängiger Nachfrageschwankungen bei der Kapazitätsplanung

In Tabelle 3-8 sind die wichtigsten aus den vorangestellten Analysen gewonnenen Erkenntnisse und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen für die Berücksichtigung wetterabhängiger Nachfrageschwankungen bei der Kapazitätsplanung zusammengestellt.

Tabelle 3-8: Erkenntnisse und Schlussfolgerungen für die Berücksichtigung wetterabhängiger Nachfrageschwankungen bei der Kapazitätsplanung

Erkenntnisse	Schlussfolgerungen
Grad der Wetterabhängigkeit steigt mit Fahrtzweck „Freizeit“	in touristisch geprägten Regionen sollte die Relevanz einer wetterbedingten Nachfrage im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Qualitätsansprüche der Fahrgäste beachtet werden
Freizeitverkehre starten meist nach der morgendlichen HVZ bzw. konzentrieren sich auf das Wochenende	Wettereinfluss ist dann vor allem abseits des morgendlichen Berufsverkehrs und am Wochenende zu erwarten
Es existieren noch keine zuverlässigen wetterabhängigen Prognosemodelle für Mix von Alltags- und Freizeitverkehren	Nachfrageszenarien müssen anhand von Erfahrungen bzw. statistisch belegbaren Zusammenhängen aus der Vergangenheit abgeleitet werden
Wetterabhängigkeit stellt sich regional sehr unterschiedlich dar	allgemeingültige Werte zur Höhe des Zusammenhanges zwischen Wetter und Nachfrage liegen nicht vor und müssen für die jeweilige Untersuchungsregion explizit ermittelt werden
Reiseentscheidungen werden häufig kurzfristig in Abhängigkeit vom Wetter getroffen	die Reaktion auf Nachfrageschwankungen muss kurzfristig realisiert werden können
interne und externe Randbedingungen bestimmen den Rahmen der Handlungsmöglichkeiten	diese müssen bei der Ausgestaltung wetterabhängiger Kapazitätsszenarien beachtet werden

Diese Erkenntnisse bilden eine wichtige Grundlage für das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte und im Kapitel 5 dargestellte Verfahren zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung.

Da wetterabhängige Nachfrageschwankungen kurzfristig auftreten, muss ein Verkehrsunternehmen in der Lage sein, relativ schnell darauf zu reagieren. Inwiefern dies möglich ist, wird im folgenden Kapitel beleuchtet.

4 MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN KURZFRISTIGER KAPAZITÄTSANPASSUNGEN IN EINEM VERKEHRSUNTERNEHMEN

4.1 Vorbemerkungen

Da Kapazitätsanpassungen einen zeitlichen Vorlauf erfordern und zuverlässige Wettervorhersagen nur für etwa 7 Tage gemacht werden können (vgl. Kapitel 4.3) sind wetterabhängige Kapazitätsanpassungen i. d. R. kurzfristig vorzunehmen. Ob Verkehrsunternehmen kurzfristig reagieren können, hängt von deren Anpassungsfähigkeit ab.

Die Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umstände wird im Allgemeinen als Flexibilität bezeichnet. Der Grad der Flexibilität wird von Handlungsspielraum und -schnelligkeit bestimmt (vgl. RÜHLE, 2007, Abschn. 1.1).

Der Handlungsspielraum resultiert aus der Anpassungsfähigkeit aller kapazitätsrelevanter Faktoren, die bei der Leistungserstellung (Produktion) eingesetzt werden. Die Handlungsschnelligkeit entscheidet letztendlich darüber, ob in dem zur Verfügung stehenden Zeitraum (Zeitraum zwischen dem Vorliegen einer zuverlässigen Wettervorhersage und der Leistungserbringung) die notwendigen Anpassungen realisiert werden können. Nachfolgend wird untersucht, welche Möglichkeiten und Grenzen in Verkehrsunternehmen bzgl. kurzfristiger Kapazitätsanpassungen bestehen.

4.2 Kapazitätsrelevante Produktionsfaktoren

Die grundsätzliche Aufgabe jedes Unternehmens ist es, Input aufzunehmen und in einem betrieblichen Transformationsprozess in Güter oder Dienstleistungen als Output umzuwandeln, womit in der Regel ein wirtschaftlicher Zweck verfolgt wird (vgl. SCHMALEN UND PECHTL, 2013, S. 4). Der Output wird durch die betrieblichen Produktionsfaktoren generiert. Der Begriff Produktionsfaktoren wurden von Gutenberg erstmalig postuliert und in elementare²⁰ und dispositive²¹ Faktoren eingeteilt (vgl. GUTENBERG, 1976). Jeder Produktionsfaktor verursacht Kosten, den sogenannten Faktorpreis. Jede Einheit eines Produktionsfaktors wird nach GUTENBERG als Aggregat²² bezeichnet.

Diese Betrachtungsweise wird bis heute in der Betriebswirtschaftslehre verwendet, es erfolgten jedoch unter verschiedenen Aspekten weitere Differenzierungen. Inzwischen existieren verschiedene Klassifizierungsmodelle der Produktionsfaktoren, welche auf GUTENBERGS zunächst zweigeteilter Hierarchie basieren. HEINEN beschreibt Produktionsfaktoren, die nicht durch eine einmalige Nutzung, sondern erst mit der Zeit verbraucht werden (z.B. Gebäude, Betriebsmittel wie Maschinen und Werkzeuge sowie menschliche Arbeitsleistung) als Potenti-

²⁰ Dazu zählen menschliche Arbeitsleistung, Arbeits- und Betriebsmittel, Werkstoffe.

²¹ Das betrifft jene menschlichen Tätigkeiten durch Geschäfts- und Betriebsleitung, die „[...] auf Entscheidung, Anordnung und Kontrolle [...]“ der Elementarfaktoren ausgerichtet sind (vgl. HEINEN 1985, S. 214 f.).

²² In Verkehrsunternehmen sind Aggregate zum Beispiel einzelne Maschinen in Betriebshöfen und Werkstätten und die Fahrzeuge.

alfaktoren. Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe werden dagegen bei ihm als Repetierfaktoren bezeichnet, weil jene im Produktionsprozess sofort verbraucht werden und immer wieder neu beschafft werden müssen. Dispositive Faktoren dagegen vereinen jene menschlichen Tätigkeiten, welche die Potentialfaktoren miteinander kombinieren und koordinieren. Durch sie wird die Kapazität als generelles Leistungsvermögen sowie das situativ verfügbare Leistungspotential gestaltet (vgl. HEINEN, 1985).

Zusatzfaktoren bezeichnen kostenverursachende Leistungen von anderen Dienstleistungsunternehmen. Als solche werden auch die Umwelt- und Infrastrukturbeanspruchung angesehen (vgl. SCHMALEN UND PECHTL, 2013).

MALERI (1997) führte darüber hinaus den Begriff des externen Produktionsfaktors ein, welcher als Eigentum des Kunden verstanden wird, im Gegensatz zu Elementarfaktoren nicht disponierbar ist und nur zeitlich begrenzt in den Leistungserstellungsprozess eingeht. Durch die Integration des Nachfragers einer Dienstleistung in die Leistungserstellung besteht eine funktionale Abhängigkeit zwischen dem Produktionsprozess und dem mengenmäßigen Einsatz dieses externen Faktors. Dessen Wahrnehmung, Beurteilung und Akzeptanz des Produktes bestimmt letztendlich, inwieweit eine Nachfrage entsteht und Leerkosten²³ zu Nutzkosten werden (vgl. CORSTEN UND STUHLMANN, 1997, S. 9). Demnach wird die Bewertung der Kapazität durch den Nachfrager zu einem unmittelbaren Erfolgsfaktor der Kapazitätsgestaltung (vgl. CORSTEN UND STUHLMANN, 1997, S. 7).

Abbildung 4-1 zeigt eine Zusammenstellung aller betriebswirtschaftlichen Produktionsfaktoren.



Abbildung 4-1: Einteilung betriebswirtschaftlicher Produktionsfaktoren (eigene Darstellung nach Gutenberg (1976), Heinen (1985), Maleri (1997) und Schmalen und Pechtl (2013))

Bei der Erstellung einer Verkehrsleistung kommen verschiedenste dieser Produktionsfaktoren als Input des Produktionsprozesses zum Einsatz. Auch der Kapazitätsgestaltung obliegt die Bereitstellung von Aggregaten und Personal. Von Relevanz in dieser Arbeit sind jene Faktoren, welche in den Prozess einer Kapazitätsanpassung in einem Verkehrsunternehmen als

²³ Leerkosten entstehen, wenn Maschinen oder Personal nicht vollständig ausgelastet sind, die Fixkosten aber dafür weiter beglichen werden müssen (z. B. bei Unterauslastung der Maschinen oder Personalausfall wegen Krankheit).

Input eingehen können. Diese bestimmen dann den Handlungsspielraum für das Gestalten wetterabhängiger Kapazitätsszenarien. Im Kapitel 3 erfolgte die Analyse von Input und Output des Kapazitätsplanungsprozesses für den öffentlichen Personennahverkehr. Die aus diesen Überlegungen heraus abgeleiteten wesentlichen kapazitätsrelevanten Aggregate und Randbedingungen sind in Tabelle 4-1 zusammengestellt und den entsprechenden Produktionsfaktoren zugeordnet.

Tabelle 4-1: Wesentliche kapazitätsrelevante betriebswirtschaftliche Produktionsfaktoren in einem Verkehrsunternehmen

Potentialfaktoren	Repetierfaktoren	Dispositive Faktoren	Zusatzfaktoren	externer Faktor
<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeuge • Personal • Infrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> • Kraftstoffe • Strom • weitere Hilfsstoffe für Fahrzeugbetrieb und -wartung 	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebszeiten • Einsatzzeiten • Wartungszyklen • Qualitätsvorgaben 	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsverträge • Rechtsnormen • Umweltbeanspruchung • Nutzungsbedingungen für externe Infrastruktur 	Fahrgast

Die wichtigsten Stellschrauben bei der Kapazitätsdimensionierung sind Fahrzeuggröße und Fahrtenhäufigkeit (vgl. Abbildung 3-4 auf Seite 28). Als eines der bestimmenden Betriebsmittel beeinflusst deshalb der Fuhrpark durch Größe und Zusammensetzung die Möglichkeiten des Reagierens auf Veränderungen. Jenes Personal, welches unmittelbar an der Ausführung der notwendigen Arbeiten zur Leistungserbringung in Form eines Fahrtangebotes beteiligt ist, beeinflusst die Möglichkeiten ebenfalls wesentlich. Aus den Verkehrswegen und Zugangsstellen, welche unter dem Begriff Infrastruktur zusammengefasst sind, ergeben sich ebenfalls Anforderungen an den Fahrzeugeinsatz. Wesentliche Randbedingungen für Kapazitätsanpassungen ergeben sich somit aus den Potentialfaktoren (Fahrzeuge, Personal und Infrastruktur) und deren Zusammenspiel.

Kraftstoffe oder Strom werden als Repetierfaktoren für die Erzeugung der Antriebsenergie für die Verkehrsmittel benötigt. Weitere technische Stoffe wie beispielsweise Öl, Wasser oder auch Brems sand sind für die Instandhaltung und den sicheren Betrieb der Fahrzeuge notwendig. In der Regel haben sie wenig entscheidenden Einfluss auf das Zustandekommen einer Kapazitätsveränderung - abgesehen von Lade- oder Betankungsprozessen.

Aus der Disposition heraus kommen die operativen Entscheidungen und Anordnungen für Kapazitätsanpassungen. Ihr liegen subjektive sowie objektive Entscheidungsregeln zugrunde. Aus dispositiver Sicht sind beispielsweise Organisationsfaktoren wie Betriebs- und Einsatzzeiten der Potentialfaktoren aber auch kapazitätsrelevante vergaberechtliche Aspekte in Bezug auf die Qualität zu beachten.

Zusatzfaktoren ergeben sich aus dem Vergaberecht, aus Rechtsnormen für den Personaleinsatz, aus Nutzungsbedingungen für nicht unternehmenseigene Infrastruktur und aus Vorgaben zum Lärm- und Umweltschutz. Dabei können insbesondere vergaberechtliche Aspekte Kapazitätsanpassungen beeinflussen.

Als externer Faktor geht der Fahrgast mit seinem Mobilitätsbedürfnis, aber auch mit seinem Platzverbrauch und seinen Qualitätsansprüchen in die Planungen für den Leistungserstellungsprozess ein. Seine Bedürfnisse bilden die Basis für Kapazitätsanpassungen.

Die Anpassungsfähigkeit der Produktionsfaktoren wird nachfolgend dahingehend untersucht, dass eine Veränderung der Fahrtenanzahl oder eine Veränderung der Fahrzeugkapazität erfolgen kann (vgl. Kapitel 3.6). Die einzelnen Faktoren können aufgrund der erforderlichen Interaktionen besonders zwischen Infrastruktur, Fahrzeugen und Personal nicht immer unabhängig voneinander betrachtet werden. Trotzdem ist der Handlungsspielraum durch die beiden genannten Aktionen abgegrenzt und vordefiniert.

Erkenntnisse zu Möglichkeiten und Grenzen der Umsetzung wetterabhängiger Kapazitätsanpassungen:

Eine Vielzahl von Produktionsfaktoren müssen in einer wetterabhängigen Kapazitätsanpassung integriert werden. Der resultierende Handlungsspielraum für eine konkrete Anpassungsart ergibt sich aus der Flexibilität des dafür maßgebenden Faktors aus der Gesamtheit aller relevanter Faktoren.

Aus der Veröffentlichungszeit der Wetterbedingungen resultiert der Handlungszeitraum. Dieser wird nachstehend entsprechend eingegrenzt.

4.3 Handlungszeitraum

Wetter ist im Gegensatz zum Betriebstag kein langfristig bekannter Zustand. Es stellt sich daher die Frage, inwiefern sich die kapazitätsbestimmenden Produktionsfaktoren mit dem Ziel einer wetterabhängigen Kapazitätsveränderung auch dispositiv verändern lassen. Diese Disposition muss kurzfristig realisiert werden können. Für den Begriff „kurzfristig“ gibt es jedoch keine legalisierte Definition. In Bezug auf die Intention der Arbeit soll sich dieser Begriff auf einen Zeithorizont von bis zu sieben Tagen beziehen. Diese Begrenzung resultiert aus der heutigen Zuverlässigkeit von Wettervorhersagen. Auch wenn in den letzten Jahren ein enormer Anstieg von deren Genauigkeit erfolgte²⁴, so kann über den siebten Tag im Voraus nur eine grobe Tendenz angegeben werden (vgl. HOFFMANN, 2020). Wetterprognosen über diesen Zeitraum hinaus werden an verschiedenster Stelle von der Fachwelt als unseriös bezeichnet. Demzufolge liegt der Handlungshorizont für den Einsatz wetterabhängiger Kapazitätsszenarien bei unter einer Woche von der Entscheidung bis hin zur Durchführung der Leistung.

Der Aspekt der Handlungsschnelligkeit im erörterten Handlungszeitraum rückt somit in den Vordergrund der nachfolgenden Untersuchungen. Die nachfolgenden Betrachtungen zur Umsetzbarkeit von Anpassungsmaßnahmen sollen daher aufzeigen, welchen Planungs- und Umsetzungshorizont die notwendigen Prozesse erfordern, um kurzfristig realisierbare Maßnahmen detektieren zu können. Zunächst werden im Kapitel 4.4 grundsätzlich mögliche Anpassungsformen und deren zeitliches Reaktionsvermögen aus der Theorie heraus aufgezeigt bevor im Kapitel 4.5 eine Erörterung von Randbedingungen und Restriktionen in Bezug auf die praktische Umsetzung dieser Anpassungsformen für wetterabhängige Kapazitätsszenarien erfolgt.

²⁴ Heutzutage ist eine Wettervorhersage für 5 Tage so exakt wie der Wetterbericht vor 40 Jahren für einen Tag.

4.4 Formen der Kapazitätsanpassung

4.4.1 Anpassungsformen aus Sicht der Produktionslogistik

In der Produktionslogistik werden die nachstehend aufgeführten Kapazitätsanpassungsformen differenziert betrachtet:

- Belastungsabgleich (zeitlicher oder technologischer Ausgleich)
- Kapazitätsanpassung (Anpassung der Arbeitskräfte oder Betriebsmittel)
- Belastungsanpassung (Auslagerung oder Übernahme von Tätigkeiten)

Durch ARNOLD ET AL. (2008) wird der Zeitbedarf für den Planungshorizont der Maßnahmen aus Sicht der Produktionslogistik beschrieben. Dieser wird in Tabelle 4-2 aufgezeigt.

Tabelle 4-2: Anpassungsformen aus Sicht der Produktionslogistik und deren Planungshorizont (eigene Darstellung nach ARNOLD ET AL. 2008, S. 332)

Reaktionszeit	Belastungsabgleich		Kapazitätsanpassung		Belastungsanpassung
	Zeitlicher Ausgleich	Technologischer Ausgleich	Anpassung Arbeitskräfte	Anpassung Betriebsmittel	
Kurz	x	x	x		
Mittel			x	x	x
lang			x	x	

Nur die Belastungsabgleiche ermöglichen demnach in der Regel kurzfristige Anpassungen. Für zeitliche Belastungsabgleiche werden mit den vorhandenen Betriebsmitteln einzelne Arbeitsvorgänge zeitlich verschoben bzw. es erfolgt eine Anpassung der Produktionsmenge je Zeiteinheit. Technologische Ausgleiche erfolgen durch Verlagerung der Arbeitsvorgänge auf Betriebsmittel mit freien Kapazitäten und adäquaten Produktionseigenschaften.

Wenn eine Kapazitätsanpassung erforderlich wird, erfolgt das durch eine Veränderung von Personal- und Betriebsmittelkapazitäten. Diese kann eher nur mittel- und langfristig erfolgen. Die Möglichkeiten, um Personal kurzfristig einzustellen bzw. wieder zu entlassen, sind arbeitsrechtlich beschränkt. Im Kurzfristbereich liegen jedoch personelle flexible Kapazitäten vor, wenn durch eine entsprechende Qualifikation von Mitarbeitern ein innerbetrieblicher Austausch möglich ist.

Bei einer Belastungsanpassung erfolgt die Auslagerung von Tätigkeiten an Fremdfirmen bzw. die Übernahme zusätzlicher Tätigkeiten für Andere. Die dafür notwendige Vertragsgestaltung erfordert jedoch in der Regel mindestens einen mittelfristigen Planungshorizont. (vgl. ARNOLD ET AL., 2008)

Aus dieser Zuordnung heraus könnten schon erste Ableitungen für konkrete kurzfristig realisierbare Maßnahmen wie die Anpassung der Sitzplatzkapazität durch einen Austausch von Fahrzeugen dargestellt werden. Beschaffung bzw. Aussonderung von technologisch aufwändigeren Betriebsmitteln wie Fahrzeugen und die Errichtung bzw. der Abbau von Infrastruktur erfordern dagegen mindestens einen mittelfristigen Vorlauf. Anpassungen der Infrastruktur und Veränderungen des Fuhrparks werden deshalb nicht in die Betrachtung der kurzfristigen Anpassungsmöglichkeiten aufgenommen. Verkehrswege für den straßengebundenen Verkehr können in der Regel nicht kurzfristig durch ein Verkehrsunternehmen disponiert

werden, auch wenn in der Theorie denkbare Ansätze wie beispielsweise die operative Freihaltung von Straßenspuren für zusätzliche Busfahrten existieren. Auch die Verkehrswege und Stationen des schienengebundenen Verkehrs unterliegen in den meisten Fällen nicht dem Teilbarkeitspostulat²⁵, auch wenn es an dieser Stelle wiederum denkbare Möglichkeiten gibt, beispielweise wenn es mehr als ein Richtungsgleis gibt. Aufgrund des kurzen Handlungszeitraumes von wenigen Tagen (vgl. Kapitel 4.3) wird eine kurzfristige Anpassung der Infrastruktur jedoch nicht weiter verfolgt.

Für weitere Ableitungen ist es notwendig, die technologischen und personellen Gestaltungsspielräume hinsichtlich ihrer tatsächlichen Flexibilität einer weiteren Prüfung zu unterziehen. Die nachfolgend erläuterte betriebswirtschaftliche Sichtweise auf Anpassungsmöglichkeiten kann dabei durch eine systematisierte Betrachtung der Potentialfaktoren dem Anspruch der Vollständigkeit eher gerecht werden.

4.4.2 Anpassungsformen aus betriebswirtschaftlicher Sicht und Adaption auf Verkehrsunternehmen

In der Theorie der Betriebswirtschaftslehre existieren folgende Anpassungsformen als Reaktion auf eingetretene oder erwartete Veränderungen (nach GUTENBERG, 1976):

- intensitätsmäßige Anpassung durch Variation der Produktionsgeschwindigkeit,
- quantitative Anpassung durch Variation der eingesetzten Maschinen,
- zeitliche Anpassung durch Variation der Arbeitszeit.

KRÖNES (1990) betrachtet Möglichkeiten der Kapazitätsanpassung im Hinblick auf Nachfragespitzen im ÖV. Aus der räumlichen Erstreckung als Eigenart des Verkehrs heraus, wird die räumliche Anpassung zusätzlich zu den drei Formen nach GUTENBERG als spezifische Anpassungsmaßnahme für Verkehrsunternehmen eingeführt.

- räumliche Anpassung durch Anpassung von Linieneigenschaften (Ergänzung nach KRÖNES (1990) für Verkehrsunternehmen)

Darüberhinaus wird postuliert, dass keine dieser Anpassungsformen isoliert betrachtet werden kann, sondern erhebliche Interdependenzen bestehen (vgl. KRÖNES, 1990, S. 77). Die Überführung der Gutenbergschen Anpassungsformen für die Belange von Verkehrsunternehmen haben LEHMANN (1980) und KRÖNES (1990) vertieft untersucht. Diese spezifischen Anpassungsmöglichkeiten im ÖV werden im Folgenden im Sinne der Zielsetzung dieser Arbeit erläutert.

4.4.2.1 Intensitätsmäßige Anpassung

Bei einer intensitätsmäßigen Anpassung werden bei konstantem Bestand an Potentialfaktoren und konstanter Betriebszeit die Intensität der arbeitenden Menschen und/oder die technischen Leistungen der maschinellen Aggregate verändert. Somit kann der Zeitraum, in dem eine bestimmte Arbeitsmenge erbracht wird, variiert werden (vgl. HEINEN, 1985, S. 493). Nach HEINEN

²⁵ Eine Variation der Potentialfaktoren setzt in gewissen Grenzen deren Teilbarkeit voraus (vgl. HEINEN 1985, S. 504).

wird aber „[...] aus Gründen der Wirtschaftlichkeit von intensitätsmäßigen Anpassungen weitgehend abgesehen [...]“, da in der Regel von vornherein eine optimale bzw. maximale Auslastung der Potentialfaktoren angestrebt wird.

Dennoch könnten zwei Fälle einer intensitätsmäßigen Anpassung der Kapazität grundsätzlich in Betracht gezogen werden (nach KRÖNES, 1990):

1. Geschwindigkeitsanpassung,
2. Auslastungsanpassung.

Eine Geschwindigkeitsanpassung im Sinne einer Beförderungszeitanpassung stellt zwar eine grundsätzliche Anpassungsmöglichkeit dar, als alleinige Maßnahme einer Kapazitätsanpassung wird diese jedoch als nicht praktikabel und zielführend angesehen.

Wenn Potentialfaktoren mit einem gewichtsmäßigen oder räumlichen Fassungsvermögen eingesetzt werden, dann ergibt sich bei verschiedener Auslastung dieser Aggregate eine intensitätsmäßige Auslastung. Im Personenverkehr beeinflusst der externe Faktor Fahrgast die Auslastungsanpassung der Fahrzeugkapazität, dessen Nachfrage generiert den Besetzungsgrad der Fahrzeuge. Erst wenn die Auslastungsanpassung den angestrebten maximalen oder minimalen Besetzungsgrad über- bzw. unterschreitet, werden Anpassungsmaßnahmen erforderlich, welche wiederum nicht isoliert von den anderen Anpassungsmöglichkeiten betrachtet werden können.

4.4.2.2 Quantitative und selektive Anpassungsmöglichkeiten

Quantitative Anpassungen erfolgen durch Variation der Anzahl der eingesetzten Potentialfaktoren, wobei eine Konstanz der technischen Leistung der Aggregate sowie der Betriebszeit vorausgesetzt wird (nach HEINEN, 1985, S. 504). Dann bleiben auch die Kosten je Potentialfaktor gleich. Auf die Betrachtung dieser Arbeit heruntergebrochen, bedeutet dies eine Veränderung der Anzahl Fahrzeuge identischer Kapazität sowie der Anzahl der Personen gleicher Qualifikationen. Von der Betrachtung rein quantitativer Anpassungen empfiehlt KRÖNES (1990) abzusehen, da hier auf ein festes Einsatzverhältnis von gleichartigen Personen und gleichartigen Maschinen zueinander ausgegangen wird, was schon durch eine Veränderung des Fahrzeugtyps auch bei konstanter Platzanzahl nicht mehr aufrecht erhalten werden kann. Zudem würde die Theorie eine Gleichartigkeit aller personellen Kräfte erfordern, weshalb für KRÖNES diese Anpassungsform „[...] von vornherein ausscheidet [...]“, auch weil „[...] meist qualitative Aspekte einzusetzender Kapazitäten nicht auszuschließen sind.“ (vgl. KRÖNES, 1990, S. 38).

Bei der selektiven Anpassung werden dagegen sowohl die einzusetzende Menge als auch die Art der Produktionsfaktoren geändert. Die Selektion erfolgt anhand der Qualität der eingesetzten Faktoren, unwirtschaftliche Faktoren werden zuerst aus dem Produktionsprozess herausgezogen und wirtschaftlichere Faktoren wieder zuerst in den Prozess aufgenommen (nach HEINEN, 1985, S. 505). KRÖNES (1990) präferiert die Möglichkeit einer getrennten Betrachtungsweise für den Einsatz personeller und sächlicher Kapazitäten, welcher in dieser Arbeit aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen für den Einsatz von Fahrzeugen und

Personal gefolgt wird. Personelle Anpassungen sind immer von der Anpassung anderer Potentialfaktoren abhängig, sächliche Anpassungen können auch unabhängig erfolgen. Den sächlichen Kapazitäten werden Infrastruktur (Wege und Stationen) und Fahrzeuge zugeordnet. Die Infrastruktur wird auch bei KRÖNES (1990) aus derselben Intention, wie sie in Kapitel 4.4.1 dargestellt wurde, nicht mehr weiter betrachtet. Deshalb wird der Begriff sächliche Kapazität in dieser Arbeit direkt durch den Begriff Fahrzeugkapazität ersetzt.

Anpassung der Fahrzeugkapazität

Beim Umlegen der Theorie auf die Praxis ergeben sich zwei denkbare Anpassungsmöglichkeiten sowie deren Kombination:

- Veränderung der Anzahl der im Betrieb befindlichen Fahrzeuge,
- Erweiterung/Kürzung der Platzanzahl durch Tausch von Fahrzeugen unterschiedlicher Platzanzahl oder durch Variation der Wagenanzahl,
- Kombination aus beidem.

Alle Fälle werden aus kurzfristiger Sicht durch die Eigenschaften des vorhandenen Fuhrparks limitiert, da dessen kurzfristige Veränderung ausgeschlossen wurde. Diese und weitere Restriktionen im Hinblick auf betriebliche und Qualitätskriterien sind in den Kapiteln 3.8.1 und 3.8.2 erörtert.

Anpassung der Personalkapazität

Eine personelle Anpassung leitet sich im Regelfall immer aus einer betrieblichen Disposition oder einer Anpassung der Fahrzeugkapazität ab und kann somit nicht losgelöst von anderen Anpassungsszenarien betrachtet werden. Grundsätzlich leiten sich die Möglichkeiten analog der Anpassung der Fahrzeugkapazität ab:

- Anpassung ohne Veränderung der Anzahl des eingesetzten Personals,
- Anpassung mit Veränderung der Anzahl des eingesetzten Personals,
- Kombination aus beidem.

Begrenzt werden die Möglichkeiten durch die Anzahl des Personals sowie die Fähigkeiten des einzelnen Individuums. Bei einem Einsatz von Personalen müssen entsprechende Kenntnisse und Berechtigung vorliegen. Für Fahrpersonale sind das unter anderem:

- Führerschein zur Fahrgastbeförderung (Bus, O-Bus, Straßenbahn) bzw. Eisenbahnführerschein,
- Fahrzeugkenntnis,
- Streckenkenntnis,
- häufig auch Tarifkenntnis.

Bei Tausch von Fahrzeugen und Veränderung der Fahrzeugzusammensetzung müssen die Kenntnisse und Berechtigung zum Führen aller entsprechenden Fahrzeuge vorliegen.

Eine Anpassung kann nicht nur das Fahrpersonal betreffen, sondern sich je nach Verkehrsmittel auch auf andere Personalgruppen auswirken. Veränderungen der Fahrzeuganzahl erfordern auch Anpassungen der Begleitpersonale. Darüber hinaus werden oft Personale für

Rüst- und Rangiervorgänge erforderlich. Diese anderen Personalgruppen können einen indirekten Einfluss auf kapazitive Anpassungen haben. Das ist beispielsweise denkbar, wenn Wartungszeiten verändert werden oder dispositive Anweisungen erstellt werden müssen. In der Tabelle 4-3 sind die Personalgruppen, die bei Kapazitätsanpassungen in der Regel betrachtet werden müssen, nach Verkehrsmittel zusammengestellt.

Tabelle 4-3: Kapazitätsrelevante Personalgruppen nach Verkehrsmittel im ÖV

Verkehrsmittel	Personalgruppe					
	Fahrpersonal	Wartung, Instandhaltung		Disposition	Rüst- und Rangierpersonal	Begleitpersonal
		Fahrzeuge	Infrastruktur			
Bus	x	o	o*	o*	x*	
O-Bus	x	o	o	o	x*	
Straßenbahn	x	o	o	o	x*	
Zug	x	o	o	o	x	x

- x direkter Einfluss auf Kapazitätsanpassungen
- o möglicher Einfluss auf Kapazitätsanpassungen
- * nicht in jedem Unternehmen zwingend vorhanden

Weitere Restriktionen ergeben sich aus arbeitsrechtlichen Randbedingungen und Sozialvorschriften. Deren Einfluss auf die Möglichkeiten einer kurzfristigen personellen Anpassung wird im Kapitel 4.6 diskutiert.

4.4.2.3 Zeitliche Anpassung

Eine zeitliche Anpassung ergibt sich aus der Variation der Aktivitätszeit bzw. Nutzungszeit der Produktionsfaktoren, die Anzahl der Potentialfaktoren bleibt dabei konstant (vgl. HEINEN, 1985, S. 501). KRÖNES (1990) präzisiert den Begriff „zeitliche Anpassung“ für Personenverkehrsunternehmen, indem er herausstellt, dass zum einen Zeiträume wie Betriebszeiten²⁶ und zum anderen Zeitlagen der Leistungsangebote (Fahrten) verändert werden können. Aus diesen Überlegungen heraus sind zwei Möglichkeiten der zeitlichen Anpassung denkbar:

- Betriebszeitanpassung,
- Fahrzeugfolgezeitanpassung.

Die Variation der Betriebszeiten ist immer eine Begleiterscheinung von Anpassungen der Zeitlagen. Aus Zeitlagenänderungen erwachsen immer Konsequenzen für die Quantität der eingesetzten Kapazitäten.

4.4.2.4 Räumliche Anpassung

Der Begriff der räumlichen Anpassung wurde durch KRÖNES (1990) eingebracht, weil Verkehre die Eigenart haben, sich räumlich zu erstrecken. Unter einer räumlichen Anpassung definiert er „[...] die Variation des Anteils der bedienten Haltepunkte einer Linie, des Linienverlaufes, der Linienlänge oder einer Kombination aus diesen Möglichkeiten.“ Er arbeitet folgende Möglichkeiten einer räumlichen Kapazitätsanpassung heraus:

- Anpassung der Fahrzeugfolgezeiten nach Linienabschnitten differenziert,
- Anpassung der Fahrzeugfolgezeiten nach Stationen differenziert,
- Anpassung der Fahrzeugfolgezeiten nach Richtung differenziert.

Im ersten Fall werden nicht mehr alle Teilstücke einer Linie gleichhäufig bedient. Im zweiten Fall werden die einzelnen Halte unterschiedlich häufig bedient, somit wird eine schnelle und eine langsamere Bedienung einer Linie miteinander kombiniert. Im dritten Fall werden die Bedienungshäufigkeiten beider Richtungen differenziert angepasst. Diese Fälle sind immer mit einer zeitlichen Anpassung verknüpft. Trotz der Interdependenz zu anderen Anpassungsformen hält KRÖNES es für wichtig, die räumliche Anpassung nicht in der zeitlichen zu subsumieren, weil an verschiedenen Punkten im Raum (Haltestellen) Anpassungen erfolgen (KRÖNES, 1990, S. 77 ff.).

4.4.2.5 Interdependenzen zwischen den Anpassungsformen

Aus der Theorie heraus ergibt sich eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Anpassung der Kapazität durch ein Verkehrsunternehmen. Die Anpassungsarten stehen jedoch nicht für sich alleine, sondern es bestehen Interdependenzen. Diese verdeutlicht Abbildung 4-2.

²⁶ Zeit zwischen morgendlichem Betriebsbeginn und nächtlichem Betriebsende.

Jede Maßnahme geht immer mit allen durch sie eingeschlossenen Maßnahmen einher. Eingeschlossene Maßnahmen können dagegen mit äußeren korrespondieren, müssen es aber nicht.

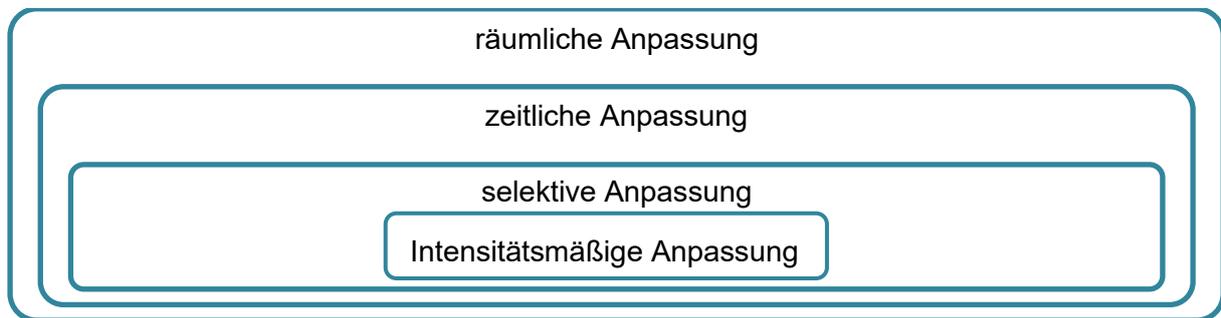


Abbildung 4-2: Zusammenhang aller Anpassungsformen untereinander in Bezug auf Kapazitätsanpassungen im ÖV

4.4.3 Abschätzung der Wirkung von kurzfristigen Kapazitätsanpassungsmaßnahmen auf die Produktionsfaktoren

Inwiefern eine kurzfristige Realisierbarkeit wetterabhängiger Kapazitätsszenarien gegeben ist, hängt von der kurzfristigen Disponierbarkeit der in Kapitel 4.2 abgeleiteten kapazitätsrelevanten Produktionsfaktoren hinsichtlich der angestrebten Anpassungsform ab. In der Praxis schränken vor allem rechtliche Rahmenbedingungen sowie die betrieblichen Ressourcen die Möglichkeiten ein. Daher werden im Folgenden rechtliche, vertragliche sowie soziale Aspekte den Maßnahmen gegenübergestellt.

Die herausgearbeiteten Anpassungsmöglichkeiten haben in den meisten Fällen Auswirkungen auf die kapazitätsrelevanten Potentialfaktoren (Fahrzeuge, Personal und Infrastruktur). Unter der Prämisse, dass auf den bestehenden Fuhrpark und die bestehende Infrastruktur zurückgegriffen wird, schränken nur Anforderungen aus Wartung und Instandhaltung deren grundsätzliche kurzfristige Verfügbarkeit ein. Auf das Personal kann jedoch nicht uneingeschränkt zurückgegriffen werden, dafür muss eine Vielzahl arbeitsrechtlicher und sozialer Vorgaben beachtet werden. Diese werden im Kapitel 4.6 dargestellt und im Hinblick auf eine kurzfristige Disposition bewertet.

Kapazitätsanpassungen ziehen häufig auch Veränderungen des Verbrauchs der Repetierfaktoren (Betriebsmittel) nach sich. Diese sind jedoch in der Regel kurzfristig beschaffbar, somit ergeben sich aus diesem Produktionsfaktor keine relevanten Restriktionen.

Kapazitätsanpassungen erfordern auch immer dispositive Faktoren, diese sind maßgeblich für die Entscheidung des Zustandekommens der Maßnahme. Diese Faktoren stehen in der Regel kurzfristig zur Verfügung. Ob kurzfristige Entscheidungen getroffen werden können, hängt jedoch vom Aufwand der Maßnahme ab. Als einschränkend sind hier die Arbeits- bzw. Besetzzeiten dispositiv wirkender Stellen zu nennen. Welchen Zeitvorlauf der durch dispositive Entscheidungen ausgelöste Informationsfluss beansprucht, wird im Kapitel 4.7 analysiert.

Zusatzfaktoren müssen im Wesentlichen dann berücksichtigt werden, wenn eine vertraglich geregelte Leistung durch eine Kapazitätsanpassung einer Veränderung unterzogen wird. Die

sich daraus abzuleitenden Restriktionen für eine kurzfristige Leistungsveränderung werden im nachfolgenden Kapitel 4.5 diskutiert.

Als externer Faktor muss der Fahrgast in die Betrachtungen aufgenommen werden. Eine kurzfristige Anpassung kann in vielen Fällen nur dann kundenwirksam werden, wenn der Fahrgast darüber auch kurzfristig informiert werden kann. Daher werden in Kapitel 4.7 die Anforderungen an den Informationsfluss zu innerbetrieblichen Systemen sowie Fahrgastinformationssystemen analysiert.

4.5 Vergaberechtliche und vertragliche Rahmenbedingungen

4.5.1 Relevanz der Pflichten des ÖPNV hinsichtlich Kapazitätsanpassungen

Zunächst unterliegen Verkehrsunternehmen Bestimmungen der Kapazitätsvorhaltung. Da es aufgrund der Betriebs- und Beförderungspflicht im Personenbeförderungsgesetz (vgl. PBefG, 2020, §§ 21, 22) bzw. dem Allgemeinen Eisenbahngesetz (vgl. AEG, 2020, §§ 10, 11) nicht zulässig ist, der Spitzennachfrage nicht-Spitzen-bemessene Kapazitäten anzubieten, sind die quantitativen Kapazitäten im Linienverkehr an der Spitzennachfrage auszurichten (vgl. KRÖNES, 1990, S. 18 f.) Darüberhinaus regeln Verkehrsverträge mit dem Aufgabenträger Umfang und Qualität des Verkehrsangebotes. Weiterhin besteht für die Dauer der Genehmigung eine Verpflichtung, den Betrieb des Verkehrsangebotes auch tatsächlich aufzunehmen (vgl. Kapitel 4.5.3). Die Betriebspflicht ist auch bei Betriebsstörungen zumindest mit reduzierter Betriebsleistung aufrechtzuerhalten, was durch dispositive, technische und organisatorische Maßnahmen sicherzustellen ist (vgl. SCHNIEDER, 2015, S. 3). Damit sind sovieler quantitative Kapazitäten an Infrastruktur, Fahrzeugen und Personal bereitzuhalten, dass diese Anforderungen zuverlässig erfüllt werden können. Das Maximum an Aggregaten ergibt sich aus Kosten-Nutzen-Betrachtungen für jede kostenauslösende Maßnahme und den finanziellen Randbedingungen (vgl. SCHNIEDER, 2015, S. 3). Im Gegenzug dazu darf bei geringer oder nichtexistierender Nachfrage keine angekündigte Fahrt ausfallen, da eine Fahrplanpflicht besteht (vgl. PBefG, 2020, § 40 (4) bzw. AEG, 2020, § 12 (3)). Zu guter Letzt verhindert die Tarifpflicht (vgl. PBefG, 2020, § 39 bzw. AEG, 2020, § 12a), dass die entstehenden Kosten für eine Fahrt nur auf die Teilnehmer dieser Fahrt aufgeteilt werden. Eine geringe Nachfrage einer Fahrt generiert daher immer weniger Erlöse aus dem Tarif als eine hohe Nachfrage. Somit bestehen auch kapazitätsreglementierende Bestimmungen in dem Sinne, dass eine Mindestkapazität für jede veröffentlichte Fahrt vorzusehen ist und das unternehmerische Erlörisiko nicht direkt an den einzelnen Nutzer weitergegeben werden kann. Dadurch werden die Anpassungsmöglichkeiten durch die Zahl der vorhandenen und mindestens erforderlichen Aggregate in einem Verkehrsunternehmen begrenzt.

Erkenntnisse zu Möglichkeiten und Grenzen der Umsetzung wetterabhängiger Kapazitätsanpassungen:

Aus der im PBefG und im AEG verankerten Fahrplan- und Beförderungspflicht muss für jede angekündigte Fahrt eine Kapazität bereitgestellt werden und es darf dem Grunde nach kein potentieller Fahrgast aus Kapazitätsgründen abgewiesen werden. Das Weglassen einer angekündigten Fahrt ist somit unzulässig.

4.5.2 Anforderungen durch Dienstleistungsverträge

In Deutschland sind die Länder für die Organisation des SPNV und die Kommunen für die Organisation des ÖPNV zuständig. Die Leistungs- bzw. Zielvorgaben für die Leistungserstellung durch ein Verkehrsunternehmen werden durch diese Aufgabenträger in einem Dienstleistungsauftrag definiert.

Die Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 über ÖPV-Dienste auf Schiene und Straße regelt die Rechte der Betreiber öffentlicher Personenverkehrsdienste sowie die Gewährung von finanziellen Ausgleichsleistungen für die Erbringung gemeinwirtschaftlicher Verpflichtungen und legt allgemeine und für alle Betreiber geltende Vorschriften für den Betrieb öffentlicher Verkehrsdienste fest (vgl. VO (EG) 1370, Artikel 5).

„In den öffentlichen Dienstleistungsaufträgen

- a) *sind die vom Betreiber [...] zu erfüllenden gemeinwirtschaftlichen Verpflichtungen [...] klar zu definieren;*
- b) *sind zuvor in objektiver und transparenter Weise aufzustellen*
 - i) *die Parameter, anhand deren gegebenenfalls die Ausgleichsleistung berechnet wird, und*
 - ii) *die Art und der Umfang der gegebenenfalls gewährten Ausschließlichkeit; dabei ist eine übermäßige Ausgleichsleistung zu vermeiden.*²⁷

Durch die Forderung nach Aufstellung klar definierter Parameter werden dem Leistungserbringer deutliche Grenzen für sein unternehmerisches Handeln gesetzt. Die Forderung der Vermeidung einer übermäßigen Ausgleichsleistung bekräftigt zudem, dass an dieser Stelle wenig Spielraum eingeräumt wird.

Der Anhang der Vorschrift enthält Regeln für die Gewährung einer Ausgleichsleistung. Unter Punkt 7 findet sich der Satz: *„Das Verfahren zur Gewährung der Ausgleichsleistung muss einen Anreiz geben zur Aufrechterhaltung oder Entwicklung [...] der Erbringung von Personenverkehrsdiensten in ausreichend hoher Qualität.“*

Dieser Satz wird von der Autorin so gedeutet, dass in einem Dienstleistungsvertrag auch Handlungsspielräume für die Kapazitätsplanung eingeräumt werden können. Diese Ansicht wird durch die Tatsache untersetzt, dass in Deutschland auch Verkehrsverträge mit Klauseln zur Vergütung zusätzlicher bzw. erweiterter Verkehrsleistungen existieren (vgl. TLUSTECK, 2020, S. 97).

²⁷ Vgl. Artikel 4, VO (EG) 1370.

Erkenntnisse zu Möglichkeiten und Grenzen der Umsetzung wetterabhängiger Kapazitätsanpassungen:

Ein Verkehrsunternehmen ist vertraglich an Vorgaben zur Kapazitätsbereitstellung gebunden. Wenn wetterabhängige Kapazitätsszenarien zur Anwendung kommen sollen, sollte die Möglichkeit einer kurzfristigen Abweichung in den Vertragsbedingungen verankert sein.

4.5.3 Genehmigungspflicht bei straßengebundenem Verkehr

Neben der Einhaltung der Betriebspflicht ist auch zu beachten, dass straßengebundene Verkehre grundsätzlich genehmigungspflichtig sind. Dafür müssen unter anderem Nachweise der persönlichen Zuverlässigkeit, der finanziellen Leistungsfähigkeit und der fachlichen Eignung nachgewiesen werden.

„Wer [...] mit Straßenbahnen, [...] mit Obussen, [...] mit Kraftfahrzeugen im Linienverkehr [...] oder [...] mit Kraftfahrzeugen im Gelegenheitsverkehr [...] Personen befördert, muss im Besitz einer Genehmigung sein.“ (PBEFG, 2020, § 2, Abs. 1)

Genehmigungspflichtig sind Bau, Betrieb und die Linienführung²⁸ durch eine von der Landesregierung bestimmten Behörde. In Sachsen ist das beispielweise das Landesamt für Straßenbau und Verkehr. Dort müssen Anträge für gemeinwirtschaftliche Verkehre bis spätestens 6 Monate vor Ablauf der bestehenden Genehmigung bzw. vor vorgesehenem Genehmigungsbeginn (vgl. LASUV, 2018) eingegangen sein. Anträge auf eigenwirtschaftliche Verkehre sind sogar 12 Monate vor beantragtem Geltungszeitraum zu stellen²⁹.

Somit ist es erforderlich auch Leistungen, deren tatsächliche Durchführung einer kurzfristigen Entscheidung obliegen, schon langfristig im Voraus genehmigen zu lassen. Eine Rücknahme oder Reduzierung von genehmigten Leistungen sowie das Aufnehmen zusätzlicher Fahrten oder der Wegfall und das Hinzufügen von Verkehrstagen ist nur nach Rücksprache und Zustimmung durch die zuständige Behörde möglich. Hinweise zur Verfahrensweise, welche beispielsweise in Sachsen in einem Merkblatt für den Antragsteller zusammengestellt werden (vgl. Tabelle 4-4), geben Aufschluss über die Kurzfristigkeit der Möglichkeiten. Darin wird zudem pauschal gefordert, die Fahrplanänderungen rechtzeitig vor Umsetzungsbeginn zu übersenden. Konkrete Fristen werden nicht genannt, eine kurzfristige Befürwortung einer Beantragung wird durch die Praxis als wenig realistisch eingeschätzt (vgl. Tlusteck, 2020, S. 100).

²⁸ Vgl. PBEFG (2020), § 9, Abs. 1.

²⁹ Vgl. PBEFG (2020), § 12, Abs. 5.

Tabelle 4-4: Verfahrensweise bei Fahrplanänderungsanträgen (nach LASUV 2019)

Maßnahme	genehmigungspflichtig	zustimmungspflichtig	anzeigepflichtig
Wegfall bzw. zusätzliche Fahrten/ Haltestellen	in erheblichem Umfang in Bezug auf Gesamtfahrplan	in geringem Umfang in Bezug auf Gesamtfahrplan	Verdichtung des Fahrplans bei besonderen Anlässen (Einzeltage)
Erweiterung/ Verkürzung der Linie	über Anfangs/ Endpunkt hinaus	- zusätzliche Haltestellen auf bestehendem Linienweg - Erweiterung /Verkürzung der Bedienrelation auf einzelnen Fahrten	
Umwandlung in flexible Bedienform	in erheblichem Umfang in Bezug auf Gesamtfahrplan	einzelne Fahrten	

Es gibt jedoch die Möglichkeit, bei Sonderformen des Linienverkehrs (Berufsverkehr, Marktfahrten, Schülerfahrten und Theaterbesuchsfahrten) sich von der Fahrplanpflicht befreien zu lassen, sodass auch eine Einstellung des Betriebes möglich wäre. Diese Lösung wäre jedoch nur dann auf die Zielstellung übertragbar, wenn keine anderen Fahrgäste als eine bestimmte touristische Zielgruppe befördert werden sollen.

Erkenntnisse zu Möglichkeiten und Grenzen der Umsetzung wetterabhängiger Kapazitätsanpassungen:

Kapazitätsveränderungen, die mit einer Veränderung des Fahrplans und des Linienweges beim straßengebundenen ÖPNV einhergehen, bedürfen einer Genehmigung. Diese muss mittel- bis langfristig beantragt werden.

4.5.4 Trassenbestellpflicht beim SPNV

Im Eisenbahnverkehr ist es aufgrund der deutlich stärker wirkenden kapazitiven Restriktionen eines Schienenfahrweges gegenüber einer Straße notwendig, alle Leistungen miteinander abzustimmen und im Sinne einer bestmöglichen Auslastung zu koordinieren.

Im Eisenbahnregulierungsgesetz (vgl. EREGG, 2020) wird durch „[...] *Wahrung der Interessen der Zugangsberechtigten [...] und Sicherstellung eines wirksamen Wettbewerbs [...]*“³⁰ eine marktregulierende, transparente und diskriminierungsfreie Netzfahrplanung sichergestellt. Es regelt die Zugtrassenvergabe und die daraus resultierenden Erfordernisse und Pflichten für die Schienenwegbetreiber und die Trassen bestellenden Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU). Alle geplanten Zugbewegungen und Bewegungen der Fahrzeuge, die auf einem konkreten Schienennetz während einer bestimmten Periode durchgeführt werden, werden als Ergebnis eines Koordinierungsprozesses in einem Netzfahrplan durch den Betreiber der Schienenwege abgebildet.

Dieses Gesetz wird auch wirksam, wenn ein EVU kurzfristig zusätzliche Fahrplantrassen beantragt bzw. schon beantragte Fahrplantrassen nicht nutzen möchte. Entgelte für vorgehaltene, aber nicht genutzte Schienenwegkapazität können grundsätzlich verlangt werden. Es

³⁰ Vgl. EREGG (2020) § 3.

muss in jedem Falle erhoben werden, wenn zugewiesene Trassen regelmäßig nicht genutzt werden³¹. Somit obliegt es dem Betreiber bei seltenen Vorkommnissen Stornierungsgebühren einzufordern, bei einer Regelmäßigkeit muss er das tun. Die Kriterien für die Feststellung der Nichtnutzung sind durch den Betreiber selbst festzulegen.³¹

Bei der Nichtnutzung können Gebühren nach dem konkreten Zeitpunkt der Stornierung abgestuft erhoben werden. Zur Veranschaulichung der Vielzahl der Umsetzungsmöglichkeiten werden nachfolgend drei konkrete Beispiele dargestellt. Bei der Saarbahn GmbH gilt folgende Regelung (vgl. SNB SAARBAHN, 2019):

- bis zu 14 Tage vor Inanspruchnahme: entgeltfrei,
- zwischen 14. Tag bis 24 h vorher: 30 % des Trassenentgeltes,
- unter 24 h vor Abfahrt: 80 % des Trassenentgeltes.

Die DB AG wendet eine ähnliche Regelung an, es wird aber abhängig vom Marktsegment in jedem Fall ein Mindeststornierungsbetrag für den Fahrplankonstruktionsaufwand fällig (vgl. SNB DB, 2020):

- bis zu 30 Tage vor Inanspruchnahme: Mindeststornierungsentgelt,
- zwischen 30. Tag bis 5 Tage vorher: 15 % des Trassenentgeltes,
- zwischen 5. Tag bis 24 h vorher: 30 % des Trassenentgeltes,
- unter 24 h vor Abfahrt: 80 % des Trassenentgeltes.

Die Schienen-Nutzungsbedingungen der Bahnen der Stadt Monheim GmbH stufen dagegen nach Häufigkeit der Nichtnutzung ab und betrachten auch deren Gründe (vgl. SNB MONHEIM, 2017):

- grundsätzlich 50 % des tatsächlichen Trassenentgeltes,
- 100 % werden fällig bei mehr als zweimal in der Vergangenheit nicht genutzt,
- 10 % bei Nachweis, dass bei ordnungsgemäßen Geschäftsbetrieb die Gründe der Nichtnutzung nicht durch den Zugangsberechtigten vertreten wurden.

Der Begriff Stornierung bezieht sich dabei nicht nur auf den vollständigen Entfall einer Fahrt, sondern auch auf weitere Veränderungen der Trassen, die sowohl den Laufweg als auch die bisherige Gültigkeit betreffen. Dazu zählen beispielsweise:

- Änderung Start- und/ oder Zielpunkt,
- Laufwegeinkürzungen,
- Abbestellung einer Zugtrasse oder eines Teils einer Zugtrasse an einem oder an mehreren Verkehrstagen, und/ oder Änderung des Verkehrstags. (vgl. SNB DB, 2020)

Während eine Stornierung somit auch sehr kurzfristig ausführbar ist, benötigt die Anmeldung einer Trasse deutlich mehr Zeit. Der Netzfahrplan wird nur einmal im Jahr erstellt, die Frist für den Eingang von Anträgen endet am zweiten Montag im April für den Netzfahrplan, welcher am zweiten Samstag im Dezember des gleichen Jahres gültig wird (vgl. EREGG, 2020, Anlage 8). Kurzfristige Anträge außerhalb des Netzfahrplanes sind als Anmeldung von Gelegenheitsverkehren möglich, worüber innerhalb von 5 Arbeitstagen durch den Betreiber der Schienenwege entschieden werden muss. Alle Zugangsberechtigten können sich über verfügbare Kapazitätsreserven vorab informieren, da eine Pflicht besteht, diese Informationen zur Verfügung

³¹ Vgl. EREGG (2020) § 40.

zu stellen. Eine Veröffentlichung über das Internet wird dabei sogar explizit gefordert (vgl. EREGG, 2020 § 56, (2)). Aufgrund dieser Veröffentlichungsfrist von Kapazitätsreserven kann der Erfolg einer kurzfristigen Anmeldung in Vorfeld abgeschätzt werden.

Eine weitere wichtige Forderung im Sinne eines kurzfristigen Reagierens enthält EREGG § 56 (3). Um auf unvorhersehbare Anträge außerhalb des Netzfahrplans kurzfristig reagieren zu können, muss eine Prüfung über das Erfordernis von Kapazitätsreserven erfolgen. Es besteht eine Pflicht, die Anträge der letzten zwei Netzfahrplanperioden dahingehend zu prüfen. Die DB Netz AG kommt dieser Pflicht beispielsweise durch eine Vergangenheitsprüfung der letzten zwei Fahrplanperioden in Bezug auf kurzfristige Anmeldungen, Änderungen und Stornierungen nach und bezieht Erfahrungen des Vertriebs mit ein (vgl. SNB DB, 2020, Abschn. 4.2.1.17). Wenn wetterbedingte Kapazitätsszenarien wiederholt zum Einsatz kommen sollen und Änderungen der Trassenanmeldungen nach sich ziehen, sollte geprüft werden, ob Kapazitätsreserven dafür schon im Vorherein für diesen Zweck disponiert werden können. Eine Vorhaltepflcht für ein bestimmtes Unternehmen kann daraus jedoch nicht abgeleitet werden. Die Entgelte entsprechen in der Regel den regulären Entgelten. Allerdings können für Fahrten außerhalb der Streckenöffnungszeiten zusätzliche Gebühren anfallen. Neben Nutzungspreisen von Schienenfahrwegen werden auch Entgelte für die Nutzung von mit der Infrastruktur verbundenen Serviceeinrichtungen der Betreiber fällig. Dazu gehören auch personelle Dienstleistungen beispielsweise durch die Disposition aber auch für konkrete Tätigkeiten wie das Umstellen einer Weiche.

Erkenntnisse zu Möglichkeiten und Grenzen der Umsetzung wetterabhängiger Kapazitätsanpassungen:

Es besteht die Möglichkeit im SPNV, Trassen kurzfristig an- oder abzumelden. Kurzfristige Stornierungen ziehen in der Regel hohe Gebühren nach sich. Der Umfang zusätzlicher Leistungen ist von der Kapazitätsauslastung des gewünschten Schienenweges abhängig.

4.6 Arbeitsrecht und Sozialvorschriften

4.6.1 Vorgaben aus Rechtsnormen

Das Arbeitszeitgesetz (ArbZG) gewährleistet die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmer in Deutschland und schützt den Sonntag und die staatlich anerkannten Feiertage als Tage der Arbeitsruhe (vgl. ArbZG, 2020, § 1). In diesem Gesetz wurden die Vorgaben der EU-Richtlinie 2003/88/EG über bestimmte Aspekte der Arbeitszeitgestaltung in nationales Recht überführt.

Die wichtigsten für alle Arbeitnehmer in Deutschland gültigen Arbeitszeitparameter sind in Tabelle 4-5 zusammengefasst.

Tabelle 4-5: Arbeitszeitparameter aus dem ArbZG

Parameter	Vorgabe	Zulässige Ausnahmen
Max. tägl. Arbeitszeit	max. 8 h	11 h bei Ausgleich über 24 Wochen auf 8 h im Mittel
Max. wöchentliche Arbeitszeit	max. 48 h	bis zu 60 h bei Ausgleich auf Wochenschnitt von 48 h innerhalb 4 Monaten (FPersV)
Arbeit ohne Ruhepausen	max. 6 h	
Ruhepausen	30 min bei 6-9 h Arbeitszeit 45 min bei > 9 h Arbeitszeit	Kurzpausen in Verkehrsbetrieben zulässig
Ruhezeit	mind. 11 h	
Sonn- und Feiertagsbeschäftigung	Beschäftigungsverbot	Arbeitnehmer von Verkehrsbetrieben dürfen beschäftigt werden (neben weiteren Ausnahmen)
Sonntagsbeschäftigung	Ersatzruhetag innerhalb von 2 Wochen mind. 15 Sonntage im Jahr beschäftigungsfrei	
Feiertagsbeschäftigung	Ersatzruhetag innerhalb von 8 Wochen	

Grundsätzlich gelten diese Parameter für alle abhängig Beschäftigten in Deutschland. Die expliziten Regelungen für Beschäftigte in Verkehrsunternehmen werden nachfolgend herausgearbeitet.

Der Begriff „Arbeitszeit“ umfasst nach Richtlinie 2002/15/EG folgende Tätigkeiten durch Fahrpersonal im Bereich des Straßentransportes:

- Fahren,
- Be- und Entladen,
- Hilfe beim Ein- und Aussteigen von Fahrgästen,
- Reinigung und technische Wartung,
- alle anderen Arbeiten im Zusammenhang mit der Sicherheit des Fahrzeugs, der Fahrgäste oder der Ladung sowie die Erfüllung bestimmter gesetzlicher Pflichten, die direkt mit einer konkreten Transporttätigkeit in Zusammenhang stehen,
- sowie alle übrigen Zeiten, die als Dienstzeit des Fahrers gelten. (vgl. RL 2002/15/EG, 2002)

Mit dem Ziel, europäische Sozialvorschriften in Bezug auf Arbeitsbedingungen und die Sicherheit im Straßenverkehr zu harmonisieren, wurde die Verordnung (EG) Nr. 561/2006 (vgl. VO (EG) 561/2014) erlassen. Um die Wettbewerbsbedingungen anzugleichen sowie die Arbeitsbedingungen für Kraftfahrer des Straßengüter- und -personenverkehrs zu verbessern, wurden darin Vorschriften zu Lenkzeiten, Fahrzeitunterbrechungen und Ruhezeiten festgelegt. Das Fahrpersonalgesetz FPersG regelt die Geltungsbereiche der Arbeitszeiten von Fahrpersonalen in Deutschland und erlässt unter anderem die VO (EG) Nr. 561/2006 „[...] für die Tätigkeit des Fahrpersonals von Kraftfahrzeugen sowie von Straßenbahnen, soweit sie am Verkehr auf öffentlichen Straßen teilnehmen“ (vgl. FPERSG, 2019, § 1). Regelungen zur Arbeitszeitgestaltung aus diesem Gesetz stehen über den Regelungen des ArbZG. Der europäische Rechtsrahmen gilt nach Artikel 3 a) der o.g. EG-Verordnung zunächst nicht für Beförderungen im Linienverkehr unter 50 km. Diese Lücke wird in Deutschland durch die Fahrpersonalverordnung FPersV geschlossen. Schon im ersten Artikel wird der Anwendungsbereich explizit erläutert. „Fahrer [...] im Linienverkehr mit einer Linienlänge bis zu 50 Kilometern [...] haben Lenkzeiten, Fahrtunterbrechungen und Ruhezeiten nach Maßgabe der Artikel 4, 6 bis 9 und

12 der Verordnung (EG) Nr. 561/2006 [...] einzuhalten“. (vgl. FPERSV, 2017, Abschnitt 1 (1)). Eine Zusammenstellung der Vorgaben enthält Tabelle 4-6.

Tabelle 4-6: Vorgaben zu Lenk- und Ruhezeiten im straßengebundenen öffentlichen Verkehr (aus VO (EG) 561 (2014))

Parameter	Vorgabe	Zulässige Ausnahmen
tägliche Lenkzeit	max. 9 h je Tag	10 h für 2 mal pro Woche
wöchentliche Lenkzeit	max. 56 h je Woche max. 90 h je 2 Wochen	
Lenkzeitunterbrechung	nach 4,5 h Lenkzeit mindestens 45 min	Aufteilbar in zwei Abschnitte 1. Unterbrechung 15 min 2. Unterbrechung 30 min
tägliche Ruhezeit	mind. 11 h, mind. 12 h bei Aufteilung in 2 Abschnitte 3 h + 9 h	Verkürzung auf 3 x 9 h zwischen 2 wöchentlichen Ruhezeiten
wöchentliche Ruhezeit	45 h einschließlich einer Tagesruhezeit zwingend nach 6 Tagen	Einkürzung auf 24 h bei 2 Ruhezeiten von 45 h innerhalb von 2 Wochen oder 45 h zzgl. 24 h innerhalb von 2 Wochen und Ausgleich innerhalb von 3 Wochen

Die Parameter für die Einsatzbedingungen des fahrenden Personals im interoperablen grenzüberschreitenden Schienenverkehr werden in einer EU-Richtlinie (2005/47/EG) explizit definiert. Durch die Eisenbahnpersonalverordnung (vgl. EFPV, 2009) wurden diese Vorgaben in nationales Recht übernommen (vgl. Tabelle 4-7).

Tabelle 4-7: Vorgaben zu Lenk- und Ruhezeiten im schienengebundenen öffentlichen Verkehr (aus EFPV (2009))

Parameter	Vorgabe
Tägliche Ruhezeit	am Dienort: mind. 12 h (zusammenhängend) je 24 h-Zeitraum auswärtig: mind. 8 h (zusammenhängend) je 24 h-Zeitraum
Fahrzeit	max. 9 h (tags) 8 h (nachts) max. 80 h je 2 Wochen
wöchentliche Ruhezeit	24 h + tägliche Ruhezeiten je 7 Tage
jährliche Ruhezeit	12 Doppelruhen von 48 h mit Samstag und Sonntag + 12 weitere Doppelruhen

Im nicht grenzüberschreitenden Verkehr gelten im Eisenbahnverkehr die Vorgaben des ArbZG.

Erkenntnisse zu Möglichkeiten und Grenzen der Umsetzung wetterabhängiger Kapazitätsanpassungen:

Neben den maximalen Arbeitszeiten enthalten europäische und nationale Rechtsvorschriften Vorgaben zu Ruhezeiten, welche kurzfristige Veränderungen in Bezug auf eine Mehrarbeit der Beschäftigten deutlich einschränken.

4.6.2 Tarifverträge

Im Rahmen der Tarifautonomie werden Rechte und Pflichten von Beschäftigten und Arbeitgebern in Bezug auf die Arbeitsbedingungen in Tarifverträgen geregelt; wobei der übergeordnete Rechtsrahmen darin nicht ausgehebelt werden darf. Für Arbeitnehmer in kommunalen ÖPNV-Unternehmen gelten in der Regel die Spartentarifverträge Nahverkehr (kurz: TV-N), welche für die einzelnen Bundesländer abgeschlossen wurden. Auf alle einzelnen unternehmensspezifischen Tarifverträge kann an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden. Sie sind exis-

tent und müssen bei kurzfristigen personellen Anpassungen Beachtung finden. Mehrfach werden *betriebliche Notwendigkeiten* bzw. *außergewöhnliche Fälle* bezüglich eines außerplanmäßigen Einbestellens bzw. nach Hause Schickens der Beschäftigten vorgeschrieben. In der Regel wird dies jedoch mit Störungen der Transportabwicklung oder Störungen an technischen Anlagen statt mit kurzfristigen kapazitätssteuernden Leistungen in Verbindung gebracht.

Grundsätzlich scheint es trotzdem möglich, Beschäftigte auch kurzfristig zur Arbeit einzubestellen, wie der folgende Text aufzeigt:

„Wird ein Beschäftigter an einem dienstfreien Tag oder aus der Ruhezeit zur Dienstleistung bestellt und meldet er sich daraufhin an seinem Arbeitsplatz zur Dienstleistung, so erhält er Entgelt [...] für mindestens drei Stunden, auch wenn er nicht zu einer Dienstleistung herangezogen wird. Für tatsächlich geleistete Arbeit werden zu der Vergütung die in Betracht kommenden Zuschläge gezahlt.“ (vgl. TV-N Bayern, 2018, § 8a (8))

In anderen Länder-TV-N-Texten findet sich diese Regelung nicht wieder, was auch die Diversität der tarifvertraglichen Bestimmungen aufzeigt.

Für Arbeitnehmer im SPNV sind die Regelungen deutlich verbindlicher und restriktiver. Nach dem Flächentarifvertrag für Lokomotivführer und Zugbegleiter (BuRaZug TV) muss für jeden Arbeitnehmer ein verbindlicher Jahresschichtasterplan bis zum 30.11. des Vorjahres mit

- exaktem Beginn und Ende von Jahresurlaub,
- zwölf freien Wochenenden, die mindestens 60 h umfassen,
- sechs freien Samstagen innerhalb einer zusammenhängenden Ruhezeit von 48 h,
- fünf weiteren Kalendertage innerhalb einer zusammenhängenden Ruhezeit von mind. 48 h sowie
- allenr arbeitsfreien Tage bei Teilzeitarbeitnehmern

angefertigt werden. (vgl. BuRaZug TV, 2019)

Darüber hinaus muss zwei Wochen im Voraus für den nächsten Kalendermonat die Planung aller bis dahin bekannten Schichten bzw. Schichtrahmenzeiten erfolgen (davon maximal 20 Prozent Dispositionszeiträume), einschließlich der Ruhezeiten und den Ruhetagen, welche noch nicht im Jahresschichtplan berücksichtigt wurden. Alle Zeiten, welche nicht Schicht, Schichtrahmen oder Dispositionszeitraum sind, gelten als verbindlich zugesagte Freizeit. Spätestens vier Tage vor Beginn eines Schichtrahmens muss dann die endgültige Lage einer Schicht bekannt gegeben werden (vgl. BuRaZug TV, 2019) und LfTV, 2019). Daraus ergeben sich noch stärkere Restriktionen und eine geringere Flexibilität für personelle Anpassungen als im StrPNV.

Die vier Tage Vorankündigungsfrist sind aus dem Teilzeit und Befristungsgesetz (TzBfG) abgeleitet. Wenn Arbeitnehmer und Arbeitgeber vereinbart haben, dass der Arbeitnehmer seine Arbeitsleistung entsprechend dem Arbeitsanfall (auf Abruf) zu erbringen hat, dann ist der Arbeitnehmer nur zur Arbeitsleistung verpflichtet, wenn ihm die Lage seiner Arbeitszeit vier Tage im Voraus mitgeteilt wurde (vgl. TzBfG, 2019, § 12).

Erkenntnisse zu Möglichkeiten und Grenzen der Umsetzung wetterabhängiger Kapazitätsanpassungen:

Tarifvertragliche Regelungen können Fristen für die Vorankündigung der Veränderung einer Arbeitszeit enthalten. Wenn nicht explizit formuliert, sollte spätestens 4 Tage vorher eine Veränderung angezeigt werden. Der Arbeitnehmer muss einer kurzfristigen Veränderung nicht in jedem Falle zustimmen.

4.6.3 Flexibilität personeller Anpassungen

Bei kurzfristigen Veränderungen der Personalkapazität, welche mit einer Veränderung der Einsatz- und Arbeitszeit der Beschäftigten verbunden sind, kommt eine Vielzahl einschränkender Parameter zum Tragen. Bei Mehrbeschäftigung sind vor allem die Ruhezeiten und durchschnittlichen wöchentlichen Arbeitszeiten limitierend. Ein kleiner Handlungsspielraum besteht durch entsprechende Ausnahmen zum Ausgleich der entsprechenden Regelungen. Gegen eine geringere kurzfristige Beschäftigung spricht nichts, wenn ein Ausgleich der Arbeitszeit im Mittel problemlos erreicht werden kann und der Arbeitnehmer der Veränderung zustimmt.

Auf Beschäftigte im SPNV sind nur marginale Zugriffe innerhalb eines schon vorgemerkten Schichtrahmens möglich. Auf verbindlich angekündigte Freizeit darf nur in Abstimmung mit dem Arbeitnehmer zurückgegriffen werden.

Ankündigungsfristen für letztmalige Veränderungen am Schichtplan konnten nur in Tarifvereinbarungen für den SPNV gefunden werden. Das schließt nicht aus, dass ähnliche Fristen auch in Tarifverträgen zum StrPNV vorkommen können. Wenn keine Vorankündigung existiert, muss der Arbeitgeber jedoch einen Verhältnismäßigkeitsgrundsatz wahren. Ein Rechtsgedanke ergibt sich aus einer Vorankündigungsfrist von vier Tagen aus dem TzBFG, § 12. Im Regelfall sollte diese nicht unterschritten werden.

Es sei darauf hingewiesen, dass eine verlässliche und längerfristige Kommunikation über freie Zeiten und Tage gegenüber den Beschäftigten für deren Zufriedenheit unabdingbar sind. Gerade die langfristige Planbarkeit wird als entscheidender Schritt zur Erhöhung der Attraktivität der Berufe im ÖPNV kommuniziert. Diese Steigerung ist dringend notwendig, da einer Vielzahl offener Stellen im Umfeld des ÖPNV aktuell eine geringe Bewerberzahl aufgrund unattraktiver Arbeitsbedingungen gegenübersteht (vgl. DORSCH, 2019, S. 84). Allerdings schränken diese Errungenschaften für das Personal dessen Einsatzflexibilität deutlich ein. Diese Feststellung soll nicht als Kritik gegenüber diesen aus arbeitsmarktpolitischen und sozialen Gründen notwendigen Zugeständnissen verstanden werden, sondern als reine Tatsachenbewertung.

Je mehr Mitsprache den Mitarbeitern bei der Auswahl der Dienste eingeräumt wird und deren persönliche Belange dabei berücksichtigt werden, umso kurzfristiger werden die Möglichkeiten der Dienstvergabe. Mehr und mehr Unternehmen ermöglichen den Fahrern die Auswahl aus den vorgegebenen Diensten mittels einer Wunschkdienstplansoftware, welche bei der Dienstverteilung den Wunschvorstellungen der Fahrer bestmöglich entgegenkommt. Es werden dabei nur Wunschvorgaben akzeptiert, die vollständig dem hinterlegten Regelwerk entsprechen. Je besser der Umgang mit freien Tagen und nicht erfüllbaren Kombinationen wie beispielweise eine unzulässige Frühdienst-nach-Spätdienst-Folge gegenüber den Nutzern kommuniziert

wird, umso höher ist der Erfolg der Anwendung. Von der bisherigen Praxis, mit Hilfe eines starren Turnusschemas eine gerechte Aufteilung der Dienstmasse und der freien Tage zu realisieren, wird damit bewusst abgewichen. Die resultierende Abfolge von Diensten und freien Tagen entspricht in Summe trotzdem allen Vorgaben, die für den einzelnen Arbeitnehmer gelten. Zudem wird auch bei der Wunschdienstvergabe auf eine gerechte und faire Aufteilung auf alle Mitarbeiter geachtet, beispielsweise indem ein Mindestmaß an Pflichtdiensten je Dienstart (z. B. Spätdienste oder geteilte Dienste) vorgegeben wird. Allerdings behalten sich die Unternehmen nach Abgabe aller Wünsche in der Regel einen Dispositionszeitraum von 1-2 Wochen vor, was die Kurzfristigkeit der Vergabe auch wieder einschränkt (vgl. GEISLER-BUCKERT, 2020). Grundsätzlich kann aber resümiert werden: Je kurzfristiger die Wunschabgabe im Unternehmen organisiert werden kann, umso höher ist auch die Flexibilität des Personaleinsatzes. Mit Unterstützung eines Wunschdienstplansystems kann ein Dienst leichter kurzfristig ohne aufwändiges Ad-hoc-Umplanen des restlichen Personaleinsatzes durch die Disposition angefordert oder gestrichen werden.

Die angestrebte zunehmende Automatisierung der Prozesse im öffentlichen Verkehr für die Bereitstellung der Fahrzeuge und im Fahrdienst bis hin zum automatischen Fahren stellt sich perspektivisch auch als ein möglicher Lösungsansatz zur Entschärfung der personellen Restriktionen dar. Allerdings ist automatisches Fahren mit den aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen und auch technischen Möglichkeiten nicht in absehbarer Zeit als Alternative für einen konventionellen Linienbetrieb im straßengebundenen ÖPNV anwendbar. Aufgrund der geringen Platzkapazität der aktuell in verschiedensten Testprojekten erprobten automatischen Kleinbusse können diese Fahrzeuge zudem nur eine sehr schwache Nachfrage bedienen (vgl. BIESCHKE UND LUX, 2021). Auch beim schienengebundenen ÖPNV werden Prozesse zunehmend automatisiert. Aufgrund ungeklärter technologischer, finanzieller und rechtlicher Aspekte bei der Umsetzung der sehr komplexen Anforderungen ist in Deutschland jedoch keine flächendeckende Umsetzung in Kürze zu erwarten.

4.7 Anforderungen durch System- und Fahrgastinformation

Die meisten der am öffentlichen Verkehr mitwirkenden Unternehmen arbeiten in Deutschland mit hochkomplexen IT-Systemen zur Planung, Optimierung und Steuerung ihrer Prozesse für:

- Fahrplanung,
- Umsetzung der Fahrpläne durch Fahrzeug- und Personaleinsatz,
- Steuerung und Überwachung,
- Fahrgastinformation,
- Infrastrukturauslastung,
- Fahrscheinverkauf, Abrechnung etc.

Aus den Planungssystemen kommt der Input sowohl für die Leit- und Dispositionssysteme als auch für die Fahrgastinformation, wobei die Fahrgastinformation je nach Ausgabemedium aus Leit- und Dispositionssystemen gespeist wird (vgl. KALKE, 2019 und SCHOLZ, 2012). Der Informationsfluss zu Auskunftssystemen sowie zu Leit- und Dispositionssystemen kann nicht unabhängig voneinander betrachtet werden, da die übermittelnden Schnittstellen meist auf dieselbe Datenquelle zurückgreifen. Die Veröffentlichung der Informationen bei Veränderungen gegenüber dem bisher veröffentlichten Zustand erfolgt in der Regel nur automatisiert bei Störfällen (Verspätungen, Ausfälle). Bei kapazitiven Anpassungen bedarf es dagegen handelnder Personen, welche sowohl die Kompetenz als auch die Berechtigung haben, die Informationen zusammenzustellen und den Informationsfluss auszulösen.

Ein Schlüsselfaktor für den Erfolg von kurzfristigen Kapazitätsveränderungen ist in vielen Fällen die Information des Fahrgastes. Wenn eine Veränderung der Abfahrtszeit oder des Abfahrtsortes eintritt, muss der Fahrgast informiert werden. Weitere Notwendigkeiten können sich aber auch aus reinen Fahrzeuganpassungen ergeben, wenn eine Veränderung des Fahrzeuges die Erwartungen und Ansprüche der Fahrgäste untergraben kann. Diese Ansprüche können sich beispielsweise aus Sitzplatzreservierungen aber auch aus Erwartungen an die Barrierefreiheit ergeben. Fahrgastinformationen müssen sowohl eine hohe Aktualität als auch eine hohe Zuverlässigkeit aufweisen und sie müssen die entsprechende Zielgruppe auch zur richtigen Zeit erreichen. Eine verlässliche und zeitlich angemessene Vorankündigung sichert Erfolg und Akzeptanz der Maßnahme.

Die Flexibilität gedruckter Medien ist differenziert zu betrachten. Handelt es sich um Medien, welche beim Fahrgast schon vorliegen, wie ein Fahrplanheft oder -flyer, so wird eine gewisse Verbindlichkeit auch durch die Angabe eines Gültigkeitszeitraumes erwartet. Kurzfristig mögliche Veränderungen müssen dann schon langfristig und durch Angabe eines klar definierten und eindeutig referenzierbaren Anlasses³² in diesen Medien kommuniziert werden. Dabei kann auch auf ein kurzfristig anpassbares digitales Informationsmedium verwiesen werden. Ausgangsfahrpläne an Stationen des StrPNV können mit Hilfe der Planungssysteme direkt und schnell durch das Verkehrsunternehmen erstellt werden. Eine gewisse Vorlaufzeit benötigt

³² Z. B. „verkehrt nur, wenn Lifтанlage yx in Betrieb“; „fällt aus bei großer Hitze, wird 3 Tage im Voraus bekanntgegeben, bitte informieren Sie sich entsprechend unter Internetseite xy“.

das Austauschen der Fahrpläne an den Haltestellen. Dafür sind meist noch zusätzliche personelle Kapazitäten erforderlich. Bei Verwendung von E-Paper-Displays kann dieser manuelle Austausch der Pläne zukünftig entfallen.

Eine zeitlich einschränkende Besonderheit existiert beim SPNV. Alle Soll-Fahrplandaten für die Bahn müssen vorab an das Europäische Fahrplanzentrum (EFZ) übergeben werden. Dieses bildet die Koordinierungsstelle für Fahrplandaten in Deutschland. Das EFZ übergibt die Daten in die Fahrgastinformationssysteme, Buchungs- und Verkaufssysteme sowie in Echtzeitüberwachungssysteme für Zuglaufprognosen. Die Versorgung der vielen Datenabnehmer erfolgt jedoch nicht kontinuierlich, sondern nur zweimal pro Woche nach einer umfangreichen Qualitätssicherung und Plausibilisierung der Daten. Darüber hinaus ist eine Vorlaufzeit für die Übernahme der EVU-Daten durch das EFZ von 2 Tagen erforderlich. (vgl. KALKE, 2019, S. 29 f.)

Bei der Bahn gehören die Verkehrsstationen und Empfangsgebäude nicht dem EVU, sondern einer Betreibergesellschaft. Als Beispiel dafür sei die DB Station & Service AG als der größte Betreiber in Deutschland genannt, der zuständig für die Bahnhöfe und Haltepunkte am Streckennetz der DB Netz AG ist. Die Fahrgastinformation vor Ort fällt damit in deren Zuständigkeit und basiert auf den Daten des EFZ. Bahntafelanzeigen können direkt gespeist werden, gedruckte Aushänge erfordern noch den Druck und die Veröffentlichung bzw. das Aushängen. Wagenstandsanzeiger werden ebenfalls über das EFZ gespeist.

Über definierte Schnittstellen (nach VDV 452 bei StrPNV, HAFAS-Rohdatenformat bei SPNV) besteht darüber hinaus die Möglichkeit, in Echtzeit mit den Fahrplanauskunftssystemen zu kommunizieren. So können EVU auf das Eingabetool des Reisendeninformationssystem (RIS) der DB nach vertraglich geregelter Freischaltung zugreifen und wichtige Informationen für Reisende wie Abweichungen, geänderte Laufwege oder Verspätungen in Echtzeit in die Datendrehscheibe der DB eingeben. Die Einrichtungen von Station und Service bleiben davon aber unberührt. Die Information in modernen Bahnfahrzeugen erfolgt über eine Internetverbindung. Der Triebfahrzeugführer muss sich mit seiner Zugnummer im Fahrgastinformationssystem (FIS) anmelden, damit wird der tagesaktuelle Fahrplan über eine Datendrehscheibe (z.B. DatNet der Firma ETC) heruntergeladen. Die Haltestellenansagen werden dann entsprechend über Ortungsinformationen ausgelöst. In Fahrzeugen des StrPNV werden vergleichbare Techniken eingesetzt.

Es existieren für den Fahrgast heutzutage auch Informationskanäle, welche nur einen sehr kurzfristigen Vorlauf für die Veröffentlichung relevanter Informationen erfordern. Diese arbeiten in der Regel über das Internet (Auskunfts-Apps, Kurznachrichtendienste) und erreichen den Fahrgast über sein eigenes Endgerät. Die Informationen werden durch das Verkehrsunternehmen oder durch den Aufgabenträger direkt bereitgestellt.

Erkenntnisse zu Möglichkeiten und Grenzen der Umsetzung wetterabhängiger Kapazitätsanpassungen:

Informationen zu kapazitiven Veränderungen müssen als Solldaten an Leitsysteme übermittelt werden, da weitere Klienten diese Informationen benötigen. Das erfordert einen entsprechenden zeitlichen Vorlauf für die Eingabe, Übermittlung und Übernahme der Daten. Datenübermittlungsprozesse im SPNV erfordern eine Vorlaufzeit von mehr als 3 Tagen, da unternehmensübergreifende Systeme für Zuglenkung und Fahrgastinformation angesprochen werden müssen. Im StrPNV ist dispositiv meist ein direkter Informationsfluss innerhalb unternehmensinterner Systeme ausreichend und somit kurzfristig realisierbar.

4.8 Inanspruchnahme von Reserven für kurzfristige Kapazitätsanpassungen

Um einen stabilen Betriebsablauf zu gewährleisten, müssen für den Fall, dass Fahrzeuge oder Personale ausfallen, Reserven vorgehalten werden. Je mehr auf personelle und fahrzeugseitige Reserven zurückgegriffen werden kann, um so günstiger ist die Ausgangslage gegenüber einer kurzfristigen Kapazitätsanpassung. Da Freizeitwege sich auf das Wochenende konzentrieren bzw. erst nach der morgendlichen Hauptverkehrszeit starten (vgl. Abbildung 2-7 bis Abbildung 2-13), stellt sich die Frage, inwiefern vorhandene Reserven für wetterbedingte Kapazitätsanpassungen nutzbar sind. Bei der Dimensionierung von Reserven spielen neben wirtschaftlichen Überlegungen und Qualitätsanforderungen an die Leistung auch spezifische betriebliche Anforderungen eine wesentliche Rolle. Diese werden in den beiden nachfolgenden Kapiteln in Bezug auf die Fahrzeug- und Personalreserven erörtert.

4.8.1 Fahrzeugreserven

Der Gesamtfahrzeugbedarf in einem Verkehrsunternehmen leitet sich aus dem Fahrplanbedarf der Hauptverkehrszeit (HVZ) ab und setzt sich aus dem Betriebsbedarf und dem Instandhaltungsbedarf zusammen. (vgl. Abbildung 4-3).

ungeplanter Instandhaltungsbedarf	<i>Instandhaltungsbedarf</i>	Gesamtbedarf an Fahrzeugen
geplanter Instandhaltungsbedarf		
Betriebsreserve	<i>Betriebsbedarf</i>	
Sonderverkehre		
Fahrplanbedarf		

(nicht maßstäblich)

Abbildung 4-3: Fahrzeuggesamtbedarf (nach VDV 2019B)

Für außerplanmäßige Sonderverkehre können ebenfalls Fahrzeuge benötigt werden. Um Fahrzeugausfälle in einem gewissen Umfang kompensieren zu können, wird eine Betriebsreserve vorgehalten. Betriebsinterne Spezifika wie die Nutzung von Fahrzeugen für die Fahrschule oder die Bildung einer strategischen Reserve durch die vorausschauende Anschaffung von Fahrzeugen als Vorbereitung auf neue Fahrleistungen gehen ebenfalls in die Ermittlung des Gesamtbedarfes ein.

Zum Gesamtbedarf gehören auch jene Fahrzeuge, welche sich geplant oder ungeplant in der Werkstatt bzw. Instandhaltung befinden und demzufolge nicht für Fahrplan- und Sonderfahrten sowie als Betriebsreserve zur Verfügung stehen (vgl. VDV, 2019B).

Der geplante Instandhaltungsbedarf ist stark davon abhängig, ob Arbeiten dafür in der HVZ stattfinden müssen. Der ungeplante Instandhaltungsbedarf wird durch Ausfallraten und Fahrzeugtechnologie bestimmt, je komplexer diese Fahrzeugtechnologie ist und umso höher das angestrebte Qualitätsniveau, umso mehr Fahrzeuge werden als Störungsreserve benötigt (vgl. VDV, 2019B, Abbildung 9).

Die Ermittlung der Reservequote in Verkehrsunternehmen erfolgt nach VDV-Schrift 801 (vgl. VDV, 2019B) anhand von statistisch erhobenen Kennwerten und Ausfallraten anhand betrieblicher und fahrzeugabhängiger Einflussgrößen. Eine durch den VDV durchgeführte Befragung von Unternehmen ergab die in Tabelle 4-8 dargestellten durchschnittlichen Reservequoten (vgl. VDV, 2019B). Von einer Summation der einzelnen Werte zur Ermittlung einer Gesamtreservequote wird in der Schrift abgeraten. Begründet wird dies mit der großen Spannweite der abgefragten Werte.

Tabelle 4-8: Durchschnittswerte der Anteile an Fahrzeugreserven (Zusammenfassung nach VDV 2019B)

	Linienbusse	Schienenfahrzeuge (Straßen-, Stadt- und U-Bahnen)
SEV und Sonderverkehr	1,8 %	-
Betriebsreserve	0,7 %	2,3 %
ungeplanter Instandhaltungsbedarf	6,4 %	7,2 %
geplanter Instandhaltungsbedarf	2,9 %	5,3 %
strategische Reserve	-	1,2 %

In Nebenverkehrszeiten (NVZ) steht aufgrund des geringeren Fahrplanbedarfes in der Regel eine deutlich größere Anzahl ungenutzter Fahrzeuge als in der HVZ zur Verfügung (vgl. Abbildung 4-4).

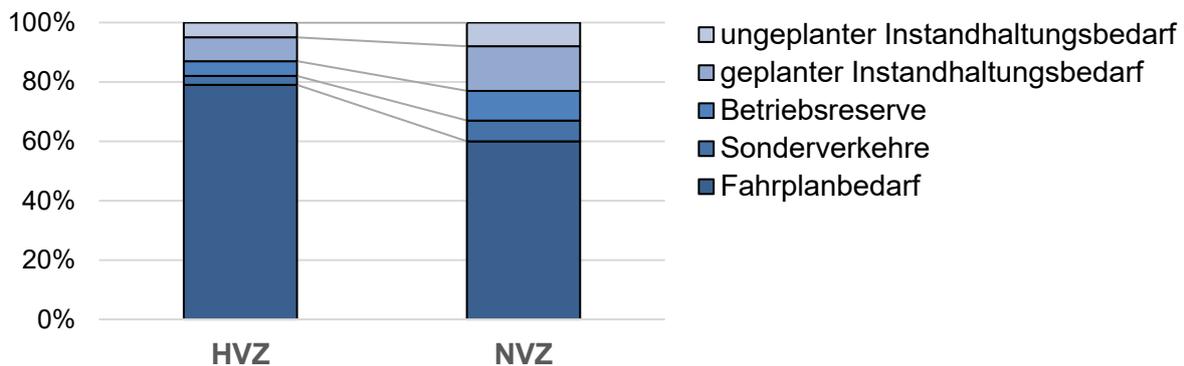


Abbildung 4-4: typisches Beispiel der Veränderung der Fahrzeugreserve zwischen HVZ und NVZ (nach VDV 2019B, Abbildung 3)

In der NVZ können somit verstärkt Instandhaltungs- und Reinigungsarbeiten durchgeführt werden bzw. die Fahrzeuge können, insofern sie dafür geeignet sind, für andere Zwecke genutzt werden.

4.8.2 Personalreserven

Deutlich eingeschränkter ist die Flexibilität des Personaleinsatzes aus Reserven. Die Ermittlung der notwendigen Anzahl an Fahr- und Begleitpersonalen im Unternehmen erfolgt iterativ anhand der Jahresfahrplanmasse und der Abwesenheitsbestandteile je Personal.

In der Personaleinsatzplanung wird über die Anzahl der erforderlichen Dienste eine Reserve geplant, die von vornherein mit einer kurzfristig bekannten Abwesenheit eines konkreten Anteils an Fahrpersonal rechnet. Langfristig bekannte Abwesenheitszeiten wie der Jahresurlaub, Dienstunterricht, Ruhetage und der Feiertagsausgleich können relativ genau zeitlich determiniert werden und sind daher im Allgemeinen schon in der unternehmensspezifischen Turnusmodellierung³³ für die Dienstreihenfolgeplanung berücksichtigt.

Kurzfristig wirkende Abwesenheiten können aus den folgenden Gründen auftreten:

- Krankheit, Unfall oder anderweitig fahruntauglich,
- Abstellungen für Betriebsratstätigkeiten, Fahrschule, Weiterbildungen etc.,
- Dienstreisen,
- Sonderurlaube oder Arbeitsbefreiung aus besonderen Anlässen (Geburt, Tod, Umzug Hochzeit etc.),
- ehrenamtliche Tätigkeiten im öffentlichen Interesse (z.B. für Feuerwehr oder Technisches Hilfswerk).

Aus der Auftretenswahrscheinlichkeit dieser Gründe aus der Vergangenheit wird betriebstagspezifisch eine zu erwartende Abwesenheitsquote ermittelt, aus welcher die Reservedienstanzahl resultiert. Die Größenordnung für diese Abwesenheitsquote variiert meist zwischen 20 und 25 Prozent (SCHNIEDER 2015 und eigene Recherchen). Eine unternehmensinterne Berechnung für jede Mitarbeitergruppe ist für eine konfliktarme Personaldisposition jedoch unerlässlich.

Es gibt mehrere Arten für die Reservevorhaltung von Fahrpersonalen. Eine Möglichkeit sind Verfügerdienste, die als Ausgleich für die Abwesenheitsquote von vornherein eingeplant werden. Anders als bei einem regulären Dienst ist dem Personal nur die Einsatzzeit bekannt, der tatsächliche räumliche Einsatz wird kurzfristig vor Dienstantritt kommuniziert. Das Personal wird in der Regel auch bei Nichteinsatz ohne Abzug bezahlt. Bei sogenannten Sitzreserven wird dagegen bei Nichteinsatz nur das Warten bzw. die Bereitschaft vergütet. Das Personal hält sich dabei schon in der Nähe eines möglichen Einsatzortes auf. Rufbereitschaften aus dem häuslichen Umfeld heraus werden ebenfalls eingesetzt. Das Personal erklärt sich im Vorfeld bereit, bei Notwendigkeit an einem freien Tag einen Dienst spontan zu übernehmen. Wenn eine Sitzreserve oder eine Rufbereitschaft aktiviert wird, dann wird die eigentlich angedachte Dienstreihenfolge verändert. Somit ergeben sich dann wiederum Prüfaufträge im Hinblick auf die Ruhezeiten und Auswirkungen auf spätere Diensteinteilungen für die eingesetzten Personale.

³³ Der Turnus beschreibt eine den Erfordernissen des Fahrplans und des Fahrpersonals angepasste sich wiederholende und damit auch gut merkbare Abfolge von Arbeitstagen und freien Tagen.

Anders als bei der Fahrzeugreserve stehen in Schwachlastzeiten nicht automatisch vermehrt Fahrpersonale zur Verfügung, da eine effiziente Personaleinsatzplanung die erforderlichen Ruhetage und -zeiten auf Tage und Zeiten mit einer geringeren Fahrplanleistung konzentriert. Wenn aber angekündigte Reservedienste nicht für die ursprünglich vorgesehenen Zwecke benötigt werden, können diese für wetterabhängige Einsätze genutzt werden.

Multifunktionale Personale aus anderen Unternehmensbereichen, die auch im Fahrdienst eingesetzt werden können, erhöhen die Flexibilität der Disposition und verursachen keine zusätzlichen Reservevorhaltungskosten. Allerdings stehen sie dann nicht für ihr ursprüngliches Aufgabengebiet zur Verfügung, wodurch auch deren Einsatz nicht immer ohne Einschränkungen möglich ist. Fahrpersonal, welches nicht hauptberuflich im Unternehmen angestellt ist, sondern die Tätigkeit im zweiten Arbeitsverhältnis oder als Nebenjob (z.B. Studierende und Auszubildende) ausführt, erhöht ebenfalls die Flexibilität.

Bedarfsgesteuerte Verkehre durch Einsatz von Taxiunternehmen erfordern keinen Zugriff auf eigenes Personal und erweitern ebenfalls die Möglichkeiten. Allerdings sollten die Einsatz- und Abrechnungsbedingungen vorab vertraglich geregelt sein. Zudem sind sowohl Zugriff auf örtliche Taxiunternehmen als auch deren kapazitive Möglichkeiten in der Regel begrenzt.

4.9 Steuerung der Fahrgastnachfrage

Die Steuerung der Fahrgastnachfrage im ÖV ist kein Instrument der Kapazitätsanpassung. Sie zielt darauf ab, die Ausnutzung vorhandener (geplanter) Kapazitäten zu steuern. Da - zumindest theoretisch - eine wetterabhängige Steuerung des Fahrgastaufkommens in Betracht gezogen werden kann, wird diese nachfolgend der Vollständigkeit halber mit aufgezeigt.

Wesentliches Ziel der Maßnahmen ist eine Verringerung der Auslastung in Starklastzeiten durch Umlenkung zeitlich variabler Kunden in Schwachlastzeiten. In der Regel erfolgt das durch eine Preisdifferenzierung als Mittel eines Ertrags- bzw. Yield-Managements. Dadurch wird eine ertragsoptimale Kapazitätsausnutzung angestrebt (vgl. CORSTEN UND STUHLMANN, 1997, S. 30).

Diese Steuerung kann über eine zeitlich determinierte Preisrabattierung und/oder über zeitabhängige Mitnahmeregelungen von Personen bzw. Fahrrädern erfolgen. Verbilligte Tarifangebote in Schwachlastzeiten kommen dabei am häufigsten zur Anwendung. Diese Steuerung erfolgt bisher meist statisch durch die Anwendung einheitlicher zeitbezogener Tarife für definierte Nutzergruppen. Als Beispiel seien 9-Uhr-Tageskarten oder Mitnahmeregelungen von Begleitpersonen am Abend und am Wochenende genannt.

Eine dynamische Ausgabe von Rabattierungen kann auch in Abhängigkeit der erwarteten Auslastung auf Basis von Verkaufszahlen erfolgen. Als präsentestes Beispiel dafür ist das Sparpreissystem der Deutschen Bahn zu nennen. Ein deutlich geringerer aber zunehmender Fokus der Nachfragesteuerung liegt in der Gewinnung zusätzlicher Kunden. Eintrittskarten mit Fahrtberechtigung am Veranstaltungstag oder Semestertickets sind dafür klassische Beispiele. Eine wetterabhängige Nachfragesteuerung mittels eines Preisanreizes liegt bisher nicht im Fokus der Nachfragesteuerung.

Die Entscheidung über die Nutzung eines öffentlichen Verkehrsangebotes unterliegt jedoch auch anderen Kriterien als dem Preis (vgl. Abbildung 2-1 auf Seite 4). Als Maß für die Reaktion auf Veränderungen im ÖV wird die Preiselastizität herangezogen. Sie ergibt sich, wenn die prozentuale Nachfrageveränderung durch die prozentuale Preisveränderung geteilt wird. Wenn die Nachfrage prozentual geringer gestiegen ist als der Preis und somit ein Wert von unter 1 vorliegt, dann gilt die Nachfrage als unelastisch, was für die ÖV-Nachfrage grundsätzlich durch BASTIANS (2009) nachgewiesen werden konnte. Eine Auswertung einer Vielzahl von Studien mit rund tausend nationalen und internationalen Preiselastizitäten wurde dafür durch BASTIANS (2009) vorgenommen. Im Falle einer Preissteigerung ergab sich für Deutschland ein Mittelwert aller recherchierter Angaben von etwa -0,30. Negativ wird der Wert aufgrund des resultierenden Rückgangs der Nachfrage. Im urbanen Raum werden unelastischere Werte als im ländlichen Raum festgestellt. Die Werte im Freizeitverkehr sind jedoch deutlich elastischer als die des Schüler- und Berufsverkehrs und steigen bei Preissteigerungen teilweise exponentiell an. Vor einem direkten Umkehrschluss auf die Elastizität bei Preissenkungen rät der Autor jedoch ab, da sich diese Elastizitäten deutlich geringer verändern und somit „[...] eine Asymmetrie gegenüber einer Preissteigerung vorliegt.“ (vgl. BASTIANS, 2009, S. 169).

Daraus kann abgeleitet werden, dass eine Preissteigerung beispielsweise in Starklastzeiten besonders die Nachfrage nach touristischen Fahrten verringern wird. Eine Preisverringerung in Schwachlastzeiten kann diese Abwanderung jedoch nicht kompensieren – wodurch letztendlich Kunden aus diesem Marktsegment verloren werden.

Der Steuerungseffekt einer alleinigen Preissenkung in Schwachlastzeiten wird dagegen deutlich geringer bemerkbar sein. Im Gesamtkontext aller möglichen Maßnahmen könnten preisreduzierte Angebote als Steuerungsmaßnahme zur gleichmäßigeren Verteilung der Nachfrage einen geringen Beitrag leisten.

Die Schwierigkeit einer wetterabhängigen Tarifgestaltung liegt darin, in ihrer zeitlichen und örtlichen Gültigkeit klar zuordnungsfähige Tarifangebote anzubieten. Überlegungen dazu sind der Autorin bekannt (PAPKE, 2020), umsetzungsfähige Konzepte dagegen nicht. Vor Einführung eines wettermotivierten Yield-Managements sind weitere vertiefende Forschungen mit Blick auf Akzeptanz und Handhabbarkeit erforderlich.

Eine weitere Nachfrage-Steuerungsmöglichkeit ergibt sich durch eine an die ÖV-Belange angepasste zeitliche Verfügbarkeit von Zielen. Das kann beispielsweise durch eine Anpassung von Öffnungszeiten oder zeitbezogenen (Preis-)Anreizen der Nutzung touristischer Ziele realisiert werden. Allerdings sind auch hier die praktischen Möglichkeiten begrenzt, da nur bei kostenpflichtigen oder zeitlich eingeschränkten Aktivitäten nachgesteuert werden kann. Neben den ÖV-Nutzern müssen zudem die Interessen aller anderen Kundengruppen für eine wirtschaftlich rentable Öffnung Berücksichtigung finden. Darüber hinaus ist ein hoher Abstimmungs- und Kommunikationsaufwand zwischen allen Beteiligten erforderlich, welcher nur für einen langfristigen Gültigkeitsrahmen Akzeptanz finden dürfte.

4.10 Resultierende Maßnahmen zur kurzfristigen Kapazitätsanpassung

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargelegt wurde, existieren vielfältige Restriktionen für eine kurzfristige Veränderung der Produktionsfaktoren im öffentlichen Verkehr. Diese reduzieren die Möglichkeiten eines Einsatzes kurzfristiger wetterbedingter Kapazitätsszenarien deutlich. Aufgrund der Diversität unternehmensinterner und -externer Vorgaben muss somit jeder Fall gesondert geprüft werden. Für die in Kapitel 4.4.2 dargestellten Anpassungsmöglichkeiten erfolgt in Tabelle 4-9 eine zusammenfassende Einschätzung hinsichtlich kurzfristiger Umsetzbarkeit. Die Intensitätsanpassung ist primäres Ziel und wird durch eine der anderen Maßnahmen erreicht (vgl. Tabelle 4-9).

Tabelle 4-9: Übersicht zum Handlungsspielraum für kurzfristige Kapazitätsanpassungen

Kapazitätsanpassung		Möglichkeiten	Grenzen	
Intensität (Anpassung der Auslastung)	selektiv	Fahrzeuge	Variation der Fahrzeuggröße/Fahrzeugzahl, Abgabe von Leistungen an Taxiunternehmen	Verfügbarkeit im Fuhrpark
		Personal	Anpassung über Reservecdienste, Einsatz mehrfachqualifiziertes Personal, Einsatz Alternativpersonal/Taxiunternehmen	Vorlaufzeit für Bekanntgabe von Arbeitszeiten, Frei- und Ruhezeiten stark limitierend auf flexiblen Personaleinsatz
		Infrastruktur	-	nicht kurzfristig anpassbar
	zeitlich*	Entfall einer Leistung	-	bei öffentlich kommunizierten Leistungen nicht möglich
		Verschiebung einer Leistung	-	VU hat in der Regel kaum eigene Entscheidungsgewalt, Informationsfluss
		Einfügen einer zusätzlichen Leistungen	insofern die gleichzeitig erforderlichen selektive Anpassungen bei Personal und Fahrzeugen möglich	Informationsfluss, Genehmigungspflicht bei StrPNV, Trassenbestellpflicht bei SPNV, vgl. selektive Anpassungen
räumlich**			zu hoher zeitlicher Vorlauf	

* erfordern auch selektive Anpassungen

**erfordern auch zeitliche und damit auch selektive Anpassungen

Von den vier grundsätzlichen möglichen Anpassungsformen (vgl. Kapitel 4.4.2) kommt eine *räumliche Anpassung* für wetterabhängige Kapazitätsanpassungen gar nicht in Frage. Bei den anderen Anpassungsformen entscheiden neben dem Fuhrpark im wesentlichen Informations- und Personalbedarf über die Anwendbarkeit.

Bei Kapazitätsüberschüssen aufgrund einer geringen Nachfrage bleibt aufgrund der diskutierten Rahmenbedingungen die Möglichkeit, kurzfristig weniger bzw. kleinere Fahrzeugeinheiten einzusetzen. Im straßengebundene ÖPNV, insbesondere im Busbereich können als Ersatz in Schwachlastzeiten auch in begrenztem Umfang bedarfsgesteuerte Verkehre durch Drittunternehmen (Taxi) geleistet werden.

Bei Kapazitätsengpässen stehen dem Einsatz größerer Fahrzeugeinheiten kurzfristig zunächst aus dem Rechtsrahmen heraus wenig Einschränkungen gegenüber. Verstärkende Fahrten mit zusätzlichen Fahrzeugen zu gleicher bzw. wenig abweichender Fahrplanlage bieten sich an, wenn die vorhandenen Fahrzeugeinheiten im Einzelnen nicht mehr ausreichen.

Zur gleichmäßigeren Verteilung der Nachfrage sind auch Verstärkerfahrten außerhalb der angedachten Fahrplanlagen möglich. Bei beiden Verstärkungsvarianten kommen aber die Restriktionen eines veränderten Personaleinsatzes aus Arbeitsrecht und Sozialvorschriften zum Tragen, da in jedem Fall zusätzliches Fahrpersonal benötigt wird. Als Ergänzung des regulären Linienverkehrs könnten aber ebenfalls auch in begrenztem Umfang die weniger restriktiven personellen und fahrzeugseitigen Ressourcen von örtlichen Taxiunternehmen hinzugezogen werden. Bei der Eisenbahn werden Verstärkerleistungen passenderweise auch als Entlastungszüge bezeichnet. Für deren Einsatz gelten auch immer die zeitlichen Restriktionen der Trassenbestellpflicht, auch als Vor- bzw. Nachzüge in nur geringem zeitlichen Abstand zum Planzug. Den finanziellen Aufwand zusätzlicher Leistungen trägt jedoch derzeit in vielen Fällen das Verkehrsunternehmen selbst, weil im Status Quo die vertraglichen Randbedingungen diese Fälle meist nicht in Gänze abdecken. Daher wird in der Praxis im Allgemeinen auf eigenverantwortliche Kapazitätserhöhungen verzichtet, wie auch eine Befragung verschiedener Unternehmen durch TLUSTECK (2020) aufgezeigt hat.

Die Flexibilität des Fuhrparks bestimmt maßgeblich die letztlich verbleibenden Möglichkeiten. Insbesondere sehr homogene oder kleine Fahrzeugflotten lassen wenig Spielraum zu. Um sich die Möglichkeiten soweit wie möglich offen zu halten, sollte sich die Beschaffung von Fahrzeugen auch an der Reaktionsfähigkeit auf regional spezifische Nachfrageschwankungen orientieren. Unternehmensübergreifende Fahrzeugpools können beispielsweise das Handlungsspektrum einzelner Unternehmen erweitern. Zugriffsmöglichkeiten auf nicht unternehmenseigene Ressourcen wie auf Taxiunternehmen oder nebenamtliches Fahrpersonal erhöhen ebenfalls die Flexibilität in Bezug auf kurzfristige Kapazitätsanpassungen.

Auch wenn sich der Handlungsspielraum für eine wetterabhängige Kapazitätsanpassung recht eingeschränkt darstellt: Es existieren realisierbare Möglichkeiten. Im nächsten Kapitel erfolgt daher die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien, um Fälle für einen erforderlichen Einsatz dieser Maßnahmen offerenspezifisch ableiten zu können.

5 VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG WETTERABHÄNGIGER NACHFRAGESZENARIEN FÜR DIE KAPAZITÄTSPLANUNG

5.1 Verfahrensaufbau und erforderliche Datengrundlage

Voraussetzung für die Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung ist das Vorliegen von Daten im Bediengebiet des betreffenden Verkehrsunternehmens zur tatsächlichen Verkehrsnachfrage (Fahrgastaufkommen), zu den Wetterbedingungen und zur wetterunabhängig geplanten Kapazität (vgl. Abbildung 5-1). Wie die erforderlichen Daten ermittelt werden, wird in Kapitel 5.2 näher erläutert.



Abbildung 5-1: Notwendige Datengrundlage zum Ableiten von Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage und zur Ableitung wetterabhängiger Nachfrageszenarien

Zunächst erfolgt im Verfahren eine Prüfung, ob in dem jeweiligen Bediengebiet der Wettereinfluss auf die Verkehrsnachfrage (Fahrgastaufkommen) so groß ist, das eine Anpassung der wetterunabhängig geplanten Kapazität in bestimmten Fällen möglich und sinnvoll erscheint.

Im nächsten Schritt, wird dann untersucht, ob die ermittelten Nachfrageveränderungen Einfluss auf die anzubietende Kapazität haben. Dies erfolgt durch einen Vergleich der wetterbedingten Nachfrage (und damit der wetterbedingt erforderlichen Kapazität) mit der wetterunabhängig geplanten Kapazität. Im Ergebnis liegen dann die Wetterkategorien vor, bei denen sich Veränderungen zur wetterunabhängig geplanten Kapazität ergeben und die somit bei der Kapazitätsplanung Berücksichtigung finden sollten. Der Ablauf des dafür entwickelten methodengestützten Verfahrens ist in Abbildung 5-2 dargestellt und wird nachfolgend näher erläutert.

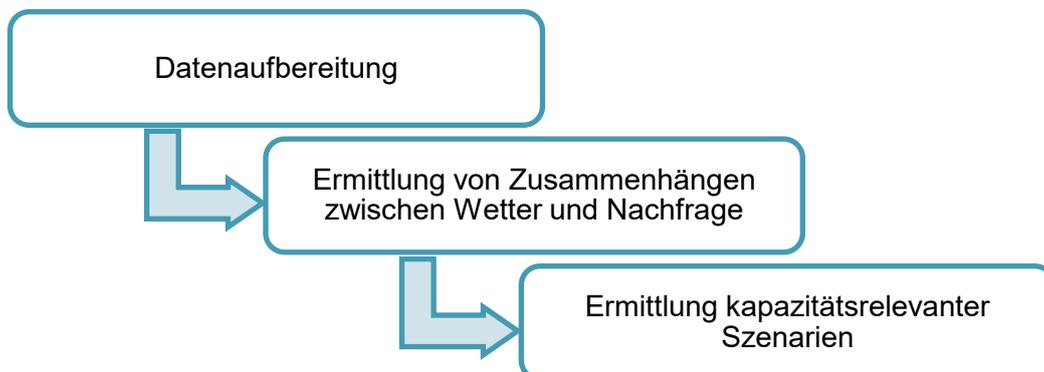


Abbildung 5-2: Verfahren zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung

In der ersten Verfahrensstufe werden die vorliegenden Daten zum Fahrgastaufkommen, zum Wetter und zur geplanten Kapazität für die nachfolgenden statistischen Untersuchungen aufbereitet (vgl. Kapitel 5.3).

In der zweiten Verfahrensstufe werden die Daten dahingehend untersucht, ob und welche statistisch gesicherten Zusammenhänge zwischen Nachfrage und Wetter bestehen (vgl. Kapitel 5.4).

In der dritten und letzten Verfahrensstufe erfolgt dann mit den Parametern aus Stufe 2 die Ermittlung kapazitätsrelevanter Szenarien. Dabei werden die Kombinationen aus Wetterkategorie und Schichtung identifiziert, die eine Kapazitätsanpassung erfordern (vgl. Kapitel 5.5).

Bei der Verfahrensbeschreibung wird auch auf die theoretischen Grundlagen sowie die bei der Anwendung des Verfahrens bestehenden Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Verfahrensstufen eingegangen.

5.2 Datenermittlung

5.2.1 Fahrgastaufkommensdaten

Daten zur Verkehrsnachfrage bzw. zur Höhe des Fahrgastaufkommens können aus verschiedenen unternehmensinternen aber auch externen Datenquellen sowohl aus Zählungen ermittelt als auch aus weiteren Datenquellen abgeleitet werden (vgl. Tabelle 5-1).

Tabelle 5-1: Datenquellen zum Ableiten der Verkehrsnachfrage im ÖPNV

interne Datenquellen	externe Datenquellen
Automatische Fahrgastzählsysteme (AFZS), Zurückliegende manuelle Fahrgastzählungen, Vertriebsdaten / Elektronisches Fahrgeldmanagement	KfZ-Zählstellen, Mobile Network Data (MND)

Am aussagefähigsten für das Ableiten von Zusammenhängen zwischen Fahrgastaufkommen und Wetter wären die Daten aus einer Zählung aller Fahrgäste jeder Fahrt über einen Zeitraum, in welchem verschiedene Wetterzustände hinreichend oft für statistisch gesicherte Aussagen erfasst werden können.

Die dazu erforderlichen Vollerhebungen sind sehr personalintensiv wenn sie als manuelle Zählung durchgeführt werden bzw. technikintensiv bei der Verwendung von automatischen Fahrgastzählensystemen (AFZS). Vollerhebungen sind damit sehr kostenintensiv und werden daher im ÖPNV aus ökonomischen Gründen häufig nicht durchgeführt (vgl. FGSV 2012, VDV 2012). Bei der Erhebung des Fahrgastaufkommens in ÖPNV-Angeboten kommt deshalb meist ein Stichprobenverfahren in Frage. Dabei können Fehler aufgrund technischer oder personeller Ausfälle, beim Zählvorgang selbst bzw. bei der Stichprobenplanung entstehen (vgl. VDV 2018, S. 22). Eine klare (mathematische) Vorgabe, die anzeigt, ob die Stichprobe die Grundgesamtheit statistisch richtig absichert, existiert nicht. Es sollte jedoch eine Mindestanforderung für die anzustrebende statistische Sicherheit im Vorfeld festgelegt werden. Diese ist ein grundlegendes Qualitätsmaß jeder Verkehrserhebung auf Stichprobenbasis und liegt üblicherweise bei 95 Prozent (vgl. VDV 2018, S. 31).

Der erforderliche Stichprobenumfang an Erhebungsfahrten aus der Grundgesamtheit aller Fahrplanfahrten wird dabei nach VDV (2018), S. 31 wie folgt ermittelt:

$$n_{\text{Fahrten}} = \frac{k^2 * V^2 * N}{k^2 * V^2 + (N - 1) * d_r^2} \quad (1) \text{ nach (VDV (2018), S. 31)}$$

- mit n Stichprobenumfang als Fahrten/Umläufe im Erhebungszeitraum
 V relative Streuung (Quotient Streuung/Mittelwert)
 d_r maximal zulässiger Stichprobenfehler (abhängig von statistischer Sicherheit S)
 k Tabellenwert Normalverteilung (abhängig von statistischer Sicherheit S)
 N Anzahl der Fahrplanfahrten im Erhebungszeitraum (Grundgesamtheit)

Je höher die relative Streuung, umso größer wird der Anteil der erforderlichen Zählfahrten. Die Abhängigkeit des Anteils der Zählfahrten von der Anzahl der Fahrplanfahrten stellt sich unter Annahme einer statistischen Sicherheit von 95 Prozent für zwei unterschiedliche relative Streuungen V wie folgt dar (vgl. Abbildung 5-3):

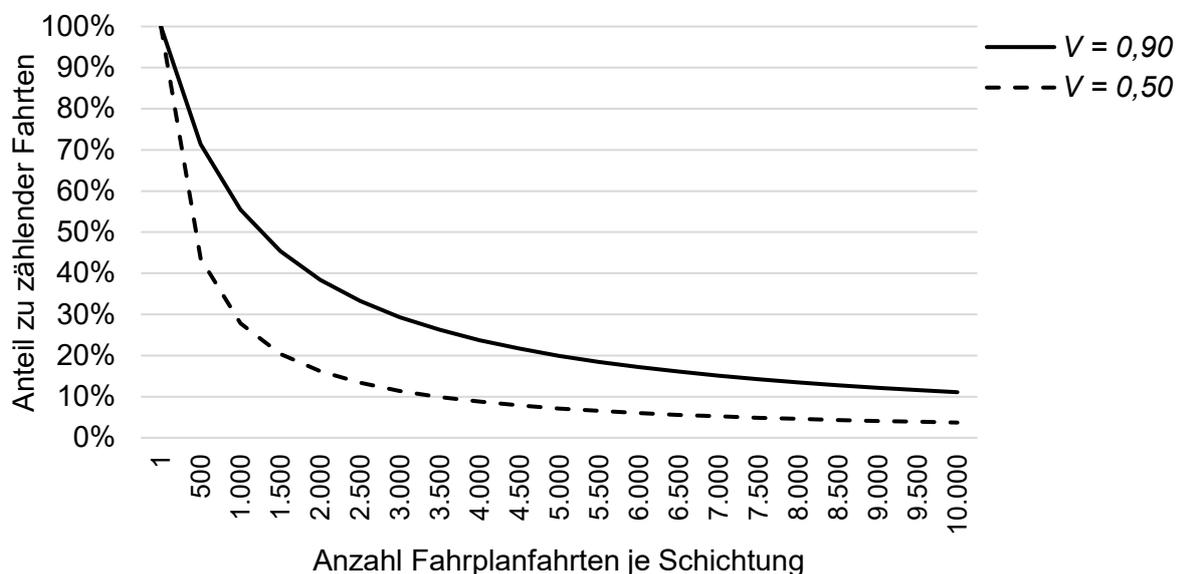


Abbildung 5-3: Anteil erforderlicher Zählfahrten bei $d_r = 0,05$ ($S = 95\%$)

Deutlich am Kurvenverlauf zu erkennen ist die Tatsache, dass Schichtungen in denen wenige Fahrten repräsentiert werden, einen hohen Anteil an Zählfahrten erfordern, um statistisch gesicherte Aussagen zu erhalten.

Die erforderliche Zählfahrtenanzahl ist für jede Schichtung der erforderlichen Schichtungsstruktur separat zu ermitteln. Für eine Differenzierung des Fahrgastaufkommens im öffentlichen Verkehr sind in der Regel nachfolgende Schichtungen (vgl. FGSV, 2012) erforderlich:

- Jahreszeit,
- Tagestyp,
- Tageszeit,
- Linie und Fahrtrichtung,
- Haltestelle.

Je höher die Anzahl der zu betrachtenden Schichtungen ist, umso geringer ist die Zahl der Datensätze, welche in den jeweiligen Schichtungen verbleiben. Ist der Stichprobenumfang zu

gering, kann eine unterkritische Analysebasis entstehen, aus welcher dann unter Umständen keine belastbaren allgemeingültigen Aussagen mehr ableitbar sind.

Im Vorfeld der Untersuchungen besteht jedoch in der Regel noch keine Kenntnis darüber, welche Schichtungstiefe in Bezug auf die Wetterabhängigkeit der Nachfrage notwendig ist, da diese sich erst im Rahmen der Analyse ergibt. Daher muss die entsprechende Streuung des Fahrgastaufkommens vorab anhand zurückliegender Erhebungen bzw. mit statistischem Sachverstand abgeschätzt werden, denn aus dieser leitet sich der erforderliche Stichprobenumfang ab.

DRECHSLER (2018) beispielsweise legte bei Untersuchungen zu Korrelationen zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen die täglichen Verkaufszahlen eines gesamten Jahres zugrunde. Aufgrund der hohen Anzahl notwendiger Schichtungen bei den Tagestypen blieben je untersuchten Wetterzustand schließlich so wenige Werte je Schichtung übrig, dass die Aussagen als nicht repräsentativ und verallgemeinerbar angesehen werden mussten. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass ein sehr umfangreiches Datenmaterial für die Detektion von Zusammenhängen zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen vorliegen muss und der erforderliche Umfang sich mit der erforderlichen Schichtungstiefe erhöht.

Der Umfang der Datengrundlage sollte grundsätzlich den Anforderungen in Hinblick auf die Verallgemeinerung der Aussagen gerecht werden können. Nachfolgend werden deshalb die einzelnen Informationsquellen aus Tabelle 5-1 näher erläutert und deren Eignung zur Überprüfung statistischer Zusammenhänge zwischen Wetter und Nachfrage auch in Hinblick auf den Stichprobenumfang diskutiert.

5.2.1.1 Daten automatischer Fahrgastzählsysteme (AFZS)

Bei automatischen Fahrgastzählsystemen (AFZS) werden mit Hilfe von Kameras und Zählmodulen die Zahl der ein- und aussteigenden Fahrgäste erfasst und mittels bordinterner Rekorder mit linien- und standortbezogenen Informationen verknüpft. Diese Daten haben den Vorteil, in der Regel schon in einem digitalen Datenformat und für einen langen Zeitraum vorzuliegen. Der Informationsgehalt beschränkt sich auf die Anzahl der Ein- und Aussteiger je Haltestelle sowie der daraus ermittelbaren Fahrzeugbesetzung zwischen den Haltestellen. Die Daten sind nicht selten fehlerbehaftet oder unvollständig, besonders bei Sonderfällen wie Stärken und Schwächen von Zügen oder Linienübergängen. Häufig muss deshalb in der Praxis das umfangreiche Datenmaterial manuell nachbearbeitet werden. Wenn die AFZS-Daten aus personellen oder organisatorischen Gründen nicht kontinuierlich gepflegt werden, kann deren nachträgliche Plausibilisierung einen enormen zeitlichen und personellen Aufwand erfordern. Diese Aussage beruht auf Erfahrungen der Autorin und wird durch folgendes Zitat bekräftigt, welches sich zwar auf die Nutzung von Mobilfunkdaten für die Verkehrsplanung bezieht, aber auch für jede andere Datengrundlage als zutreffend angesehen werden kann: „[...] das reine Vorhandensein von Daten erleichtert per se nicht den Auswertungsprozess, da entweder deren Beschaffung lange dauert oder durch deren Inkonsistenz eine Aufbereitung der Daten unerlässlich ist.“ (Prof. Friedrich, Universität Stuttgart, zitiert aus SCHMIDT UND MÄNNEL, 2017, S. 50). In der Regel ist auch nur ein Teil der Fahrzeugflotte mit Zählsystemen ausgerüstet, so dass

vollständige Züge und Laufwege nicht in Gänze abgebildet werden können (vgl. ADORF ET AL., 2019).

5.2.1.2 Daten aus manuellen Fahrgastzählungen

Stichprobenerhebungen bzw. -befragungen aus der Vergangenheit liegen in vielen Verkehrsunternehmen vor, da diese häufig für ein Kundenmonitoring oder für Einnahme-Aufteilungsrechnungen verwendet werden. Für diese Zwecke reichen die Aussagen von automatischen Zählsystemen in der Regel nicht aus, daher wird diese Erhebungsmethode auch perspektivisch trotz des zunehmenden AFZS-Ausrüstungsgrades der Fahrzeuge nicht in Gänze entfallen. Die Erhebungsdaten liegen jedoch meist nur über einen recht begrenzten Zeitraum vor, wodurch Aussagen zu verschiedenen Wetterzuständen über verschiedene Schichtungen hinaus eine geringe statistische Sicherheit aufweisen könnten.

Liegen keine Fahrgastzahlen für die Untersuchungsregion vor, können eigene Zählungen die notwendigen Daten liefern. Die Festlegung des Stichprobenumfangs erfolgt nach Formel (1), noch unbekannte Eingangsgrößen müssen dann sinnvoll abgeschätzt werden. Eine vollständige Zählung aller Fahrgäste je Fahrt ist empfehlenswert, da sich die Fahrgäste über die Länge von Verkehrsmitteln nicht gleichmäßig verteilen. Für den Fall, dass das eingesetzte Erhebungspersonal nicht ausreicht, um das gesamte Fahrgastaufkommen einer Fahrt zu erheben, gibt FGSV (2012) die Empfehlung einer räumlichen Aufteilung innerhalb einer Fahrzeugeinheit oder der Auswahl von Fahrzeurtüren. Randbedingungen wie die Lage der Zu-, Abgänge und Warteeinrichtungen, der tatsächliche Halteplatz sowie weitere Faktoren beeinflussen jedoch die tatsächliche Füllung des Verkehrsmittels. Praktikable Modelle zur exakten Hochrechnung der Fahrgastzahlen aus Teilmengen unter Berücksichtigung der Fahrgastlängsverteilung in Verkehrsmitteln existieren jedoch noch nicht (vgl. UHL ET AL., 2018).

Es kann trotzdem zielführend sein, sich auf Teilmengen wie zum Beispiel ausgewählte Erhebungsquerschnitte (einzelne Haltestellen oder Linienabschnitte) zu fokussieren. Sollte sich nur für die Erhebung oder Auswertung einer Teilmenge des Gesamtfahrgastaufkommens je Fahrt entschieden werden, muss eine tiefgründige Prüfung der Aussagefähigkeit in Bezug auf Allgemeingültigkeit der so gewonnenen Stichprobe erfolgen.

Es empfiehlt sich, die Zählungen durch Befragungen zu ergänzen. Dadurch wird es möglich, Zusammenhänge zwischen einzelnen Personengruppen und deren „Wetteraffinität“ herzustellen.

Um systematische wetterabhängige Schwankungen ableiten zu können, muss die Stichprobe genügend Tage mit verschiedenen Wetterzuständen beinhalten. Es besteht die Gefahr, eine Erhebung mit großem Aufwand zu planen und durchzuführen, um dann festzustellen, dass im Erhebungszeitraum stabile Wetterbedingungen auftreten und somit keine belastbaren Aussagen zu verschiedenen Wettersituationen ableitbar sind. Ad hoc je nach Wetterbedingungen eine Erhebung durchzuführen, setzt mindestens das Vorhalten von flexibel und kurzfristig einsetzbarem Erhebungspersonal voraus, was zeitlich, personell und auch monetär sehr schwer zu beherrschen ist. Zudem ist zu Beginn der Untersuchungen der Zeithorizont für die Beschaffung einer aussagefähigen Stichprobe nicht absehbar.

5.2.1.3 Vertriebsdaten und elektronische Fahrgeldmanagementsysteme (EFM)

Verkaufszahlen zu den durch das Verkehrsunternehmen vertriebenen Tarifangeboten liegen inzwischen in der Regel digital vor. Soweit elektronische Fahrgeldmanagement- bzw. E-Ticketing-Systeme eingesetzt werden, können auch die damit detektierten Fahrtdaten der Nutzer herangezogen werden. Hier erhält man aktuell jedoch meist nur über einen recht eingeschränkten Personenkreis Informationen, welcher sich bewusst für diesen Vertriebsweg entschieden hat. Dazu kommt, dass heutzutage bei vielen Tarifangeboten der tatsächlich in Anspruch genommene Fahrtweg des Einzelnen nicht mehr nachvollzogen werden kann (vgl. DRECHSLER, 2018, S. 22 -24). Dazu gehören beispielsweise Zeitkarten oder Zonenkarten. Daten aus Verkaufssystemen heranzuziehen, würde daher zwar Rückschlüsse auf die generelle Nachfrage zulassen. Vertiefte Aussagen zum Fahrgastverhalten an einzelnen Tagen sind jedoch meist nicht zufriedenstellend möglich. Diese Aussagen werden aber für das Ableiten wetterabhängiger Nachfrageszenarien benötigt.

App-basierte Verkaufssysteme, welche den Reiseweg nachvollziehen und dafür den günstigsten Tages-Bestpreis berechnen, bieten dagegen eine deutlich größere Genauigkeit im Hinblick auf die zeitkonkrete und räumliche Nachfrage eines Verkehrsangebotes (vgl. SCHUCAN, 2020) – allerdings wiederum nur begrenzt auf die Nachfrage durch Nutzer der App.

Eine gemeinsame Analyse verschiedener Vertriebsangebote könnte zielführende Aussagen liefern, wobei zwingend auf eine vergleichbare Datenbasis geachtet werden muss.

5.2.1.4 Nutzung von Informationen von Kfz-Zählstellen

DRECHSLER (2018) bezog in seinen Recherchen zu einer wetterabhängigen Prognosemodellierung auch die Daten von zwei automatischen Fahrzeugzählstellen seines Untersuchungsgebietes ein. Damit sollten mögliche Abhängigkeiten zwischen dem Straßenverkehrsaufkommen und dem Fahrgastaufkommen in den Zügen einer nahezu parallel zur Bundesstraße verlaufenden Bahnstrecke analysiert werden. Es stellte sich für den Untersuchungsgegenstand die Frage, ob Fahrgast- und Kfz-Aufkommen miteinander grundsätzlich korrelieren. Für eine der Zählstellen konnten positive Korrelationen nachgewiesen werden, weiterführende Untersuchungen ließ die Stichprobe jedoch nicht zu. Bei statistisch nachweisbaren und gesicherten Zusammenhängen könnte somit auch auf die umfangreiche Datenbank der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zurückgegriffen werden, in welcher kostenfrei die täglichen und stündlichen Fahrzeugzahlen je Zählstelle seit 2003 online abgerufen werden können (vgl. BASt, 2019). Zudem lassen die Daten eine feine zeitliche Schichtung zu. Grundsätzlich sind bei dieser Vorgehensweise trotzdem weitere fahrgastspezifische Daten in einem gewissen Umfang erforderlich, da im Vorfeld die Übertragbarkeit der Aussagen aus dem Kfz-Aufkommen auf das Fahrgastaufkommen geprüft werden muss. Zudem müssen Zählstellen im Umfeld des untersuchten Verkehrsangebotes vorhanden sein. Etwa 800 Zählstellen existieren derzeit auf Bundesstraßen in Deutschland (vgl. BASt, 2019).

5.2.1.5 Mobile Network Data (MND)

Zukünftig denkbar ist die Auswertung von anonymisierten Nachfragedaten aus der Netzwerkkommunikation im Mobilfunknetz (Mobile Network Data). Voraussetzung für die technische Datengewinnung ist auf der Kundenseite nur das eingeschaltete Smartphone. Es wird erwartet, dass diese Daten eine recht hohe zeitliche Genauigkeit und Differenzierung aufweisen und sehr zeitnah ausgewertet werden können (vgl. SCHMIDT UND MÄNNEL, 2017). Demzufolge werden hier auch hilfreiche Aussagen durch ein Monitoring kurzfristiger Nachfrageschwankungen durch Wetter oder Großereignisse erhofft (vgl. BERLIN, 2019, S. 380). Anders als bei Daten aus Erhebungen, EFM und AFZS lassen MND Aussagen zur zeitlichen sowie räumlichen Gesamtnachfrage auch abseits des ÖPNV zu, woraus sich Maßnahmen der Netz- und Angebotsgestaltung zur Verbesserung des ÖPNV-Anteils am Modal Split ableiten lassen (vgl. SCHMIDT UND MÄNNEL, 2017). Aktuell liegt jedoch vor allem bei Verkehrsmitteln, welche auf der Straße gemeinsam mit dem übrigen Verkehr fahren, noch keine Lösung für eine zuverlässige Zuordnung der Verkehrsmittel vor. Ein Bewusstsein für die möglichen Vorteile einer Nutzung von MDN ist jedoch schon vorhanden. So ist im aktuellen Nahverkehrsplan für Berlin ein Prüfauftrag für die Beurteilung der „[...] Nutzbarkeit und Qualität dieser Daten sowie ihr Kosten-Nutzen-Verhältnis [...]“ explizit formuliert (vgl. BERLIN, 2019, S. 380). Verschiedentlich ist eine MND-Nutzung als Planungswerkzeug für den öffentlichen Verkehr in der Testphase. Erste Anwendungserfolge für die Potentialabschätzung öffentlicher Verkehrsangebote aus den Bewegungsprofilen von Mobilfunknutzern können belegt werden (vgl. FRANKEN, 2021). Fahrkonkrete Nachfragezahlen einzelner Verkehrsangebote sind jedoch aktuell noch nicht ableitbar.

5.2.1.6 Einschätzung der Verwendbarkeit der verschiedenen Datenquellen

Welche der vorangestellten Verfahren gewählt wird, hängt schließlich auch entscheidend von Verfügbarkeit, Umfang und Qualität verwendbarer Daten im Untersuchungsgebiet ab. Letztlich müssen sich in Bezug auf die Dimensionierung eines wetterabhängigen Platzangebotes Aussagen über die tages- und fahrtgenaue Nachfrage ableiten lassen. Tabelle 5-2 stellt die erläuterten Datenquellen hinsichtlich ihrer Aussagekraft auf Zusammenhänge zwischen Fahrgastverhalten und Wetterbedingungen für die aufgeführten Kriterien zusammen. Eingeschätzt wurden Stichprobenumfang und Zeitraum, denen die Datenbasis zugrunde liegt, sowie die Tiefe der Aussagefähigkeit.

Tabelle 5-2: Vergleich der Datenquellen zur Ermittlung bzw. Abschätzung der Höhe des Fahrgastaufkommens

Datenquelle	Stichprobenumfang	Analysezeitraum	fahrtgenaue quantitative Aussagen	Schichtungen möglich	Abbildung aller relevanter Wetterzustände
Manuelle Zählung	gering	Zählzeitraum	ja	ja	nicht gesichert
AFZS	anteilig bis vollständig	fortlaufend	ja	ja	mit zunehmenden Umfang wahrscheinlicher
EFM	gering	fortlaufend	ja	ja	
Vertriebsdaten	eingeschränkt bis hoch	fortlaufend	eingeschränkt		
Kfz-Zählstellen	hoch (bei nachgewiesener Eignung)	fortlaufend	wenn Übertragbarkeit auf Fahrgastaufkommen nachgewiesen wurde		
MND	20-50 % der Bevölkerung (vgl. SCHMIDT UND MÄNNEL 2017, S. 30)	fortlaufend	noch nicht	ja	

Beschaffungs- und Plausibilisierungsaufwand wurden als Kriterien an dieser Stelle nicht einzeln bewertet, da diese sich sehr differenziert je nach Gegebenheit darstellen können. So wird häufig vorausgesetzt, dass automatisch erzeugte Daten leicht zu beschaffen sind. Das kann sich in der Praxis ganz anders darstellen, wenn Zuständigkeiten nicht geklärt sind oder erst noch eine Zusammenführung getrennt erhobener Datensätze (nach Tag/Linie etc.) erforderlich wird (vgl. Kapitel 5.2.1). Der Plausibilisierungsaufwand der einzelnen Daten hängt vom Umfang an Fehlern und Inkonsistenzen in den jeweiligen Stichproben ab.

Für statistisch belegbare Aussagen zur Wetterabhängigkeit der Nachfrage sind quantitative Aussagen unerlässlich (vgl. Kapitel 5.4.4). Je größer der Stichprobenumfang, umso feiner können die Analysen über relevante Schichtungen abgestuft werden. In Vorbereitung der weiteren Analysen muss zudem sichergestellt sein, dass die relevanten Wetterzustände (vgl. Kapitel 5.3.2) im Analysezeitraum ausreichend repräsentiert werden. Die Verfahrensanwendung (Kapitel 6) zeigte auf, dass bei der Abschätzung des erforderlichen Stichprobenumfangs neben den üblichen zeitlichen Schichtungen deshalb auch die Wetterkategorisierung berücksichtigt werden muss. Die Stichprobe muss eine ausreichende Zahl an Fahrten mit diesen Wetterzuständen für statistisch gesicherte Aussagen enthalten.

Aufgrund des höheren erforderlichen Datenumfanges ist die Auswertung kontinuierlich erhobener Daten manuellen Stichprobenerhebungen vorzuziehen. Aktuell haben AFZS-Daten in der Regel die größte Aussagekraft (vgl. Tabelle 5-2). Perspektivisch erscheinen MND als ein vielseitiges Planungswerkzeug, welches sich jedoch erst noch im Erprobungszustand bewähren muss.

Bei allen Datenquellen aus der Vergangenheit muss eine Prüfung erfolgen, ob sich Randbedingungen im Untersuchungsgebiet dahingehend signifikant geändert haben, dass das Fahrgastaufkommen davon grundsätzlich betroffen ist. Für das Untersuchungsgebiet sind relevante Faktoren und Ereignisse zu recherchieren und der Analysezeitraum so auszuwählen bzw. einzugrenzen, dass wetterunabhängige Faktoren innerhalb dieses Zeitraumes konstant bleiben. Dazu gehört im Einzelfall auch eine Prüfung, ob etwaige Veränderungen messbare

Auswirkungen auf Quantität und Qualität des Fahrgastaufkommens hatten. Beispiele zu Gründen für mögliche Veränderungen der Quantität und Zusammensetzung des Fahrgastaufkommens sowie Recherchemöglichkeiten dazu sind in Tabelle 5-3 aufgeführt.

Tabelle 5-3: Beispiele für mögliche langfristige wetterunabhängige Veränderungen der Nachfrage

Mobilitätsbeeinflussende Faktoren	Beispiele für wetterunabhängige Veränderungen des Fahrgastaufkommens bei Betrachtung langer Zeiträume	Recherche-möglichkeiten
soziodemografische Randbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung der Altersstruktur der Einwohner und damit der Mobilitätsbedürfnisse 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenbanken der Statistischen Landesämter
räumliche Verteilung der Flächennutzungen	<ul style="list-style-type: none"> • Wegfall von Arbeitsplätzen • Entstehung neuer Freizeitattraktionen oder Beherbergungsstätten • Veränderung bei Schulstandorten 	<ul style="list-style-type: none"> • Datenbanken der Statistischen Landesämter • Schulnetzberichte • Erfahrungsaustausch mit Beteiligten
Art und Güte des Verkehrsangebotes	<ul style="list-style-type: none"> • Veränderung der Fahrtenhäufigkeit • Veränderung von Anschlussituationen • Infrastrukturelle Veränderungen • Langfristige Einschränkungen durch Baustellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrpläne • Erfahrungsaustausch mit Beteiligten

Ein Erfahrungsaustausch mit Beteiligten wie Verkehrsunternehmen und Tourismusverantwortlichen kann die Recherchen zielführend ergänzen. Schwieriger ist es, rückwirkend Informationen zu kurzfristig wirkenden Ereignissen wie Kurzzeit-Baustellen, Fahrzeugausfällen oder einmaligen Veranstaltungen zu bekommen. Diese Tatsache sollte bei der Interpretation der Datenanalyse berücksichtigt werden.

In der Praxis wird die Auswahl des Untersuchungszeitraumes auch einer iterativen Komponente unterliegen, indem die Auswahl der Datenbasis nach Abwägung verschiedener Kriterien wie Datenverfügbarkeit und Angebotsveränderungen oder -anpassungen erfolgt. Für diesen aus der Ermittlung der Daten zum Fahrgastaufkommen abgeleiteten Zeitraum sind dann Wetterdaten und Daten zur wetterunabhängig geplanten Kapazität zu beschaffen. Die Möglichkeiten dafür werden in den beiden folgenden Kapiteln aufgezeigt.

Erkenntnisse für die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung:

Es existieren vielfältige Möglichkeiten, umfangreiche Informationen zu Quantität und Qualität des Fahrgastaufkommens in einem öffentlichen Verkehrsangebot zu bekommen. Die Nutzbarkeit und Aussagefähigkeit vorhandener Datenquellen muss hinsichtlich der Zielvorstellungen für das Untersuchungsgebiet individuell geprüft werden.

5.2.2 Wetterdaten

„Als *Wetter* wird der physikalische Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt oder in einem auch kürzeren Zeitraum an einem bestimmten Ort oder in einem Gebiet bezeichnet, wie er durch die meteorologischen Elemente und ihr Zusammenwirken gekennzeichnet ist. [...] Das Wetter wird mit Hilfe quantifizierbarer Parameter charakterisiert. Diese

Parameter sind fundamentale Größen des Wetters (Wetterelemente) wie z.B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Drucktendenz, Windrichtung und Windgeschwindigkeit, Bewölkung (Wolken), Niederschlag und Sichtweite.“ (vgl. DWD, 2020)

Hinsichtlich der Verkehrsnachfrage, welche durch die Aktivitätenwahl beeinflusst wird, spielen die Parameter Lufttemperatur, Niederschlag, Sonnenscheindauer sowie die Windgeschwindigkeit eine wesentliche Rolle.

Wetterparameter könnten grundsätzlich durch eigene Messungen erhoben werden. Dann müssen objektive Kriterien wie Temperatur und Niederschlagsmenge dokumentiert werden. Eine subjektive Beurteilung des Wetters ist wenig geeignet und sollte höchstens als Ergänzung zu objektiven Daten vorgenommen werden. Bei Fahrgasterhebungen in Nahverkehrszügen Vorpommerns (TU DRESDEN, 2006) führte beispielsweise eine subjektive Beurteilung des Wetters und die Zuordnung in drei Kategorien A, B und C³⁴ zu recht unterschiedlichen Einschätzungen durch die einzelnen Erheber.

Eine eigene Messung der Wetterparameter ist jedoch in der Regel nicht notwendig, da regional differenzierte Wetterdaten einer Vielzahl von Messstationen vorliegen und auf den Webseiten der Betreiber dieser Stationen (z. B. Deutscher Wetterdienst³⁵ oder MeteoGroup³⁶) bereitgestellt werden. Nachstehende Vorteile ergeben sich durch die Nutzung dieser Daten:

- Daten werden mit normierten Messverfahren erhoben,
- Messung findet immer am selben Ort statt (Wetterstation),
- Messdaten sind rückwirkend verfügbar,
- Daten können als Datei abgerufen werden (beispielsweise beim Online-Service WESTE-XL (WeSte = Wetterdaten und Statistiken express) des Deutschen Wetterdienstes³⁵).

Besonders der letzte Aspekt bietet den Vorteil, an exakte und miteinander vergleichbare Daten ohne großen zeitlichen, personellen und finanziellen Aufwand zu gelangen. Durch die digitale Übernahme der Daten werden eigene Fehlerquellen minimiert.

Aufgrund der Dichte der Messstationen in Deutschland³⁷ liegen Wetterdaten praktisch flächendeckend vor. Damit sind in der Regel auch genaue Aussagen zu den Wetterbedingungen in abgegrenzten (Untersuchungs-)Gebieten möglich. Tabelle 5-4 zeigt am Beispiel von WESTE-XL die zur Verfügung stehenden Wetterdaten auf. Neben den Tageswerten sind häufig auch stundengenaue Daten verfügbar. Der Umfang der Parameter, auf die zurückgegriffen werden kann, hängt von der Ausstattung der einzelnen Wetterstation ab.

³⁴ A: Sonne, kein Niederschlag / B: bedeckt, teilweise schwacher Niederschlag / C: stark bewölkt, starke Niederschläge.

³⁵ Abrufbar unter <http://dwd.de>.

³⁶ Abrufbar unter <http://wetterstationen.meteo-media.de>.

³⁷ Im Jahr 2015 betrieb allein der Deutsche Wetterdienst 1.944 Stationen mit Niederschlagsmessung, an 503 Stationen erfolgten Temperaturmessungen (DWD, 2015).

Tabelle 5-4: Grundsätzlich zur Verfügung stehende Parameter der einzelnen Elemente im Portal WESTE-XL des DWD je Wetterstation (zusammengestellt nach DWD 2019A)

Element	Tageswert			Summe	Stundenmittel/ -summe
	Min.	Mittelwert	Max.		
Lufttemperatur	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Erdbodentemperatur					<input checked="" type="checkbox"/>
Relative Luftfeuchte		<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>
Niederschlagshöhe				<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Schneehöhe Gesamt				<input checked="" type="checkbox"/>	
Schneehöhe Neuschnee				<input checked="" type="checkbox"/>	
Windspitze			<input checked="" type="checkbox"/>		
Windrichtung					<input checked="" type="checkbox"/>
Windgeschwindigkeit					<input checked="" type="checkbox"/>
Sonnenscheindauer				<input checked="" type="checkbox"/>	

Die Auswahl der zu analysierenden Parameter sollte in Abhängigkeit der Charakteristik der Region und der Freizeitaktivitäten erfolgen. So sind für eine Baderegion im Sommer sicher vorrangig Sonnenscheindauer und Temperatur von Interesse. Bei Städtereisen interessiert mehr der Niederschlag als die Temperatur und bei Aktivitäten in den Bergen stehen Temperatur und Niederschlag (auch als Schnee) im Fokus (vgl. Abbildung 2-14 auf Seite 16). Grundsätzlich ist ein starker Zusammenhang zwischen einzelnen Wettercharakteristiken vorhanden. So bedingen beispielsweise hohe Tageshöchsttemperaturen in Deutschland in der Regel geringe Niederschläge und Windgeschwindigkeiten in den Tagesstunden. Somit reicht auch die Betrachtung einiger weniger Merkmale für eine eindeutige Zuordnung zu einer Wetterkategorie (vgl. Kapitel 5.3.2) meist schon aus.

Ob es erforderlich ist, die stündlich vorliegenden Daten auszuwerten, hängt von der Zielstellung ab. Die Mehrheit der Reiseentscheidungen zum Antritt einer Aktivität wird meist am Vortag oder eher getroffen (vgl. Abbildung 2-16 auf Seite 18). Dass Ereignisse wie Gewitter oder starke Schauer auch sehr kurzfristig auf das Fahrgastaufkommen Einfluss nehmen können, ist unstrittig. In der Regel wird es jedoch ausreichen, die Tageswerte für die Analyse des Fahrgastaufkommens hinsichtlich einer Wetterabhängigkeit zu verwenden.

5.2.3 Daten der wetterunabhängig geplanten Kapazität

Die Daten zur wetterunabhängig geplanten Kapazität liegen in den Fahrzeugeinsatzplänen des Verkehrsunternehmens vor. Diesen können Informationen zum zeitlichen und örtlichen Fahrtbeginn/Fahrtende eines Fahrtelements (Leerfahrt/Fahrplanfahrt) und dem zugeordneten Fahrzeugtyp entnommen werden. Die angebotene fahrtgenaue Kapazität ergibt sich aus der Platzkapazität der eingesetzten Fahrzeugtypen unter Beachtung von relevanten Qualitätsmaßstäben im Hinblick auf die Platzausnutzung (vgl. Tabelle 5-5).

Tabelle 5-5: Beispiel für einen Fahrzeugeinsatzplan (eigene Darstellung)

Fahrttyp	Linie	von	bis	Startpunkt	Endpunkt	Fahrzeugtyp	Wagennummer
Einsetzfahrt	10	12:55	13:10	Betriebshof	Haltestelle1	Niederflurgelenkwagen	32
Linienfahrt	10	13:10	13:49	Haltestelle1	Haltestelle2	Niederflurgelenkwagen	32
Linienfahrt	10	13:49	14:08	Haltestelle2	Haltestelle1	Niederflurgelenkwagen	32
Leerfahrt	10	14:08	14:17	Haltestelle1	Haltestelle3	Niederflurgelenkwagen	32
Linienfahrt	12	17:40	18:12	Haltestelle3	Haltestelle4	Niederflurgelenkwagen	32
Aussetzfahrt	12	18:12	18:17	Haltestelle4	Betriebshof	Niederflurgelenkwagen	32

Die vorliegenden Daten werden in der Verfahrensstufe 1 für die weiteren Schritte vor- und aufbereitet.

5.3 Datenaufbereitung (Verfahrensstufe 1)

Ziel der Datenaufbereitung ist die Skalierung der vorliegenden Daten auf das für die Analyse der Zusammenhänge zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen erforderliche Skalenniveau in der Verfahrensstufe 2. Dies ist erforderlich, da die Möglichkeiten der Analyse sowie die Aussagekraft der Ergebnisse maßgeblich durch die Skalenniveaus der Daten bestimmt wird.

5.3.1 Skalenniveau

Das Skalenniveau gibt an, „[...] in welcher Art und Weise eine Eigenschaft eines Objektes in Zahlen ausgedrückt (gemessen) werden kann [...]“ (vgl. BACKHAUS ET AL., 2016, S. 10). Daten können in einem kategorialen oder kardinalen Skalenniveau vorliegen (vgl. Tabelle 5-6).

Tabelle 5-6: Skalenniveaus (eigene Darstellung nach BACKHAUS ET AL., 2016)

Skala		Merkmale	Beispiel
Kategorial (nicht-metrisch)	Nominalskala	Kategorisierung qualitativer Eigenschaftsausprägungen, keine natürliche Reihenfolge ableitbar	Niederschlag (ja, nein) Temperatur (kalt, warm, heiß)
	Ordinalskala	Rangordnung mit Ordinalzahlen	Fahrgastaufkommen (niedrig, mittel, hoch)
Kardinal (metrisch)	Intervallskala	Skala mit gleich großen Abschnitten ohne natürlichen Nullpunkt	Celsius-Skala zur Temperaturmessung
	Ratioskala	Skala mit gleich großen Abschnitten und mit natürlichem Nullpunkt	Fahrgastaufkommen (0,1,2,3,... Fahrgäste)

Qualitative Eigenschaftsausprägungen werden durch Nominalskalen als einfachste Form des Messens klassiert. Die Ausprägungen einer Eigenschaft wird codiert, für eine rechnergestützte Verarbeitung werden in der Regel Zahlen als Code verwendet. Rangordnungen können mit einer Nominalskala jedoch noch nicht hergestellt werden, es können nur Häufigkeiten ausgewertet werden. Das höchste Messniveau wird durch die Ratioskala erreicht.

Im Gegensatz zu kategorialen Skalen besitzen bei den Kardinalskalen die Differenzen zwischen den Werten auch einen Informationsgehalt. Eine Transformation von einem Skalenniveau zum anderen ist möglich, jedoch nur von einem höheren Niveau zu einem niedrigeren. Wenngleich dabei immer ein Informationsverlust entsteht, können die Daten übersichtlicher gestaltet und die Analyse vereinfacht werden. Vor der Analyse muss daher eine Entscheidung darüber getroffen werden, in welcher Form die Daten weiterverwendet werden. Deshalb erfolgt die Abwägung der Notwendigkeit einer Kategorisierung der Grunddaten, wodurch eine Transformation in ein anderes Skalenniveau erfolgen würde.

Die Ausgangsdaten für Wetter und Fahrgastaufkommen liegen zunächst kardinal vor. In der Regel enthält das Datenmaterial sowohl bei den Fahrgastzahlen als auch bei den Wetterzuständen jedoch so viele unterschiedliche Merkmalsausprägungen, dass eine Darstellung sämtlicher Beobachtungen wenig aufschlussreich wäre. Gerade bei einer großen Anzahl verschiedener Werte einer beobachteten Variablen ist eine Kategorisierung hilfreich für die weitere Verarbeitung. Zudem erhöht eine Reduktion der Merkmalsausprägungen die Robustheit der statistischen Tests, da die wenigen Merkmalsausprägungen dann häufiger beobachtet werden. Die Kategorisierung ist notwendig, um beispielsweise die natürlichen Schwankungen des Fahrgastaufkommens oder geringe Temperaturschwankungen in den Analysen vergleichbar machen zu können. Damit wird dann in Bezug auf das Wetter auch besser der Wahrnehmung der Fahrgäste entsprochen, welche beispielsweise die Temperatur nicht kontinuierlich bewerten, sondern eher zwischen „sehr warm“, „warm“, „angenehm“, „kalt“ und „sehr kalt“ differenzieren.

Die Zuordnung der Werte in Kategorien sollte vorzugsweise durch eine statistische Auswertung der Häufigkeitsverteilung und eine Zuordnung anhand von Klassenbreiten (absolute Anzahl von Werten), Perzentilen (relative Anzahl der Werte) oder anderen offensichtlichen Grenzwerten aus der Häufigkeitsverteilung heraus erfolgen. Die Festlegung der Grenzwerte bzw. Zugehörigkeiten muss aber auch immer mit einer sachlogischen Herangehensweise verknüpft werden. Die optimale Anzahl wie auch die Klassenbreite hängen von den Daten und den Zielstellungen der Untersuchungen ab. So kann es zielführend sein, Grenzen durch objektive Kriterien wie die Perzentile einer Verteilung zu setzen. In anderen Fällen führen dagegen aus subjektiven Überlegungen heraus festgelegte Grenzen zu sinnvollen Einteilungen.

Ein weiteres Kriterium für die Kategorienanzahl ist die Anzahl der verbleibenden Werte je Kategorie. Deren Anzahl wird durch die gewählten Grenzwerte bestimmt. Es sollten genügend Werte je Kategorie verbleiben, um statistisch gesicherte Aussagen ableiten zu können. Gerade bei weiterer Unterteilung der Stichproben muss darauf geachtet werden, dass alle Kategorien repräsentativ in allen relevanten Schichtungen vertreten sind.

5.3.2 Kategorisierung der Wetterdaten

Da Wetter nicht nur durch einen Parameter bestimmt wird, sondern im Zusammenspiel mehrerer Faktoren (z. B. Wind, Niederschlag, Temperatur, Sonnenscheindauer) beurteilt wird, empfiehlt sich eine differenzierte Einschätzung nach Region und auch nach Jahreszeit. „Schönes Wetter“ geht in der Alltagssprache zu jeder Zeit einher mit geringer Bewölkung und überwiegendem Sonnenschein. „Kaltes Wetter“ wird dagegen durch Mitteleuropäer im Sommer mit anderen Temperaturen assoziiert als im Winter. Wie das Wetter vom einzelnen Fahrgast beurteilt wird, hängt von den Aktivitätenmustern in der Untersuchungsregion ab. So ist in Wintersportregionen eine gewisse Schneehöhe für die Durchführung vieler Freizeitaktivitäten erforderlich, in anderen Regionen spielt dagegen dieser Parameter dafür eine untergeordnete Rolle. Outdoor-Aktivitäten sind generell temperatur- und niederschlagsabhängiger als Indooraktivitäten.

Es ist nicht zu empfehlen, nur die Temperatur zu betrachten und dafür Grenzwerte festzulegen, sondern weitere Parameter zu bewerten. Das Temperaturempfinden hängt nicht nur von der physikalischen Temperatur ab. So lässt zunehmender Wind kühle Temperaturen deutlich kälter als messbar erscheinen. Dieser Effekt wird als Windchill bzw. Windkühle bezeichnet und tritt bei Temperaturen unterhalb von 10 °C auf. Die Abhängigkeiten der gefühlten Temperaturen von den Windverhältnissen sind im Anhang B dargestellt.

Zunehmende Luftfeuchtigkeit lässt dagegen gefühlte Temperaturen höher erscheinen. Dieser Effekt kommt je nach Luftfeuchte bei Temperaturen oberhalb von 20°C bis 25°C zum Tragen, die gefühlten Temperaturen werden mit dem Hitzeindex beschrieben, der ebenfalls im Anhang B dargestellt ist.

Bei einigen Outdoor-Freizeitaktivitäten kann der Wind sowohl positiven als auch negativen Einfluss auf deren Durchführbarkeit haben. So präferieren Surfer Windstärken zwischen 4 und 7, von Badenden kann eine frische Brise der Windstärke 5 schon als unangenehm empfunden werden. Für die Beurteilung der aufgetretenen Windgeschwindigkeiten und deren Einfluss auf Freizeitaktivitäten kann die Tabelle mit der Beaufortskala im Anhang B hinzugezogen werden.

Die Bandbreite der Kategorisierung des Wetters ist durch die Vielzahl der einzelnen Wetterparameter und deren Wirkung auf eine Aktivität recht groß. Bei der Einteilung können sowohl sachlogische als auch statistisch ermittelte Einteilungskriterien zur Anwendung kommen.

GEBHART UND NOLAND (2013), MÜLLER (2016) und REISS (2017) entschieden sich bei den Untersuchungen zum Buchungsverhalten von Car- und Bikesharing-Systemen für eine einfache Unterscheidung in zwei Fälle: gutes und schlechtes Wetter und grenzten diese durch Temperatur-, Niederschlags- und Windparameter ein. Sowohl WEGELIN ET AL. (2017) als auch DRECHSLER (2018) entschieden sich dagegen bei Ihren Untersuchungen zum Fahrgastaufkommen in Bergbahnen bzw. Nahverkehrszügen zu einer dreistufigen Einteilung, welche sonnige, bewölkte und Tage mit Niederschlag unterschied. Die Einteilung von DRECHSLER ist in Tabelle 5-7 dargestellt.

Tabelle 5-7: Verwendete Wetterkategorien für die Analyse der Verkehrsnachfrage in Nahverkehrszügen (eigene Darstellung nach DRECHSLER 2018)

Wetterkategorie	Definition
Sonnig	≥ 60 % von max. möglicher Sonnenscheindauer ≤ 0,2 mm Niederschlag
Bewölkt	< 60 % von max. möglicher Sonnenscheindauer ≤ 0,2 mm Niederschlag
Niederschlag	> 0,2 mm Niederschlag

Etwas differenzierter wurde im Projekt „Wolke – Wetterabhängige Kalibrierung von Verkehrsmodellen für eine optimierte Verkehrssteuerung“ (vgl. SCHEDLER UND SCHRÖDER, 2014) für die Verkehrsnachfrage auf Autobahnen vorgegangen. Dort gingen auch Temperatur und Schnee-Verhältnisse in die Bewertung des Wetters ein (vgl. Tabelle 5-8).

Tabelle 5-8: Verwendete Wetterkategorien für die Analyse der Verkehrsnachfrage auf Autobahnen im Projekt Wolke (eigene Darstellung nach SCHEDLER UND SCHRÖDER, 2014)

Wetterkategorie	Definition
Topwetter	≥ 90 % von max. möglicher Sonnenscheindauer zwischen 9:00 und 21:00 Uhr ≤ 0,2 mm Niederschlag
Mittelwetter	≤ 0,2 mm Niederschlag > 0,2 mm Niederschlag und ≥ 50 % von max. möglicher Sonnenscheindauer zwischen 9 Uhr und 21 Uhr
Schlechtes Wetter	> 0,2 mm Niederschlag und < 50 % von max. möglicher Sonnenscheindauer zwischen 9 Uhr und 21 Uhr
Schnee	> 1 cm Neuschnee

Neben der Betrachtung der konkreten Wetterverhältnisse des jeweiligen Tages wäre auch die Berücksichtigung von weiteren Nebenbedingungen möglich (z. B. schönes Wetter nach längerer Niederschlagsperiode). Welche Kriterien schließlich angesetzt werden, hängt von der Charakteristik der Aktivitäten in der Region ab. Wichtig bei der Festlegung der Kategorien ist eine Unterscheidung in Wettersituationen mit unterschiedlich zu erwartenden Reaktionen der Fahrgäste. Anhand der Kenntnis der Bedingungen im Untersuchungsgebiet sollten deshalb Wetterszenarien entwickelt werden, welche differenzierte Verhaltensmuster bei der Ausübung der Freizeitaktivitäten erwarten lassen. Dafür relevante Faktoren müssen sich jedoch auch aus den verfügbaren Wetterdaten ableiten lassen können.

Resümierend kann festgestellt werden, dass es zielführend ist, die kardinal vorliegenden Wetterfaktoren in kategoriale zu transformieren. Ob dabei eine Kategorisierung nach einer Nominal- oder Ordinalskala erfolgen kann, hängt davon ab, ob eine Rangfolge der Wetterzustände beispielsweise aus weiterführenden sachlogischen Betrachtungen heraus für die Aktivitätennutzung abgeleitet werden kann.

Erkenntnisse für die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung:

Wetterfaktoren müssen unter Beachtung der regionalen Aktivitätenmuster in Wetterkategorien eingeordnet werden, die ein differenziertes Nachfrageverhalten erwarten lassen. Dies erlaubt bei entsprechender Notwendigkeit auf relevante wetterkategorieabhängige Nachfrageschwankungen mit dem Einsatz wetterbedingter Kapazitätsszenarien zu reagieren.

5.3.3 Kategorisierung des Fahrgastaufkommens

Die Zahlen zur Höhe des Fahrgastaufkommens (vgl. Kapitel 5.2.1) liegen zunächst metrisch skaliert vor. Ob und wie diese Zahlen einer Transformation in ein anderes Skalenniveau unterzogen werden müssen, hängt von der Vergleichbarkeit der Daten untereinander ab und welcher Einfluss kleineren Nachfragschwankungen in den statistischen Untersuchungen eingeräumt werden soll.

Wenn aus der Stichprobenermittlung eine ausreichend große Datenmenge direkt miteinander vergleichbarer Fahrgastzahlen vorliegen, könnten diese direkt in die Analyse eingehen. Dann ist es zunächst auch denkbar, die kardinal vorliegenden Merkmalsausprägungen beispielsweise mit Hilfe einer Regressionsanalyse (vgl. Kapitel 5.4.4) zu untersuchen.

Eine Transformation in ein niedrigeres Skalenniveau (z. B. niedrig, mittel, hoch) wird trotzdem empfohlen, da dadurch kleinere natürliche Nachfrageschwankungen durch Transformation in ein und dieselbe Nachfragekategorie zusammengefasst werden und keinen unbeabsichtigten Einfluss auf die Ergebnisse der Analyse nehmen. Neben der Nutzung statistischer Kenngrößen für die Bildung von Aufkommenskategorien ist auch eine Orientierung der Einteilung anhand der eingesetzten Gefäßgrößen denkbar, vor allem dann, wenn nur eine Aussage zur Zweckmäßigkeit des aktuellen Einsatzes abgeleitet werden soll. Sollen jedoch auch Aussagen grundsätzlicher Art zu Zusammenhängen zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen herausgearbeitet werden, ist diese Vorgehensweise nicht in jedem Falle zweckmäßig. Wenn beispielsweise die eingesetzten Gefäßgrößen immer ausreichen, könnten durch die Kenntnis über wetterabhängige Fahrgastschwankungen trotzdem weitere Maßnahmen im Hinblick auf die Optimierung betrieblicher Abläufe abgeleitet werden. Beispielsweise kann die Anzahl des Vertriebs- oder Begleitpersonales angepasst werden.

Eine Transformation ist darüber hinaus immer erforderlich, wenn die Einzelwerte in der vorliegenden Form nicht miteinander vergleichbar sind. Dann besteht das Ziel der Kategorisierung darin, einzuschätzen, wie eine beobachtete Merkmalsausprägung gegenüber einer anderen bewertet wird. Fahrgastzahlen unterliegen schon tageszeitabhängig oder saisonal natürlichen Schwankungen. Die Fahrgastanzahl einer konkreten Fahrt soll im Vergleich zu den anderen beobachteten Werten so eingeordnet werden, dass eine Bewertung des Fahrgastaufkommens für einen konkreten Wetterzustand möglich wird. Sollen Daten verschiedener Angebote, beispielsweise verschiedener Linien gemeinsam ausgewertet werden, können die Einzelwerte meist aufgrund verschiedener Randbedingungen wie Linienlänge, Anzahl der Halte etc. in der Regel nicht direkt zueinander ins Verhältnis gesetzt werden. In diesen Fällen ist eine Trans-

formation in eine vergleichbare Bewertungsgröße erforderlich. Dies erlaubt das Zusammenführen von Daten aus zunächst getrennt zu betrachtenden Schichtungen, wodurch sich die Stichprobenumfänge in den verbleibenden Schichtungen aufgrund der Verringerung der Schichtungstiefe erhöhen. Die Werteanzahl für die weiteren Analysen sollte so hoch wie möglich sein. Im Folgenden werden Möglichkeiten aufgezeigt, um zunächst nicht vergleichbare Einzelwerte gemeinsam zu kategorisieren.

Das nachfolgende Beispiel soll das Problem verdeutlichen: An 10 Tagen werden die Fahrgastzahlen für 9 stündlich verkehrende Fahrten einer Linie erhoben. Insgesamt liegen somit 90 Werte über den Tag verteilt vor. (vgl. Abbildung 5-4)

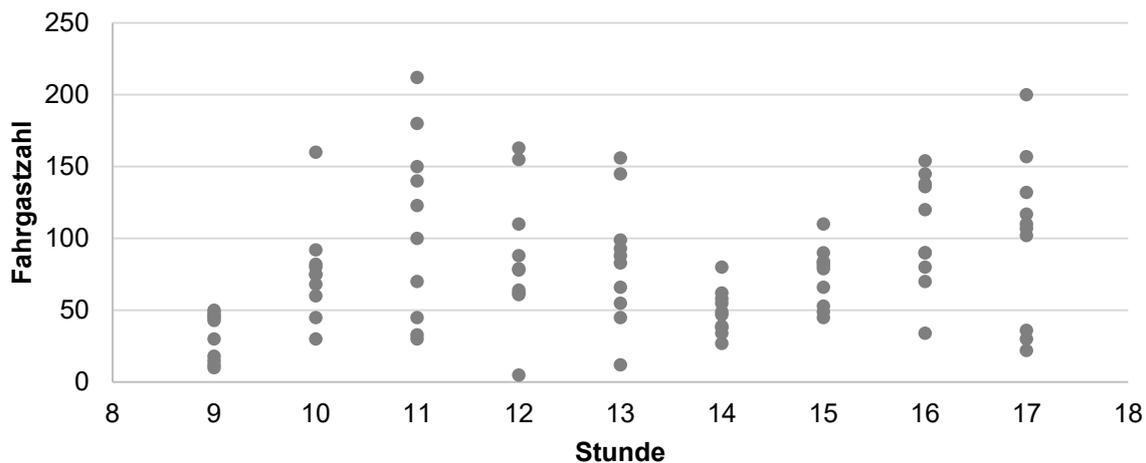


Abbildung 5-4: Beispiel eines Streudiagramms von Fahrgastzahlen aller Fahrten aus einer Stichprobe für eine Linie

Der Stichprobenumfang für eine Fahrt mit jeweils 10 Beobachtungen ist recht klein für belastbare Aussagen hinsichtlich einer Wetterabhängigkeit. Wenn alle 90 Werte zueinander ins Verhältnis gesetzt werden könnten, wäre der Stichprobenumfang deutlich repräsentativer. Ein direkter Vergleich der 90 Einzelwerte ist aber nicht sinnvoll. Während bei der Fahrt um 11 Uhr ein Fahrgastaufkommen von 100 Fahrgästen im mittleren Bereich der angetroffenen Fahrgastzahlen liegt, würde diese Zahl um 15 Uhr in oberen Bereich liegen und damit zu dieser Zeit eher einem höheren Aufkommen zugeordnet werden. Um diese natürlichen tageszeitlichen Schwankungen (vgl. Abbildung 2-124) der Nachfrage zu berücksichtigen, müssen deshalb die Einzelwerte über den Tagesverlauf miteinander vergleichbar gemacht werden.

Bei Fahrgastzählungen ist diese Problematik durchaus häufiger zu erwarten, daher sollen an dieser Stelle Wege zur Bewältigung aufgezeigt werden. Ziel der weiteren Vorgehensweise ist, die ermittelten metrischen Fahrgastzahlen in plausible Aufkommenskategorien zu überführen und somit vergleichbar zu machen, um dann Wetter- und Aufkommenskategorien auf einen möglichen Zusammenhang hin prüfen zu können. Es sind Skalierungen sowohl in Bezug auf die Nachfrage der einzelnen Fahrt als auch in Bezug auf die Gesamttagesnachfrage möglich. Für das Anwendungsbeispiel in Kapitel 6 wurden beide Kategorisierungsmöglichkeiten angewendet und es wurden damit vergleichbare Ergebnisse erzielt.

5.3.3.1 Fahrtbezogene Kategorisierung

Eine Kategorisierung aller Werte einer Fahrt kann durchaus zielführend sein. Im oben genannten Beispiel könnten die unteren 5 Werte bei einer zweistufigen Skalierung in eine Aufkommenskategorie „niedrig“, die oberen 5 Werten in eine Aufkommensklasse „hoch“ skaliert werden. Diese Aufkommenskategorien können dann den Wetterszenarien der einzelnen Tage gegenübergestellt werden, wodurch 90 Werte in den Stichprobenumfang eingehen, anstatt nur 10 Werte bei einem direkten Vergleich der einzelnen Fahrten. Diese Vorgehensweise ist anwendbar, wenn je Fahrt eine Stichprobe vorliegt, in der die gewählten Aufkommenskategorien mit einer entsprechend hohen Auftretenswahrscheinlichkeit auch repräsentiert sind. Diese Methode ist recht einfach zu handhaben, es müssen dafür die Anzahl der Abstufungen bzw. die Grenzwerte der Zuordnung festgelegt werden. Wenn nicht genügend Werte gleicher Fahrten für eine sinnvolle Zuordnung vorliegen, könnte die Vergleichbarkeit verschiedener Fahrten auch durch eine Hochrechnung der Einzelwerte auf die Tagesnachfrage hergestellt werden. Deshalb wird nachfolgend eine zweite Kategorisierung vorgestellt, die auf diesen hochgerechneten Tageswerten basiert. Diese Vorgehensweise kann sich als zweckdienlich erweisen, erfordert jedoch einen höheren Aufwand.

5.3.3.2 Tagesbezogene Kategorisierung

Wenn der Tagesgang der Verkehrsnachfrage bekannt ist, bietet eine weitere Möglichkeit zur Herstellung der Vergleichbarkeit die Hochrechnung der vorhandenen Einzelwerte auf das jeweilige Tagesverkehrsaufkommen. Dessen unterschiedlichen Ausprägungen sind dann wiederum gut miteinander vergleichbar und es kann durch die Wahl geeigneter Grenzwerte kategorisiert werden. Einzelwerte können auf ein Tagesverkehrsaufkommen wie folgt hochgerechnet werden.

$$FG_{Tag} = FG_{ZE} / Anteil_{ZE} \quad (2)$$

mit FG_{Tag} : Tagesfahrgastaufkommen
 FG_{ZE} : Fahrgastaufkommen je Zeiteinheit (z.B. Stunde) bezogen auf den Tag
 $Anteil_{ZE}$: Fahrgastaufkommensanteil je Zeiteinheit (z.B. Stunde) bezogen auf das Gesamtfahrgastaufkommen eines Tages

Für das Anwendungsbeispiel war der Tagesgang zunächst nicht bekannt. Aus den Daten heraus konnten aber Tagesganglinien abgeschätzt werden. Die entsprechende Vorgehensweise wird im Kapitel 6.3.2.3 erklärt.

Unabhängig, wie das Fahrgastaufkommen kategorisiert wird - es erfolgt eine Zuordnung der Werte in eine Kategorie anhand ihrer Größenordnung. Da aus der Kategorisierung auch eine Aussage zur Höhe des Fahrgastaufkommens abgeleitet werden kann, liegen die Werte mindestens ordinalskaliert vor.

Erkenntnisse für die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung:

Das Fahrgastaufkommen sollte anhand statistisch oder sachlogisch abgeleiteter Grenzwerte eingeteilt werden, um eine Vergleichbarkeit der Werte untereinander herzustellen bzw. um nur relevante Nachfrageschwankungen zu identifizieren.

5.4 Ermittlung von Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage (Verfahrensstufe 2)

In dieser Verfahrensstufe werden die aufbereiteten Daten auf Zusammenhänge zwischen Wetterkategorien und Aufkommenskategorien untersucht.

Bei Betrachtung bisheriger Untersuchungen (vgl. Tabelle 2-2 auf Seite 20) wird deutlich, dass mit statistischen Methoden Zusammenhänge zwischen der Nachfrage und potentiellen Einflussgrößen analysiert werden können. Diesen lagen in der Regel empirisch ermittelte Daten aus Befragungen, Erhebungen oder Messungen zugrunde, welche danach mit statistischen Verfahren hinsichtlich bestimmter Merkmale, Eigenschaften und Zusammenhänge untersucht wurden. Beispielsweise Korrelations-, Regressions- und Clusteranalysen wurden dabei mehrfach angewandt. Es wurde deshalb entschieden, im Rahmen dieser Arbeit die zu untersuchenden Zusammenhänge ebenfalls mit Hilfe statistischer Methoden zu analysieren. Ziel ist dabei, statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen Wetterzuständen und Fahrgastaufkommen herauszufinden. Um für die Zielstellung dieser Arbeit geeignete statistische Methoden zu identifizieren, erfolgt zunächst eine Analyse von statistischen Methoden und Arbeitsweisen.

Wie die weiteren Untersuchungen zeigen, ist es darüber hinaus notwendig, in die Untersuchungen auch sachlogische Überlegungen aus der Kenntnis der konkreten Verhältnisse im Untersuchungsgebiet einfließen zu lassen.

5.4.1 Statistische Methoden und Arbeitsweisen

In Abhängigkeit von der Anzahl der zu untersuchenden Merkmale werden univariate oder multivariate Analysemethoden für statistische Auswertungen im Hinblick von Unterschieden und Zusammenhängen von Daten eingesetzt.

Univariate Methoden betrachten nur eine Variable und dienen vor allem dem Überblick über die Ausprägung von Eigenschaften. Lage- und Streuungsmaße werden damit hauptsächlich analysiert (z. B. Mittelwerte, Häufigkeiten, Standardabweichungen).

Multivariate Methoden kommen dann zum Einsatz, wenn ein Objekt durch mehr als ein Merkmal ausgeprägt ist. Bivariate Methoden sind ein Sonderfall der multivariaten Methoden. Sie decken Zusammenhänge zwischen zwei Variablen beispielsweise durch Kreuztabellierung, Korrelations- oder einfache Regressionsanalysen auf.

Bei der Datenanalyse kommen Methoden der deskriptiven, explorativen und induktiven Statistik zum Einsatz. Die nachfolgenden Erläuterungen hinsichtlich ihrer Wesensmerkmale sind an BECKER ET AL. (2016) und STELAND (2013) angelehnt.

- Deskriptive Statistik: es werden grundlegende Eigenschaften des Datensatzes beschrieben (Kennzahlen für die Häufigkeit der Werte, Lageparameter und Verteilungssymmetrie und -breite, Visualisierung von Daten)
- Explorative Statistik: geht über die reine Beschreibung der Daten hinaus, hin zur Suche nach Auffälligkeiten und bisher unbekanntem Strukturen und Zusammenhängen (Generierung von Hypothesen)
- Induktive Statistik: verbindet deskriptive und explorative Statistik miteinander, basierend auf Ergebnissen der Wahrscheinlichkeitstheorie und mathematischen Statistik werden Aussagen über die Wahrscheinlichkeit des Zustandekommens eines Sachverhaltes getroffen (Signifikanztest, Hypothesentests, statistische Modellbildung)

Die Methoden gehen oft ineinander über oder bauen aufeinander auf. Meist erfolgt sowohl in der Literatur als auch in der praktischen Anwendung keine stark differenzierte Abgrenzung zwischen den aufgeführten Verfahrensweisen. BECKER ET AL. (2016) stellt die Vorgehensweise einer fundierten statistischen Arbeitsweise wie folgt dar (vgl. BECKER ET AL., 2016, S. 29):

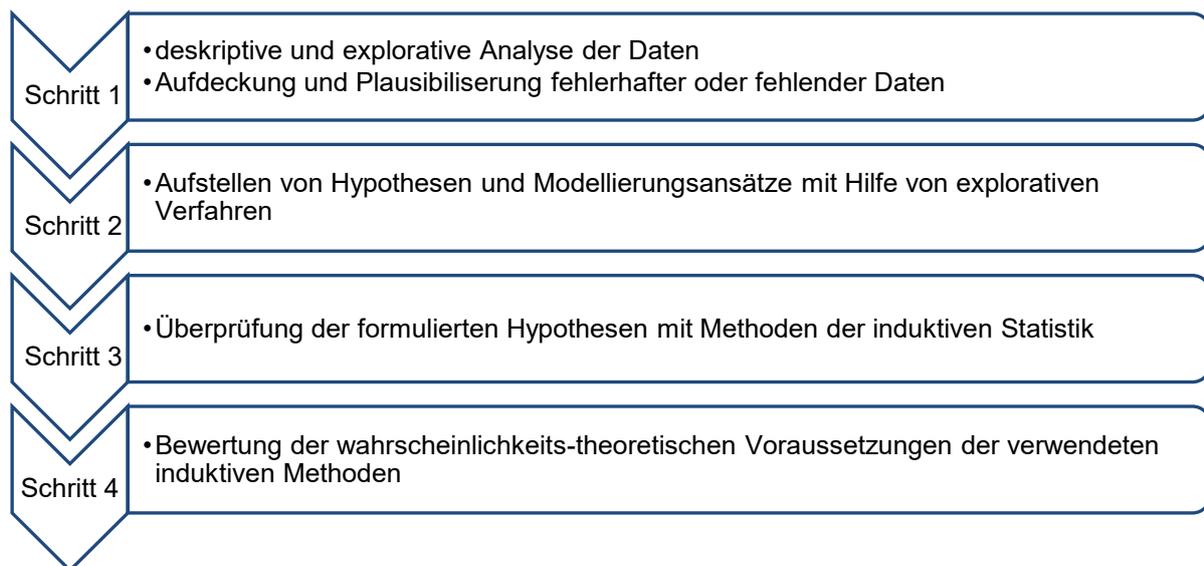


Abbildung 5-5: Vorgehensweise einer statistischen Arbeitsweise nach BECKER ET AL. (2016)

Die Entwicklung des Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung in dieser Arbeit erfolgte unter Anwendung dieser Arbeitsweise.

5.4.2 Softwareunterstützte Datenauswertung

Statistische Datenanalysen sind recht aufwändig durchzuführen. Zudem kann der Umfang der auszuwertenden Datensätze insbesondere bei automatisch generierten Daten schnell so groß werden, dass die Auswertung ohne Softwareunterstützung nicht mehr zu beherrschen ist. Das Programm Microsoft Excel als eines der weitverbreitetsten Anwendungen für eine Datenanalyse bietet in gewissen Umfang schon Funktionen für eine statistische Datenauswertung an. Allerdings kann ein Excel-Tabellenblatt nur etwa 1,05 Mio. Datensätze (Zeilen) enthalten und

bei komplexen Formeln und Verweisen kommt das Programm auf einem handelsüblichen Arbeitsplatz-PC schnell an seine Verarbeitungsgrenzen. Daher ist zu empfehlen, spezialisierte Statistik-Softwarelösungen zu verwenden. Diese können sowohl einfache deskriptive als auch komplexe multivariate Analysemethoden auf umfangreiche Datensätze anwenden und bieten darüber hinaus umfangreiche tabellarische und grafische Auswertehilfsmittel an. Es stehen verschiedenste Tools zur Verfügung, die sich in ihrer Lizenzierung, Erlernbarkeit, Bedienbarkeit sowie der Implementierung neuer statistischer Methoden derart unterscheiden, dass der Anwender das auf seine Bedürfnisse passende Programm aus einem breiten Spektrum wählen kann.

Egal welches System zur Anwendung kommt, im Vorfeld der statistischen Analysen ist es in der Regel erforderlich, das vorliegende Datenmaterial für die Auswertungen aufzubereiten. Zunächst ist grundsätzlich eine Plausibilitätsprüfung durchzuführen, wodurch beispielsweise unvollständige, fehlerhafte oder mehrfach vorhandene Informationen erkannt werden können.

Die Prüfung erfolgt in der Regel aufgrund der großen Datenmengen rechnergestützt auf der Grundlage programmierter Prüfkriterien. Werden nichtplausible Datensätze entdeckt, sind diese, wenn möglich zu korrigieren oder wenn dies nicht möglich ist, zu löschen.

Welche konkreten Methoden sich rechnergestützt und zielführend für die Analyse wetterbedingter Nachfrageschwankungen eignen, wird in den nächsten Kapiteln diskutiert.

5.4.3 Einteilung der Analyseverfahren und Skalenniveau der Variablen

Es existiert eine Vielfalt an Ansätzen für die Analyse gemessener bzw. beobachteter Werte mit Hilfe der Empirie. Diese unterscheiden sich nach Zielstellung und Anwendungsmöglichkeit, dem Vorhandensein von A-priori-Hypothesen sowie der erforderlichen Ausgangsdatenlage.

Grundsätzlich werden Analyseverfahren in strukturen-entdeckende Verfahren und strukturen-prüfende Verfahren eingeteilt (vgl. Abbildung 5-6).

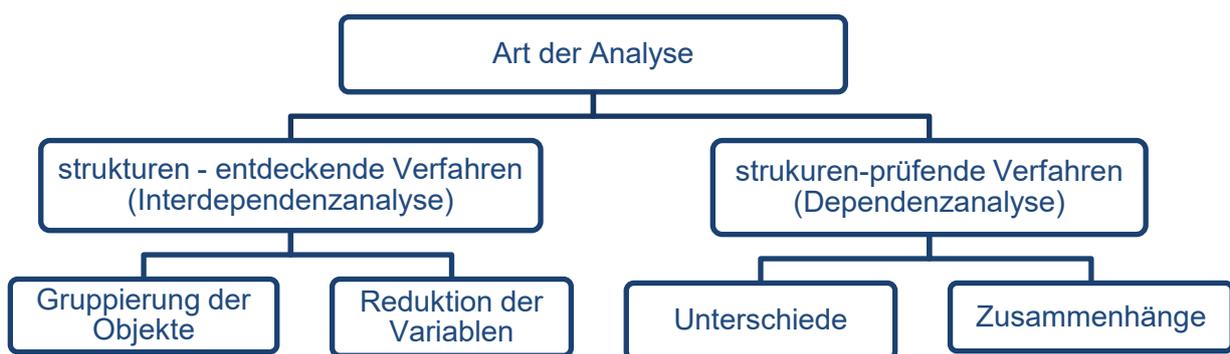


Abbildung 5-6: Analysearten (eigene Darstellung nach SCHWARZ, 2019)

Sind zu Beginn einer Analyse noch keine Vorstellungen über Beziehungszusammenhänge zwischen den Daten vorhanden, kommen strukturen-entdeckende Verfahren zum Einsatz. Klassische Verfahren dafür sind die Faktorenanalyse, bei der eine Strukturierung und Reduktion des Datengemenges angestrebt wird und die Clusteranalyse, die für die Bildung von Gruppen geeignet ist (vgl. Tabelle 5-9). Diese wird im Anwendungsbeispiel (Kapitel 6) zur Auswahl repräsentativer Tagesganglinien angewandt.

Tabelle 5-9: Vergleich Faktoren- und Clusteranalyse als Beispiel für strukturen-entdeckende Verfahren (eigene Darstellung nach BACKHAUS ET AL., 2016)

Motivation	Verfahren	Ergebnis
Dimensionsreduktion, Strukturierung der Beziehungszusammenhänge	Faktorenanalyse	Zusammenfassung wichtiger Faktoren zwischen Merkmalen anhand ihrer Korrelationen zueinander, Reduktion vieler Variablen auf wenige latente Konstrukte
Gruppenbildung	Clusteranalyse	Kategorisierung anhand der Ähnlichkeiten der Fälle zueinander

Sind vorab aufgrund guter Kenntnisse der Verhältnisse im Untersuchungsgebiet aus sachlogischen oder theoretischen Überlegungen schon Vorstellungen zu Kausalzusammenhängen zwischen Variablen vorhanden, kommen strukturen-prüfende Verfahren zur Anwendung, mit deren Hilfe diese vermuteten Unterschiede bzw. Zusammenhänge verifiziert oder falsifiziert werden können. Strukturen-prüfende Verfahren haben somit das Ziel, vermutete Kausalzusammenhänge zwischen Variablen zu überprüfen. Solch ein Verfahren kann auch Zusammenhänge zwischen Wetter und Nachfrage identifizieren. Es gibt eine Vielzahl an statistischen Tests für die Überprüfung von Unterschieden bzw. Zusammenhängen, die Schwierigkeit besteht darin, einen für die explizite Fragestellung geeigneten Test auszuwählen. BACKHAUS ET AL. (2016) und SCHWARZ (2019) empfehlen, bei der Auswahl eines geeigneten Verfahrens auch das Skalenniveau der Variablen zu beachten. Je nach Skalenniveau können beispielsweise die in Tabelle 5-10 aufgeführten strukturen-prüfenden Verfahren zum Einsatz kommen, um Reaktionen möglicher abhängiger Variablen durch Veränderungen von unabhängigen Variablen zu prüfen.

Tabelle 5-10: Charakterisierung sturkturen-prüfender Verfahren nach dem Skalenniveau (nach BACKHAUS ET AL., 2016)

		unabhängige Variable	
		kardinales Skalenniveau	kategoriales Skalenniveau
ab-hängige Variable	kardinales Skalenniveau	z.B. Einfluss von Temperatur (Intervall) auf Fahrgastaufkommen (Ratio) <ul style="list-style-type: none"> • Regressionsanalyse 	Regression mit binären Variablen <ul style="list-style-type: none"> • z.B. Einfluss von Tagesart (nominal) auf Fahrgastaufkommen (Ratio) Varianzanalyse
	kategoriales Skalenniveau	z. B. Einfluss von Temperaturen (Intervall) auf Aufkommenskategorie (nominal) <ul style="list-style-type: none"> • Diskriminanzanalyse • Logistische Regression 	z. B. Einfluss von Wetterkategorie (nominal) auf Aufkommenskategorie (ordinal) <ul style="list-style-type: none"> • Kontingenzanalyse • Conjoint-Analyse

In der praktischen Anwendung ist eine überschneidungsfreie Zuordnung der Verfahren zu den Fragestellungen nicht immer möglich und sinnvoll, da sich die Zielsetzungen der Verfahren auch überlagern können (vgl. BACKHAUS ET AL., 2016, S. 14). Für die Auswahl eines geeigneten Verfahrens erfolgen daher weitere Analysen zu den erforderlichen Voraussetzungen einzelner Methoden im folgenden Kapitel.

5.4.4 Analyse von Methoden zum Prüfen von Zusammenhängen

5.4.4.1 Formulierung der Hypothesen und Festlegen des Signifikanzniveaus

Voraussetzung bei allen statistischen Tests der strukturen-prüfenden Verfahren ist die Formulierung einer Fragestellung. Für die Zielstellung dieser Arbeit werden die beiden nachfolgenden Fragen formuliert.

Liegen signifikante Zusammenhänge zwischen Wetterzuständen und Fahrgastaufkommen vor?

Weichen erforderliche Kapazitäten so signifikant von den geplanten Kapazitäten bei bestimmten Wetterszenarien ab, dass der Einsatz wetterabhängiger Kapazitätsszenarien sinnvoll wird?

Diese Fragestellung wird in Form zweier Hypothesen aufgestellt. Die Nullhypothese H_0 soll widerlegt werden und stattdessen soll die Alternativhypothese H_1 nachgewiesen werden. Entsprechend der Zielsetzung der Arbeit werden zwei Hypothesen aufgestellt.

Eine erste Hypothese behauptet, dass ein Zusammenhang zwischen Wetterbedingungen und Fahrgastaufkommen besteht.

Die Nullhypothese (H_0), die es zu widerlegen gilt lautet somit:

H_0 : Es besteht kein (null) Zusammenhang zwischen Wetterbedingungen und Fahrgastaufkommen.

Daraus ergibt sich die Alternativhypothese (H_1):

H_1 : Es besteht ein Zusammenhang zwischen Wetterbedingungen und Fahrgastaufkommen.

Eine zweite Hypothese behauptet, dass ein Zusammenhang zwischen Wetterbedingungen und Abweichungen zwischen erforderlicher und geplanter Kapazität besteht.

Die Nullhypothese (H_0), die es zu widerlegen gilt lautet somit:

H_0 : Es besteht kein (null) Zusammenhang zwischen Wetterbedingungen und Abweichungen zwischen erforderlicher und geplanter Kapazität.

Daraus ergibt sich die Alternativhypothese (H_1):

H_1 : Es besteht ein Zusammenhang zwischen Wetterbedingungen und Abweichungen zwischen erforderlicher und geplanter Kapazität.

In der Regel liegen den Untersuchungen Stichproben zugrunde, aus denen Angaben über die Grundgesamtheit abgeleitet werden sollen. Ob die erhobenen Unterschiede oder Zusammenhänge der Stichprobe auch auf die Grundgesamtheit zutreffen und demnach statistisch signifikant sind, wird mittels Signifikanztests der Hypothesen überprüft. Weil die Aussagen jedoch nur auf Stichproben beruhen, können die Hypothesen über die Grundgesamtheit nur mit einer vorher festgelegten Wahrscheinlichkeit angenommen oder verworfen werden.

Die Wahrscheinlichkeit, dass die Alternativhypothese bestätigt wird, obwohl in der Grundgesamtheit die Nullhypothese gilt, wird als Irrtumswahrscheinlichkeit oder Signifikanzniveau α bezeichnet. Das Signifikanzniveau α gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass die Nullhypothese fälschlicherweise verworfen wird (vgl. SCHWARZ, 2019). Es wird vor der Untersuchung festgelegt. Klassische Werte für α sind in der Literatur 1 Prozent und 5 Prozent, seltener wird auch 10 Prozent verwendet. Die Auswahl des Wertes ist davon abhängig, wie gravierend sich eine Fehlinterpretation auswirkt. Bei medizinischen Test sollte beispielsweise das Signifikanzniveau recht gering angesetzt werden. Für die Zielstellung dieser Arbeit wurde ein Signifikanzniveau von 5 Prozent als ausreichend angesehen und die Aussagen damit überprüft.

Es gibt einseitige und zweiseitige Signifikanztests. Deren Anwendung hängt davon ab, ob die Hypothese gerichtet oder ungerichtet aufgestellt wird. Ungerichtete Hypothesen gehen von einer gemeinsamen Variation der Variablen aus, ohne dass eine abhängige oder unabhängige Variable bestimmt werden kann, demzufolge muss der Test in beide Richtungen (zweiseitig) durchgeführt werden. Bei einer gerichteten Hypothese wird angenommen, dass eine abhängige Variable durch die andere unabhängige Variable bedingt wird. Im Untersuchungsfall wird angenommen, dass das Wetter die Höhe des Fahrgastaufkommens oder der Kapazitätsabweichungen bestimmt. Diese sind somit die vom Wetter abhängigen Variablen und die aufgestellte Hypothese ist gerichtet, was einen einseitigen Signifikanztest erfordert. Statistikprogramme wie das beim Anwendungsbeispiel im Kapitel 6 verwendete Programm IBM SPSS testen standardmäßig allerdings zweiseitig. In der Literatur wird empfohlen, den ausgegebenen Wert der Signifikanz dann zu halbieren (vgl. u.a. GRÜNWARD, 2020), was im Anwendungsbeispiel auch so praktiziert wurde (vgl. Kapitel 6.4 und 6.5).

Ein geeignetes Prüfverfahren für die Überprüfung der Unabhängigkeit zweier Merkmale ist der Pearson-Chi-Quadratstest. Die statistische Nullhypothese lautet dabei, dass die Merkmale X und Y unabhängig sind:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(f_{ij} - f'_{ij})^2}{f'_{ij}} \quad (3) \text{ nach BACKHAUS ET AL. (2016), S. 368}$$

- mit χ^2 : Teststatistik
- f_{ij} : beobachtete Häufigkeit in einer Zelle
- f'_{ij} : erwartete Häufigkeit in einer Zelle
- i : Laufindex über Spalten, I=Anzahl Spalten
- j : Laufindex über Spalten, J=Anzahl Zeilen

Die ermittelte Teststatistik muss nun in einem Signifikanztest mit einem kritischen Wert verglichen werden. Dieser kritische Wert ergibt sich der χ^2 -Verteilung und den Freiheitsgraden der χ^2 -Statistik. Die Freiheitsgrade ergeben sich aus der Anzahl der Zeilen I und Spalten J.

$$FG = (I - 1) \cdot (J - 1) \quad (4) \text{ nach BACKHAUS ET AL. (2016), S. 369}$$

- mit FG : Freiheitsgrade

Der kritische Wert kann aus Tabellen für das gewünschte Signifikanzniveau α und dem Freiheitsgrad entnommen werden. Diese Tabellen sind auch in den Statistikprogrammen hinterlegt. Ist der Wert der Teststatistik höher als der kritische Wert, so ist der Unterschied signifikant. Dann ist die Nullhypothese, welche von einer Unabhängigkeit der Merkmale ausgeht, mit dem vorher festgelegten Signifikanzniveau zu verwerfen.

Wie dieser Test durchgeführt wird, hängt auch von der Stichprobe und der erwarteten Fallzahl ab. Bei kleineren Stichprobenumfängen zwischen 20 und 60 Fällen ist eine Yates-Korrektur vorzunehmen, da die χ^2 -Verteilung bei kleinen Umfängen nicht exakt genug bekannt ist und daher nur approximiert ist (SCHWARZ 2019). Bei der Korrektur nach Yates wird von jedem Summanden 0,5 abgezogen, sodass die Teststatistik geringer ausfällt und der Test somit in eine konservativere Richtung geht. Damit der Test nun signifikant ausfällt, müssen die Differenzen zwischen beobachtetem und erwartetem Wert größer sein, als beim klassischen χ^2 -Test. Diese Yates-Korrektur stellt sich wie folgt dar:

$$\chi^2_{\text{korrr}} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(f_{ij} - f'_{ij} - 0,5)^2}{f'_{ij}} \quad (5) \text{ nach BACKHAUS ET AL. (2016), S. 369}$$

Wie beim klassischen Test wird χ^2_{korrr} mit dem kritischen Wert aus der χ^2 -Verteilung verglichen.

Sind die Stichprobenumfänge noch geringer, liegt eine starke Differenz zwischen Zeilen und Spaltenanzahl vor oder liegen erwartete Zellhäufigkeiten kleiner gleich fünf vor, so wird in der Literatur der exakte Test nach Fisher empfohlen (vgl. u.a. SCHWARZ, 2019). Die Chi-Quadrat-Tests basieren auf den Abständen zwischen den echten und den theoretischen Daten. Der Fisher-Test berechnet die Wahrscheinlichkeit, die beobachteten Werte durch reinen Zufall zu erhalten sowie die Wahrscheinlichkeit aller extremeren Fälle als des vorliegenden in Bezug auf die Nullhypothese. Allerdings wird für die Zielsetzung der Arbeit davon ausgegangen, dass für sinnvolle Aussagen größere Stichprobenumfänge von mehr als 20 Werten erforderlich sind. Daher ist der Fisher-Test für die Zielstellung der Arbeit nicht geeignet.

5.4.4.2 Allgemeiner Methoden-Überblick

Für die aufgestellten Hypothesen ist eine Methode zu finden, die Zusammenhänge zwischen Nachfrage und Wetter auf geeignete Art und Weise überprüft. Von einem monotonen Zusammenhang kann ausgegangen werden, wenn sich die Variablen tendenziell in dieselbe relative Richtung bewegen. Anders als bei einem linearen Zusammenhang bewegen sich die Variablen aber nicht mit einer konstanten Rate. Die Beziehung kann dann möglicherweise besser mit einer nichtlinearen Funktion modelliert werden, beispielsweise durch eine Quadrat- oder Kubikfunktion. Durch eine Transformation der Daten in geeignete Kategorien kann eine monotone Beziehung auch linear gemacht werden. Grundsätzlich ist ein linearer Zusammenhang immer monoton, ein monotoner Zusammenhang setzt aber keinen linearen Zusammenhang voraus. Mögliche Methoden zur Identifikation von solchen Zusammenhängen sind in Abbildung 5-7 dargestellt.

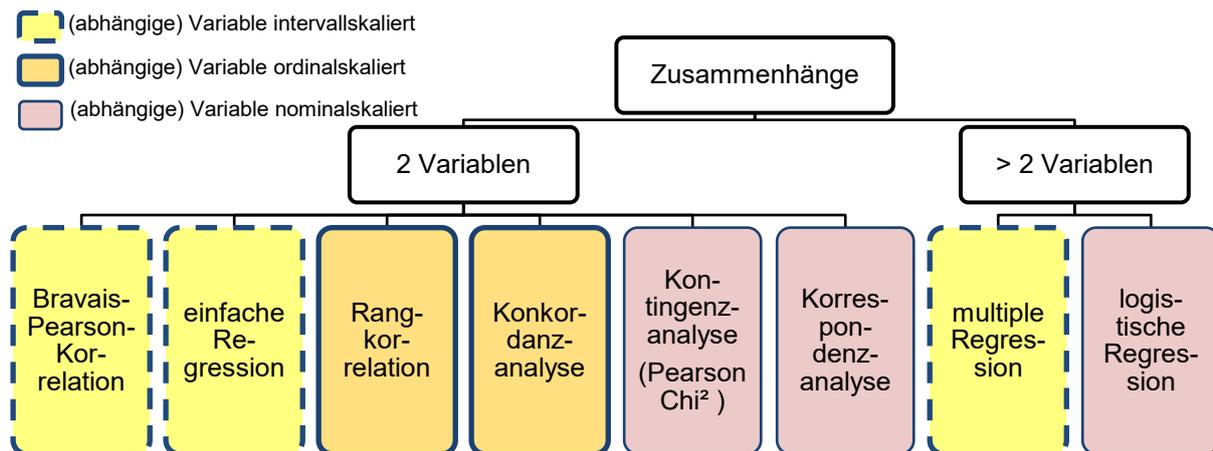


Abbildung 5-7: Methoden der Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Variablen (eigene Darstellung nach SCHWARZ 2019 und BEHNKE 2006)

Die Stärke und gegebenenfalls auch die Richtung eines Zusammenhangs wird durch ein Assoziationsmaß (Zusammenhangsmaß) angegeben. Ziel ist die Prüfung des Zusammenhanges zwischen Fahrgastaufkommen und Wetter. Somit existieren grundsätzlich zwei Variablen. Jedoch wurde in Kapitel 2 herausgearbeitet, dass Abhängigkeiten zu Tagesarten in der Regel Berücksichtigung finden müssen und damit eine Schichtung der Daten notwendig wird. Werden die Daten vorab nach den erforderlichen Schichtungen separiert, kann für jede Schichtung eine Prüfung des Zusammenhangs erfolgen. Sollen jedoch die Schichtungen direkt in die Analyse eingehen, muss die Schichtungstiefe durch die Modellierung eines Regressionsmodells mit mehr als 2 Variablen abgebildet werden.

Das Skalenniveau ist ein Indikator für die Anwendbarkeit einer Methode. Darüber hinaus gibt es weitere Kriterien, die vorab geprüft werden sollten. Informationen zur Höhe des Fahrgastaufkommens liegen intervall- oder ordinalskaliert vor, somit kann auch eine Rangfolge abgeleitet werden. Wetterzustände liegen nach der Kategorisierung jedoch zunächst nominal skaliert vor. Aus sachlogischen Vorbetrachtungen heraus könnte sich jedoch auch eine Rangfolge darstellen lassen. (vgl. Kapitel 5.3). Allein aus diesen Kriterien heraus kann aber noch keine Methode ausgewählt werden. Nachfolgend erfolgt daher eine Bewertung der in Abbildung 5-7 dargestellten Methoden hinsichtlich ihrer Eignung für die Zielstellung der angestrebten Untersuchungen. Je nach Voraussetzungen und Skalierung der Variablen können je nach Methode verschiedenste Zusammenhangs- bzw. Assoziationsmaße wie beispielsweise Korrelationskoeffizienten ermittelt werden, deren Eignung für die Problemstellung im Folgenden diskutiert wird.

5.4.4.3 Bravais-Pearson-Korrelation und einfache Regression

Liegen die Daten normalverteilt und mindestens intervallskaliert vor und ist der vermutete Zusammenhang linear (vgl. SCHWARZ, 2019), so eignet sich die Korrelation nach Bravais und Pearson, auch Pearson-Korrelation genannt.

Das Fahrgastaufkommen unterliegt in der Regel keiner Normalverteilung, sondern folgt einer linksschiefen Weibullverteilung (vgl. HOFMANN, 1983); auch wird aus rein sachlogischen Überlegungen nicht von einem linearen Zusammenhang zum Wetter ausgegangen. Das

Fahrtgastaufkommen verändert sich nicht linear mit Temperatur, Regen oder Wind, der Fahrgast orientiert sich in der Regel an realen oder gefühlten Grenzen für seine Entscheidungen (vgl. Kapitel 5.3.2).

Daher ist diese Methode nicht für das Verfahren zum Ableiten wetterabhängiger Kapazitäts-szenarien geeignet. Aus dem gleichen Grund wird auch nicht die Überprüfung mit Hilfe einer einfachen Regressionsprüfung favorisiert, bei der die Messwerte einer intervallskalierten abhängigen Variable durch die Werte der intervallskalierten unabhängigen Variable mittels einer linearen Funktion (Regressionsmodell) beschrieben werden.

5.4.4.4 Rangkorrelation

Bei der Rangkorrelation werden die Daten unabhängig von ihrem eigentlichen Abstand zueinander durch Ränge ersetzt und somit ordinalskaliert. Als Assoziationsmaß stehen der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman und der Konkordanzkoeffizient nach Kendall (vgl. Kapitel 5.4.4.5) zur Verfügung (vgl. REINBODT, 2020). Beide Koeffizienten können die Stärke eines monotonen Zusammenhanges sowohl gleichsinnig als auch gegensinnig ermitteln, der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman erfordert jedoch einen linearen Zusammenhang und scheidet daher für die Verwendung im Verfahren aus. Trotzdem soll an dieser Stelle eine kurze Erläuterung der Methode erfolgen, um nachfolgend die bessere Eignung anderer Assoziationsmaße herauszuarbeiten.

Die Berechnung des Tests erfolgt nun ausschließlich auf der Ordnung der Daten (kleiner oder größer als). Die absoluten Abstände der Daten finden hier keine Berücksichtigung mehr, es gehen die Rangplätze in die Formel ein. Der Wert selbst wird durch die aufsummierten quadrierten Differenzen der Rangplätze bestimmt. Es gilt:

$$\rho = \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^n (r_i - s_i)^2}{n^3 - n} \quad (6)$$

mit ρ : Korrelationskoeffizient nach Spearman, liegt zwischen -1 bis +1
 r_i : Rangplatz innerhalb der Variable X des i-ten Wertes
 s_i : Rangplatz innerhalb der Variable Y des i-ten Wertes
 n : Stichprobenumfang

Diese Formel ist aber nur aussagefähig, wenn alle Messwerte voneinander verschieden sind. Die Rangkorrelation nach Spearman versieht jeden Einzelwert mit einem Rang. Es werden bei Mehrfachvorkommen eines Wertes „verbundenen Ränge“ gebildet, indem Mittelwerte aller Ränge mit gleichen Werten gebildet werden. Solange das nur wenige Werte betrifft, kann eine etwas komplexere Formel für ρ angewandt werden. Mit steigender Anzahl an verbundenen Rängen sinkt jedoch die Aussagefähigkeit des Koeffizienten (vgl. REINBODT, 2020). Ziel der Kategorisierung von Fahrgastaufkommen und Wetter ist die Herstellung der Vergleichbarkeit durch Reduzierung der Fälle in einige wenige Kategorien. Je weniger Kategorien, umso häufiger treten die entsprechenden Werte mehrfach auf, was die Aussagekraft des Koeffizienten

reduziert. Auch deshalb wird der Korrelationskoeffizient nach Spearman als ungeeignet für die Zielstellung angesehen und wird nicht in dem Verfahren eingesetzt.

5.4.4.5 Konkordanzanalyse

Bei der Konkordanzanalyse erfolgt die Betrachtung des bloßen Vorhandenseins von Rangunterschieden anstatt der tatsächlichen Differenzen wie bei der Rangkorrelation. Zusammenhänge zwischen ordinalskalierten Variablen sind damit besser identifizierbar. Dabei werden zunächst die Rangordnungen der Klassifikationen zweier Datensätze (Paare) miteinander verglichen. Konkordante Paare zeigen bei den betrachteten Variablen eine gleichsinnige Beziehung zur Rangordnung. Sowohl bei x als auch y wird beispielsweise das Element B eines Paares höher als Element A eingestuft. Wenn die Richtung der Kategorisierung nicht gleich ist, ist das Paar diskordant. Eine Kategorisierung generiert Fälle, die sich in mindestens einer Variablen gleichen, sogenannte Ties. Nachfolgende Tabelle enthält jeweils ein einfaches Beispiel für die drei möglichen Paarbeziehungen.

Tabelle 5-11: Beispiele von Paarbeziehungen bezüglich ihrer Rangordnung

Element (Datensatz)	Konkordantes Paar		Diskordantes Paar		Verbundener Rang (Ties)	
	x	y	x	y	x	y
A	1	1	1	4	1	3
B	2	4	2	3	2	3

Theoretisch möglich sind folgende Paarkonstellationen:

Tabelle 5-12: mögliche Paare von Fällen (nach BEHNKE 2006, Tabelle 14.17)

Paartyp	Bedingungen	Anzahl
Konkordantes Paar	$x_i > x_j \wedge y_i > y_j$ oder $x_i < x_j \wedge y_i < y_j$	N_c
Diskordantes Paar	$x_i > x_j \wedge y_i < y_j$ oder $x_i < x_j \wedge y_i > y_j$	N_d
X-verbundenes Paar	$x_i = x_j \wedge y_i \neq y_j$	T_x
Y-verbundenes Paar	$x_i \neq x_j \wedge y_i = y_j$	T_y
XY-verbundenes Paar	$x_i = x_j \wedge y_i = y_j$	T_{xy}

Für jedes in einer Stichprobe vorkommende Element N gibt es N-1 Elemente mit denen es gepaart werden kann. Doppelte Paare werden durch Halbierung ausgeschaltet. Die Gesamtheit aller Paare einer Tabelle ergibt sich aus der Summe der Häufigkeiten aller Arten der Paarbeziehungen.

$$N_T = \frac{N(N - 1)}{2} = N_c + N_d + T_x + T_y + T_{xy} \quad (7) \text{ nach BEHNKE (2006), S. 174}$$

mit N_T : Gesamtheit aller möglichen Paare
 $N_c, N_d, T_x, T_y, T_{xy}$: vgl. Tabelle 5-12

Die Liste der für die weitere Auswertung verwendbaren Assoziationsmaße ist recht umfangreich (vgl. BEHNKE 2006, Abschnitt 14.3). Statistikprogramme bieten in ihrem Portfolio standardmäßig eine Vielzahl dieser Maße an. Die Auswahl ist dem Nutzer überlassen, allerdings kann eine ungünstige Entscheidung zu Fehlinterpretationen führen. Es ist deshalb erforderlich,

sich mit der Spezifik der verschiedenen Assoziationsmaße zu beschäftigen. Die Aussagefähigkeit ist abhängig von der Anzahl der Ties in der Stichprobe. Da die Daten in wenige Kategorien eingeteilt werden, ist mit einer hohen Anzahl an Ties zu rechnen. Nachfolgend werden verschiedene Assoziationsmaße näher betrachtet und es wird erläutert, warum die im Verfahren zur Anwendung kommenden Assoziationsmaße gewählt wurden.

Goodman und Kruskals Gamma bestimmt die relative Differenz zwischen konkordanten und diskordanten Paaren:

$$\gamma = \frac{N_c - N_d}{N_c + N_d} \quad (8) \text{ nach BEHNKE (2006), S. 174}$$

mit γ : Goodman und Kruskals Gamma, liegt zwischen -1 bis +1

Diese Berechnungsvorschrift ignoriert verbundene Paare. Jedoch wäre bei Zusammenhängen zwischen zwei Variablen zu erwarten, dass die Veränderung einer Variablen auch eine Veränderung der zweiten Variablen nach sich zieht und nicht eine Konstanz. Ties in der zweiten Variablen sprechen dann eher gegen einen Zusammenhang. Sie sollten also, soweit sie in einem Datensatz in nennenswerter Anzahl vorhanden sind, auch bei der Bewertung des Zusammenhanges Berücksichtigung finden.

Kendalls τ_a berechnet das Verhältnis der Differenz konkordanter und diskordanter Paare zur Gesamtzahl der möglichen Paare, Ties gehen dadurch nun schon indirekt durch die Betrachtung der Gesamtanzahl der Fälle ein. Gibt es keine Ties sind τ_a und γ gleich.

$$\tau_a = \frac{N_c - N_d}{N_T} \quad (9) \text{ nach BEHNKE (2006), S. 174}$$

mit τ_a : Konkordanzkoeffizient a nach Kendall, liegt zwischen -1 bis +1

Wenn sehr viele Ties auftreten, dann weicht die Summe aus konkordanten und diskordanten Fällen stark von der Gesamtzahl der Fälle ab, wodurch eine Interpretation des Wertes in Bezug auf die obere bzw. untere Grenze (-1/+1) nicht mehr sinnvoll ist. Daher wird auch von der Verwendung von τ_a bei einer Häufung von Ties abgeraten (vgl. BEHNKE 2006, S. 174). Deshalb wird auch dieses Maß für das angestrebte Verfahren als nicht geeignet angesehen.

Das Assoziationsmaß Kendalls τ_b als weitere Möglichkeit berücksichtigt schon direkt das Auftreten von Ties:

$$\tau_b = \frac{N_c - N_d}{\sqrt{(N_c + N_d + T_x)(N_c + N_d + T_y)}} \quad (10) \text{ nach BEHNKE (2006), S. 175}$$

mit τ_b : Konkordanzkoeffizient b nach Kendall, liegt zwischen -1 bis +1

Kommen XY-verbundene Paare vor, so hat das theoretisch keine Auswirkungen auf die Stärke des Zusammenhanges, daher werden diese im Gegensatz zu X- und Y-verbundenen Paaren

in der Berechnung vernachlässigt (vgl. BEHNKE, 2006). Allerdings beschränkt sich die Anwendung der Formel nur auf quadratische Tabellen, was im Anwendungsfall eine identische Anzahl von Wetterkategorien und Aufkommenskategorien erfordert. Diese Tatsache sollte jedoch keine Randbedingung für die Bildung dieser Kategorien darstellen, zumal für rechteckige Tabellen eine Korrektur durch Kendalls τ_c vorgenommen wird. Damit werden zwar Ties nicht direkt berücksichtigt, aber über das Minimum von Spalten- und Zeilenanzahl wird ein Korrektiv eingeführt.

$$\tau_c = \frac{N_c - N_d}{\frac{1}{2}N^2 \left(\frac{q-1}{q}\right)} \quad (11) \text{ nach BEHNKE (2006), S. 175}$$

mit τ_c : Konkordanzkoeffizient c nach Kendall, liegt zwischen -1 bis +1
 q : Min (Zeilenanzahl, Spaltenanzahl)

Alle bisher vorgestellten Konkordanzmaße berücksichtigen nicht, welche der beiden untersuchten Variablen die abhängige und welche die unabhängige ist und sind daher symmetrische Assoziationsmaße. Das Assoziationsmaß Somers' d prüft hingegen einen unterstellten funktionalen Zusammenhang und ist somit ein asymmetrisches Assoziationsmaß (vgl. BEHNKE, 2006). Ist Y die abhängige und X die unabhängige Variable, wird Y als eine Funktion von X angenommen, dann berechnet sich der Wert wie folgt:

$$d_{Y=F(X)} = \frac{N_c - N_d}{N_c + N_d + T_y} \quad (12) \text{ nach BEHNKE (2006), S. 176}$$

mit $d_{Y=F(X)}$: Somers' d, liegt zwischen -1 bis +1

Damit werden die Ties der unabhängigen Variablen nicht mehr berücksichtigt. Der Wert kann somit auch einen hohen Wert einnehmen, wenn es viele verbundenen Paare in der unabhängigen Variable gibt. Die Beträge von Kendalls τ_b und τ_c würden in diesem Falle geringer ausfallen und einen möglichen Zusammenhang nicht erkennen lassen.

Da in den Untersuchungen eine Abhängigkeit des Fahrgastaufkommens vom Wetter und somit ein funktionaler Zusammenhang unterstellt wird, stellt sich Somers' d als das geeignetste Assoziationsmaß für die Konkordanzanalyse unter den gegebenen Verhältnissen³⁸ dar. Daher findet der Ansatz im Verfahren Berücksichtigung. Voraussetzung für diese Zusammenhangsprüfung ist jedoch, dass sich für die Wetterzustände eine Rangfolge ableiten lässt. Bei den Daten zum Fahrgastaufkommen ist das naturgemäß der Fall.

³⁸ Mehrfaches Vorhandensein von gleichen Rängen bzw. Ties durch Kategorisierung.

5.4.4.6 Kontingenzanalyse

Ohne Hinweise auf die Rangfolgen der Einzelwerte, wie es bei den Wetterfaktoren in der Regel der Fall ist, kann ein Zusammenhang zwischen nominalen Variablen durch eine Kontingenzanalyse³⁹ geprüft werden. Die beobachteten Häufigkeiten werden darin mit den theoretisch ermittelten Häufigkeiten verglichen. Basis des Tests ist eine Kontingenztafel (auch Kreuztafel genannt), in der die beobachteten Häufigkeiten f_{ij} eingetragen werden (vgl. Tabelle 5-13).

Tabelle 5-13: Kontingenztafel der beobachteten Häufigkeiten

		Spalten (Variable X)			Zeilen-summe
		Merkmal 1	Merkmal j	Merkmal J	
Zeilen (Variable Y)	Merkmal 1	f_{11}	f_{1j}	f_{1J}	$f_{1.}$
	Merkmal i	f_{i1}	f_{ij}	f_{iJ}	$f_{i.}$
	Merkmal I	f_{I1}	f_{Ij}	f_{IJ}	$f_{I.}$
Spaltensumme		$f_{.1}$	$f_{.j}$	$f_{.J}$	f

Die erwarteten Häufigkeiten ergeben sich aus den Zeilen- und Spaltensummen sowie der Gesamtanzahl wie folgt:

$$f'_{ij} = \frac{f_{i.} \cdot f_{.j}}{f} \quad (13) \text{ nach SCHWARZ (2019)}$$

Tabelle 5-14: Ermittlung der erwarteten Häufigkeiten

		Spalten (Variable X)		
		Merkmal 1	Merkmal j	Merkmal J
Zeilen (Variable Y)	Merkmal 1	$(f_{.1} \cdot f_{i.}) / f = f'_{11}$	$(f_{.j} \cdot f_{i.}) / f = f'_{1j}$	$(f_{.J} \cdot f_{i.}) / f = f'_{1J}$
	Merkmal i	$(f_{.1} \cdot f_{i.}) / f = f'_{i1}$	$(f_{.j} \cdot f_{i.}) / f = f'_{ij}$	$(f_{.J} \cdot f_{i.}) / f = f'_{iJ}$
	Merkmal I	$(f_{.1} \cdot f_{I.}) / f = f'_{I1}$	$(f_{.j} \cdot f_{I.}) / f = f'_{Ij}$	$(f_{.J} \cdot f_{I.}) / f = f'_{IJ}$

Weichen die beobachteten Häufigkeiten von den erwarteten ab, könnte das auf einen möglichen Zusammenhang hinweisen. Mit Hilfe der Kontingenzanalyse kann dann geprüft werden, ob die vermeintlich entdeckte Assoziation eher zufällig auftritt oder ob ein systematischer Zusammenhang zugrunde liegt.

Die Stärke des Zusammenhanges kann mit Hilfe verschiedener in der Literatur genannter Maße für die Assoziation zwischen Variablen berechnet werden. Für eine nominale und eine ordinale Variable werden Phi, der Kontingenzkoeffizient CC sowie Cramers V empfohlen (SCHWARZ 2019), wobei die ersten beiden Maße sich nur auf quadratische Tabellen anwenden lassen. Cramers V ist dagegen für jegliche Tabellenformate geeignet.

Phi lässt sich nur auf 2x2-Tabellen anwenden (SCHWARZ 2019), und wäre somit nur von Belang, wenn zwei Wetterkategorien und zwei Aufkommenskategorien miteinander verglichen werden sollen. Es wird wie folgt bestimmt:

³⁹ Wird auch als Pearson-Chi-Quadrat-Test bezeichnet.

$$\text{Phi} = \sqrt{\frac{\chi^2}{n}} \quad (14) \text{ nach SCHWARZ (2019)}$$

mit Phi : Assoziationsmaß Phi
 n : Stichprobengröße
 χ^2 : vgl. Formel (3), Seite 99

Phi liegt zwischen 0 und +1, je weiter sich Phi der 1 annähert umso enger ist der Zusammenhang.

Der Kontingenzkoeffizient (CC) ist dagegen auch für größere quadratische Tabellen geeignet (SCHWARZ 2019). Er nimmt Werte zwischen 0 und einem Maximalwert (CC_{\max}) < 1 an und berechnet sich folgendermaßen:

$$\text{CC} = \sqrt{\frac{\chi^2}{\chi^2 + n}} \quad (15) \text{ nach SCHWARZ (2019)}$$

mit CC : Kontingenzkoeffizient (engl. Contingency Coeffizient)

Der Maximalwert für CC muss darüber hinaus als Interpretationshilfe folgendermaßen bestimmt werden:

$$\text{CC}_{\max} = \sqrt{\frac{\min(I, J) - 1}{\min(I, J)}} \quad (16) \text{ nach SCHWARZ (2019)}$$

mit I, J : Zeilenanzahl, Spaltenanzahl

Dadurch, dass anders als bei den anderen Assoziationsmaßen der maximale Kontingenzkoeffizient nicht konstant bei 1 liegt, stellt sich eine vergleichende Interpretation⁴⁰ des Wertes jedoch als schwierig dar. Dieser Nachteil wird durch Cramers V ausgeglichen. Es gilt folgende Berechnungsformel:

$$\text{Cramers V} = \sqrt{\frac{\chi^2}{n \cdot \min(I - 1, J - 1)}} \quad (17) \text{ nach SCHWARZ (2019)}$$

mit Cramers V : Assoziationsmaß Cramers V

Der Vorteil von Cramers V liegt in der uneingeschränkten Nutzung für alle Tabellenformate (SCHWARZ 2019). Für die Zielstellung der Arbeit ist bei Anwendung der Kontingenzanalyse deshalb dieses Assoziationsmaß Cramers V geeignet, das im Gegensatz zum Kontingenzkoeffizient auch wieder Werte zwischen 0 und +1 annimmt, was die Interpretation des Wertes erleichtert.

⁴⁰ Auf die Interpretation der ausgewählten Assoziationsmaße wird im Kapitel 5.4.6 vertiefend eingegangen.

5.4.4.7 Korrespondenzanalyse

Die Korrespondenzanalyse ist ein grafisches Verfahren zur Visualisierung von Zusammenhängen nominal skaliertter Daten. Sie stellt somit wie die Kontingenzanalyse die geringsten Anforderungen an die Ausgangsdaten und könnte ergänzend zur Anwendung kommen. Mit Hilfe der bisher vorgestellten Verfahren wird die statistische Signifikanz von Zusammenhängen analytisch geprüft. Die Korrespondenzanalyse bezweckt dagegen deren grafische Darstellung, indem die Zeilen und Spaltenelemente der Kontingenztafel als Punkte in einer gemeinsamen Darstellung in einem gemeinsamen Raum (Korrespondenzraum) positioniert werden. Die Lösung ist im Sinne einer anschaulichen Darstellung zweidimensional und wird daher auch als Biplot bezeichnet. Die Aufgabe ist demnach eine gemeinsame Darstellung von Zeilen und Spalten dergestalt, dass die Informationen über die in den Daten enthaltenen Streuungen erhalten bleiben (vgl. BACKHAUS ET AL., 2013). Die Abweichung der Spalten bzw. Zeilenpunkte von ihrem jeweiligen durchschnittlichen Profil, dem sogenannten Zentroid wird als Maß der Varianz herangezogen, um diese durch möglichst wenig Dimensionen zu erklären.

Der Verfahrensablauf der Korrespondenzanalyse ist sehr komplex und rechenaufwendig. An dieser Stelle kann nur eine verkürzte Beschreibung der Vorgehensweise vorgenommen werden, für weiterführende Fragestellungen bezüglich der Korrespondenzanalyse sei auf BACKHAUS ET AL. (2013) verwiesen. Basis ist wie in der Kontingenzanalyse zunächst wieder eine Kreuztafel mit I Zeilen und J Spalten in welcher die Häufigkeiten f_{ij} je Feld als Merkmalskombinationen eingetragen werden. Die Randsumme (Spaltensumme = Zeilensumme) gibt die Fallzahl an.

Die Lagen der Punkte zueinander könnten Aufschluss über Zusammenhänge geben, geringe Distanzen deuten auf eine hohe Korrelation hin. Da die Distanzen zwischen den Zeilen- und Spaltenvariablen jedoch untereinander zunächst nicht miteinander grafisch vergleichbar sind, erfolgt im ersten Schritt einer Korrespondenzanalyse die Standardisierung der Daten.

Ein Informationsgehalt der Daten ergibt sich aus den Abweichungen zwischen beobachteten und erwarteten Häufigkeiten. Dafür werden die absoluten Häufigkeiten in relative Häufigkeiten umgerechnet und es erfolgt eine Verrückung der Einzelzentroide der Zeilen- und der Spaltenpunkte in einen gemeinsamen Koordinatenursprung. Die Berechnungsschritte der Korrespondenzanalyse laufen nach dem folgenden Ablaufschema ab:

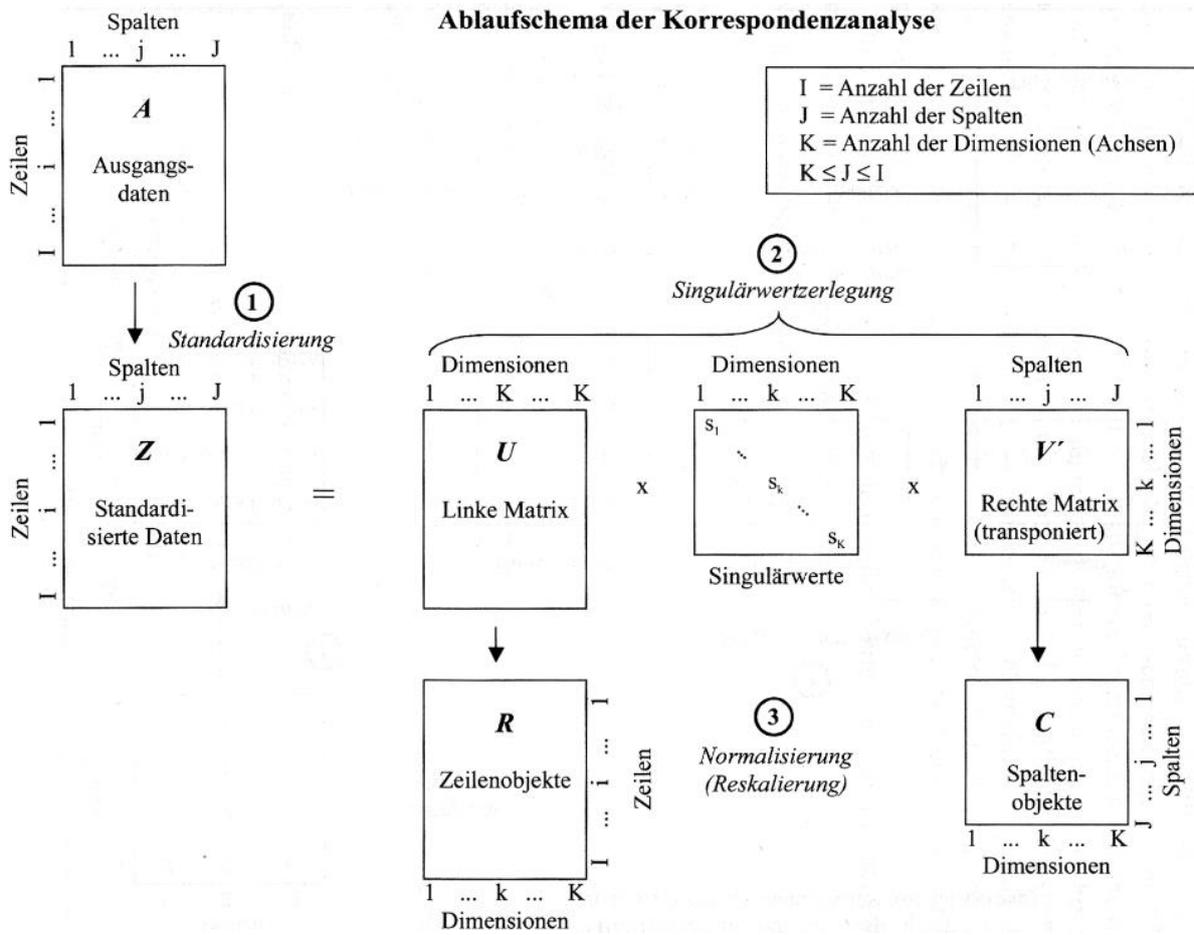


Abbildung 5-8: Ablaufschema der Korrespondenzanalyse (aus BACKHAUS ET AL. (2013). Seite 414)

Nach der Standardisierung folgt die Reduzierung der Dimensionen. Die maximale Dimension ist zunächst um eins kleiner als die Anzahl der Kategorien der Variable mit den geringsten Kategorien. Die Korrespondenzanalyse versucht nun, mit Hilfe der Singulärwertzerlegung (einer Methode aus der linearen Algebra) eine Reduktion der Dimensionen zur Gewinnung der Koordinaten der Zeilen- bzw. Spaltenelemente im Biplot. Optimierungsziel ist dabei die Minimierung des Informationsverlustes.

Im dritten Schritt der Korrespondenzanalyse werden die endgültigen Koordinaten der Zeilen- und der Spaltenelemente ermittelt und dann im Biplot übereinandergelegt. Abbildung 5-9 zeigt einen beispielhaften Biplot.

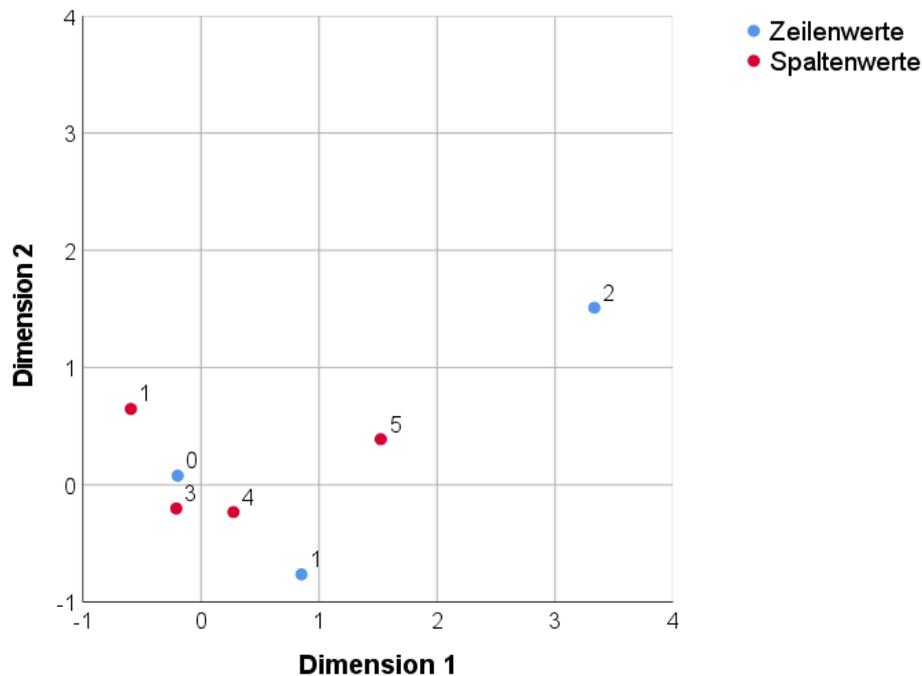


Abbildung 5-9: Beispiel für ein Biplot (eigene Darstellung)

Die Interpretation des Biplots kann unter verschiedensten Aspekten erfolgen. Die Achsen zeigen die Dimensionen auf, in der Zeilen- und Spaltenelemente streuen. Ebenfalls kann eine Polarität der Streuung in positiver und negativer Richtung um den Nullpunkt abgelesen werden. Die Distanzen zum Nullpunkt zeigen, wie weit sich das Profil eines Punktes vom Durchschnitt entfernt. Um den Nullpunkt herum liegen die Durchschnittsprofile. Geringe Distanzen bedeuten eine hohe Ähnlichkeit der Profile. In dem Beispiel ist zu sehen, dass die Spaltenwerte (rot) nur in geringer Dimension um den Nullpunkt streuen, somit von recht hohen Ähnlichkeiten ausgegangen werden kann. Zwischen Punkt 1 und Punkt 5 ist die Entfernung am größten und entgegengesetzt in Bezug auf den Nullpunkt. Bei den Zeilenwerten (blau) kann mit Punkt 2 ein Ausreißer lokalisiert werden, der sich von den anderen Punkten abhebt. In welchem Kontext das Bild dann letztlich interpretiert wird, obliegt schließlich alleine dem Betrachter. Dieses Beispiel soll verdeutlichen, dass die Interpretation eines Biplots ohne sachlogischen Kenntnisse zu den analysierten Werten nicht sinnvoll ist und die Korrespondenzanalyse genauso wie die anderen vorgestellten Verfahren zur Bestätigung bzw. Ablehnung einer aufgestellten These unterstützend herangezogen werden kann.

BACKHAUS empfiehlt entgegen der gängigen Praxis die Distanzen zwischen den Gruppen nicht zu interpretieren, es „[...] fehlt hierfür die theoretische Grundlage“ und „es können sich [...] Missverständnisse ergeben“. (vgl. BACKHAUS ET AL., 2016, S. 625) Daher lautet dort die Empfehlung, nur die Distanzen innerhalb einer Gruppe zu interpretieren. Aufgrund dieser einschränkenden Empfehlung kann an dieser Stelle noch keine Aussage über den Nutzen der Korrespondenzanalyse hinsichtlich der Zielstellung abgeleitet werden. Grundsätzlich steht diese Analysemethode zur Verfügung und kann in das Verfahren eingehen. Die Anwendung wird daher in Kapitel 6.4.4 durchgeführt und die entsprechenden Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Verwendung werden dann dort abgeleitet.

5.4.4.8 Multiple und logistische Regressionsanalyse

Mit den bisher erläuterten bivariaten Methoden kann ein Zusammenhang zwischen zwei Variablen aufgedeckt werden. Multiple und logistische Regression eignen sich zur Darstellung komplexerer Zusammenhänge und gehören zu den multivariaten Methoden (vgl. Kapitel 5.4.1). Mit Hilfe von Regressionsmodellen lässt sich erklären, wie mehrere unabhängige Variablen eine abhängige Variable beeinflussen, wie es zwischen Fahrgastaufkommen, Wochentag und Wetter beispielsweise der Fall sein kann. Das Regressionsmodell nimmt dabei immer die folgende Form an:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_k \cdot x_k + \varepsilon \quad (18) \text{ nach SCHWARZ (2019)}$$

mit y : Schätzer der abhängigen Variable
 x_k : unabhängige Variable k
 ε : Fehlerterm
 β_k : Regressionskoeffizienten der Variable x_k

Bei der multiplen Regression wird analog zur einfachen Regression ein linearer Zusammenhang vorausgesetzt. Bei der logistischen Regressionsanalyse ist die abhängige Variable binär und hat zwei Ausprägungen. „0“ bedeutet, „Zustand ist nicht vorhanden“. „1“ steht für „Zustand ist vorhanden“. Die binäre logistische Regression sagt nicht wie die multiple Regression den Wert der abhängigen Variablen x_1 bis x_k voraus, sondern die Wahrscheinlichkeit des Annehmens von „1“. Die gesuchte Funktionskurve entspricht auch nicht mehr einer Geraden, sondern einer logistischen Funktion, welche gegen $y = 0$ (Eintreten von y sehr unwahrscheinlich) und $y = 1$ (Eintreten von y sehr wahrscheinlich) asymptotisch verläuft. Die logistische Regressionsformel lautet wie folgt:

$$P(y = 1) = \frac{1}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_k \cdot x_k + \varepsilon)}} \quad (19) \text{ nach SCHWARZ (2019)}$$

mit $P(y=1)$: Wahrscheinlichkeit, dass $y = 1$
 e : Basis des natürlichen Logarithmus (Eulersche Zahl)

Im öffentlichen Verkehr ist Wetter in der Regel nicht die einzige bestimmende Komponente für die Nachfrage (vgl. Kapitel 2). Weitere Faktoren können sich aus Wochentag, Tageszeit, Richtung, Saison, Ferien etc. ergeben, wodurch die Regressionsmodelle sehr viele Faktoren berücksichtigen müssten. Dass es gelingen kann, ein binäres Prognosemodell bei Bergbahnen mit rein touristischem Aufkommen rein wetterabhängig mit wenigen zusätzlichen zeiterklärenden Schichtungen (Wochenende, Ferienzeit) zielführend zu kalibrieren, haben WEGELIN ET AL. (2017) nachgewiesen. Aber schon bei einer rein touristischen Nachfrage erhöht sich mit steigender Anzahl relevanter schwankungsbeeinflussender Zeitschichtungen die Gefahr, dass die vorhandene Datenbasis wahrscheinlich nicht dafür ausreicht, ein zufriedenstellendes Regressionsmodell unter Berücksichtigung aller erforderlicher Schichtungen und Faktoren aufzustellen. Das Verfahren zur wetterabhängigen Kapazitätsdimensionierung sollte allgemeingültig und damit auch auf Regionen mit einer Kombination von touristischen und alltäglichen Fahrgästen im ÖPNV anwendbar sein. Aus diesem Grund erfolgt keine Implementierung dieser

Methoden in das Verfahren für eine wetterabhängige Kapazitätsdimensionierung, denn bei alltäglichen Wegezwecken haben noch viele andere Faktoren eine höhere Bedeutung für die Nachfrage als das Wetter. Diese kann ein Regressionsmodell dann nicht mehr zufriedenstellend abbilden.

5.4.5 Auswahl geeigneter Methoden

Mit den vorangegangenen Betrachtungen wurden die in der Literatur empfohlenen Methoden für das Prüfen von Zusammenhängen zwischen Variablen hinsichtlich ihrer Eignung für die für die Analyse von Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage analysiert und bewertet.

Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden:

Korrelationsprüfung und Regressionsanalyse sind nicht geeignet, da die vorliegenden Daten die Anforderungen, die diese Verfahren an sie stellen, nicht erfüllen.

Die Konkordanzanalyse erfordert eine Rangskalierung aller Merkmale. Eine Rangordnung kann grundsätzlich aus Informationen zum Fahrgastaufkommen entnommen werden. Bei den Wetterdaten kann das nicht in jedem Falle vorausgesetzt werden. Vor Anwendung muss deshalb eine Prüfung erfolgen, ob aus den Daten eine Rangfolge der Wetterkategorien abgelesen werden kann. Beim Anwendungsbeispiel im Kapitel 6.4.3. konnte die Anwendbarkeit nachgewiesen werden.

Die Kontingenzanalyse ist uneingeschränkt geeignet, da diese die beobachtete und die erwarteten Häufigkeiten miteinander vergleicht. Unterscheiden sich beide Werte voneinander, können - soweit die statistische Signifikanz nachgewiesen wird - Zusammenhänge abgeleitet werden.

Die Korrespondenzanalyse liefert ein grafisches Ergebnis, welches durch den Anwender zu interpretieren ist. Ohne sachlogische Interpretationshinweise besteht jedoch die Gefahr einer Fehlinterpretation. Zudem wird in der Literatur (vgl. BACKHAUS ET AL., 2016) davon abgeraten, die Aussagen verschiedener dargestellter Gruppen in einen Zusammenhang zu setzen. Da die Methode nicht von vornherein ausgeschlossen werden konnte, wurde im Anwendungsbeispiel (Kapitel 6) die Datenanalyse auch mit der Korrespondenzanalyse durchgeführt, um weitere Erkenntnisse hinsichtlich der Anwendbarkeit zu gewinnen. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die Korrespondenzanalyse nicht geeignet ist (vgl. Kapitel 6.4.4).

Im Ergebnis der Untersuchungen werden folgende Methoden als die geeignetsten zur Analyse von Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage angesehen:

- Konkordanzanalyse mit dem Assoziationsmaß Somers' d,
- Kontingenzanalyse mit Assoziationsmaß Cramers V.

Im Kapitel 6.4.6 sind die wesentlichen Erkenntnisse zur Handhabung und Eignung beider Verfahren zusammengefasst. An dieser Stelle kann angemerkt werden, dass beide Analysemethoden miteinander vergleichbare Zusammenhänge zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen aufgedeckt haben.

5.4.6 Ableitung der Wetterabhängigkeit der Nachfrage

Mit den beiden ausgewählten Methoden und durch Ermittlung des Signifikanzniveaus können qualitative Aussagen zum Zusammenhang zwischen Wetter und Nachfrage abgeleitet werden.

Das Signifikanzniveau gibt an, ob Zusammenhänge in der Stichprobe sich auf die Grundgesamtheit übertragen lassen, (vgl. 5.4.4.1). Liegt die Irrtumswahrscheinlichkeit unter dem gewählten Signifikanzniveau, dann sind die ermittelten Zusammenhänge auf die Grundgesamtheit übertragbar.

Das wichtigste Ergebnis der Kontingenz- und Konkordanzanalyse ist das Assoziationsmaß, das Stärke und ggf. Richtung des Zusammenhanges anzeigt. Die Kontingenztabelle aus der Kontingenzanalyse lässt weitere Aussagen zu Zusammenhängen zu.

Assoziationsmaße können Werte zwischen 0 und ± 1 annehmen. Je mehr sich die Werte -1 bzw. +1 annähern, umso größer ist der negative bzw. positive Zusammenhang zwischen beiden betrachteten Merkmalen (hier: Wetter und Nachfrage). Bei einem Wert von 0 besteht kein Zusammenhang. Cramers V kann im Gegensatz zu Somers' d nur positive Werte annehmen.

Für die Interpretation von Assoziationsmaßen gibt es keine allgemeingültige exakte Vorgabe. Für Cramers V gibt es eine explizite Interpretationsempfehlung von Cohen (1988). Diese zeigt die nachfolgende Tabelle:

Tabelle 5-15: Interpretationsempfehlung von Cramers V (nach Cohen 1988)

Cramers V	Interpretation
V = 0,1	kleiner Effekt
V = 0,3	mittlerer Effekt
V = 0,5	großer Effekt

Für Somers' d wurde keine explizite Empfehlung gefunden. Es existieren in der Literatur jedoch verschiedene allgemeine Interpretationsansätze zu Assoziationsmaßen - auch in Abhängigkeit der Differenzierung bzw. Anzahl der Interpretationsstufen. Bei einer gleichmäßigen Abstufung gilt folgende Interpretationsempfehlung (Tabelle 5-16), die auch in dieser Arbeit für die Bewertung von Somers' d angewendet wird.

Tabelle 5-16: Allgemeine Interpretationsempfehlung von Assoziationsmaßen (eigene Zusammenstellung)

Koeffizient (positive oder negative Werte)	Interpretation
0	keine Assoziation
über 0 bis unter 0,2	sehr schwache Assoziation
0,2 bis unter 0,4	schwache Assoziation
0,4 bis unter 0,6	mittlere Assoziation
0,6 bis unter 0,8	starke Assoziation
0,8 bis unter 1	sehr starke Assoziation
1	perfekte Assoziation

Die Stärke des Zusammenhanges zwischen Wetter und Nachfrage kann somit bei beiden Methoden direkt aus den Assoziationsmaßen abgeleitet werden.

Welche konkreten Wetterzustände zu welchen Nachfrageveränderungen führen, wird durch die Richtung des Zusammenhanges angegeben. Das ist zunächst nur bei der Konkordanzanalyse aus dem Assoziationsmaß Somers' d ersichtlich, welches positive oder negative Werte annehmen kann. Die zu differenzierenden Wetterzustände werden vor den Analysen bei der Kategorisierung der Wetterdaten festgelegt. Wenn die Konkordanzanalyse zur Anwendung kommt, müssen diese Wetterzustände vorab auch in eine Rangfolge gebracht werden. Somit kann auch direkt eine Abhängigkeit zwischen konkreten Wetterkategorien und Aufkommenskategorien abgeleitet werden. Ob die gewählte Rangfolge der Wetterzustände zweckdienlich ist, kann durch wiederholte Berechnungen mit einer veränderten Rangfolge geprüft werden. Wenn sich dadurch die Assoziationsmaße verändern, können daraus entsprechende Schlussfolgerungen gezogen werden. Diese Vorgehensweise kann im Anwendungsbeispiel nachvollzogen werden. Im Kapitel 6.4.3 erfolgt die Berechnung von Somers' d unter Anwendung zweier verschiedener Wetterkategorien-Rangszenerarien sowie die Auswahl der Vorzugsrangfolge.

Bei der Kontingenzanalyse werden für die Prüfung der Richtung des Zusammenhanges die Kontingenztabellen für die Detektion nachfragebeeinflussender Wetterzustände ausgewertet. Wenn die beobachtete und erwartete Häufigkeit der Nachfragekategorie je Wetterkategorie signifikant voneinander abweichen, ist das ein Hinweis auf eine wetterbedingte Nachfrageveränderung.

In der nachfolgenden Tabelle sind die wesentlichen Aussagen der Analyse zu Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage dargestellt.

Tabelle 5-17: Aussagefähigkeit der analysierten Parameter zu Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage

Aussage über Zusammenhang	Konkordanzanalyse	Kontingenzanalyse
Übertragbarkeit des Zusammenhanges von Stichprobe auf Grundgesamtheit	Signifikanz	
Stärke	Somers' d	Cramers V
Richtung	Somers' d	Kontingenztafel

Anhand der Aussagen dieser Kennwerte und Tabellen können im Ergebnis der Verfahrensstufe 2 nachfragerrelevante Wetterzustände und wetterrelevante Schichtungen detektiert werden. Für diese Schichtungen erfolgt in der Verfahrensstufe 3 eine Prüfung, ob die Nachfrageveränderung kapazitätsrelevant ist. Dann können wetterabhängige Kapazitätsszenarien je relevanter Schichtung und Wetterzustand abgeleitet werden.

Erkenntnisse für die Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung:

Mit Hilfe von Konkordanz- oder Kontingenzanalysen wurden statistische Methoden identifiziert, die geeignet sind, um signifikante Zusammenhänge zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen zu analysieren. Dafür werden die entsprechenden Assoziationsmaße Somers' d oder Cramers V berechnet.

5.4.7 Ergänzende Analysen zur Bewertung der Assoziationsmaße

Grenzwerte für die Entscheidung, ab welcher die Stärke des Zusammenhanges zwischen Wetter und Nachfrage eine Relevanz für das Untersuchungsgebiet besteht, können nicht allgemeingültig abgeleitet werden. Je höher der Anteil des alltäglichen Verkehrs neben der freizeitabhängigen Nutzung im untersuchten Angebot ist, umso weniger kann ein starker Zusammenhang zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen erwartet werden (vgl. Kapitel 2.2). In die Bewertung der Assoziationsmaße muss im Anwendungsfall deshalb auch der Anteil spontaner Fahrtzwecke einfließen. So muss bedacht werden, dass sich den Maximalwerten von ± 1 nur bei einem sehr geringem Grad von wetterunabhängigen Fahrtzwecken angenähert werden kann. Diese Werte können bei Verkehrsangeboten, die regelmäßig auch für alltägliche Fahrtzwecke genutzt werden, naturgemäß nicht erreicht werden. Daher kann auch schon ein geringeres Assoziationsmaß einen wetterabhängigen Zusammenhang bedeuten und ein wetterabhängiges Reagieren (z. B. Anpassen der Anzahl des Service- und Vertriebspersonal) sinnvoll sein. Neben der reinen statistischen Auswertung sollte daher eine Analyse der Aktivitätenmuster und Fahrtzwecke im Untersuchungsgebiet erfolgen. Die erforderliche Tiefe ist abhängig von den schon vorhandenen Kenntnissen über die Untersuchungsregion und der Charakteristik des zu untersuchenden Angebotes. Für das Anwendungsbeispiel im Kapitel 6 erfolgt eine recht umfangreiche Analyse zum Aufbau der Erwartungshaltung im Hinblick auf die Ergebnisse des Verfahrens für die ausgesuchte Region - auch mit dem Ziel der Überprüfung von dessen Eignung. Für die Analyse von Zusammenhängen zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen waren die ermittelten Sachverhalte nicht zwingend in der in Kapitel 6.1 dargestellten Tiefe notwendig. Eine eigenständige Verfahrensstufe wird daher in Abbildung 5-2 auf Seite 76 nicht ausgewiesen. Folgende Handlungsschritte sollten durch weiterführende Untersuchungen jedoch unterstützt werden:

- sinnvolle und zielführende Kategorisierung der Wetterdaten,
- Interpretation der Assoziationsmaße.

5.4.8 Ablauf der Ermittlung von Zusammenhängen zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen in der Verfahrensstufe 2

In nachfolgender Darstellung wird der Ablauf für die Ermittlung von Zusammenhängen zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen zusammengefasst:

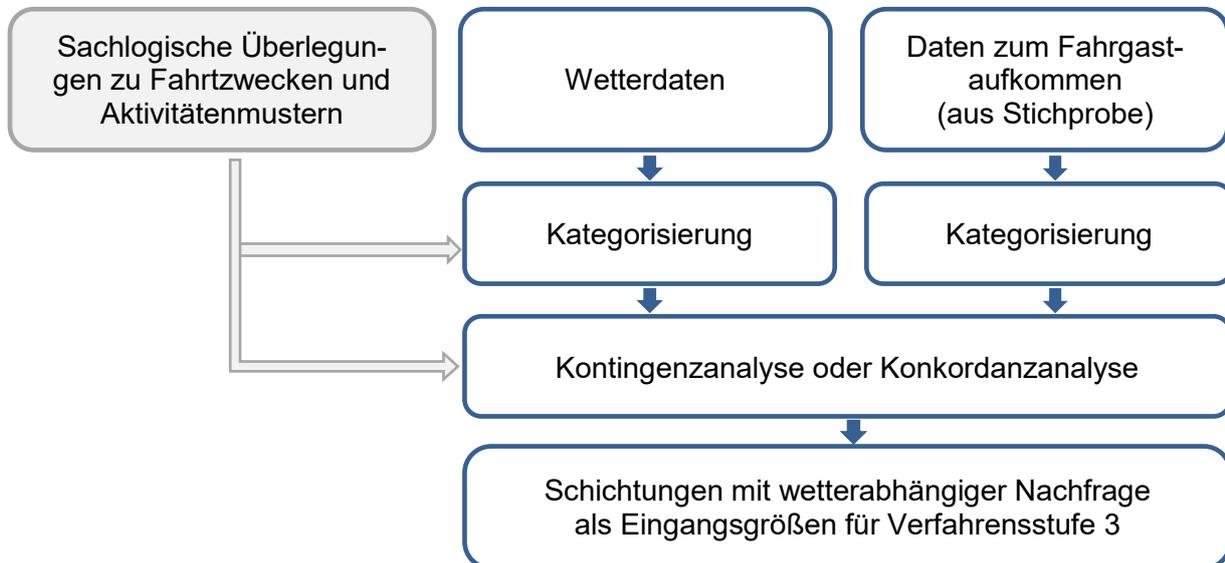


Abbildung 5-10: Ablauf für die Ermittlung von statistisch gesicherten Zusammenhängen zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen

Für das Analyseziel der Verfahrensstufe 3 sind noch weitere Schritte notwendig. Denn ob die festgestellten Zusammenhänge auch kapazitätsrelevant sind, lässt sich aus den bisherigen Untersuchungen noch nicht ableiten. Dafür ist es erforderlich, in der letzten Verfahrensstufe das Fahrgastaufkommen aus der Stichprobe und die vorgesehene Platzkapazität gegenüberzustellen und dahingehend zu analysieren, ob wetterabhängige Abweichungen bestehen und ob Kapazitätsanpassungen möglich und sinnvoll sind. Die Ergebnisse der bisherigen Analysen grenzen die Untersuchungen im nächsten Schritt auf jene Schichtungen ein, bei denen signifikante wetterabhängige Aufkommensschwankungen in der Verfahrensstufe 2 aufgedeckt werden.

5.5 Ableitung kapazitätsrelevanter Szenarien (Verfahrensstufe 3)

In der dritten Verfahrensstufe wird zunächst überprüft, ob die wetterunabhängig geplante Kapazität für die in der Verfahrensstufe 2 identifizierten Schichtungen wetterabhängig angepasst werden kann.

Dazu werden die Differenzen zwischen dem Fahrgastaufkommen aus der Stichprobe und der planmäßig bereitgestellten Kapazität ermittelt und einem der in Kapitel 5.5.1 dargestellten Kapazitätsfälle zugeordnet.

Treten gehäuft Abweichungen zum Planfall auf, erfolgt eine statistische Überprüfung auf Zusammenhänge zwischen Wetter und diesen Abweichungen (vgl. Kapitel 5.5.2).

Sind wetterabhängige Einflüsse nachweisbar, wird geprüft, für welche Wetterkategorien sich Nachfrageszenarien ergeben, die bei der Kapazitätsplanung berücksichtigt werden sollten

(vgl. Kapitel 5.5.3). Ist dies der Fall, kann dann die wetterabhängige Dimensionierung der Kapazität erfolgen.

Zur Unterstützung der nachfolgenden Ausführungen zeigt Abbildung 5-2 den Prozessablauf in vereinfachter Form. Alle weiteren Parameter sowie die einzelnen Handlungsschritte werden in den folgenden Kapiteln näher erläutert. Beim letzten Schritt im Ablaufschema in Abbildung 5-2 handelt es sich um den üblichen Prozess der Kapazitätsplanung (vgl. Kapitel 3). Dieser Schritt ist nicht Teil des entwickelten Verfahrens, würde sich jedoch bei der praktischen Anwendung des Verfahrens unmittelbar anschließen und ist deshalb mit dargestellt.

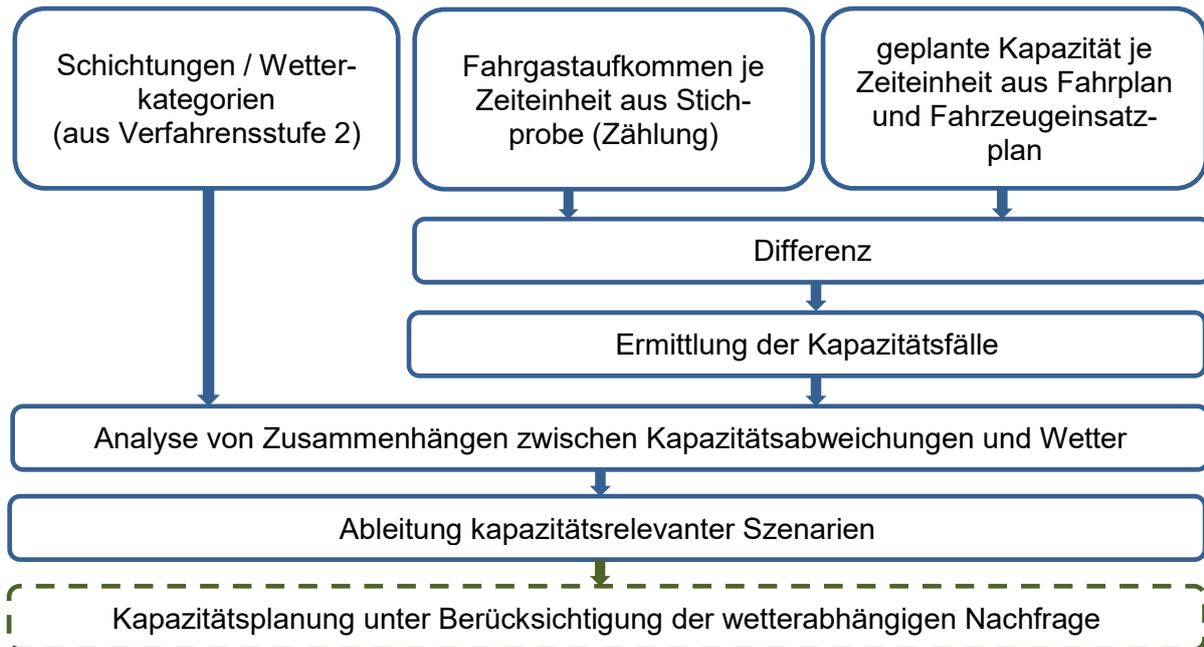


Abbildung 5-11: Ablauf der Verfahrensstufe 3 (vereinfachte Darstellung)

Das Verfahren durchläuft diese Schritte rekursiv durch alle Schichten und Wetterkategorien, die als Eingangsgrößen aus der Verfahrensstufe 2 kommen. Nur bei Bestätigung bestimmter Prüfgrößen, die im Folgenden erörtert werden, wird das gesamte Verfahren durchlaufen. Ansonsten bricht das Verfahren für die betrachtete Schichtung bzw. Wetterkategorie ab und prüft die Voraussetzungen für die nächste Schichtung oder Wetterkategorie.

Um das Zusammenwirken aller Operationen, Entscheidungen sowie den In- und Output der Verfahrensschritte nachvollziehbar aufzuzeigen, wurde nachstehender Programmablaufplan (vgl. Abbildung 5-12) entwickelt. In den Programmablaufplan wurde wie bei der vereinfachten Darstellung auf Abbildung 5-11 auch der Prozess der Kapazitätsplanung integriert (gestrichelt umrandet). Dass erfolgte vor dem Hintergrund, dass das Verfahren letztendlich Eingangsdaten für die Kapazitätsplanung liefert. Auch wird dadurch anschaulich dargestellt, wo die Schnittstellen zwischen dem entwickelten Verfahren und der Kapazitätsplanung liegen.

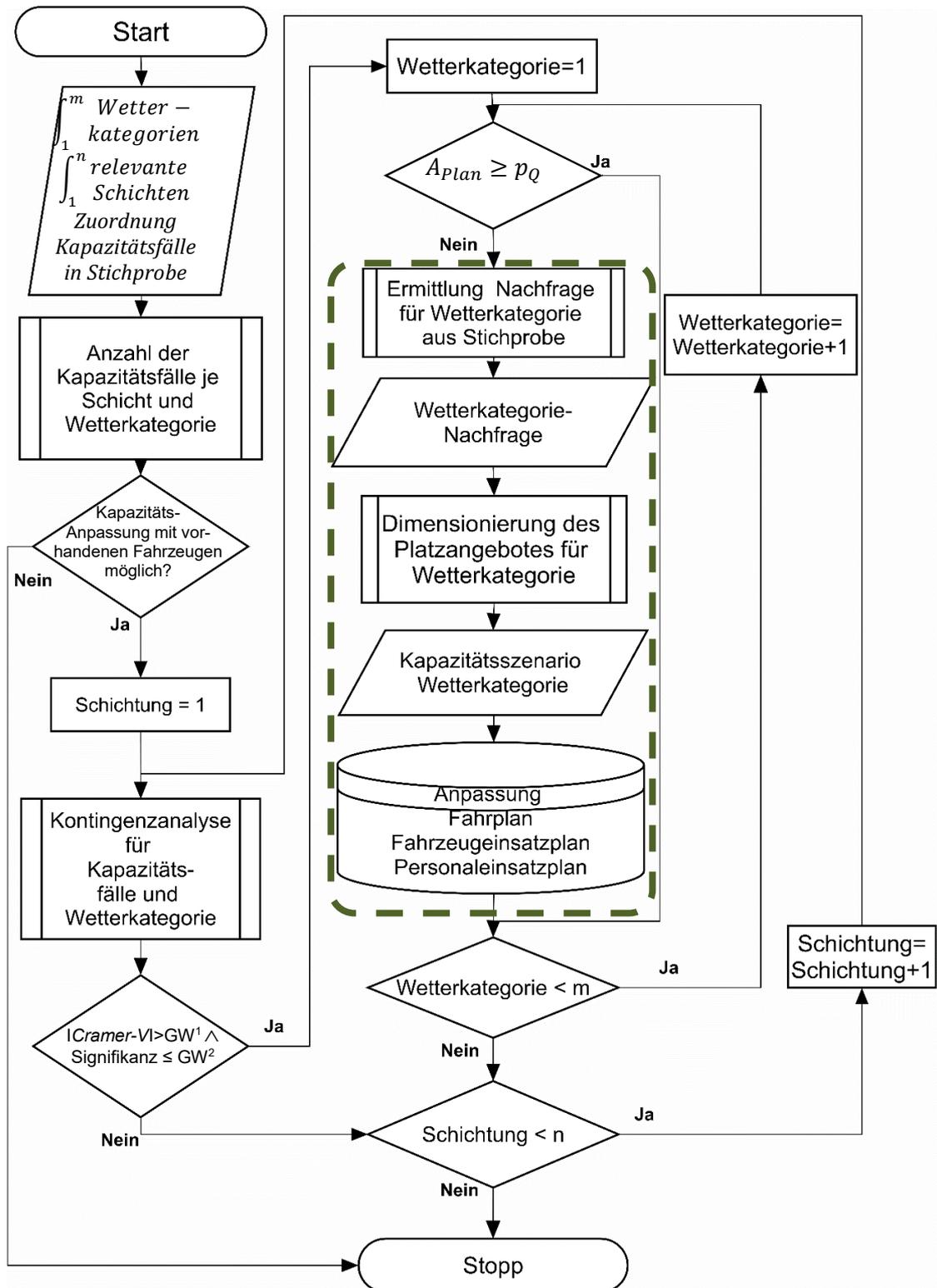


Abbildung 5-12: Programmablaufplan für die Verfahrensstufe 3 und die darauf aufbauende Kapazitätsplanung (gestrichelt umrandeter Teil)

¹ festzulegender Grenzwert für Cramers V, empfohlen wird 0,1

² festzulegender Grenzwert für Signifikanzniveau, empfohlen wird 0,05

Die einzelnen Arbeitsschritte werden nachfolgend detailliert vorgestellt.

5.5.1 Ermittlung der Kapazitätsfälle

Relevant für die Fragestellung nach wetterabhängigen Kapazitätsszenarien sind jene Fälle, in denen die erforderliche von der wetterunabhängig geplanten Kapazität abweicht. Dazu muss das beobachtete Fahrgastaufkommen aus der Stichprobe der bereitgestellten Kapazität gegenübergestellt werden. Wenn gehäuft Abweichungen auftreten, und diese nicht durch anderweitige (wetterunabhängige) Faktoren erklärbar sind, werden weiterführende Untersuchungen durchgeführt.

Dafür wird zunächst die erforderliche Platzkapazität je Fahrt ermittelt. Diese resultiert aus der Besetzung einer Fahrt am stärksten belasteten und damit in der Regel maßgebenden Querschnitt und wird wie folgt ermittelt:

$$Pl_{erf} = \frac{\max(B_1, B_2, \dots, B_n)}{BG} \quad (20)$$

mit Pl_{erf} : erforderliches Platzangebot für eine betrachtete Fahrt
 B : Besetzung nach Halt 1 ... Halt n
 BG : Besetzungsgrad (vgl. Kapitel 3.8.1)

Mit Hilfe der Informationen zum Fahrgastaufkommen sowie zu der geplanten Kapazität kann dann mit nachstehender Formel berechnet werden, ob und in welchem Umfang ein Missverhältnis zwischen Angebot und Nachfrage bestand:

$$\Delta_{pl} = Pl_{erf} - Pl_{plan,max} \quad (21)$$

mit Δ_{pl} : Differenz maximales planmäßiges Platzangebot zu Platznachfrage
 $Pl_{plan,max}$: geplantes maximales Platzangebot

Ein negativer Wert zeigt zunächst nur an, dass das Fahrzeug noch nicht vollständig ausgelastet ist. Der Betrachtungsgrenzwert zum möglichen Einsatz einer geringeren Kapazität berechnet sich aus der Maximalkapazität des nächst kleineren Fahrzeuges bzw. der nächstkleineren Fahrzeugeinheit, wobei die nächstpassende Einheit anhand der vorhandenen Fahrzeuggrößen ausgewählt wird.

Ein positives Delta zeigt eine Überschreitung an. Da schon die maximale Platzausnutzung betrachtet wird, wäre dann eine höhere Platzkapazität erforderlich als geplant. Die Möglichkeiten dieser Anpassung werden von den vorhandenen Fahrzeugen oder Einheiten vorgegeben. Eine Abweichung ist somit nur dann relevant, wenn der Grenzwert zum nächstgeringeren möglichen Platzangebot unterschritten bzw. das maximale geplante Platzangebot überschritten wird und dafür Reaktionsmöglichkeiten⁴¹ zur Verfügung stehen. Ist das für keinen Datensatz aus der Stichprobe der Fall, können keine wetterabhängigen Kapazitätsszenarien zustande kommen. In dem auf Seite 118 dargestellten Programmablaufplan führt das zum Stopp des Verfahrens.

⁴¹ Möglichkeiten der Kapazitätsanpassung werden in Kapitel 4 umfassend diskutiert.

Alle Fälle, auf die das angebotene Platzangebot passt oder für die es keine sinnvollen Alternativen im Fuhrpark gibt, werden als Kapazitätsplanfälle bezeichnet. Sie werden wie folgt bestimmt:

$K_{Plan} = Pl_{Plan,max}$ wenn:

$$Pl_{Plan,max} - |\Delta_{Pl}| > Pl_{FZ,i,max} \wedge \Delta_{Pl} < 0 \quad (22)$$

$$Pl_{Plan,max} + |\Delta_{Pl}| < Pl_{FZ,j,max} \wedge \Delta_{Pl} > 0$$

mit K_{Plan} : Kapazitätsplanfall; planmäßiges Fahrzeug ist das richtig ausgewählte für die Nachfrage der betrachteten Fahrt

$Pl_{FZ,i,max}$: Platzangebot des nächstkleineren passenden Fahrzeugs im Fuhrpark

$Pl_{FZ,j,max}$: Platzangebot des nächstgrößeren passenden Fahrzeugs im Fuhrpark

Diese Überprüfung erfolgt in der Stichprobe für jeden Datensatz und es erfolgt eine Zuordnung zu einem der nachstehenden Kapazitätsfälle:

Kapazitätsfall 1: geplante Kapazität zu hoch, geringere Kapazität reicht aus

Kapazitätsfall 2: geplante Kapazität passt (Kapazitätsplanfall)

Kapazitätsfall 3: geplante Kapazität zu gering, höhere Kapazität erforderlich

Eingang in das weitere Verfahren finden die beobachteten Häufigkeiten der Kapazitätsfälle je relevanter Schichtung und Wetterkategorie.

5.5.2 Analyse von Zusammenhängen zwischen Kapazitätsfällen und Wetter

Für die statistische Überprüfung der Zusammenhänge eignet sich wieder die Kontingenzanalyse. Die Konkordanzanalyse wäre aus der Theorie heraus auch für die Skalierung der Daten anwendbar. Aus dem Anwendungsbeispiel heraus kommt jedoch die Erkenntnis, dass sich für die Kapazitätsfälle nicht per se eine Rangfolge ableiten lässt. Daher kommt in der dritten Verfahrensstufe nur die Kontingenzanalyse zur Anwendung. Dafür wird je Schichtung eine Kontingenztabelle (vgl. Kapitel 5.4.4.6) mit der beobachteten Anzahl f der Kapazitätsfälle je Wetterkategorie wie nachstehend erstellt (vgl. Tabelle 5-18):

Tabelle 5-18: Kontingenztabelle zur Überprüfung von Zusammenhängen zwischen Kapazitätsfällen und Wetterkategorie

Schichtung x	Kapazitätsfälle			Zeilen-summe	
	1	2 (Planfall)	3		
Wetter-kategorie	a	f_{a1}	f_{a2}	f_{a3}	f_a
	b	f_{b1}	f_{b2}	f_{b3}	f_b
	c	f_{c1}	f_{c2}	f_{c3}	f_c

Spaltensumme	$f_{.1}$	$f_{.2}$	$f_{.3}$	f	

Für diese Kontingenztabelle wird das Assoziationsmaß (Cramers V) sowie dessen Signifikanz berechnet. Diese Vorgehensweise wurde im Rahmen der Entwicklung der Verfahrensstufe 2 erläutert (vgl. Kapitel 5.4.4.6).

Die Cramers V-Werte geben Aufschluss darüber, in welchen Schichtungen und in welcher Ausprägung bzw. Stärke wetterabhängige Kapazitätsüberschüsse oder -defizite bestehen. Für die weitere Vorgehensweise benötigt das Verfahren einen Mindestwert für das Assoziationsmaß sowie einen Maximalwert für das Signifikanzniveau. Eine geringerer Cramers V-Wert oder eine höhere Irrtumswahrscheinlichkeit führt bei der untersuchten Schichtung zum Abbruch des Verfahrens und die nächste Schichtung wird untersucht.

Für das im Rahmen dieser Arbeit im Kapitel 6 untersuchte Verkehrsangebot wurde als Mindestwert 0,1 für Cramers V angenommen, da bei kleineren Werten nur ein sehr geringer Zusammenhang besteht (vgl. Tabelle 5-15 auf Seite 113). Beim Signifikanzniveau wurde von 5 Prozent ausgegangen (vgl. auch Kapitel 5.4.4.1). Im Programmablaufplan (Seite 118) sind diese Werte in den Fußnoten ausgewiesen.

Die Cramers V-Werte alleine geben aber noch keinen Aufschluss darüber, bei welchen Wetterzuständen sich die Nachfrage verändert (vgl. Kapitel 5.4.6). Bei aufgedeckten Zusammenhängen muss daher im nächsten Schritt weiter untersucht werden, bei welcher konkreten Wetterkategorie eine Anpassung erforderlich wird.

5.5.3 Ableitung der Kombinationen aus Wetterkategorie und Schichtung, die eine Kapazitätsanpassung erfordern

Die eigentliche Ableitung kapazitätsrelevanter Szenarien erfolgt durch die weitere Auswertung der Kontingenztabellen. Es ist dazu der Anteil der Kapazitätsplanfälle (A_{Plan}) je Wetterkategorie und Schichtung zu ermitteln. Es gilt:

$$A_{Plan} = \frac{f_{WK,Plan}}{f_W} \quad (23)$$

mit A_{Plan} : Anteil Kapazitätsplanfälle je Wetterkategorie und Schichtung (Kapazitätsfall 2)
 $f_{WK,Plan}$: beobachtete Häufigkeit Kapazitätsplanfall je Wetterkategorie und Schichtung
 f_W : Summe aller Kapazitätsfälle je Wetterkategorie und Schichtung
 (Zeilensumme der Kontingenztafel)

Analog dazu wird der Anteil der anderen beiden Kapazitätsfälle (A_{gK} , A_{hK}) berechnet. Deren Werte lassen u. U. Rückschlüsse zur Richtung der erforderlichen Anpassung zu.

$$A_{gK} = \frac{f_{WK,gK}}{f_W} \quad (24)$$

$$A_{hK} = \frac{f_{WK,hK}}{f_W} \quad (25)$$

mit A_{gK} : Anteil Fälle je Wetterkategorie und Schichtung mit geringerer notwendiger Kapazität (Kapazitätsfall 1)
 A_{hK} : Anteil Fälle je Wetterkategorie und Schichtung mit höherer erforderlicher Kapazität (Kapazitätsfall 3)
 $f_{WK,Plan}$: beobachtete Häufigkeit Kapazitätsfall 1 je Wetterkategorie und Schichtung
 $f_{WK,Plan}$: beobachtete Häufigkeit Kapazitätsfall 3 je Wetterkategorie und Schichtung

In Tabelle 5-19 sind beispielhaft die Anteile an Kapazitätsfällen für 4 verschiedene Wetterkategorien für eine Schichtung angegeben.

Tabelle 5-19: Beispiel für die Anteile der Kapazitätsplanfälle je Wetterkategorie

Wetterkategorie	Anteil Kapazitätsfälle 1 (geringere Kapazität ausreichend) A_{gK}	Anteil Kapazitätsfälle 2 (Plan) A_{Plan}	Anteil Kapazitätsfälle 3 (höhere Kapazität notwendig) A_{hK}
A		97 %	3 %
B		83 %	17 %
C	92 %	8 %	
D	37 %	63 %	

Um im Verfahren zu entscheiden, für welche der Wetterkategorien eine Anpassung der Kapazitäten erforderlich wird, ist für A_{Plan} eine Akzeptanzgrenze festzulegen. Die Akzeptanzgrenze ist ein erforderlicher Mindestwert für den Anteil der Kapazitätsplanfälle. Es gilt:

$$A_{Plan} \geq p_Q \quad (26)$$

mit A_{Plan} : Anteil der Kapazitätsplanfälle
 p_Q : Akzeptanzgrenze für A_{Plan}

Die Festlegung bzw. die Wahl eines geeigneten Wertes für p_Q erfordert weitere Überlegungen bzw. Untersuchungen, da Verkehrsunternehmen im Status Quo nicht mit so einem Wert agieren. Letztendlich hängt die Akzeptanzgrenze von betrieblichen Zielsetzungen im Hinblick auf Kundenzufriedenheit und Effizienz ab.

In Bezug auf die Kundenzufriedenheit sollte der Anteil der Kapazitätsplanfälle nicht zu gering sein. Die Akzeptanz von Stehplätzen (Kapazität zu gering) sinkt beispielsweise mit steigender Fahrzeit. Während bei einer Fahrzeit von 10 min weniger als die Hälfte der Fahrgäste einen Sitzplatz erwarten, legen bei einer Fahrdauer von 30 min alle Fahrgäste darauf Wert. Zudem sind die Erwartungen vom genutzten Verkehrsmittel, dem Zugang dazu (einschließlich Umsteigevorgänge) sowie dem Alter der Fahrgäste abhängig (vgl. BERGNER 2018, Abschn. 3.3.2). Viele potentielle Fahrgäste in einer Tourismusregion können das genutzte Verkehrsmittel selbst wählen und reagieren daher auf Abstriche in der Beförderungsqualität sensibler als andere Nutzergruppen (vgl. WENDT, 2016). Die Abweichungshäufigkeit bedarf solange keiner Anpassung, wie sie durch den Fahrgast toleriert wird und dieser nicht abwandert. Unternehmensintern muss deshalb der Zusammenhang zwischen Überschreitung der Akzeptanzgrenze und dem Kostendeckungsgrad untersucht werden (vgl. BERGNER, 2018). Die üblicherweise zur Verfügung stehenden Daten aus Fahrgastzählungen geben in der Regel keinen Aufschluss über die Erwartungen der Fahrgäste hinsichtlich der Beförderungsqualität. Diese müssen deshalb für eine anforderungsorientierte Angebotsplanung explizit erfragt und analysiert werden. Mit den Ergebnissen einer solchen Befragung und Analyse kann dann die Bewertung von Risikoparametern wie Stehdauer, -dichte und -wahrscheinlichkeit angebotsspezifisch erfolgen (vgl. BERGNER, 2018). Die Kapazitätsplanung kann nur unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse anforderungsorientierter reagieren. Ein entsprechendes Differenzierungsmodell wurde dafür in BERGNER (2018) entwickelt. Die somit ermittelten Anforderungen können auch zur Festlegung einer Akzeptanzgrenze p_Q aus dem Blickwinkel der Kundenzufriedenheit genutzt werden. Neben dem Aspekt der Kundenzufriedenheit ist die die Akzeptanzgrenze auch

ein Kriterium der Effizienz, da ein hoher Anteil des Kapazitätsfalls 1 (zu große Kapazität) Einsparpotential signalisiert.

Aus Sicht der Kundenzufriedenheit sollte bei längerdauernden Fahrten ein Wert von 95 Prozent für p_Q angestrebt werden. Bei kürzerer Fahrtdauer und steigendem Anteil an regelmäßigen Nutzern kann ein geringerer Wert angesetzt werden. Weniger als 80 Prozent sollten jedoch nicht zum Ansatz kommen, denn dann würde schon mindestens jede 5. Fahrt nicht den Qualitätszielen entsprechen. Befragungen bzw. Analysen zu den Erwartungen der Fahrgäste in der Untersuchungsregion sollten die Festlegung der Akzeptanzgrenze jedoch unterstützen.

Geht man bei dem Beispiel aus Tabelle 5-19 von einem p_Q von 90 % aus, wären Anpassungen bei den Wetterkategorien B, C und D erforderlich. Bei 80 % wäre dies nur bei den Wetterkategorien C und D der Fall.

Das Verfahren geht zunächst von *einer* Akzeptanzgrenze für die beiden möglichen Fälle (zu geringe oder zu große Kapazität) aus. Eine Differenzierung der Werte nach Anpassungsfall kann aber ebenfalls erfolgen.

Ob eine Erhöhung oder Verringerung der Kapazität erforderlich ist, wird in der nachgelagerten Kapazitätsplanung ermittelt. Diese erfolgt nach der in Kapitel 3.6 erläuterten Vorgehensweise unter Berücksichtigung der wetterabhängigen Nachfrage. Im Ergebnis liegen wetterabhängige Kapazitätsszenarien vor, die in den entsprechenden Planungsunterlagen (Fahrplan, Fahrzeug- und Personaleinsatzplan) eingearbeitet werden können.

Im Kapitel 6 wird die Anwendung des Verfahrens an einem Beispiel demonstriert.

6 ANWENDUNGSBEISPIEL

6.1 Untersuchungsregion

6.1.1 Bediengebiet der Usedomer Bäderbahn

Die Anwendung des Verfahrens erfolgt am Beispiel des SPNV im Bediengebiet der Usedomer Bäderbahn GmbH (UBB). Dieses befindet sich im Osten Mecklenburg-Vorpommerns in den beiden Landkreisen Nord- und Ostvorpommern im Nordosten der Bundesrepublik Deutschland. Das Bediengebiet erstreckt sich in weiten Teilen nahezu parallel der vorpommerschen Ostseeküste von der Insel Usedom über die überregional bedeutsamen Hansestädte Greifswald und Stralsund bis nach Barth am Rand der Halbinsel Darß (vgl. Abbildung 6-1).



Abbildung 6-1: Untersuchungsregion (LAIv MV 2021)

Dieses Gebiet wurde gewählt, weil es sich aufgrund verschiedener Mobilitätsbedürfnisse entlang der einzelnen UBB-Strecken (vgl. Kapitel 6.1.2) für die Überprüfung differenziert ausgeprägter Wittereinflüsse auf die Nachfrage gut eignet. Zudem liegen Fahrgastzahlen und weitere Daten aus Zählungen und Befragungen vor (vgl. Kapitel 6.2.1).

Die Usedomer Bäderbahn leistet einen wichtigen Beitrag für die verkehrliche Erschließung der Region Vorpommern. Nachdem sie zunächst als reine Inselbahn am 1. Juni 1995 den Betrieb auf der Insel Usedom von der Deutschen Bahn zwischen Seebad Ahlbeck und Wolgast Hafen bzw. Peenemünde übernahm, wurde das Bediengebiet über die drei nachfolgend aufgeführten Strecken weiter ausgeweitet:

- Barth - Stralsund,
- Stralsund - Świnoujście,
- Zinnowitz - Peenemünde (vgl. Abbildung 6-2).



Abbildung 6-2: Streckennetz der UBB ^{42, 43}

Von Świnoujście aus verkehren 3 Linien im Sommer und 2 Linien im Winter. Deren anderen Endpunkte befinden sich in Wolgast (nur Sommerfahrplan), Züssow und Stralsund. Auf den anderen beiden Strecken verkehrt jeweils eine Linie. Diese Linien werden in den weiteren Analysen wie nachstehend bezeichnet:

- Linie 1 (Zinnowitz - Peenemünde)
- Linie 2 (Stralsund - Barth)
- Linie 3 (Stralsund - Świnoujście)
- Linie 4 (Züssow - Świnoujście)
- Linie 5 (Wolgast - Świnoujście)

Für insgesamt 5 verschiedenen Linien können somit Zusammenhänge zwischen Wetter und Nachfrage untersucht werden. In Abhängigkeit von Streckenabschnitt und Jahreszeit wird ein Taktverkehr im 30-min- bis Zweistundentakt angeboten. Ergänzend zur Streckenübersicht in Abbildung 6-2 können Taktgefüge und systematische Fahrplanübergänge der 5 Linien untereinander im Anhang C nachvollzogen werden. Der Verkehr wird ausschließlich mit diesel-elektrischen Gelenktriebwagen der Baureihe 646 betrieben. Die Kapazität der Wagen beträgt 126 Sitzplätze sowie 91 Stehplätze, es gibt keine 1. Klasse (vgl. UBB, 2016B).

Die Region ist einerseits durch eine Konzentration touristisch beliebter Orte besonders auf der Insel Usedom als auch durch sehr dünn besiedelte Teilgebiete geprägt. Somit steht die Herausforderung, mit dem Verkehrsangebot der saisonal und regional stark variierenden Nachfrage gerecht zu werden. Greifswald und Stralsund sind die wirtschaftlichen Kernräume und stellen gemeinsam das Oberzentrum der Region dar. Die Gemeinden an der Außenküste der

⁴² Hintergrundkarte für Streckennetz: LAIV MV (2014).

⁴³ Umrisskarte Deutschland: 4TEACHERS (2014).

Insel Usedom von Karlshagen bis Ahlbeck sind Tourismusschwerpunkträume (vgl. AfRL, 2010). Die Orte Barth, Heringsdorf, Stralsund, Greifswald, Peenemünde, Wolgast und Zinnowitz stellen Schwerpunkte des Kultur- und Städtetourismus dar.⁴⁴ Wolgast dient darüber hinaus als Mittelzentrum für den nördlichen Teil der Insel Usedom.

Die mit Abstand größten Einwohnerzahlen haben Stralsund und Greifswald. Wolgast, Barth sowie die Dreikaiserbäder⁴⁵ sind die nächstgrößeren Gemeinden (vgl. Abbildung 6-3).

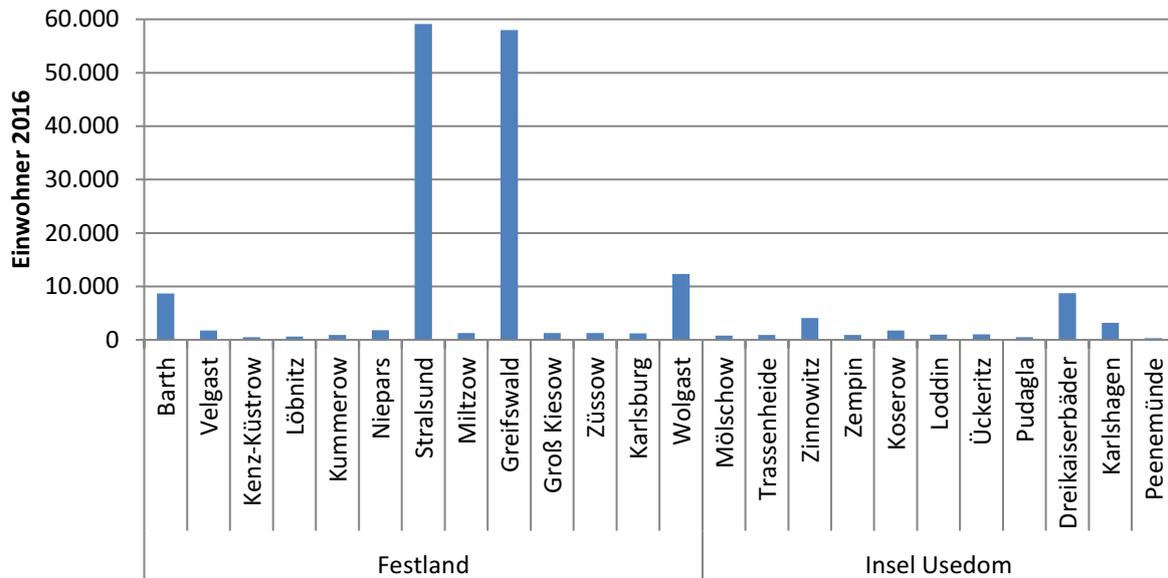


Abbildung 6-3: Einwohnerzahlen 2016 der Gemeinden entlang der UBB-Strecken (STATISTISCHES AMT MV, 2019)

Da große Teile der UBB-Strecken durch touristisch geprägte Regionen führen, kann von einem überdurchschnittlichen Anteil „freiwilliger Mobilität“ durch Urlaubs- und Freizeitfahrten ausgegangen werden. Die Vermutung liegt demzufolge nahe, dass ein messbarer Anteil des Fahrgastaufkommens durch Wettereinflüsse gesteuert wird und sich diese Einflüsse auch differenziert nach Gebiet oder Strecke darstellen lassen. Um die einzelnen Streckenabschnitte dahingehend einordnen und sachlogische Hypothesen aufstellen zu können, erfolgt vor der eigentlichen Verfahrensanwendung eine Analyse der Mobilitätsbedürfnisse.

6.1.2 Mobilitätsbedürfnisse

6.1.2.1 Berufspendler

Zur Einschätzung der Mobilitätsbedürfnisse in der Region zu Arbeitszwecken können die Pendlerzahlen (Ein- und Auspendler) Aufschluss geben. Abbildung 6-4 zeigt die Pendlerströme in der Region. Links sind die Ströme des Landkreises Vorpommern Rügen (vgl. PBV, 2013) ab 200 Ein- und Auspendlern in Summe dargestellt, rechts die Ströme getrennt nach Ein- oder Auspendlern (>100) des Landkreises Vorpommern Greifswald (vgl. IGES, 2017).

⁴⁴ Vgl. AfRL (2010), S. 15, 24 und 25.

⁴⁵ Unter diesem Begriff werden die nebeneinander liegenden Seebäder Bansin, Heringsdorf und Ahlbeck verwaltungstechnisch zusammengefasst.

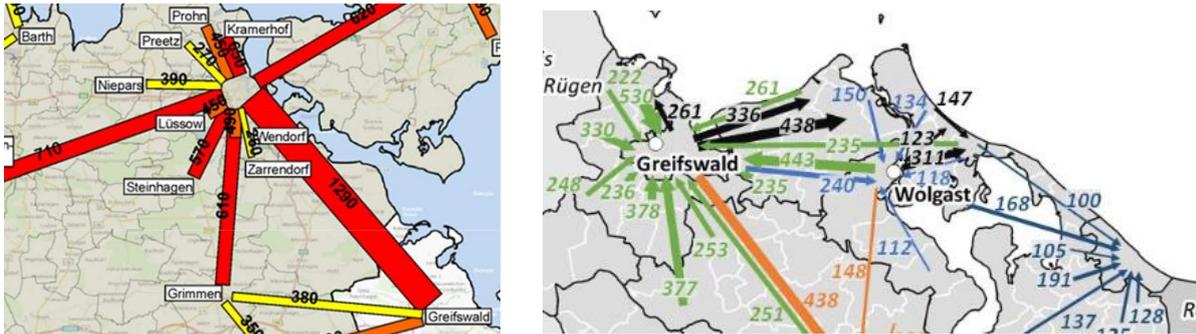
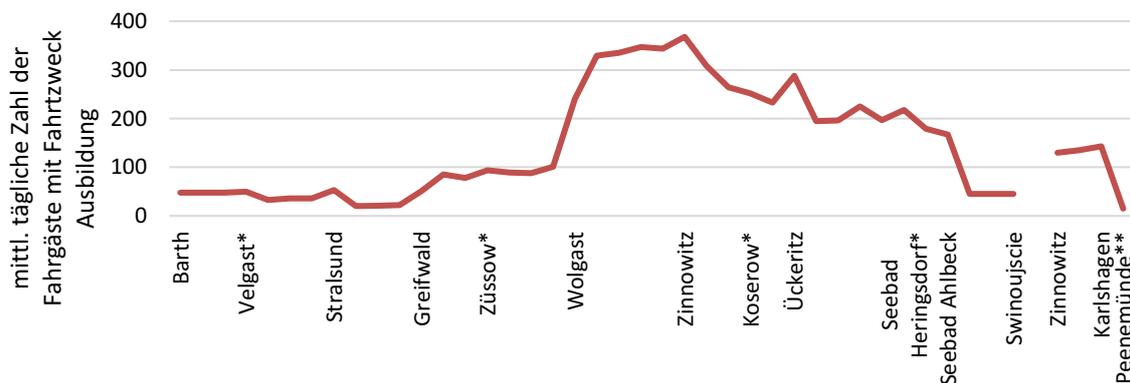


Abbildung 6-4: Pendlerströme um Untersuchungsgebiet (vgl. PBV, 2013, S. 17 und IGES, 2017, S.55)

Innerhalb des Bedienegebietes der UBB liegen die stärksten Pendlerströme zwischen den beiden Hansestädten Stralsund und Greifswald, der nächststärkste Strom zwischen Wolgast und Greifswald ist noch relevant, aber schon deutlich geringer in seiner Ausprägung. Somit werden auf diesen Relationen die größten Anteile erforderlicher Mobilitätszwecke durch den Berufsverkehr erwartet. Zu beachten ist, dass die dargestellten Zahlen sich auf das Gesamtpendlervolumen beziehen, eine Umlegung auf einzelne Verkehrsmittel kann daraus nicht abgeleitet werden.

6.1.2.2 Ausbildungsverkehr

Ausbildung gehört ebenfalls zur den erforderlichen und damit auch meist wetterunabhängigen Wegezwecken. Entlang der Strecke liegt eine Vielzahl von Schulen. Allein aus dem Vorhandensein einer Schule kann jedoch keine Aussage über die Nutzung der UBB-Züge durch Schüler abgeleitet werden. Aus Erhebungsdaten aus dem Jahr 2016 wurde dafür die mittlere tägliche Anzahl von ein- und aussteigenden Fahrgästen je UBB-Halt mit dem Fahrtzweck Ausbildung ausgewertet. In der nachfolgenden Abbildung ist die mittlere tägliche Streckennutzung durch den Ausbildungsverkehr dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden entlang der Strecke nur die Schulstandorte an der Abszisse genannt.



*nur Grundschule und keine weiterführende Schule

**keine Schule, Streckenendpunkt

Abbildung 6-5: Mittlere tägliche Streckennutzung durch den Ausbildungsverkehr (aus TU Dresden 2016)

Deutlich zu erkennen ist, dass auf den Festlandsabschnitten von Barth bis Wolgast im Gegensatz zu den Inselstrecken nur sehr schwache Schülerströme vorhanden sind. Zwischen Wolgast und Zinnowitz ist die Belastung durch Schüler am höchsten, Richtung Dreikaiserbäder

nimmt diese nach und nach wieder ab. Auch zwischen Karlishagen und Zinnowitz nutzen Schüler in einer nicht zu vernachlässigenden Größenordnung die Züge. (vgl. Abbildung 6-5)

6.1.2.3 Freizeit und Tourismus

Freizeitmöglichkeiten gibt es in fast jedem Ort auf der Insel sowie in den größeren Städten auf dem Festland. Abbildung 6-6 zeigt die Lage der wichtigsten touristischen Ziele entlang der UBB-Strecken. Die Darstellung basiert auf einer umfassenden Recherche von Informationen touristischer Anbieter sowie Kenntnissen der Autorin über das Untersuchungsgebiet. Die Angaben erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, die Darstellung soll jedoch aufzeigen, wo die Schwerpunkte der Freizeitziele der Fahrgäste liegen.



Abbildung 6-6: Lage von Freizeiteinrichtungen entlang der UBB-Strecken

Auf die Darstellung von einzelnen Unterkunftsmöglichkeiten wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Beherbergungsmöglichkeiten gibt es nahezu überall entlang der Inselküste sowie ebenfalls in den größeren Städten Wolgast, Stralsund, Greifswald und Barth. Dies geht aus Statistiken der Ankünfte und Übernachtungen hervor (STATISTISCHES AMT MV 2017). Abbildung 6-7 zeigt die Anzahl der Gästeankünfte und Übernachtungen in den relevanten Orten mit mehr als 3.000 Ankünften im Jahr für das Jahr 2016. Resultierend aus diesen beiden Größen wurde die mittlere Übernachtungsdauer als Verhältnis der Übernachtungen zu den Ankünften in den einzelnen Orten ermittelt und mit dargestellt.

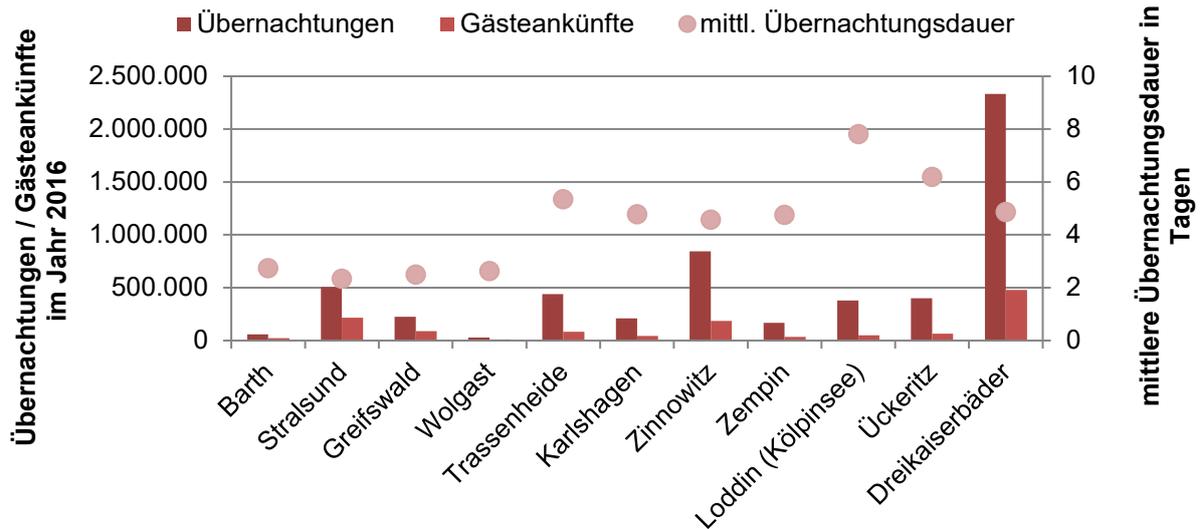


Abbildung 6-7: Übernachtungen und Gästeankünfte 2016 der Orte mit über 3.000 Ankünften sowie resultierende mittlere Übernachtungsdauer (Statistisches Amt MV 2017)

In den Dreikaiserbädern sind mit Abstand die meisten Ankünfte und Übernachtungen zu verzeichnen, Zinnowitz und Stralsund folgen mit einigem Abstand. Barth und Wolgast spielen bei der Beherbergung nur eine untergeordnete Rolle. Die mittlere Übernachtungsdauer ist auf dem Festland deutlich geringer als auf der Insel. Das lässt den Schluss zu, dass vor allem nach Stralsund und Greifswald mehr Tagesausflüge unternommen werden, während auf der Insel längere Aufenthalte präferiert werden.

6.1.3 Frequentierung der Streckenabschnitte

Die Frequentierung der einzelnen Streckenabschnitte geht stark einher mit der touristischen Frequentierung der Region und den Schülerverkehren. Es bestehen deutliche Unterschiede zwischen Sommer und Winter bei der Nachfrage. Daraus können u. a. Erkenntnisse bezüglich der Belastung der Strecken durch Berufspendler und Schüler abgeleitet werden.

In Abbildung 6-8 ist die mittlere tägliche Streckenbelastung zwischen den einzelnen Zugangsstellen entlang der Strecke für den Sommer 2014 und den Winter 2015 dargestellt. Die Zahlen vom Winter sind zwischen Stralsund und der Insel deutlich geringer als im Sommer. Lediglich zwischen Barth und Stralsund verändert sich die Größenordnung zwischen Winter und Sommer kaum, was wiederum die geringe Nutzung dieser Strecke zu touristischen Zwecken belegt. Auf den Streckenabschnitten der Insel Usedom liegen sommers wie winters die höchsten Belastungen. Am stärksten sind diese im Sommer zwischen Zinnowitz und den Dreikaiserbädern.

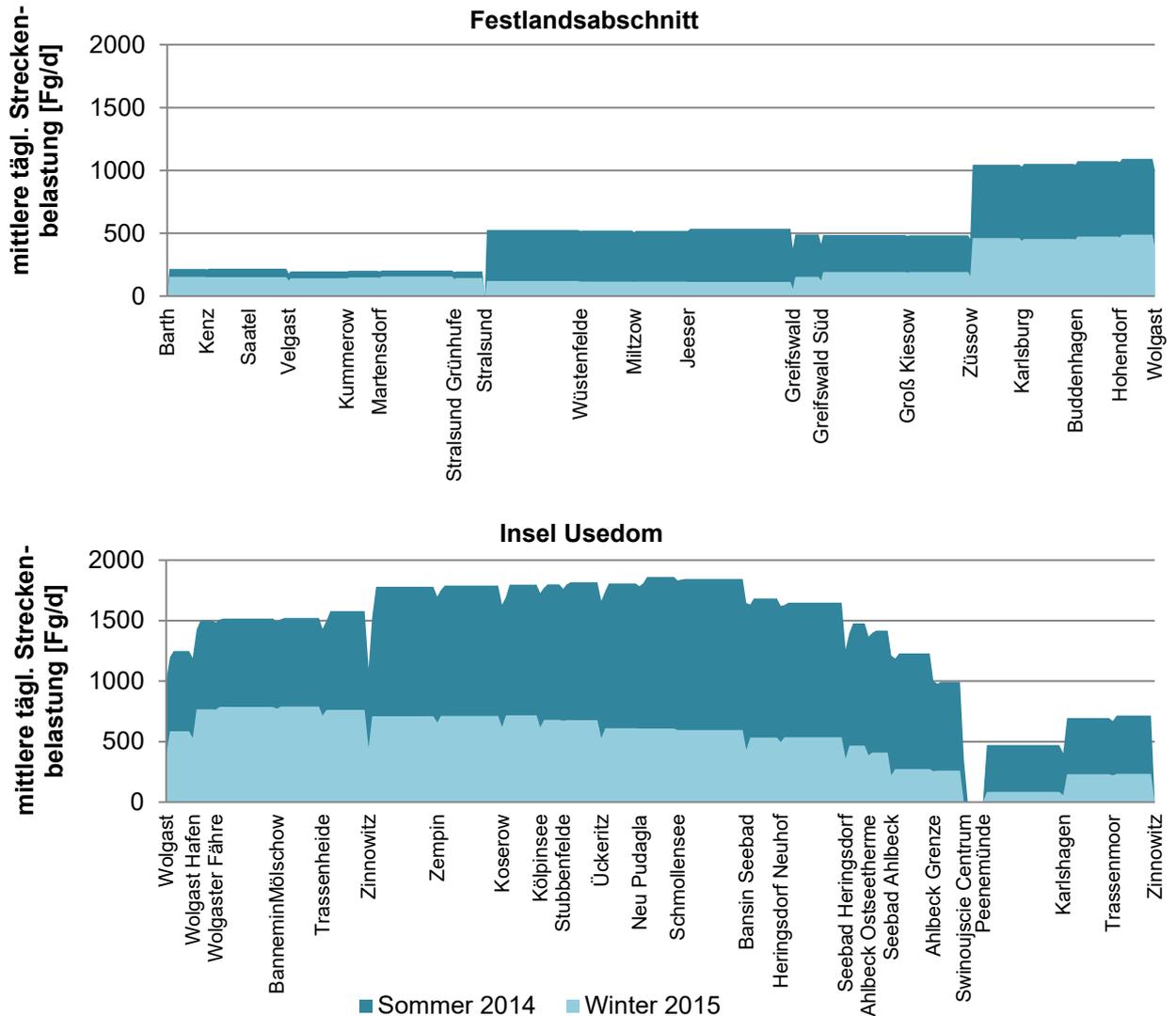


Abbildung 6-8: Mittlere tägliche Gesamtstreckenbelastung Montag – Freitag (aus TU Dresden 2015/2016)

6.1.4 Fahrtzwecke und Einschätzung der Wettereinflüsse auf das Fahrgastaufkommen einzelner Streckenabschnitte

Die einzelnen Streckenabschnitte werden zu recht unterschiedlichen Zwecken frequentiert. Dies ermöglicht eine differenzierte Untersuchung wetterbedingter Kapazitätseinflüsse in Abhängigkeit der verschiedenen Fahrgastcharakteristiken. Zudem unterscheiden sich die Fahrgastzahlen und der Anteil der vertretenen Fahrgastgruppen erheblich, auch hierdurch sind unterschiedliche wetterbedingte Ergebnisse zu erwarten. Den Fahrtzwecken Arbeit und Ausbildung wird nahezu keine Flexibilität der Durchführung der Fahrt eingeräumt, bei den Fahrtzwecken Versorgung sowie An-/Abreise ist die Flexibilität etwas höher. Am höchsten ist diese jedoch bei Freizeitaktivitäten. Je höher dieser Anteil ist, umso wahrscheinlicher wird ein Einfluss des Wetters auf das Fahrgastaufkommen (vgl. Kapitel 2.2.)

Um die Zusammensetzung des Fahrgastaufkommens hinsichtlich „erforderlicher“ bzw. „freiwilliger“ Mobilität (vgl. Kapitel 2.1) noch besser einschätzen zu können, wurden die Fahrtzwecke der drei UBB-Strecken anhand von Befragungsdaten aus den vorliegenden Erhebungen ausgewertet. Die etwa 115 km lange Strecke von Stralsund nach Świnoujście wurde in einen

Festlands- und einen Inselabschnitt unterteilt, da aufgrund der unterschiedlichen Charakteristik des Bedienggebietes ein erheblicher Unterschied zwischen den Freizeitanteilen besteht. Die Auswertung erfolgte getrennt für die Winter- und Sommererhebungsperioden. Die Anteile der einzelnen Fahrtzwecke sind in Abbildung 6-9 dargestellt.

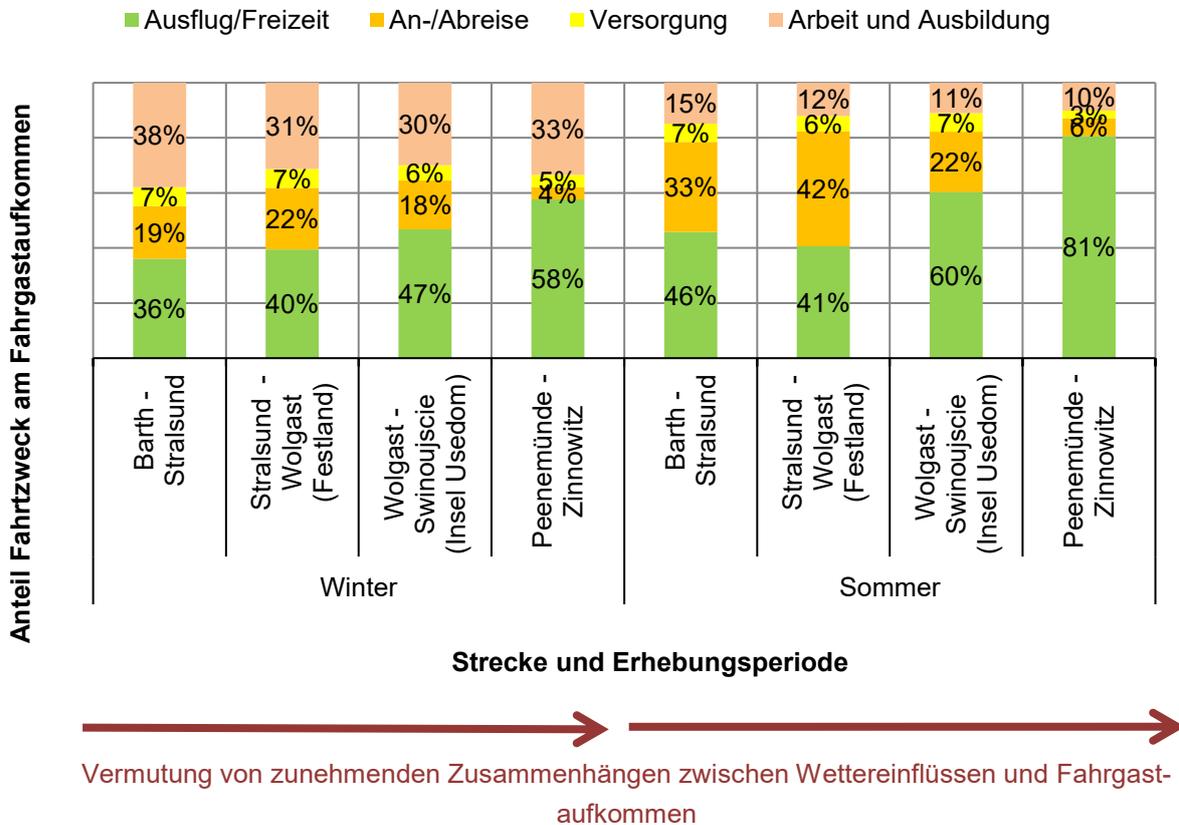


Abbildung 6-9: Anteile der Fahrtzwecke nach Streckenabschnitt und Erhebungsperiode (eigene Auswertungen, Daten aus TU DRESDEN 2016)

Im Winter sind die Anteile für Freizeitaktivitäten und An-/Abreise zwar grundsätzlich geringer, die Unterschiede zwischen den einzelnen Strecken haben aber die gleiche Ausprägung wie im Sommer. Darüber hinaus wird deutlich, dass auch im touristisch aufkommensschwächeren Winter die Anteile der zu Freizeit Zwecken getätigten Fahrten über dem MiD-Mittelwert von 28 Prozent (vgl. Kapitel 2.3) liegt. Allerdings unterliegen die einzelnen Streckenabschnitte recht unterschiedlichen Schwankungen zwischen Sommer und Winter.

Diese Anteile können mit den vorangestellten Auswertungen zum Untersuchungsgebiet gut in Verbindung gebracht werden. Nachfolgend werden die analysierten Mobilitätsbedürfnisse und die Freizeit zwecke entlang den einzelnen Streckenabschnitte gegenübergestellt.

Die Strecke Barth - Stralsund verbindet den kleinen Urlaubsort Barth, der vergleichsweise wenig Gästeankünfte und Übernachtungen aufweist, mit der Hansestadt Stralsund. Zwischen dem Oberzentrum Stralsund und Barth gibt es auch keine weiteren touristisch attraktiven Orte (vgl. Abbildung 6-6). Nennenswerte Pendler- und Schülerströme liegen ebenfalls nicht auf der Relation. Die Fahrgastzahlen sind daher recht gering. Der Anteil an Fahrten, die zu Freizeit zwecken getätigt wurden, ist auf dieser Strecke mit 36 Prozent im Winter am geringsten. Im

Sommer steigt er leicht um 10 Prozentpunkte an. Eine Wetterabhängigkeit der Nachfrage wird auf dieser Strecke daher vermutlich nicht sehr ausgeprägt sein.

Die Strecke Stralsund - Świnoujście verbindet die Küstenorte der Urlaubsregion Insel Usedom sowohl untereinander als auch mit den Hansestädten Greifswald und Stralsund. Auf dem Festlandsabschnitt zwischen Stralsund und Wolgast ist die Nachfrage deutlich geringer als auf der Insel. Auch verändert sich dort der Anteil der Freizeitwecke zwischen Winter und Sommer kaum und liegt bei etwa 40 Prozent, dafür steigt der Anteil der Fahrten zu An- und Abreise im Sommer wesentlich an. Auf dem Festlandsabschnitt sowie auf der Strecke nach Barth werden die Züge zwar verstärkt im Sommer auch für die An- und Abreise genutzt, für Ausflüge jedoch in geringerem Maße als die Strecken auf der Insel. Daher wird auf dem Festlandsabschnitt ein geringerer Wettereinfluss auf das Fahrgastaufkommen vermutet als auf dem Inselabschnitt.

Entlang des Inselabschnittes Wolgast - Świnoujście werden mehrere Ostseebäder bzw. Urlaubsorte mit hohem Freizeitwert auf direktem Wege miteinander verbunden. Die Pendlerströme dagegen sind gering. Das wirkt sich messbar auf die Fahrtzwecke aus. Der Inselabschnitt hat schon im Winter mit 47 Prozent einen höheren Anteil der Freizeitwecke als der Festlandsabschnitt, im Sommer steigt dieser auf 60 Prozent an.

Der Nordteil der Insel Usedom wird durch die Strecke Peenemünde - Zinnowitz bedient. Der Endpunkt Peenemünde war vor der Wiedervereinigung aufgrund seiner militärischen Nutzung und Bedeutung Sperrgebiet, heute befindet sich in diesem Ort eine auf der Insel einmalige Konzentration von Ausstellungen und Museen. Die Einwohnerzahl ist dagegen gering. Die Strecke Zinnowitz-Peenemünde weist daher sowohl im Winter als auch im Sommer die höchsten Anteile von Freizeitwecken auf. Hier wird der höchste wetterbedingte Einfluss auf das Fahrgastaufkommen vermutet, allerdings besteht auf dieser Strecke auch ein nicht zu vernachlässigender Schülerverkehr.

Die vorangegangenen Betrachtungen für das Untersuchungsgebiet sind nicht zwingend für die nachfolgende Verfahrensanwendung erforderlich. Im Rahmen diese Arbeit wurden sie jedoch vorgenommen, um die Aussagefähigkeit der Ergebnisse und somit die Eignung des nachfolgend angewandten Verfahrens überprüfen zu können.

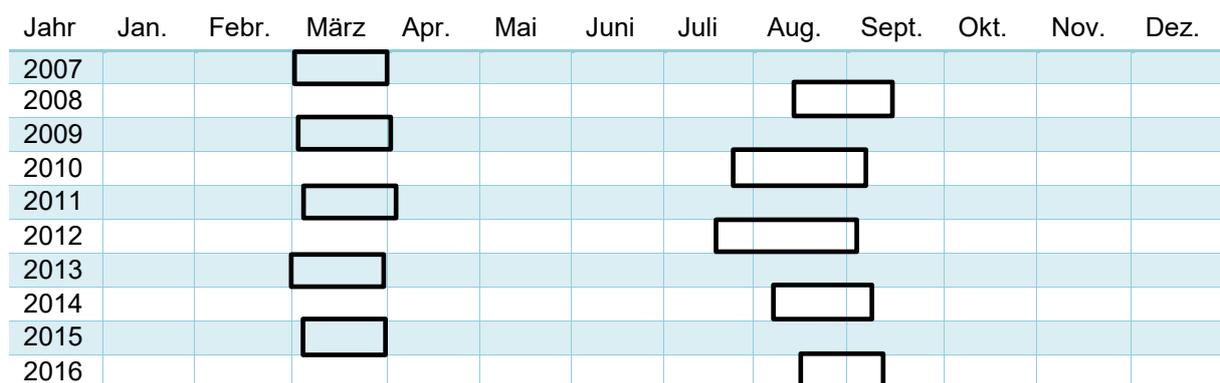
6.2 Datengrundlage

6.2.1 Nachfragedaten und Untersuchungszeitraum

Ein wesentliches Kriterium für die Auswahl des Untersuchungsgebietes war neben der erwarteten unterschiedlichen Ausprägung der Wetterabhängigkeit der Nachfrage die Verfügbarkeit von Daten zum Fahrgastaufkommen. Im Auftrag der UBB wurden zwischen 1999 und 2016 durch die Professur Bahnverkehr und öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr mindestens einmal im Jahr Fahrgasterhebungen und Befragungen durchgeführt. Diese Daten liegen der Autorin vollständig und uneingeschränkt vor. Die Erhebungen und Befragungen fanden über die Jahre immer nach einem gleichbleibenden standardisierten Verfahren statt. Alle erfassten Daten wären somit grundsätzlich miteinander vergleichbar. Der Untersuchungszeitraum für diese Arbeit wurde auf die Jahre 2007 bis 2016 eingegrenzt, da es in dem Gesamterhebungszeitraum seit 1999 zu große Veränderungen in Demografie, Tourismus und in der Angebotsausgestaltung gab und somit die Vergleichbarkeit der Daten nicht gegeben wäre. Inwieweit von einer Vergleichbarkeit der grundsätzlichen Nachfrage aus den Erhebungszeiträumen über diese 9 Jahre ausgegangen werden kann, wurde durch eine weitere Analyse nachfragebeeinflussender Kriterien überprüft. Dabei konnten keine über die Jahre systematisch wirkenden Faktoren ausgemacht werden. Eine Vergleichbarkeit der Daten liegt somit vor.

Die erforderlichen Untersuchungen zur Vergleichbarkeit der Daten wurden im Rahmen dieser Arbeit durch die Autorin selbst durchgeführt, aufgrund der geringen Relevanz für die Beantwortung der Forschungsfragen aber nicht in diese Arbeit integriert. Zum Verständnis der Eingrenzungen befinden sich im Anhang C ergänzende Erläuterungen zur Vergleichbarkeit der Analysedaten und zur Eingrenzung des Untersuchungszeitraumes.

Die Erhebungszeiträume der für die Analyse ausgewählten Fahrgastzählungen in den Zügen der UBB sind in Abbildung 6-10 dargestellt. Die Sommer- und Wintererhebungen fanden im regelmäßigen Wechsel jeweils alle 2 Jahre statt.



■ Erhebungszeiträume

Abbildung 6-10: Erhebungszeiträume

Die Stichproben enthalten die Fahrgastzahlen aller UBB-Züge für zwei Tagesgruppen (Mo-Fr, SaSo) in vergleichbaren Zeiträumen. Parallel zu den Fahrgastzählungen fanden in den Zügen

Befragungen zu Herkunft, Strecke, Fahrtzweck und Fahrausweis statt. Die befragten Kenngrößen können somit zug- und taggenau für vertiefende Auswertungen hinzugezogen werden und wurden bereits für Aussagen im Kapitel 6.1 verwendet.

Da die meisten Freizeitwege erst nach 8 Uhr beginnen (vgl. Abbildung 2-13 auf Seite 15) wurden Fahrten in den frühen Morgenstunden nicht in die weiteren Analysen einbezogen. Der Freizeitanteil dieser Fahrten im Anwendungsbeispiels liegt durchweg bei unter 5 Prozent, wetterabhängigen Schwankungen werden daher keine relevante Bedeutung in Bezug auf das Gesamtaufkommen in den frühen Morgenstunden beigemessen. Fahrten nach 18 Uhr wurden ebenfalls aus der Analyse ausgeschlossen. Die Gesamtnachfrage nach 18 Uhr lag durchweg unter 10 Prozent der Tages-Gesamtnachfrage und die Besetzung der einzelnen Züge bis zum Betriebsschluss gegen Mitternacht war in der Regel so gering, dass wetterbedingte Schwankungen wiederum kaum messbar wären und auch wenig Einfluss auf die Auslastung hatten.

6.2.2 Wetterdaten

Für die ausgewählten Erhebungszeiträume werden Wetterdaten benötigt, um diese der Nachfrage gegenüberzustellen zu können. Folgende Faktoren wurden für die Kategorisierung der Wetterzustände (vgl. Kapitel 6.3.1) benötigt:

- mittlere und maximale Tagestemperatur,
- Sonnenscheindauer,
- stündliche und tägliche Niederschlagsmenge, Neuschneehöhe,
- Windgeschwindigkeit.

Im Untersuchungsgebiet gibt es mehrere Messstationen des Deutschen Wetterdienstes (vgl. Abbildung 6-11), der Umfang der aufgezeichneten Wetterparameter kann sich jedoch unterscheiden.



Abbildung 6-11: Wetterstationen im Untersuchungsgebiet (nach DWD 2019A)

Die Daten stehen in dem frei zugänglichen Portal WESTE-XL des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2018) tages- bzw. stundenfein uneingeschränkt zur Verfügung. Nach einem Vergleich der Werte aller Messstationen entlang der Strecken wurden die Wetterstationen Barth und

Karlsbagen als Repräsentanten für das Untersuchungsgebiet ausgewählt, da diese alle benötigten Daten bereitstellten (vgl. Kapitel 6.3.1) und die Abweichungen zu anderen infrage kommenden Stationen wie Stralsund, Greifswald oder Wolgast vernachlässigbar waren.

6.2.3 Fahrzeugeinsatzdaten

Die Usedomer Bäderbahn fährt ausschließlich mit Triebwagen der Baureihe 646 in Einfach-, Doppel- oder Dreifach-Traktion. Die geplante Kapazität wurde aus den Triebfahrzeugeinsatzplänen entsprechend der Informationen über das Zusammensetzen bzw. Trennen der Einheiten je Zug errechnet. Abbildung 6-12 zeigt einen Ausschnitt des Fahrzeugeinsatzplanes.

Wolgast - Übergabezeiten der Triebfahrzeuge W(Sa) Schulzeit
03:45 RB 29 402 1 x 646 einsetzen
04:11 Lt 24 101 1 x 646 einsetzen
05:26 RB 29 404 1 x 646 abkuppeln Übergang auf 29 407
05:30 RB 29 407 1 x 646 einsetzen Tzf aus 29 404
08:55 RB 24 763 1 x 646 einsetzen
09:55 RB 24 865 1 x 646 einsetzen
18:55 RB 24 876 1 x 646 aussetzen Übergang Di-Sa auf 24 865, Sa auf 24 967
19:26 RB 29 435 1 x 646 abkuppeln Übergang Di-Sa auf 24 763
21:26 RB 29 436 1 x 646 aussetzen Übergang Di-Fr auf 24 101, Sa auf 29 449
23:24 RB 29 440 1 x 646 aussetzen Übergang Di-Sa auf 29 402

Abbildung 6-12: Ausschnitt aus Triebfahrzeugeinsatzplan Nr. 06/2016 der UBB (aus UBB 2016A)

Anhand dieser Informationen wurde fahrtgenau der Fahrzeugeinsatz mit Hilfe des zur Erhebungszeit gültigen Fahrzeugeinsatzplanes und des Fahrplans ermittelt.

Wetter- und Nachfragedaten bedürfen einer weiteren Aufbereitung, bevor eine statistische Analyse der Abhängigkeit der Nachfrage vom Wetter erfolgen kann. Die Notwendigkeit der Aufbereitung und Kategorisierung dieser Daten für die weiterführenden Analysen wurde in Abschnitt 5.3 erörtert, die folgenden Kapitel beschreiben das Vorgehen für das Anwendungsbeispiel.

6.3 Datenaufbereitung (Verfahrensstufe 1)

6.3.1 Aufbereitung der Wetterdaten

Für eine Betrachtung von Zusammenhängen zwischen Wetter und dem Fahrgastaufkommen stellt sich die Frage nach verkehrlich signifikanten Wetterzuständen. Aufgrund der Lage des Untersuchungsgebietes entlang der Ostseeküste wird der Strandbesuch im Sommer als ein wesentlicher Freizeitweck vorausgesetzt. Intention zu dieser Arbeit war auch die Fragestellung, ob - im Gegensatz beispielweise zu Wanderregionen - nicht eher bei schlechtem Wetter die Nachfrage steigt, da verstärkt Ausflüge unternommen werden. Es wurde sich für eine 5-stufige Kategorisierung entschieden, die in der nachfolgenden Tabelle dargestellt ist.

Tabelle 6-1: Kategorisierung der Wetterzustände

Wetterkategorie	Merkmale	Beschreibung
1 / (2*)	≥ 28 °C Tageshöchsttemperatur < 0,2 mm Niederschlag	Strandwetter, heiß
2 / (3*)	≥ 25 °C < 28 °C Tageshöchsttemperatur ≤ 0,2 mm Niederschlag ≥ 50 % Sonnenscheindauer	Strandwetter
3 / (4*)	< 25 °C Tageshöchsttemperatur ≤ 0,2 mm Niederschlag in max. 1 h zwischen 9 und 17 Uhr	kühleres Wetter, aber kein Niederschlag
4 / (5*)	≤ 15 mm Niederschlag in max. 3 h zwischen 9 und 17 Uhr	Schauerwetter
5	alle verbleibenden	viel Niederschlag (starker Wind)
*: Hochstufung der Klasse um +1 (bis max. 5)	≥ 10 m/s max. Windgeschwindigkeit zwischen 8 und 11 Uhr	starker Wind (ab Stufe 6 der Beaufortskala)

Bei der Festlegung der Kategorien und ihrer Merkmale wurden insbesondere auch die Ergebnisse einer Befragung von SCOTT ET AL. (2007) zu optimalen Wetterbedingungen für einen Strandbesuch berücksichtigt (vgl. Kapitel 2.4, Abbildung 2-14 und Tabelle 2-1).

Für die weiteren Untersuchungen werden Tageshöchsttemperaturen im Untersuchungsgebiet ab 25 °C grundsätzlich als Strandwetter klassifiziert, es wird außerdem zwischen heißem Strandwetter (ab 28 °C) und schönem Strandwetter differenziert. Für eine weitere Abstufung und Kategorisierung der Wetterverhältnisse wurden weitere Differenzierungen als sinnvoll und notwendig erachtet. Diese Faktoren wurden dafür direkt ausgewertet bzw. weiteren Eingrenzungen wie folgt unterzogen:

- Tageshöchsttemperatur (ab 25 °C ist Strandwetter)
- Stundenfeine Niederschlagsmenge in der Zeit zwischen 9 und 17 Uhr (geringe Niederschlagsmengen bis 0,2 mm/h werden dabei vernachlässigt, da diese keine Einschränkungen für Aktivitäten darstellen sollten)
- Relative Sonnenscheindauer (bezogen auf die Tageslänge⁴⁶ als Zeitraum zwischen Sonnenauf- und Sonnenuntergang des jeweiligen Erhebungstages für den Ort Stralsund)
- Anzahl der Stunden mit Niederschlagsmengen über 0,2 mm zwischen 9 und 17 Uhr (zur Einschätzung der Regendauer über den möglichen Aktivitätszeitraum)
- Max. Windgeschwindigkeit in den Vormittagsstunden zwischen 8 und 11 Uhr (es wird angenommen, dass eintretender starker Wind am Nachmittag die Entscheidung zur Durchführung der touristischen Aktivität nicht so stark beeinflusst wie am Vormittag)

Für alle Annahmen wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um die Wirkung von Veränderungen der Merkmale zu überprüfen. In deren Ergebnis wurde sich für die in Tabelle 6-1 beschriebenen fünf Wetterkategorien in Bezug auf das Durchführen von Freizeitaktivitäten im Untersuchungsgebiet entschieden.

⁴⁶ Ermittelt mit Hilfe von SUNRISE-AND-SUNSET (2018).

Jedem Erhebungstag wurde eine Wetterklasse zugewiesen, die aus den einzelnen Wetterfaktoren des Tages resultiert. Die Zuordnung der Wetterkategorien zu den Zähl­daten erfolgt anhand des Datums.

Auch wenn versucht wurde, eine sinnvolle Kategorisierung vorzunehmen, besteht durch das Setzen von objektiven „harten“ Grenzwerten immer die Gefahr, das Wetter anders einzuschätzen, als es durch das subjektive Empfinden der betroffenen Personengruppen erfolgt. Im Anwendungsfall beispielsweise treten Fälle auf, in denen durch mäßigen Regen trotz hohen Temperaturen am Tage aufgrund der Grenzwerte eine Zuordnung zur Kategorie 4 erfolgt. In diesen Fällen kann aber nicht sicher eingeschätzt werden, wie sich die Situation vor Ort tatsächlich für den Einzelnen dargestellt hat. Für die Zielstellung wurde diese Unschärfe akzeptiert, da in der Stichprobe alle Wetterkategorien in einem erwarteten Verhältnis zueinander präsent waren. Die Anteile der einzelnen Wetterkategorien in den Stichproben sind in Abbildung 6-13 dargestellt.

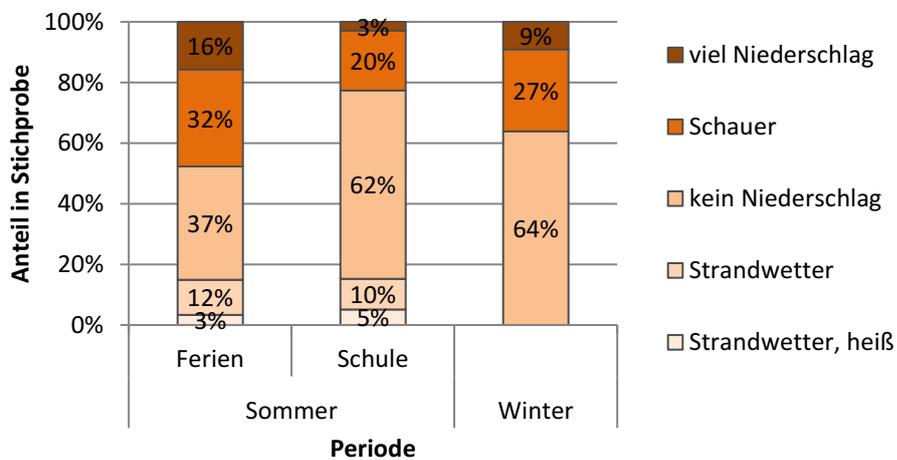


Abbildung 6-13: Anteile der Tage mit den einzelnen Wetterkategorien in der Stichprobe

Allerdings entspricht die Anzahl der Fälle der einzelnen Schichtungen in der Stichprobe (vgl. Kapitel 6.2.1) u. a. durch diese 5- bzw. 3-stufige Wetterkategorisierung nicht in jedem Falle dem angestrebten Umfang (vgl. Kapitel 5.2.1 und Formel (1)). Im Anhang F sind die abgeschätzten erforderlichen Stichprobenumfänge den vorhandenen je Schichtung gegenübergestellt. Auch wenn somit Defizite hinsichtlich des Stichprobenumfangs bestehen, erfolgt anhand der vorliegenden Daten die Erprobung des Verfahrens, da es vordergründig um die Demonstration der Vorgehensweise und nicht um das Ableiten konkreter Maßnahmen für das Untersuchungsgebiet geht. Sollen die Erkenntnisse aus dieser Arbeit auf das Untersuchungsgebiet übertragen werden, sind ergänzende Betrachtungen auf der Grundlage weiterer Nachfragedaten erforderlich.

6.3.2 Aufbereitung der Fahrgastaufkommensdaten

6.3.2.1 Rohdaten

Die noch nicht aufbereiteten Rohdaten der Stichprobe enthalten linienfein für jede gezählte Fahrt einen Datensatz mit Datum, Zugnummer, Abfahrtszeit am Startpunkt sowie die Anzahl

von Ein- und Aussteigern an jeder Haltestelle. Insgesamt handelt es sich um etwa 1.700 Datensätze. Aus diesen wurden die für die weiteren Analysen benötigten Parameter Einsteigersumme, maximale Besetzung je Fahrt, Liniennummer, (Fahrt-)Richtung, Periode, sowie Stunde ermittelt. Tabelle 6-2 zeigt zur Veranschaulichung einen Auszug aus der Stichprobe. Dieses Beispiel enthält vier Datensätze für eine Fahrt, die an vier verschiedenen Tagen erhoben wurde.

Tabelle 6-2: Beispieldatensätze der Fahrgastzählung

<i>Zugnummer</i>	<i>Datum</i>	<i>Abfahrtszeit (Starthaltestelle)</i>	<i>Einsteigersumme</i>	<i>maximale Besetzung</i>	Linie	Richtung	Periode	Stunde
29427	01.09.2008	15:07	214	137	4	Swi	S	15
29427	07.09.2008	15:07	125	74	4	Swi	S	15
29427	18.08.2010	15:04	279	161	4	Swi	S	15
29427	26.08.2010	15:04	220	122	4	Swi	S	15

Die kursiv dargestellten Parameter in der Tabelle kommen direkt aus den Rohdaten, die nicht-kursiv dargestellten Parameter werden für die notwendigen Schichtungen und Kategorisierungen benötigt und daraus abgeleitet.

Die Einsteigersumme repräsentiert die Nachfrage je Fahrt und geht in der Verfahrensstufe 2 kategorisiert in die Analyse zu Zusammenhängen zwischen Wetterkategorien und Aufkommenskategorien ein. Wie diese Kategorisierung durchgeführt wurde, wird im Kapitel 6.3.2.3 erläutert. Aus der maximalen Besetzung wird die erforderliche Kapazität für die weiteren Analysen in der Verfahrensstufe 3 ermittelt. Wie dabei vorgegangen wurde, ist im Kapitel 5.5 erklärt.

Je Erhebungsperiode wurde jede Fahrt des Fahrplanes ein- bis zweimal in der Tagesgruppe Montag - Freitag erhoben und einmal in der Tagesgruppe Samstag/Sonntag. Da sich über die Jahre die Abfahrtszeiten und teilweise auch die Zugnummern veränderten, gibt es in den Datensätzen keine sichere konstante Bezugsgröße für direkt vergleichbare Fahrten. Deshalb wurde für alle Datensätze zunächst eine Vereinheitlichung der über die Jahre unterschiedlichen Zugnummern für gleiche Fahrten durchgeführt.

Weiterhin erfolgte eine Normierung der über die Jahre leicht schwankenden Abfahrtszeiten auf die volle Stunde, denn dieser Bezug wird für die in Kapitel 5.3.3.1 beschriebene fahrtbezogene Kategorisierung (vgl. Kapitel 6.3.2.3) benötigt. Für die Abgrenzung der einzelnen Fahrten im Tagesverlauf untereinander reichte diese stundenfeine Betrachtung aufgrund der Fahrtenhäufigkeit (1 h- bzw. 2 h-Takt) für das Anwendungsbeispiel aus.

Da die Anzahl der notwendigen Schichtungen für die statistischen Analysen so gering wie möglich sein sollte (vgl. 5.3.3), wurden der Kategorisierung des Fahrgastaufkommens sowie den statistischen Analysen Untersuchungen zur Schichtungstiefe nach Erhebungsperiode und Linie vorangestellt.

6.3.2.2 Schichtung nach Erhebungsperiode und Linie

Die saisonal unterschiedliche Frequentierung der Strecken (vgl. Abschnitt 6.1.3) führte zu der Annahme, dass die Daten aus den Winter- und Sommerperioden getrennt analysiert werden sollten. Zur Überprüfung der Annahme wurden linienfeine Streuungs- und Lagemaße ausgewertet, diese sind in Abbildung 6-14 nach Linie und Periode in Boxplots dargestellt.

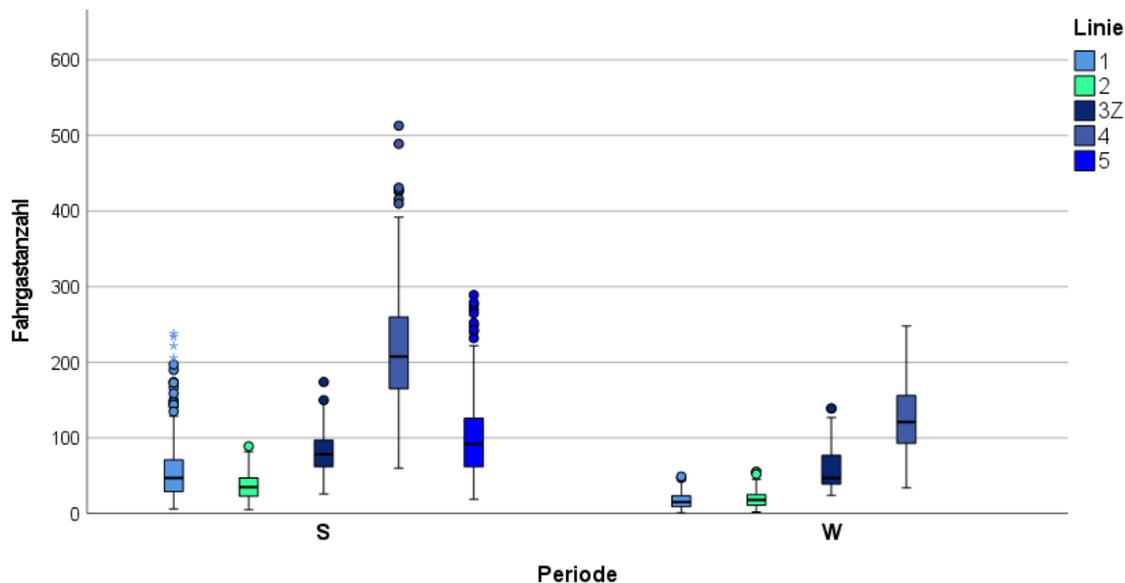


Abbildung 6-14: Boxplots mit Streuungs- und Lagemaßen der Stichprobendaten (Linienlegende siehe Abkürzungsverzeichnis)

In der „Box“ ist der Bereich dargestellt, in dem 50 % der Werte liegen, der Median ist darin durch eine horizontale Linie gekennzeichnet. Die Länge der als Whisker bezeichneten „Antennen“ gibt Auskunft zur Streuung der Werte, ist aber auf das 1,5-fache der Box begrenzt. In dieser Darstellung werden auch Ausreißer (einzelne, weitab außerhalb der Antennen liegende Punkte) sehr gut sichtbar. Einzelne Ausreißer wurden für die weiterführenden Untersuchungen eliminiert, da im Nachhinein die Gründe für einzelne extreme Ausschläge nicht mehr nachvollzogen werden können und diese Einzelereignisse die Analysen nicht verfälschen sollen. Die Stichprobe enthält nach dieser Bereinigung 1.664 auswertbare Datensätze.

Die Boxplots zeigen erwartungsgemäß ein sehr differenziertes Bild sowohl nach Linie als auch nach Periode, weshalb die Analysen grundsätzlich nach Linie und Periode getrennt durchgeführt werden. Die linienfeine Betrachtung ist auch aufgrund der unterschiedlichen Streckencharakteristiken und den daraus resultieren unterschiedlichen Anteilen an Fahrten zu Freizeit Zwecken (vgl. Kapitel 6.1.4) sinnvoll. Da die Boxplots der Linien 3 und 4 sich jedoch sehr ähnlich sehen, wurde geprüft, ob diese beiden Linien gemeinsam ausgewertet werden können. Um konkretere Anhaltspunkte für diese Möglichkeit zu bekommen, wurden die Histogramme und deskriptive Kennwerte beider Stichproben verglichen (vgl. Abbildung 6-15).

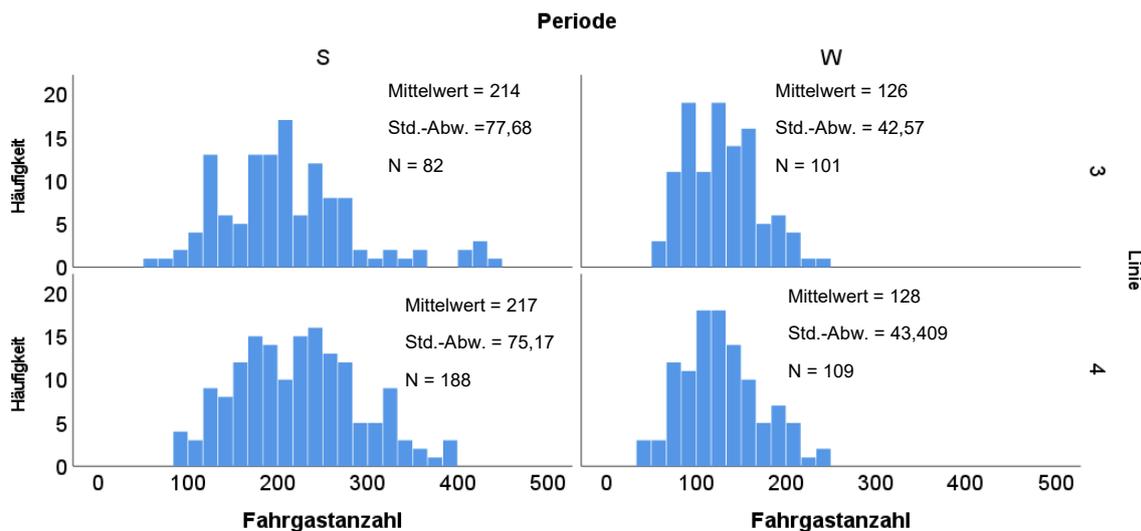


Abbildung 6-15: Verteilung des Fahrgastaufkommens zwischen Züssow und Świnoujście für die Linien 3 (Stralsund – Świnoujście) und 4 (Züssow – Świnoujście)

Mittelwerte und Standardabweichungen sind je Periode miteinander vergleichbar. Das erklärt sich aus der Tatsache, dass die Züge der Linie 4 immer Anschluss in Züssow von und nach Stralsund bei nahezu identischer Beförderungszeit haben und somit der Umstieg die Wahl der Linie nicht maßgebend bestimmt. Daher werden die Züge der durchgängigen Linie 3 für die Untersuchungen in Züssow gebrochen und die Daten zwischen Züssow und Świnoujście mit denen der Linie 4 zusammengefasst, wodurch für diese Linie eine größere Stichprobe für die weiteren Auswertungen vorliegt. Die Nachfrage zwischen Stralsund und Züssow wird weiterhin separat als Linie 3Z untersucht.

Anhang E enthält alle Histogramme für die gewählte Liniendifferenzierung. Der Stichprobenumfang N für die einzelnen Schichtungen ist darin ebenfalls ausgewiesen.

Der Wertebereich in der Stichprobe für die einzelnen Fahrten besteht aus 15 bis 30 Werten. Dieser wird als zu gering für eine aussagefähige Zusammenhangsanalyse eingeschätzt – auch weil noch weitere Differenzierungen nach Tagesart erfolgen. Zur Herstellung der Vergleichbarkeit mit der Nachfrage weiterer Fahrten wird daher eine Kategorisierung sowohl fahrtbezogen als auch tagesbezogen vorgenommen (vgl. Kapitel 5.3.3). Die Vorgehensweise für das Anwendungsbeispiel wird im Kapitel 6.3.2.3 erläutert. Bei den nachfolgenden Untersuchungen zu Zusammenhängen zwischen Wetterkategorie und Aufkommenskategorie werden beide Klassierungen verwendet und die Ergebnisse miteinander verglichen, um Aussagen zur Aussagefähigkeit und damit zur Anwendbarkeit dieser Methoden ableiten zu können.

Nach welchen Tagesarten geschichtet werden muss, wird für das Anwendungsbeispiel erst bei der Untersuchung der Zusammenhangsmaße in Kapitel 6.4. entschieden.

6.3.2.3 Kategorisierung und Zuordnung der Wetterkategorie

Fahrtbezogene Kategorisierung

Es wurde sich aufgrund des Wertebereiches je Fahrt für eine Zuordnung der Werte der Stichproben in drei Aufkommenskategorien entschieden. Die Zuordnung erfolgte durch Auswertung der Perzentil-Grenzwerte je Fahrt. (vgl. Tabelle 6-3)

Tabelle 6-3: Zuordnung der Nachfrage zu Aufkommenskategorien

Aufkommenskategorie	Interpretation	Perzentil [%]
1	geringeres Aufkommen	≤ 33,33
2	mittleres Aufkommen	≤ 66,66
3	erhöhtes Aufkommen	> 66,66

Eine feinere Abstufung wurde aufgrund der geringen verbleibenden Werteanzahl je Schichtung und mit Blick auf weitere Untersuchungen, in denen noch Schichtungen nach Tagesarten folgen, nicht vorgenommen.

Die Auswertungen im Anwendungsbeispiel erfolgte nach Linie, Stunde und Richtung. Die entsprechenden Einsteigersummen wurden statistisch ausgewertet und die jeweiligen Grenzwerte je Schichtung berechnet. In nachstehender Tabelle 6-4 sind als Beispiel die Grenzwerte für die unter der Tabelle angegebene Schichtung dargestellt.

Tabelle 6-4: Beispiel für die Ermittlung der Grenzwerte für die Einordnung in fahrtbezogene Aufkommenskategorien

Anzahl	20	
Mittelwert der Einsteigersummen	204,80	
Perzentile	33,33	193,00
	66,67	230,00

Periode = S, Linie = 4, Stunde = 15, Richtung = Swi

Die Einsteigersummen in den Datensätzen wurden anhand dieser Grenzwerte den drei fahrtbezogenen Aufkommenskategorien zugewiesen. Anhand des Datums wurde die Wetterkategorie dem Datensatz zugeordnet. Tabelle 6-5 zeigt für die Beispieldatensätze aus Tabelle 6-2 die aufbereiteten Werte.

Tabelle 6-5: Aufbereitete Daten für die Verfahrensstufe 2 mit fahrtbezogener Aufkommenskategorie

Periode	Linie	Richtung	Datum	Tagesgruppe	Schule/Ferien	Einsteigersumme	fahrtbezogene Aufkommenskategorie	Wetterkategorie
S	4	Swi	01.09.2008	MoFr	S	214	2	3
S	4	Swi	07.09.2008	SaSo	S	125	1	3
S	4	Swi	18.08.2010	MoFr	F	279	3	5
S	4	Swi	26.08.2010	MoFr	S	220	2	3

Mit diesen Informationen erfolgt in der Verfahrensstufe 2 die Analyse zu Zusammenhängen zwischen der fahrtbezogenen Aufkommenskategorie und der Wetterkategorie für 1.664 Datensätze. Die Einsteigersumme ist jedoch nicht mehr für die weiteren Analysen relevant und

nur informativ in der Tabelle enthalten, da daraus die Aufkommenskategorie abgeleitet wurde. Das Datum wird für die weiteren Analysen ebenfalls nicht mehr benötigt.

In den Datensätzen wurde anhand des Datums auch die Tagesart differenziert nach Montag bis Freitag (MoFr) und Samstag und Sonntag (SaSo) sowie Schule (S) und Ferien (F) ausgewertet. Diese Informationen werden für verschiedene Schichtungs-betrachtungen in den weiteren Analysen benötigt, beispielsweise für die tagesbezogene Kategorisierung.

Bei den vorhandenen Daten zog die notwendige Differenzierung nach Periode, Linie, Richtung und Zeiteinheit eine deutliche Reduzierung der Werte je Schichtung nach sich. Zudem führte diese Einteilung dazu, dass für jede betrachtete Schichtung eine der drei Aufkommenskategorien in den Daten vorhanden ist. Um die Auswirkung dieses Sachverhaltes abschätzen zu können, wurde auch eine tagesbezogene Kategorisierung durchgeführt und in die Auswertung mit einbezogen.

Tagesbezogene Kategorisierung

Für eine Hochrechnung der Fahrgastzahlen einzelner Fahrten auf den Tag ist es notwendig, die vollständige Tagesganglinie je Linie, Richtung und Tagesart zu kennen. Für die Berechnung müssen angebotsspezifische Tagesgangparameter vorliegen. Dann kann für einzelne Fahrten eine Hochrechnung nach Formel (2) auf Seite 93 erfolgen. Für das Anwendungsbeispiel lagen die Tagesganglinien jedoch nicht vor und mussten deshalb abgeschätzt werden. Das entsprechende Vorgehen wird nachstehend beschrieben.

Abbildung 6-16 zeigt die angebotsspezifische zeitliche Veränderung der mittleren Nachfrage der UBB-Linien nach Richtung auf.

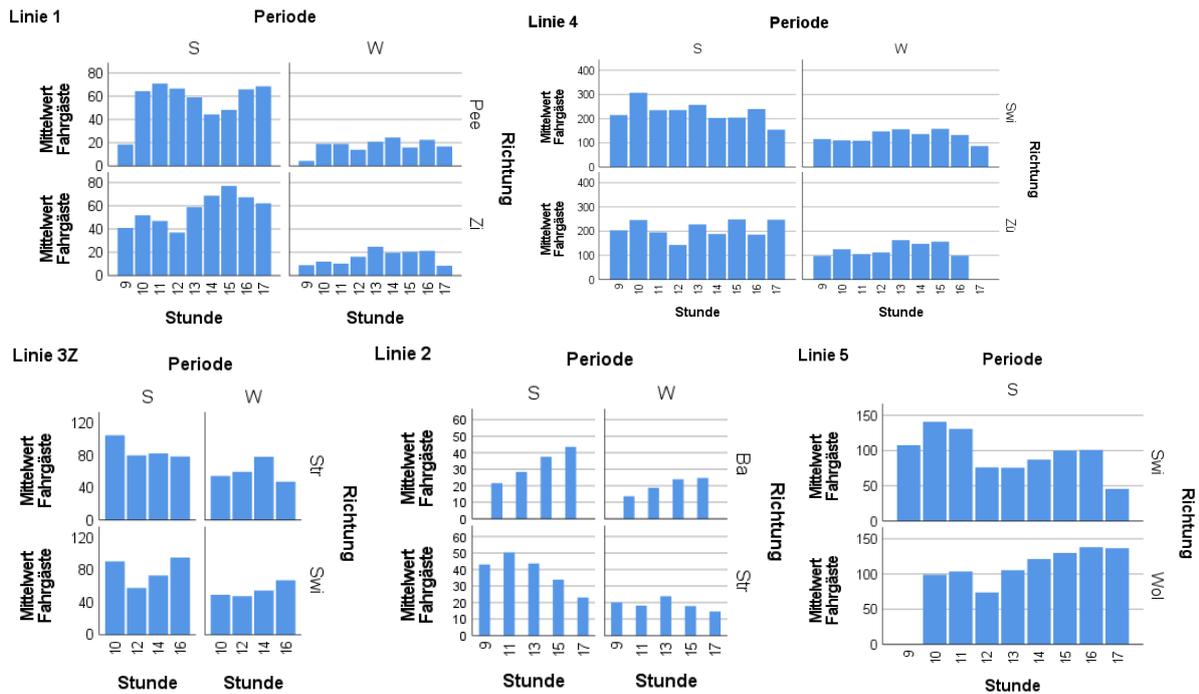


Abbildung 6-16: Mittlerer Tagesgang der betrachteten Fahrten

Richtungsabhängige Nachfrageveränderungen im Tagesverlauf sowie Nachfragespitzen und -täler sind deutlich zu erkennen, auch wenn die einzelnen Ganglinien unterschiedliche Charakteristiken aufweisen. Sich wiederholende typische Muster lassen sich beispielsweise bei den Linien 1 und 5 erkennen; es könnten somit vergleichbare Tagesgänge vorliegen. Die Tagesgänge wurden für eine realitätsnahe Hochrechnung weiter nach Tagesgruppe Montag-Freitag und Samstag/Sonntag sowie nach Schul- und Ferienzeiten differenziert. Die so ermittelten 56 Ganglinien aus der Stichprobe wurden dann mit Hilfe einer Clusteranalyse wieder fusioniert, um typische Tagesverläufe abzubilden. Aufgrund der verschiedenen Fahrtanzahl am Tag, erfolgte eine getrennte Clusterung für die Tagesgänge der Linien mit 1-h-Takt- und mit 2-h-Takt-Bedienungshäufigkeit.

Als Cluster-Verfahren wurde das Average-Linkage-Verfahren verwendet, bei dem der Mittelwert aller möglichen Distanzen zwischen den Datenpunkten zweier Cluster betrachtet wird (SCHWARZ 2019). Die Cluster mit den geringsten Distanzen wurden nach und nach weiter zusammengefasst. Als Distanzmaß wurde die quadratische euklidische Distanz festgelegt. Das Ergebnis der Clusterung ist in Form eines Dendrogramms je Takt in Abbildung 6-17 dargestellt.

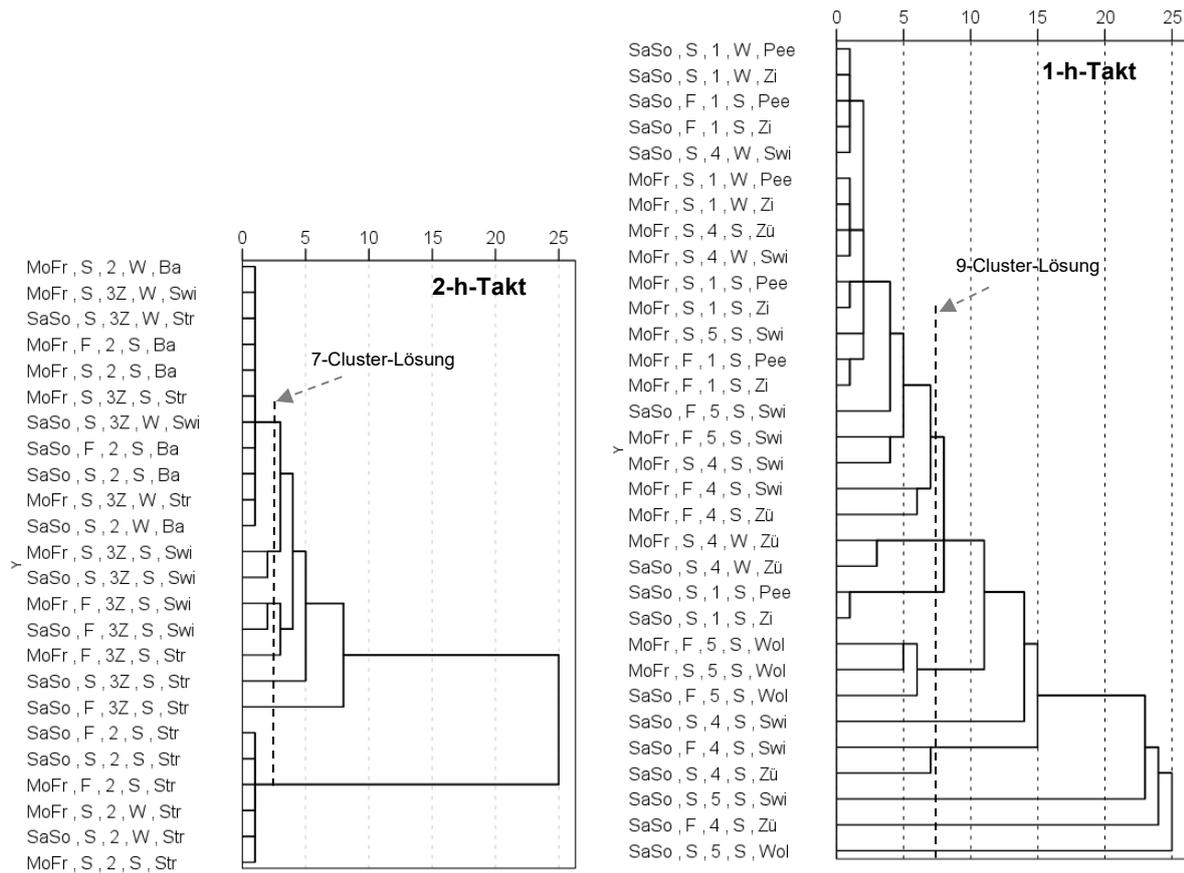


Abbildung 6-17: Dendrogramme zur Verdeutlichung der Fusionierungsschritte der Ganglien zu Clustern (Average Linkage-Verfahren, SPSS-Darstellung)

Die Dendrogramme sind von links nach rechts zu lesen und beschreiben den Prozess der Clusterung. Horizontal abgetragen ist ein vom Programm IBM SPSS zwischen 0 und 25 normiertes Heterogenitätsmaß. An der linken Achse werden zunächst mit waagerechten Linien alle Fälle einzeln aufgelistet, senkrechte Linien zeigen die Fusionierungsstufen und fassen die in diesem Schritt fusionierten Fälle zusammen. Die Länge der waagerechten Linien zeigt an, wie groß sich die Distanz zu den anderen fusionierten Fällen im Vergleich mit anderen Fusionierungsstufen darstellt. Je kürzer, umso ähnlicher sind sich die Fälle.

Der Entscheidung, welche Clusterung für die weiteren Analysen verwendet wird, wurden neben der Betrachtung des Dendrogramms auch weitere inhaltliche Überlegungen zu Grunde gelegt. Die größten Heterogenitätszuwächse waren bei einer 2-Cluster-Lösung beim 2-h-Takt sowie einer 4-Cluster-Lösung beim 1-h-Takt zu verzeichnen. Die so entstehenden resultierenden Tagesganglinien repräsentieren die tatsächlichen Verläufe jedoch zu ungenau, weil schon zu viele verschiedene Tagesgänge zusammengefasst wurden. Aus der Betrachtung der unterschiedlichen Charakteristiken der Verläufe in Abbildung 6-16 und der Dendrogramme in Abbildung 6-17 wurde eine Clusteranzahl von 7 für den 2-h-Takt bzw. 9 für den 1-h-Takt gewählt. Den Dendrogrammen kann zusätzlich die Information entnommen werden, dass vor allem beim 1-h-Takt die Ganglinien zwischen MoFr und SaSo meist erst in späteren Fusionsstufen zusammengeführt werden. Das gibt einen Hinweis darauf, dass hier eine getrennte Be-

trachtung der Tagesgruppen in den Daten erfolgen sollte. Bei der Differenzierung Schule/Ferien ergibt sich kein so eindeutiges Bild. Abbildung 6-18 zeigt die so ermittelten Tagesgänge, die entsprechend der Schichtung den Datensätzen zugeordnet wurden.

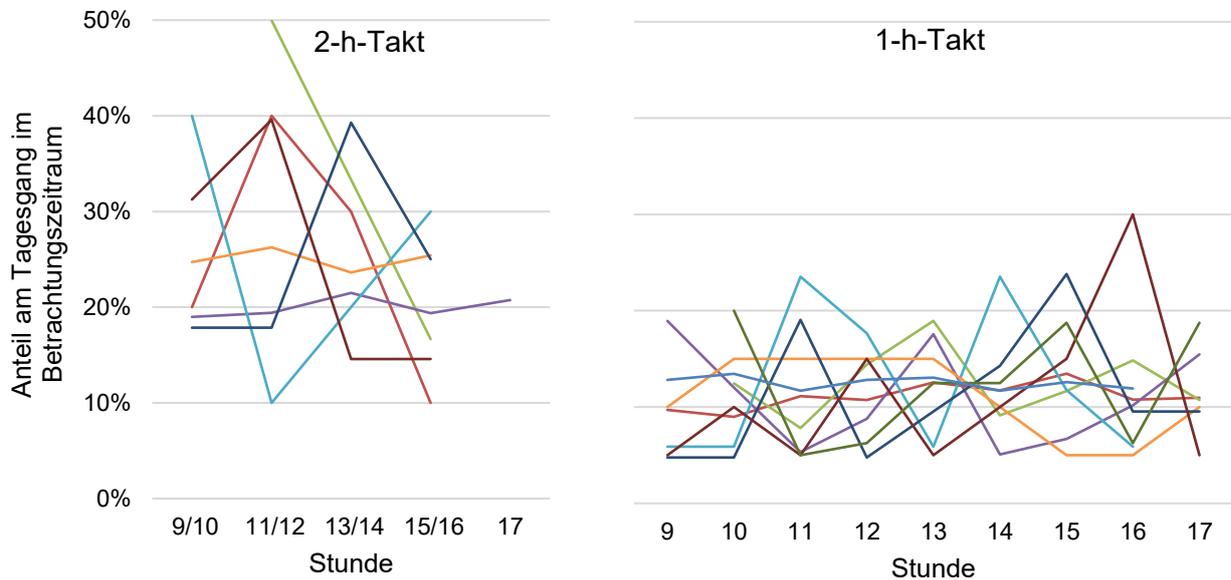


Abbildung 6-18: Ergebnis Clusteranalyse der Ganglinien für den Betrachtungszeitraum im Anwendungsbeispiel (Clusterverfahren Average Linkage)

Die vorhandenen Nachfragewerte der einzelnen Fahrten werden nun entsprechend des zugeordneten Tagesganges nach Formel (2) hochgerechnet (vgl. Seite 93). Für jeden Erhebungstag wurde das Tagesfahrgastaufkommen nach Linie, Richtung und Tagesgruppe ermittelt. Die so entstandenen Tageswerte werden entsprechend ihrer Lage in der Stichprobe analog zur Vorgehensweise der vorgenannten Kategorisierung wieder drei gleichgroßen Gruppen zugeordnet (vgl. Tabelle 6-6).

Tabelle 6-6: Beispiel für die Ermittlung der Grenzwerte für die Einordnung in tagesbezogene Aufkommenskategorien

Anzahl	63	
Mittelwert Tagesfahrgastaufkommen	2044,00	
Perzentile	33,33	1666,00
	66,67	2228,67

Periode = S, Tag = MoFr, Linie = 4, Richtung = Swi

Auch dieses Vorgehen führte dazu, dass alle Aufkommenskategorien in einer Schichtung vertreten sind. Allerdings ist die Anzahl der Werte in der betrachteten Schichtung, anhand derer die Kategorisierung vorgenommen wird, im Vergleich zur fahrtbezogenen Vorgehensweise höher.

Es kam häufig vor, dass mehrere Fahrten an ein und demselben Tag erhoben wurden. Deren Nachfrage ging gemeinsam in die Hochrechnung des Tagesfahrgastaufkommens ein. Dadurch reduziert sich die Anzahl der auszuwertenden Datensätze auf 899 gegenüber den 1.664 Datensätzen der fahrtbezogenen Kategorisierung.

Die Informationen, die in der Verfahrensstufe 2 analysiert werden, sind in Tabelle 6-7 für die Beispieldatensätze aus Tabelle 6-2 dargestellt.

Tabelle 6-7: Aufbereitete Daten für Verfahrensstufe 2 mit tagesbezogener Aufkommenskategorie

Periode	Linie	Richtung	Tagesgruppe	Schule/Ferien	Datum	Tagesfahr-gastaufkommen	tagesbezogene Aufkommenskategorie	Wetterklasse
S	4	Swi	MoFr	S	01.09.2008	1.710	2	3
S	4	Swi	SaSo	S	07.09.2008	785	1	3
S	4	Swi	MoFr	F	18.08.2010	2.784	3	5
S	4	Swi	MoFr	S	26.08.2010	1.786	2	3

Das Tagesfahr-gastaufkommen ist jedoch nicht mehr für die weiteren Analysen relevant und nur informativ in der Tabelle enthalten, da daraus die Aufkommenskategorie abgeleitet wurde. Das Datum wird ebenfalls nicht mehr benötigt.

6.4 Ermittlung von Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage (Verfahrensstufe 2)

6.4.1 Vorbetrachtungen

Vor den eigentlichen Zusammenhangsprüfungen wurde für die 5 Wetterkategorien ausgewertet, wie sich der Anteil der einzelnen Aufkommenskategorien verhält. Dafür wurden die Mittelwerte der fahrtbezogenen sowie der tagesbezogenen Aufkommenskategorien je Wetterkategorie ermittelt. Diese sind jeweils in Abbildung 6-19 und Abbildung 6-20 dargestellt. Auch wenn sich die Einzelwerte unterscheiden, ist festzustellen, dass sich die Ergebnisse der fahrtbezogenen und der tagesbezogenen Auswertung ähneln.

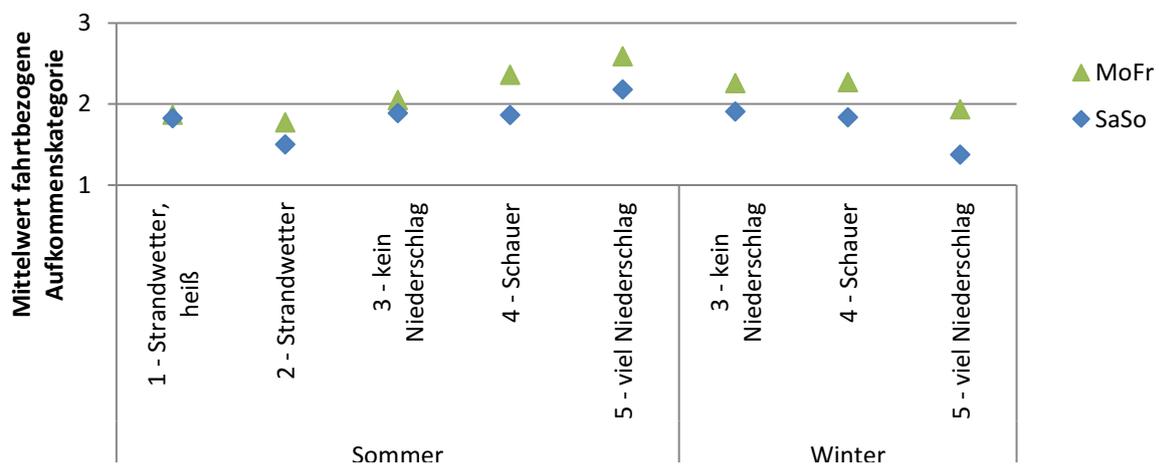


Abbildung 6-19: Mittlere fahrtbezogene Aufkommenskategorie in Abhängigkeit von Wetterkategorie und Erhebungsperiode

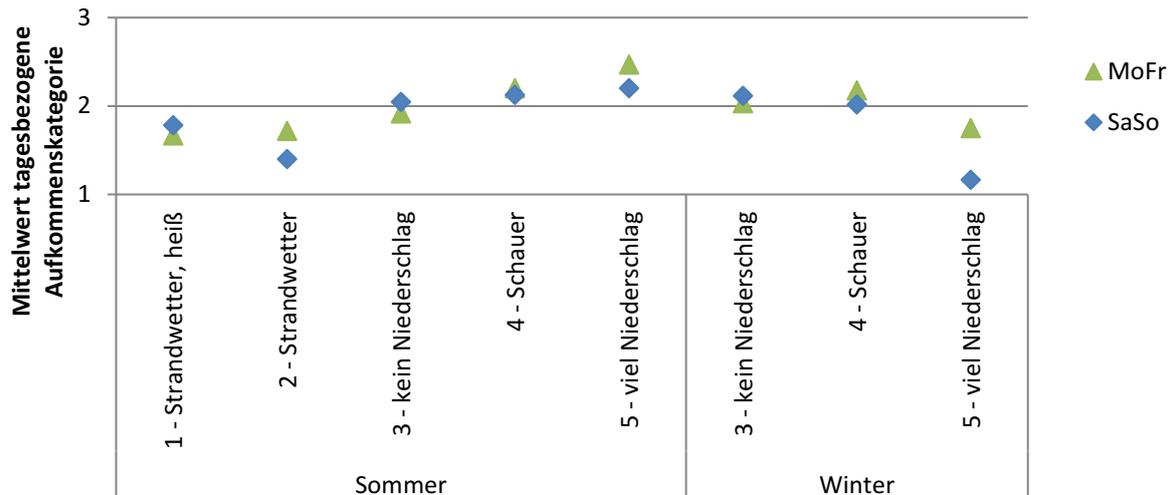


Abbildung 6-20: Mittlere tagesbezogene Aufkommenskategorie in Abhängigkeit von Wetterkategorie und Erhebungsperiode

Aus den Diagrammen sind zwar noch keine statistisch gesicherten Zusammenhänge ableitbar, es können jedoch schon folgende Erkenntnisse gewonnen werden: Der Vergleich von Sommer und Winter zeigt, dass leicht gegenläufige Trends vorhanden sind, besonders am Wochenende. Während im Sommer der Mittelwert der Aufkommenskategorien sowohl bei zunehmend schlechtem Wetter ansteigt, scheint er im Winter abzunehmen. Dies lässt zunächst vermuten, dass im Sommer an Tagen, an denen kein Strandwetter ist, Ausflüge mit der Bahn verstärkt unternommen werden. Im Winter scheint dagegen nur sehr schlechtes Wetter das Fahrgastaufkommen zu reduzieren. Um statistisch gesicherte Zusammenhänge zu erhalten, wurden die Daten mit den drei im Kapitel 5.4.5 als prinzipiell geeignet befundenen statistischen Methoden wie folgt analysiert.

6.4.2 Kontingenzanalyse

Im ersten Schritt der Kontingenzanalyse wird zunächst das Assoziationsmaß Cramers V nach Linie und Periode ermittelt, um die Stärke des Zusammenhanges zwischen den Wetterkategorien und Aufkommenskategorien einzuschätzen. Die zu testende Nullhypothese lautet: Wetterkategorie und Aufkommenskategorie sind unabhängig voneinander. Als Signifikanzniveau wird 5 Prozent festgelegt.

Die Ergebnisse⁴⁷ sind in Tabelle 6-8 und Tabelle 6-9 dargestellt. Wird das angestrebte Signifikanzniveau von 5 Prozent erreicht, kann davon ausgegangen werden, dass der Zusammenhang zwischen Wetterkategorie und Aufkommenskategorie in der Stichprobe auf die Grundgesamtheit übertragbar ist. Bei den Schichtungen, bei denen dies zutrifft, sind die Cramers V-Werte fett hervorgehoben.

⁴⁷ Die Berechnungen der Zusammenhangsmaße und Signifikanzwerte erfolgten mit der Statistik- und Analysesoftware „IBM® SPSS® Statistics“, Version 27.

Tabelle 6-8: Kennwerte der Kontingenzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien

Periode	Linie	Fallzahl	Chi-Quadrat nach Pearson	FG	Signifikanz	Cramers V
S	1	262	55,886	8	0,000*	0,33
S	2	187	2,522	6	0,433	0,08
S	3Z	82	8,726	8	0,183	0,23
S	4	270	24,366	8	0,001*	0,21
S	5	217	20,364	8	0,005*	0,22
W	1	216	4,099	4	0,196	0,10
W	2	116	3,093	4	0,271	0,12
W	3Z	97	8,744	4	0,034*	0,21
W	4	217	9,648	4	0,023*	0,15

* angestrebtes Signifikanzniveau von $\leq 0,05$ wird erreicht

Tabelle 6-9: Kennwerte der Kontingenzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien

Periode	Linie	Fallzahl	Chi-Quadrat nach Pearson	FG	Signifikanz	Cramers V
S	1	76	22,963	8	0,001*	0,39
S	2	90	5,772	6	0,349	0,15
S	3Z	71	8,071	8	0,256	0,23
S	4	183	14,232	8	0,088	0,18
S	5	120	18,958	8	0,001*	0,32
W	1	62	5,050	4	0,225	0,17
W	2	59	3,928	4	0,287	0,22
W	3Z	86	2,848	4	0,273	0,13
W	4	152	8,654	4	0,092	0,16

* angestrebtes Signifikanzniveau von $\leq 0,05$ wird erreicht

Der Freiheitsgrad (FG) wird für die Ermittlung der Chi-Quadrat-Prüfgröße benötigt (vgl. Kapitel 5.4.4.1). Entspricht FG der maximal möglichen Anzahl der Freiheitsgrade (vgl. Tabelle 6-10), sind alle Wetter- und Aufkommenskategorien in der Stichprobe enthalten. Wird dieser unterschritten, ist das nicht der Fall. Das ist nur bei der Linie 2 bei der fahrtbezogenen Analyse für die Sommerperiode der Fall (vgl. Tabelle 6-8 und Tabelle 6-10).

Tabelle 6-10: Maximalzahl der Freiheitsgrade (FG_{\max})

Periode	Anzahl Wetterkategorien	Anzahl Aufkommenskategorien	FG_{\max} (nach Formel (4))
S	5	3	8
W	3	3	4

Mit dem ersten Schritt der Kontingenzanalyse wurden sowohl bei der fahrt- als auch bei der tagesbezogenen Betrachtung für die Sommerperiode vergleichbare Ergebnisse erzielt. Lediglich bei der Linie 4 lassen die tagesbezogenen Aufkommenskategorien nicht auf einen Zusammenhang schließen. Die Ursache dafür liegt vermutlich in der zu starken Verallgemeinerung des Tagesganges für die Hochrechnung.

Im nächsten Schritt wurde geprüft, ob Tagesgruppe oder Schulferien⁴⁸ im Untersuchungsgebiet einen Einfluss auf die Wetterabhängigkeit haben. Dazu wurde die Kontingenzanalyse separat für diese Schichtungen durchgeführt. Zunächst wurden die einzelnen Tagesgruppen betrachtet, danach erfolgte eine Differenzierung zwischen Schulzeit und Ferien. Die Ergebnisse

⁴⁸ Hier: Sommerferien.

sind in Anhang F enthalten. Die Cramers V-Werte aller in den Kontingenzanalysen festgestellten Zusammenhänge mit dem angestrebten Signifikanzniveau enthält Tabelle 6-11. Die Auswertung beschränkt sich auf die Sommerperiode, da bei weiterer Schichtung keine systematischen Zusammenhänge für die Winterperiode ermittelt werden konnten. Bei den Linien 2 und 3Z, bei denen kein Zusammenhang in Tabelle 6-8 und Tabelle 6-9 erkennbar war, konnte auch bei der Analyse einzelner Tagesgruppen kein Zusammenhang nachgewiesen werden. Sie sind in der Zusammenfassung in Tabelle 6-11 daher nicht mehr enthalten.

Tabelle 6-11: Darstellung aller Assoziationsmaße Cramers V bei nachgewiesener statistischer Signifikanz

Aufkommenskategorisierung	Linie	Cramers V								
		Gesamt	MoFr	SaSo	Ferien	Schule	MoFr Ferien	MoFr Schule	SaSo Ferien	SaSo Schule
fahrtbezogen	1	0,33	0,38	0,36	0,44	0,45	0,47	0,46	0,42	
	4	0,21	0,28		0,23		0,30			
	5	0,22	0,38			0,27	0,44	0,32		
tagesbezogen	1	0,39		0,49	0,56		0,59			
	4	0,21						0,36		
	5	0,32			0,34					

Grundsätzlich zeigen sich vergleichbare Trends mit beiden betrachteten Aufkommensklassierungen. Allerdings zeigt die fahrtbezogene Klassierung deutlich mehr Zusammenhänge auf, welche auch sachlogisch erklärbar sind (vgl. Kapitel 6.4.5). Die Schwächen der tagesbezogenen Zuordnung im Anwendungsbeispiel können somit auch durch eine tiefere Schichtung nicht behoben werden.

Wenn Zusammenhänge zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen detektiert wurden, nimmt deren Stärke bei einer feineren Schichtung nach relevanten Tagesgruppen weiter zu. Daher werden die Untersuchungen weiterhin für diese Schichtungen differenziert durchgeführt.

Für Linie 1 wurden bei getrennter Betrachtung von Ferien- und Wochentagen Cramers V-Werte ermittelt, die für beide Aufkommenskategorisierungen nahe bei 0,5 liegen und damit einen recht hohen Zusammenhang zwischen Wetter- und Aufkommenskategorie aufzeigen. Zur Ermittlung jener Wetterkategorien, welche eine Veränderung der Höhe des Fahrgastaufkommens nach sich ziehen, werden die Kontingenztabellen mit den beobachteten und erwarteten Häufigkeiten herangezogen. Dabei werden die beobachteten Werte den erwarteten gegenübergestellt. Tabelle 6-12 zeigt die Kontingenztafel für die Linie 1 (Sommer, MoFr, Ferien). Die Tabellen der weiteren untersuchten Schichtungen befinden sich im Anhang H. Die Höhe der Abweichungen zwischen beobachteten und erwarteten Werten gibt Aufschluss über wetterabhängige Abweichungen. Um das Verhältnis der beiden Werte untereinander bewerten zu können, werden die relativen Abweichungen der beobachteten Anzahl von der erwarteten Anzahl ermittelt. Im Ergebnis erhält man positive oder negative Abweichungsanteile. Tabelle 6-13 zeigt die berechneten Werte für die in Tabelle 6-12 enthaltene Schichtung. Die Auswertungen der weiteren Schichtungen befinden sich in Anhang G. Bei zu geringen beobachteten Fallzahlen (kleiner 5) erfolgte, um Fehlinterpretationen zu vermeiden, keine Auswertung.

Tabelle 6-12: Kontingenztabelle Linie 1 (Sommer, MoFr, Ferien)

		Wetterkategorie				Gesamt	
		2	3	4	5		
fahrtbezogene Aufkommenska- tegorie	1	beobachtete Anzahl	15	6	<5	<5	21
		erwartete Anzahl	5,1	11,1	1,3	3,4	21,0
	2	beobachtete Anzahl	8	17	<5	<5	29
		erwartete Anzahl	7,1	15,4	1,8	4,7	29,0
	3	beobachtete Anzahl	<5	29	<5	14	48
		erwartete Anzahl	11,8	25,5	2,9	7,8	48,0
Gesamt	beobachtete Anzahl	24	52	6	16	98	
	erwartete Anzahl	24,0	52,0	6,0	16,0	98,0	

Tabelle 6-13: Relative Abweichung der beobachteten von erwarteten Anzahl, Linie 1 (Sommer, MoFr, Ferien)

		Wetterkategorie			
		2 (Strandwetter)	3	4	5 (viel Regen)
Aufkommenska- tegorie	1 (gering)	+194%	-46%		
	2	+13%	+10%		
	3 (hoch)		+14%		+79%

Aus Tabelle 6-13 geht hervor, dass die beobachteten Fallzahlen bei Wetterkategorien mit einem niedrigeren Rang (schöneres Wetter) tendenziell die erwartete Anzahl bei niedrigen Aufkommenskategorien überschreiten und bei Wetterkategorien mit einem höheren Rang (schlechteres Wetter) geringere Fallzahlen bei den größeren Aufkommenskategorien erwartet wurden. Daraus kann man schließen, dass bei schlechtem Wetter mit Regen (Wetterkategorie 5) tendenziell mehr Fahrgäste als erwartet (Aufkommenskategorie 3) in den Zügen unterwegs sind. Im Umkehrschluss trat die Aufkommenskategorie 1 (geringe Fahrgastzahlen) bei schönem Wetter (Wetterkategorie 2) deutlich häufiger als erwartet auf. Somit treten in dieser Schichtung bei Strandwetter eher geringe Fahrgastzahlen und bei schlechtem Wetter mit Regen eher hohe Fahrgastzahlen auf. Die Vermutungen aus den Vorbetrachtungen werden damit bestätigt.

Anhang H enthält die Bewertungstabellen differenziert nach Wochentag und Schule/Ferien für jene Linien und Schichtungen, welche einen Cramers V Wert von größer als 0,4 bei gesicherter statistischer Signifikanz in den vier rechten Spalten der Tabelle 6-11 aufweisen. Meist ist ein vergleichbarer Trend wie im erläuterten Beispiel erkennbar. Allerdings zeigt sich auch die Schwäche des Vorgehens bei geringer Datenlage. Einige Wetterszenarien traten in den Untersuchungszeiträumen nicht oft auf und sind dann unterrepräsentiert. Aus diesem Grund wurde auch vom Erstellen der Kontingenztabelle für die tagesbezogenen Aufkommenskategorien abgesehen, da die Datensatzanzahl in den erforderlichen Schichtungen zu gering ist.

Grundsätzlich erklären die Ergebnisse der Kontingenzanalyse jedoch die vermuteten Zusammenhänge, und es bestätigt sich die Anwendbarkeit der Kontingenzanalyse für die Zielsetzung der Arbeit.

6.4.3 Konkordanzanalyse

Die zu testende Nullhypothese für die Konkordanzanalyse lautet wieder: Wetterkategorie und Aufkommenskategorie sind unabhängig voneinander.

Die Konkordanzanalyse setzt für beide Variablen eine Rangfolge voraus, denn sie berücksichtigt die Paarbeziehungen bezüglich ihrer Rangordnung. Die Wetterkategorien unterliegen jedoch im Gegensatz zu Aufkommenskategorien keiner natürlichen Rangfolge. Aus den Vorüberlegungen in Kapitel 6.4.1 lässt sich für die Wetterkategorien jedoch auch eine Rangfolge für die Intensität der Nutzung des untersuchten Verkehrsangebotes ableiten: Im Sommer scheint eine Wetterkategorie mit geringer Nummerierung ein geringeres Aufkommen zu generieren, im Winter scheint es umgekehrt zu sein. Aus Abbildung 6-19 und Abbildung 6-20 konnte jedoch kein eindeutiger Rang für die Wetterkategorien 1 und 2 abgelesen werden. Daher wurde die Rangkorrelation für 2 Rangszenerarien im Sommer durchgeführt, einmal steht Wetterkategorie 1 an erster Stelle und einmal Wetterkategorie 2 (vgl. Tabelle 6-14).

Tabelle 6-14: Zuordnung der Wetterkategorien zu Rängen

Wetterkategorie	Beschreibung	Rangszenerario 1	Rangszenerario 2
1	Strandwetter, heiß	1	2
2	Strandwetter	2	1
3	kein Niederschlag	3	3
4	Schauer	4	4
5	viel Niederschlag	5	5

Die Aufkommenskategorien 1, 2 und 3 bleiben in der Reihenfolge bestehen. Je höher der Rang, umso höher ist das Fahrgastaufkommen.

Die Datensätze wurden mit diesen Rangszenerarien der Konkordanzanalyse unterzogen. Aus der Anzahl der Paarbeziehungen wurde das Zusammenhangsmaß Somers' d ermittelt. Die Auswertung erfolgte zunächst analog zu den Untersuchungen bei der Kontingenzanalyse ohne Differenzierung der Tagesarten. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6-15 und Tabelle 6-16 dargestellt. Bei den Schichtungen, bei denen das angestrebte Signifikanzniveau erreicht wird, sind die Somers' d-Werte fett hervorgehoben. Da Somers' d auch negative Werte annimmt und damit die Richtung eines Zusammenhanges aufzeigt, bestätigen die Werte nun auch direkt die saisonale Gegenläufigkeit des Zusammenhanges zwischen Wetter- und Aufkommenskategorie.

Tabelle 6-15: Kennwerte der Konkordanzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien

Periode	Linie	RangszENARIO 1		RangszENARIO 2	
		Signifikanz	Somers' d	Signifikanz	Somers' d
S	1	0,00*	0,36	0,00*	0,36
S	2	0,90	0,01	0,90	0,01
S	3Z	0,77	0,03	0,85	0,02
S	4	0,01*	0,14	0,01*	0,15
S	5	0,00*	0,19	0,00*	0,20
W	1	0,08	-0,14		
W	2	0,18	0,11		
W	3Z	0,60	-0,06		
W	4	0,00*	-0,20		

* angestrebtes Signifikanzniveau von $\leq 0,05$ wird erreicht

Tabelle 6-16: Kennwerte der Konkordanzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien

Periode	Linie	RangszENARIO 1		RangszENARIO 2	
		Signifikanz	Somers' d	Signifikanz	Somers' d
S	1	0,000*	0,46	0,000*	0,46
S	2	0,478	0,00	0,478	0,00
S	3Z	0,413	-0,02	0,413	-0,03
S	4	0,000*	0,20	0,000*	0,20
S	5	0,000*	0,31	0,000*	0,32
W	1	0,155	-0,16		
W	2	0,271	0,08		
W	3Z	0,337	-0,05		
W	4	0,032*	-0,16		

* angestrebtes Signifikanzniveau von $\leq 0,05$ wird erreicht

Die Konkordanzanalyse zeigt grundsätzlich die gleichen Zusammenhänge wie die Kontingenzanalyse. Die nach Tagesart differenzierten Ergebnisse sind in Anhang I enthalten. Eine Zusammenfassung der Zusammenhänge mit dem angestrebten Signifikanzniveau erfolgt in Tabelle 6-17. Der Winter bleibt darin unberücksichtigt, da wie bei der Kontingenzanalyse keine signifikanten systematischen Zusammenhänge festgestellt wurden. Bei der Linie 1 hatten die unterschiedlichen Rangszenarios kaum Auswirkung auf die Assoziationsmaße. Die Werte der Linien 4 und 5 erhöhten sich dagegen leicht beim RangszENARIO 2, was darauf schließen lässt, dass dort die Wetterkategorie 2 eher weniger Fahrgäste generiert als die Wetterkategorie 1 und somit die Wetterkategorien auf diesen Linien eher dem RangszENARIO 2 unterliegen.

Tabelle 6-17: Darstellung aller Assoziationsmaße Somers' d bei nachgewiesener statistischer Signifikanz (nur Sommerperiode)

Aufkommensklassierung	Linie (S)	Somers' d								
		Alle	MoFr	SaSo	Ferien	Schule	MoFr Ferien	MoFr Schule	SaSo Ferien	SaSo Schule
fahrtbezogen	1	0,36	0,45	0,30	0,29	0,51 ¹ 0,50 ²	0,55	0,56		
	3Z		0,35 ¹ 0,33 ²					0,51		-0,38
	4	0,14 ¹ 0,15 ²	0,26				0,23	0,23 ¹ 0,24 ²		
	5	0,19 ¹ 0,20 ²	0,38 ¹ 0,41 ²	0,17 ²	0,23	0,20 ¹ 0,22 ²	0,50	0,31 ¹ 0,34 ²		
tagesbezogen	1	0,46	0,40	0,60	0,50	0,31 ¹ 0,29 ²	0,55		0,47	
	3Z							0,36 ²		
	4	0,20	0,32		0,18 ¹ 0,19 ²	0,21 ¹ 0,22 ²	0,30	0,35 ¹ 0,36 ²		
	5	0,31 ¹ 0,32 ²	0,37	0,26 ¹ 0,28 ²	0,33 ¹ 0,35 ²	0,28	0,46	0,35	0,23 ¹ 0,25 ²	0,27 ¹ 0,29 ²

¹ RangszENARIO 1

² RangszENARIO 2

Im Kapitel 6.4.5 werden die Werte von Konkordanz- und Kontingenzanalyse miteinander verglichen und die Schlussfolgerungen bezüglich eines Wettereinflusses auf das Fahrgastaufkommen im Untersuchungsgebiet zusammengefasst. Zuvor erfolgt jedoch noch eine Prüfung der Eignung der Korrespondenzanalyse, da deren Anwendbarkeit aus rein theoretischen Überlegungen (vgl. Kapitel 5.4.5) nicht abschließend bewertet werden konnte.

6.4.4 Korrespondenzanalyse

Die Korrespondenzanalyse wurde nur mit der fahrtbezogenen Aufkommenskategorisierung durchgeführt, für die tagesbezogenen Aufkommenskategorien war die Analysebasis zu klein. Abbildung 6-21 zeigt die Biplots für Linie 1, für die bei den beiden vorangegangenen Analysen der größte Zusammenhang zwischen Wetter- und Aufkommenskategorien festgestellt wurde. Anhang J enthält die Biplots der anderen Linien. Für die Analysen der Linien 4 und 5 wurden auch die beiden Rangfolgevarianten der Wetterkategorien wie bei der Konkordanzanalyse (vgl. Kapitel 6.4.3) verwendet.

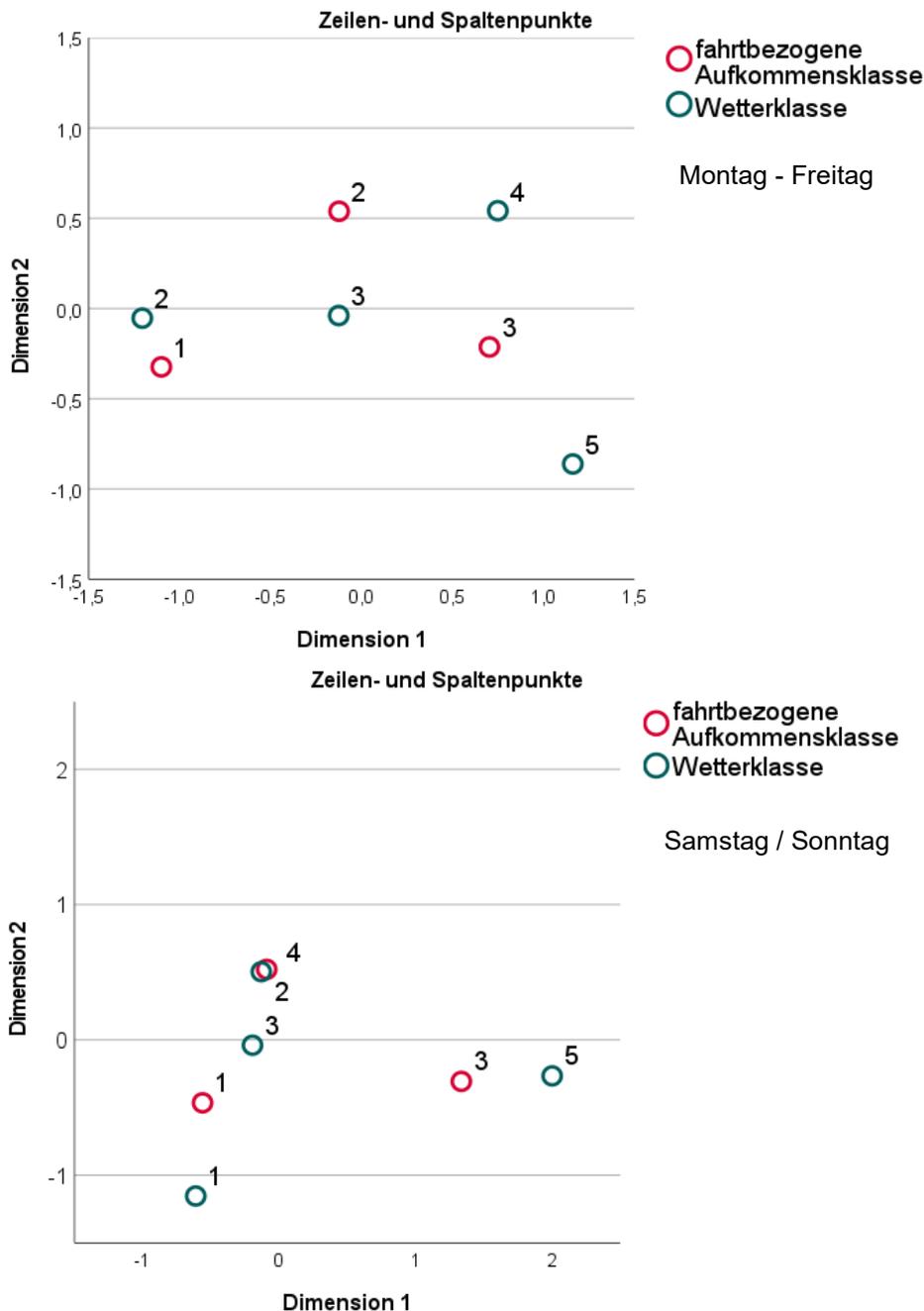


Abbildung 6-21: Biplots der Korrespondenzanalyse Linie 1 (Sommer)

Es ist im oberen Biplot (Montag bis Freitag) zu erkennen, dass sich Reihenfolge und Verlauf der Datenpunkte der Aufkommens- und Wetterkategorien ähneln. Daraus könnte auf einen Zusammenhang untereinander geschlossen werden, was die Aussagen der beiden vorangegangenen Verfahren bestätigen würde. Klare Zusammenhänge sind jedoch nur auf diesem einen Biplot erkennbar. Alle anderen Biplots zeigen dagegen ein diffuses Bild, aus dem keine eindeutigen Schlussfolgerungen gezogen werden können. Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass die Korrespondenzanalyse wenig geeignet ist, um Zusammenhänge zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen zu identifizieren.

6.4.5 Zusammenstellung der festgestellten Zusammenhänge zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen im Untersuchungsgebiet

Der zusammenfassende Vergleich der Assoziationsmaße bei Erreichung des angestrebten Signifikanzniveaus in Tabelle 6-18 zeigt auf, dass aus den Ergebnissen der Konkordanzanalyse vergleichbare Schlussfolgerungen zur Kontingenzanalyse gezogen werden können. Insbesondere bei der fahrtbezogenen Kategorisierung treten bei der Tagesgruppe MoFr Werte in vergleichbarer Größenordnung auf, oder beide Verfahren stellten keine signifikanten Zusammenhänge in einer Schichtung fest. Für die tagesbezogene Kategorisierung war die Stichprobe deutlich kleiner, weshalb weniger signifikante Zusammenhänge hergestellt werden konnten. Das stellt aber die grundsätzliche Anwendbarkeit dieser Kategorisierung nicht in Frage, da die meisten Werte, die ermittelt wurden, in einen Zusammenhang mit den sachlogischen Überlegungen gebracht werden können.

Tabelle 6-18: Darstellung aller Assoziationsmaße mit nachgewiesener statistischer Signifikanz aus Kontingenz- und Konkordanzanalyse für relevante Schichtungen

Linie	Aufkommens- kategorisierung	MoFr Ferien		MoFr Schule		SaSo Ferien		SaSo Schule	
		Somers' d	Cramers V	Somers' d	Cramers V	Somers' d	Cramers V	Somers' d	Cramers V
Linie 1	fahrtbezogen	0,55	0,47	0,56	0,46		0,42		
	tagesbezogen	0,55	0,54			0,47			
Linie 4	fahrtbezogen	0,23	0,3	0,23	0,38				
	tagesbezogen	0,30		0,36			0,36		
Linie 5	fahrtbezogen	0,50	0,44	0,34	0,32				
	tagesbezogen	0,46		0,35		0,25		0,29	

Für das Untersuchungsgebiet können somit die nachfolgend aufgeführten Zusammenhänge zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen festgestellt werden:

Schlechtes Wetter mit Regen führt im Sommer in unterschiedlich hoher Ausprägung zu einem höheren Fahrgastaufkommen. Im Winter gibt es gegenläufige Tendenzen, diese sind jedoch für das angestrebte Signifikanzniveau nicht systematisch nachweisbar.

Der Zusammenhang nimmt zu, wenn eine gesonderte Betrachtung der einzelnen Tagesgruppen erfolgt. Diese Schichtungstiefe ist somit relevant und für zielführende Aussagen erforderlich. Am Wochenende kann ein Zusammenhang insbesondere außerhalb der Ferien nicht hergestellt werden.

Auf Linie 1 (Zinnowitz - Peenemünde) mit dem höchsten Anteil an Freizeitzielen wird der Zusammenhang generell als recht hoch ausgewiesen.

Das Fahrgastaufkommen auf den Linien 2 (Barth – Stralsund) und 3Z (Züssow – Stralsund) weist keine systematischen Abhängigkeiten vom Wetter auf. Da dort sowohl Fahrgastaufkommen als auch Anteil der Freizeitzielen sehr gering sind, entspricht dieses Ergebnis auch den Erwartungen.

Bei den sich in Teilen überlagernden Linien 4 (Züssow – Świnoujście) und 5 (Wolgast – Świnoujście) kann in der Tagesgruppe MoFr ein Zusammenhang festgestellt werden, der jedoch meist geringer ist als auf der Linie 1. Hier kommen weitere nachfragebeeinflussende

Faktoren zum Tragen, welche den Wetterzusammenhang abschwächen. Dazu zählen ein stärkerer An- und Abreiseverkehr und höhere Ausbildungs- und Berufsverkehrsströme. Eine kleine Veränderung der Rangordnung der Wetterkategorien durch Tausch der Kategorien 1 und 2 zeigt zwar eine sehr geringe aber trotzdem systematische Erhöhung des Zusammenhanges auf.

6.4.6 Bewertung und Schlussfolgerungen

Das Anwendungsbeispiel zeigt, dass sich sowohl die Kontingenzanalyse als auch die Konkordanzanalyse für die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Nachfrage und Wetter im ÖPNV eignet. Beide Verfahren zeigen im untersuchten Anwendungsfall vergleichbare Ergebnisse. Zudem sind diese auch sachlogisch erklärbar. Der Aufwand zur Vorbereitung der Analysen ist bei beiden Fällen nahezu identisch. Der Analyseaufwand selbst hängt von der Nutzung rechnergestützter Analysetools ab. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgten die Analysen mittels IBM SPSS und es wurden keine nennenswerten Aufwandsunterschiede festgestellt.

Für das Aufzeigen von Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage wird die Korrespondenzanalyse als wenig geeignet angesehen, insbesondere auch, weil eine sehr hohe sachlogische Vorkenntnis erforderlich ist, um sinnvolle Aussagen aus den Biplots ableiten zu können. Es können zwar Zusammenhänge damit aufgezeigt werden, aber die Gefahr einer Fehlinterpretation wird als recht hoch eingeschätzt. Die Ergebnisse der beiden anderen Verfahren unterliegen einer höheren Objektivität und erlauben zudem bei gleichem Aufbereitungsaufwand auch einen quantitativen Vergleich der Assoziationsmaße.

Für die Analyse von Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage hat sich die in Abbildung 5-10 auf Seite 116 dargestellte Vorgehensweise als zielführend herausgestellt. Für das Anwendungsbeispiel wurden Schichtungen mit einer statistisch gesicherten wetterabhängigen Nachfrage detektiert (vgl. Tabelle 6-18). Für diese wird in der Verfahrensstufe 3 untersucht, ob wetterabhängige Kapazitätsanpassungen möglich sind.

6.4.7 Vergleich des Anteils Fahrtzweck Freizeit mit der Wetterabhängigkeit der Nachfrage im Untersuchungsgebiet

Im Kapitel 2.4 wurde herausgearbeitet, dass der Anteil des Fahrtzweckes Freizeit die Wetterabhängigkeit der Nachfrage wesentlich beeinflussen kann. Um zu überprüfen, wie sich die Situation im Untersuchungsgebiet darstellt, wurden die Assoziationsmaße der statistisch signifikanten wetterabhängigen Zusammenhänge (vgl. Kapitel 6.4.5) dem Anteil des Fahrtzweckes Freizeit (vgl. Kapitel 6.1.4) gegenübergestellt. Abbildung 6-22 zeigt die Auswertung für alle Linien für die Sommererhebungsperioden.

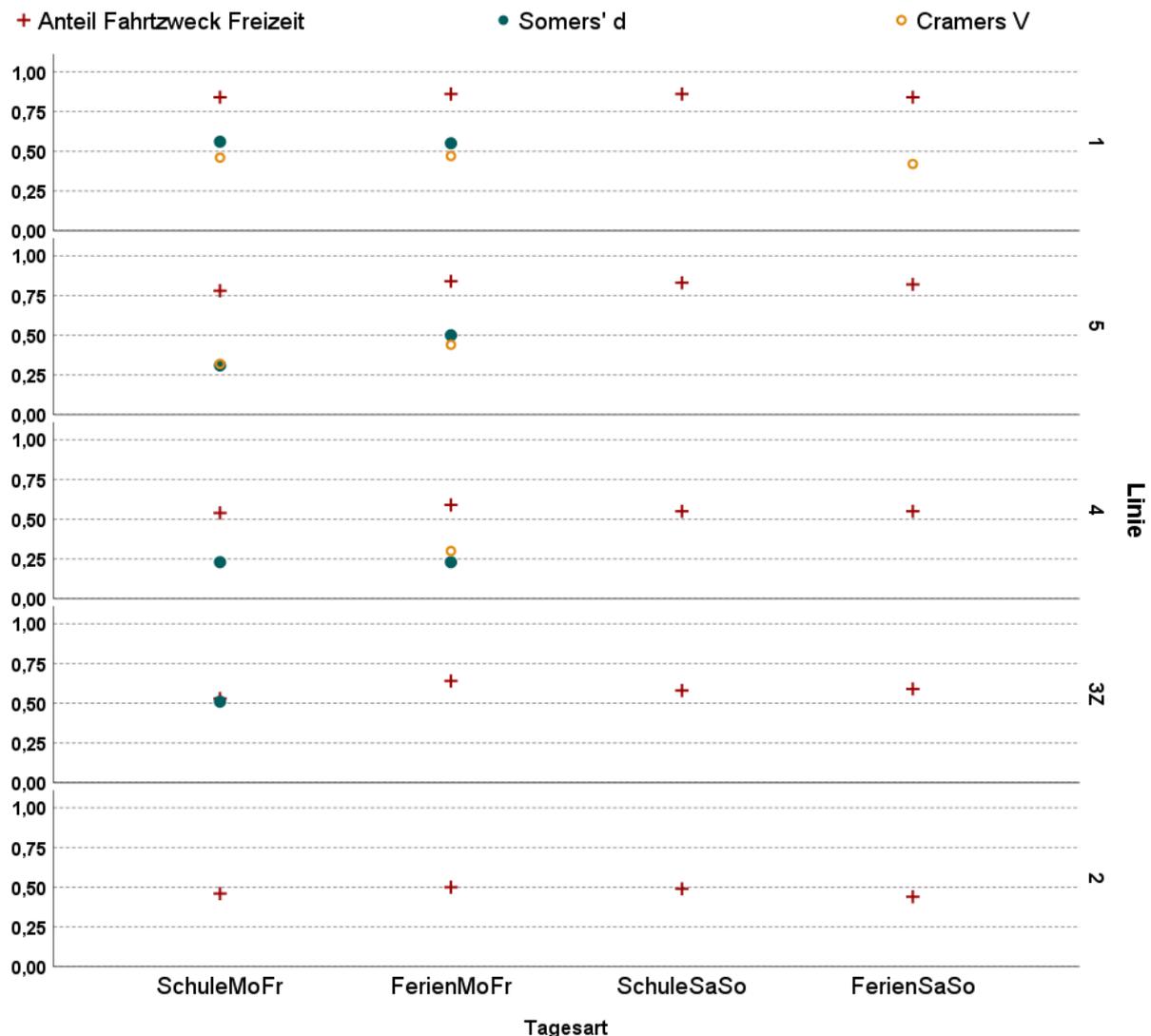


Abbildung 6-22: Gegenüberstellung der Anteile des Fahrtzwecks Freizeit und der Assoziationsmaße (Sommer)

Es kann folgendes festgestellt werden:

Für das Wochenende konnte trotz teilweise hoher Freizeitanteile nur für einen Fall (Linie 1, FerienSaSo) ein statistisch signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden.

Bei der Linie 2, bei der der Freizeitanteil unter 50 Prozent liegt, konnte in keiner Schichtung ein statistisch signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden.

Bei den Linien 3Z und 4, die schichtungsabhängig mit 55 bis 65 Prozent einen etwas höheren Freizeitanteil aufweisen, konnten Zusammenhänge nachgewiesen werden, es zeigt sich jedoch ein heterogenes Bild. So liegt das Assoziationsmaß in der Schichtung SchuleMoFr bei der Linie 3Z bei etwa 0,5. Bei der Linie 4 wird dagegen nur ein Wert von knapp 0,25 erreicht.

Die Freizeitanteile der Linien 1 und 5 sind mit 80 Prozent deutlich höher und liegen in einer miteinander vergleichbaren Größenordnung. Die entsprechenden Assoziationsmaße liegen jedoch nur in der Schichtung FerienMoFr auf einem vergleichbaren Niveau. Die höchsten Assoziationsmaße wurden für die Linie 1 für die Schichtungen SchuleMoFr und FerienMoFr ermittelt.

Erkenntnisse:

Der Wettereinfluss unterscheidet sich angebotsspezifisch auch bei vergleichbaren Größenordnungen des Freizeitanteils.

Im Untersuchungsgebiet sind erst ab einem bestimmten Anteil des Fahrtzwecks Freizeit statistisch signifikante Zusammenhänge nachweisbar. Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Freizeitanteil und der Wetterabhängigkeit kann nicht abgeleitet werden.

Die stärksten Zusammenhänge treten bei den Linien und Schichtungen mit dem größten Freizeitanteil auf. Hohe Freizeitanteile erzeugen jedoch nicht in jedem Fall statistisch signifikante Zusammenhänge. Insbesondere am Wochenende (SaSo) wird im Untersuchungsgebiet der Wettereinfluss auf die Nachfrage durch andere Faktoren überlagert und ist nicht mehr nachweisbar.

6.5 Ableitung kapazitätsrelevanter Szenarien (Verfahrensstufe 3)

6.5.1 Vorbetrachtungen

Grundsätzliche Stellschrauben für Kapazitätsveränderungen sind die Veränderung der Fahrtenhäufigkeit sowie der Fahrzeuggröße (vgl. Kapitel 3.6).

Die Möglichkeit der Veränderung der Fahrtenhäufigkeit als Reaktion auf wetterbedingte Aufkommensschwankungen kommt für das Anwendungsbeispiel nicht zum Tragen, da ein Weglassen von Fahrten neben betrieblichen Problemen bei der Umlaufverknüpfung zu einer erheblichen Wartezeiterhöhung für den Fahrgast führt. Eine Taktverdichtung lässt dagegen die aktuelle Infrastruktur nicht zu (vgl. STEINHAU, 2016).

Demzufolge bleibt die Veränderung der Anzahl der Triebwagen als Anpassungsmöglichkeit. Alle Triebwagen im Fuhrpark der UBB haben die gleiche Kapazität. Auf Linie 1 wird im Regelfall nur ein Fahrzeug eingesetzt. Auf dieser Linie kann somit der Kapazitätsfall 1 (geringere Anzahl an Fahrzeugen) nicht umgesetzt werden, denn ein Fahrzeug muss mindestens verkehren. Auf den beiden anderen Linien kommen auch Doppel- und Dreifachtraktionen zum Einsatz, somit können alle Kapazitätsfälle auftreten.

Es können auf der Linie 1 aufgrund der Bahnsteiglängen 2 Wagen miteinander gekuppelt werden (Doppeltraktion), auf den Linien 4 und 5 sind Dreifachtraktionen möglich (vgl. STEINHAU, 2016). Somit existieren, wenn auch in beschränktem Umfang, Möglichkeiten zur Anpassung der Fahrzeuggröße.

6.5.2 Ermittlung der Kapazitätsfälle

Für die Ermittlung der Kapazitätsfälle wurde die geplante Kapazität aus den vorliegenden Fahrzeugeinsatzplänen den Datensätzen zugeordnet. Da im Anwendungsbeispiel eine Veränderung der Kapazität nur durch eine Veränderung der Traktion erfolgen kann, wird diese als Anzahl der Triebwageneinheiten ausgewiesen. Maximal möglich ist eine Dreifachtraktion.

Die erforderliche Kapazität wurde aus der maximalen Besetzung einer Fahrt und einem Besetzungsgrad von 80 Prozent der 126 Sitzplätze errechnet. Die Empfehlungen des VDV (vgl. Tabelle 3-5 auf Seite 37) wurden unterschritten, um den Komfortansprüchen von Urlaubern und Touristen mit Gepäck besser zu entsprechen. Die Unterschreitung erfolgte auch vor dem Hintergrund, dass in den Zügen der UBB die Fahrradmitnahme zulasten von Steh- und Sitzplätzen stetig ansteigt (vgl. TU DRESDEN, 2006-2016).

Die Differenz zwischen erforderlicher und geplanter Kapazität wurde nach Formel (21) auf Seite 119 ermittelt und es erfolgte eine Zuordnung zu einem der drei Kapazitätsfälle. Die Informationen, die in der Verfahrensstufe 3 analysiert werden, sind in Tabelle 6-19 beispielhaft für vier Datensätze dargestellt. Maximale Besetzung, erforderliche und geplante Kapazität, aus denen sich die Aufkommenskategorie (vgl. Kapitel 6.3.2.3) ergibt, sind für die weiteren Analysen nicht mehr erforderlich und nur informativ mit aufgeführt.

Tabelle 6-19: Aufbereitete Daten mit Kapazitätsfällen

Periode	Linie	Richtung	Tagesgruppe	Schule/Ferien	maximale Besetzung	erforderliche Kapazität	geplante Kapazität	Kapazitätsfall	Wetterklasse
S	4	Swi	MoFr	S	137	2	2	2	3
S	4	Swi	SaSo	S	74	1	2	1	3
S	4	Swi	MoFr	F	161	2	2	2	5
S	4	Swi	MoFr	S	122	2	2	2	3

In der zweiten Verfahrensstufe wurden die Schichtungen selektiert, bei denen ein Zusammenhang zwischen Wetter und Fahrgastaufkommen besteht. Ausgehend von diesen Erkenntnissen werden in der Verfahrensstufe 3 die Untersuchungen auf die Linien 1, 4 und 5 im Sommer für die Tagesgruppe Montag-Freitag (MoFr) eingegrenzt. Für die ausgewählten Linien enthält Tabelle 6-20 die ermittelten Häufigkeiten der drei Kapazitätsfälle (vgl. Kapitel 5.5.1).

Tabelle 6-20: Häufigkeiten der Kapazitätsfälle (Sommer, Tagesgruppe MoFr) auf den Linien 1, 4 und 5

Linie	Periode	Häufigkeit Kapazitätsfall 1	Häufigkeit Kapazitätsfall 2 (Planfall)	Häufigkeit I Kapazitätsfall 3
1	S	-	137	23
4	S	61	100	13
5	S	28	77	11

Die geplante Kapazität reicht in den meisten Fällen aus. Das ist auch zu erwarten, denn der Angebotserstellung liegt, wie im Kapitel 3 erörtert, in der Regel auch ohne Berücksichtigung einer Wetterabhängigkeit eine nachfrageorientierte Kapazitätsdimensionierung zu Grunde. Es treten aber auch Differenzen auf, für welche nachfolgend geklärt wird, ob diese wetterabhängig eintreten.

6.5.3 Analyse von Zusammenhängen zwischen Kapazitätsfällen und Wetter

Die Prüfung von Zusammenhängen zwischen Wetterkategorien und Kapazitätsfall erfolgt mittels Kontingenzanalyse. Die Kontingenztabelle für die ausgewählten Linien und Schichtungen sind im Anhang K enthalten. Die Vorgehensweise wurde in den Kapiteln 5.4.4.6 und 6.4.2 näher erläutert.

In Tabelle 6-21 sind die Assoziationsmaße Cramers V der Kontingenzanalyse zusammengestellt. Aus der Tabelle geht hervor, dass bei der Linie 4 (Ergebnisse in hellgrauer Schrift) das erforderliche Signifikanzniveau von 5 Prozent nicht erreicht wird.

Tabelle 6-21: Ergebnisse der Kontingenzanalyse zwischen Wetterkategorie und Kapazitätsfällen

	Montag-Freitag (Sommer, Ferien)		Montag-Freitag (Sommer, Schule)	
	Cramers V	Signifikanz	Cramers V	Signifikanz
Linie 1	0,345	0,009*	0,328	0,035*
Linie 4	0,156	0,810	0,183	0,702
Linie 5	0,493	0,000*	0,375	0,002*

* angestrebtes Signifikanzniveau von $\leq 0,05$ wird erreicht

Bei den anderen beiden Linien wird das erforderliche Signifikanzniveau erreicht und die Cramers V-Werte, die zwischen 0,328 und 0,493 liegen, zeigen einen Zusammenhang zwischen Wetterkategorie und Kapazitätsfall sowohl in den Ferien als auch in der Schulzeit auf. Die weiteren Untersuchungen werden somit für die Linien 1 und 5 durchgeführt.

6.5.4 Ableitung der Kombinationen aus Wetterkategorie und Schichtung, die eine Kapazitätsanpassung erfordern

Voraussetzung für den letzten Verfahrensschritt ist die Festlegung der Akzeptanzgrenze p_Q .

Im Kapitel 5.5.3 wurde herausgearbeitet, dass für kurze Fahrten eine niedrige Akzeptanzgrenze (bis zu einem Wert von 80 Prozent) als bei längeren Fahrten (Empfehlung 95 Prozent) zum Ansatz gebracht werden kann. Für das Anwendungsbeispiel wurde von einer Akzeptanzgrenze von 90 Prozent ausgegangen. Die Festlegung begründet sich wie folgt: Die Fahrzeit auf der Linie 1 beträgt maximal 14 min. Allerdings benutzt auch ein Großteil der Fahrgäste - da in Zinnowitz Anschluss von und zur Linie 3 besteht - im Vor- bzw. Nachlauf dieser Linie andere UBB-Züge. Dadurch erhöht sich die Gesamtbeförderungszeit. Die mittlere Verweildauer in der Linie 5 beträgt 38 min. Dabei ist jedoch der Anteil an regelmäßigen Nutzern wie Pendlern und Schüler höher als bei der Linie 1 (vgl. Kapitel 6.1.2). Aus diesen Erkenntnissen heraus wurde für p_Q ein Wert von 90 Prozent gewählt.

Um die Sensitivität dieser Entscheidung beurteilen zu können, wurden die Auswertungen zusätzlich mit einem p_Q -Wert von 80 Prozent durchgeführt.

Zur Ableitung der Kombinationen aus Wetterkategorie und Schichtung, die eine Kapazitätsanpassung erfordern (kapazitätsrelevante Szenarien) wurden zunächst aus den Kontingenztabelle (Anhang K) für die Linien 1 und 5 die Anteile der Kapazitätsplanfälle (A_{plan}) sowie der anderen beiden Kapazitätsfälle je Wetterkategorie und Schichtung ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6-22 zusammengestellt. In der Stichprobe traten 5 Fall-Szenarien nicht auf.

Tabelle 6-22: Anteile der Kapazitätsfälle je Wetterkategorie und Schichtung

Schichtung	Wetterkategorie	Anteil Kapazitätsfall 1 (geringere Kapazität ausreichend, A_{gk})	Anteil Kapazitätsfall 2 (A_{Plan})	Anteil Kapazitätsfall 3 (höhere Kapazität notwendig, A_{hk})
Linie 1 Mo/Fr Ferien	1		100 %	
	2		-	
	3		83 %	17 %
	4		100 %	
	5		63 %	37 %
Linie 1 Mo/Fr Schule	1		100 %	
	2		-	
	3		97 %	3 %
	4		75 %	25 %
	5		-	-
Linie 5 Mo/Fr Ferien	1	7%	93%	
	2		-	
	3	20%	80%	
	4	33%	50%	17%
	5		25%	75%
Linie 5 Mo/Fr Schule	1	8%	84%	8%
	2		75 %	25 %
	3	52%	48%	
	4	25%	50%	25%
	5		-	

Im nächsten Schritt wurden die ermittelten Anteile von A_{Plan} mit der Akzeptanzgrenze p_Q verglichen. Im Ergebnis wurden 10 kapazitätsrelevante Szenarien für $p_Q = 90\%$ (vgl. Tabelle 6-23) und 8 für $p_Q = 80\%$ (vgl. Tabelle 6-24) ermittelt.

Tabelle 6-23: Kapazitätsrelevante Szenarien für $p_Q = 90\%$

Schichtung	Wetterkategorie	Anteil Kapazitätsfall 1 (geringere Kapazität ausreichend, A_{gk})	Anteil Kapazitätsfall 2 (A_{Plan})	Anteil Kapazitätsfall 3 (höhere Kapazität notwendig, A_{hk})
Linie 1 Mo/Fr Ferien	3		83 %	17 %
	5		63 %	37 %
Linie 1 Mo/Fr Schule	4		75 %	25 %
Linie 5 Mo/Fr Ferien	3	20%	80%	
	4	33%	50%	17%
	5		25%	75%
Linie 5 Mo/Fr Schule	1	8%	84%	8%
	2		75%	25%
	3	52%	48%	
	4	25%	50%	25%

Tabelle 6-24: Kapazitätsrelevante Szenarien für $p_Q = 80\%$

Schichtung	Wetter- kategorie	Anteil Kapazitätsfall 1 (geringere Kapazität ausreichend, A_{gk})	Anteil Kapazitätsfall 2 (A_{plan})	Anteil Kapazitätsfall 3 (hö- here Kapazität notwendig, A_{hk})
Linie 1 Mo/Fr Ferien	5		63 %	37 %
Linie 1 Mo/Fr Schule	4		75 %	25 %
Linie 5 Mo/Fr Ferien	3	20%	80%	
	4	33%	50%	17%
	5		25%	75%
Linie 5 Mo/Fr Schule	2		75%	25%
	3	52%	48%	
	4	25%	50%	25%

6.5.5 Bewertung und Schlussfolgerungen

Die mit dem Verfahren erzielten Ergebnisse bestätigen die aus sachlogischen Überlegungen gewonnenen Erkenntnisse (vgl. Kapitel 6.1.4). Bei Wetterkategorie 1 (Strandwetter) erfordert die Nachfrage in den Zügen der Linie 1 (Zinnowitz - Peenemünde) keine Anpassung. Bei steigender Wetterkategorie (abnehmenden Temperaturen und zunehmendem Niederschlag) erhöht sich der Anteil der Fälle mit einer höheren erforderlichen Kapazität als der geplanten. Das betrifft beide Tagesarten (Ferien und Schule). Die Abweichungen in der Schulzeit sind jedoch erwartungsgemäß geringer, da die touristische Nachfrage im Vergleich zur Ferienzeit nachlässt.

Bei der Linie 5 (Świnoujście - Wolgast) ist bei Wetterkategorie 1 (Strandwetter) der Anteil der Planfälle ebenfalls am höchsten. In den Ferien ist dann keine weitere Anpassung erforderlich und in der Schulzeit erst bei einer höheren Akzeptanzgrenze. Bei niedrigerer Wetterkategorie werden anders als bei Linie 1 eher geringere Kapazitäten erforderlich. Allerdings zeigt sich kein so klar interpretierbares Bild, da sowohl höhere als auch geringere Kapazitäten erforderlich wurden. Andere Faktoren überdecken somit den Wettereinfluss auf die Kapazität. Das ist nicht überraschend, denn der Anteil der wetterunabhängigen Fahrtzwecke zwischen Wolgast und Świnoujście ist höher als zwischen Zinnowitz und Peenemünde (vgl. Abbildung 6-9).

Im Ergebnis kann bei sieben ($p_Q = 90\%$) bzw. sechs ($p_Q = 80\%$) Szenarien (in den Tabellen 6-23 und 6-24 grau hinterlegt) eindeutig auf die Richtung der erforderlichen Kapazitätsanpassung geschlossen werden, da neben dem Kapazitätsplanfall nur ein weiterer Kapazitätsfall auftritt. Für diese sechs bzw. sieben Szenarien ist somit der kapazitätsrelevante Zusammenhang zwischen Wetter und Nachfrage nachgewiesen. Bei den anderen Szenarien ist dies, da sowohl Kapazitätsfälle mit geringerer als auch höherer erforderlicher Kapazität auftreten, nicht der Fall. Wie bereits oben erwähnt, lässt dies darauf schließen, dass bei diesen Szenarien andere (nicht genau bekannte) Faktoren die festgestellte Wetterabhängigkeit überlagern. Vor diesem Hintergrund wird für diese Szenarien eine Kapazitätsplanung unter Berücksichtigung der wetterabhängigen Nachfrage nicht für sinnvoll erachtet. Durch eine weitere Differenzierung der Schichtungen (z. B. nach Tageszeit bzw. Richtung) könnten gegebenenfalls weitere Erkenntnisse gewonnen werden. Aufgrund der geringen Anzahl der verbleibenden Fälle in der

Stichprobe ist jedoch eine seriöse statistische Auswertung für das Anwendungsbeispiel nicht möglich, und es wurde deshalb davon abgesehen.

Für die grau hinterlegten Szenarien würde sich die Kapazitätsplanung unter Verwendung der wetterabhängigen Nachfrage aus der Stichprobe anschließen. Da im Anwendungsbeispiel Kapazitätsanpassungen nur sehr beschränkt möglich sind⁴⁹ und im Istzustand wenige Fahrzeuge verkehren (Linie 1 ein Fahrzeug, Linie 5 zwei oder drei Fahrzeuge), wird wahrscheinlich keine Kapazitätsanpassung erfolgen. Für die Linie 1 (ein Fahrzeug im Istzustand, max. zwei Fahrzeuge möglich), würden sich bei Erhöhung der Fahrzeugzahl die Anteile der Kapazitätsfälle einfach verschieben. A_{gK} entspräche dann A_{Plan} und A_{Plan} würde den Wert von A_{hK} annehmen. Damit wäre der Anteil der Kapazitätsplanfälle wesentlich geringer als im Istzustand und es wäre eine Anpassung erforderlich. Diese entspräche dann wieder dem Istzustand. Eine Anpassung auf der Linie 1 wäre erst sinnvoll, wenn A_{Plan} - in Abhängigkeit von p_Q - unter 10 oder 20 Prozent liegt. Bei Linie 5 sind die Verhältnisse aufgrund der höheren Anzahl an Fahrzeugen im Istzustand nicht so eindeutig, aber auch hier ist zu erwarten, dass eine Kapazitätsanpassung erst bei kleineren als den ermittelten Werten für A_{Plan} sinnvoll ist. Dass keine Anpassungen erfolgen bzw. sinnvoll sind, liegt in der Spezifik des Anwendungsbeispiels und dabei insbesondere an den sehr beschränkten Möglichkeiten zur Anpassung der Kapazität.

Die Ergebnisse können jedoch Entscheidungen über kapazitätsunabhängige Anpassungen organisatorischer Abläufe unterstützen. Dies betreffe z. B. Anpassungen des Vertriebs- und Begleitpersonal.

6.6 Fazit zur Verfahrensanwendung

Auch wenn sich für das Anwendungsbeispiel im Ergebnis der Verfahrensanwendung keine Kapazitätsanpassungen ergeben, wurde das Ziel des Verfahrens - *Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien für die Kapazitätsplanung* – erreicht und damit die Anwendbarkeit nachgewiesen. Es konnten die (wetterabhängigen) Szenarien identifiziert werden, bei denen die geplante Kapazität nicht dem festgelegten Qualitätsstandard (Akzeptanzgrenze p_Q) entsprechen.

Eine wesentliche Erkenntnis aus der Verfahrensanwendung ist, dass erst im Rahmen der Kapazitätsplanung eindeutig festgestellt werden kann, ob für die identifizierten Szenarien eine Anpassung der Kapazität möglich bzw. sinnvoll ist.

Eine weitere Feststellung ist, dass für die Abschätzung des erforderlichen bzw. Überprüfung des vorhandenen Stichprobenumfangs die Wetterkategorien als eine weitere Schichtungs-ebene berücksichtigt werden müssen.

⁴⁹ Keine Anpassung der Fahrtenhäufigkeit möglich, Veränderung der Kapazität kann nur in ganzen (gleichgroßen) Triebfahrzeugeinheiten (Fahrzeugen) erfolgen (vgl. Kapitel 5.5.1).

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

7.1 Zusammenfassung

Im Status Quo erfolgt die Dimensionierung des Platzangebotes im ÖPNV unter Berücksichtigung von wochentags- und -zeitabhängigen sowie saisonalen und ereignisbezogenen Schwankungen der Nachfrage. Wetterbedingte Schwankungen wurden bisher, insbesondere auch wegen des Fehlens geeigneter Planungswerkzeuge, nicht berücksichtigt.

Mit dem im Rahmen dieser Arbeit entwickelten und an einem Anwendungsbeispiel erprobten Verfahren zur Ermittlung wetterabhängiger Nachfrageszenarien liegt nun eine Methodik vor, mit der zukünftig der Wettereinfluss bei der Kapazitätsplanung berücksichtigt werden kann. Die Anwendung des Verfahrens kann vor allem in Bedingebieten mit einem hohen Anteil des Fahrtzwecks Freizeit - also in touristisch geprägten Regionen - zu Verbesserungen der Angebotsgestaltung durch das Verkehrsunternehmen führen. Im Ergebnis können unter Umständen zusätzliche Anteile aus dem Marktsegment Freizeitverkehr gewonnen werden, da durch die wetterabhängige Bemessung der Kapazität die Erwartungen und Ansprüche der Nutzer an das Verkehrsangebot besser berücksichtigt werden. Damit kann das Verfahren auch im Hinblick auf die Erhöhung des Modal-Split-Anteils des ÖPNV im Rahmen der Verkehrswende einen Beitrag leisten.

Voraussetzung für die Durchführung des dreistufigen Verfahrens ist das Vorhandensein oder das Erfassen einer Stichprobe an Daten zum Fahrgastaufkommen. Um sicherzustellen, dass für alle bedeutsamen Wetterzustände und dabei insbesondere auch für alle zu berücksichtigenden Schichtungen ausreichend viele Fälle in der Stichprobe vertreten sind, muss diese möglichst umfangreich sein.

Nach der Kategorisierung des Fahrgastaufkommens und der Wetterdaten in der Verfahrensstufe 1 erfolgt in der Verfahrensstufe 2 die Analyse der Daten hinsichtlich Zusammenhängen zwischen Wetter und Nachfrage. Als geeignetste Methoden dafür wurden Kontingenz- und Konkordanzanalyse herausgearbeitet. Wichtig für die Durchführung ist, dass die mit der Bearbeitung Betrauten gute Kenntnisse über das Bedingebiet haben, damit sachlogische Kenntnisse über Verkehrsangebot, Nutzerverhalten und Region in die Interpretation der Ergebnisse einfließen. Die Ergebnisse der Verfahrensstufe 2 sind Grundlage für die Verfahrensstufe 3. Sie können aber auch für weitere wetterabhängige Anpassungen organisatorischer und betrieblicher Abläufe verwendet werden, beispielsweise beim Einsatz von Vertriebs- und Begleitpersonal.

Da nicht alle in der Verfahrensstufe 2 identifizierten Schichtungen mit wetterabhängiger Nachfrage zwangsläufig kapazitätsrelevant sind, werden in der Verfahrensstufe 3 jene Szenarien identifiziert, für die wetterabhängige Kapazitätsanpassungen erforderlich wären. Durch den Anwender muss dafür eine Akzeptanzgrenze für Qualitätseinschränkungen bzw. Effizienz festgelegt werden, da sich Kapazitätsanpassungen erst bei Unterschreitung dieser Grenze ergeben. Die Akzeptanzgrenze bemisst sich aus betrieblichen Zielsetzungen im Hinblick auf Kundenzufriedenheit und Effizienz.

Ob letztendlich Kapazitätsanpassungen vorgenommen werden können, hängt zum einem davon ab, ob sich bei der dem Verfahren nachgelagerten Kapazitätsplanung kapazitive Anpassungsmöglichkeiten ergeben und wenn dem so ist, ob diese in dem zur Verfügung stehenden (relativ kurzen) Handlungszeitraum umsetzbar sind. Aufgrund der Vielzahl der zu berücksichtigenden Randbedingungen bzw. der bestehenden Restriktionen für kurzfristige Kapazitätsanpassungen ist fallabhängig eine Prüfung der Umsetzbarkeit erforderlich. Alternativ können auch betriebliche Grundsätze für kurzfristige Anpassungsmöglichkeiten, die dann als Bewertungsgrundlage dienen, erarbeitet werden.

Auch wenn der Fokus dieser Arbeit auf der Betrachtung touristischer Regionen liegt, beschränkt sich die Eignung des Verfahrens nicht auf diesen Regionstyp. Die Anwendung ist bei geeigneter Datenlage uneingeschränkt auf andere Untersuchungsgebiete übertragbar. Als Ergänzung zum klassischen ÖPNV werden gegenwärtig verstärkt die Möglichkeiten des Einsatzes von On-Demand-Verkehren diskutiert und untersucht. Auch bei diesen muss zur Vorhaltung der erforderlichen Kapazitäten eine Abschätzung der Nachfrage im Vorfeld erfolgen. Mit dem entwickelten Verfahren könnte auch der Wettereinfluss insbesondere für die kurzfristige taggenaue Abschätzung berücksichtigt werden.

7.2 Ausblick

Wichtigste Voraussetzung für die Anwendung des entwickelten Verfahrens ist die Verfügbarkeit einer möglichst großen Stichprobe zum Fahrgastaufkommen. Mit manuellen Zählungen, die zudem mit einem hohen organisatorischen und personellen Aufwand verbunden sind, wird es kaum möglich sein, die erforderliche Datenmenge sicherzustellen. Da auch für viele andere Fragestellungen zur Entwicklung eines nutzerorientierten ÖPNV-Angebotes Informationen zum Fahrgastaufkommen essentiell sind, wäre es deshalb wünschenswert und zielführend, wenn zukünftig eine flächendeckende kontinuierliche Erfassung des Fahrgastaufkommens im ÖPNV erfolgt. Aktuell ist dafür der Einsatz automatischer Zählsysteme in den Fahrzeugen nahezu alternativlos, perspektivisch könnten die benötigten Informationen aber auch aus Telekommunikationsdaten gewonnen werden.

Ein wesentlicher Aspekt für die Anwendung des Verfahrens ist die Festlegung der Akzeptanzgrenze p_q für Qualitätseinschränkungen bzw. Effizienz. Im Rahmen dieser Arbeit wurden dazu mögliche Annahmen dargestellt und diskutiert. Es besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf, um zukünftig die regionalen und auch angebotstypischen Erwartungen der Nutzer differenzierter bei der Festlegung der Grenzwerte berücksichtigen zu können.

Ein in dieser Arbeit nicht betrachteter, für Verkehrsunternehmen aber wichtiger Aspekt ist die Wirtschaftlichkeit wetterabhängiger Kapazitätsanpassungen. Aus Sicht der Autorin sollte bei Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit der Fokus nicht primär auf die Frage nach der Wirtschaftlichkeit jeder einzelnen Kapazitätsanpassung gerichtet werden, und nach dem Prinzip gehandelt werden: *„Nur wenn unterm Strich ein monetärer Mehrwert heraus kommt, wird die Maßnahme umgesetzt“*; sondern stärker berücksichtigt werden, dass mit den Maßnahmen die Qualität und damit die Attraktivität des Angebotes verbessert wird, was in der Konsequenz dann zur mehr Akzeptanz des ÖPNV beiträgt und langfristig zur Erschließung zusätzlicher Marktanteile führt.

Verkehrsverträge sind derzeit bezüglich kurzfristiger Anpassungen der Kapazität in der Regel wenig flexibel gestaltet, so dass Verkehrsunternehmen kaum Möglichkeiten haben, auf wetterbedingte Nachfrageschwankungen zu reagieren bzw. das finanzielle Risiko bei ihnen verbleibt. Zukünftig sollten deshalb Verkehrsverträge Regelungen für nachfrageorientierte kurzfristige Kapazitätsanpassungen enthalten - insbesondere für Bediengebiete mit verstärkter touristischer Nutzung. Diese Thematik sollte auch in die gegenwärtig stark im politischen Fokus stehende Diskussion bezüglich der Finanzierung des ÖPNV eingebracht werden.

QUELLENVERZEICHNIS

- AAHEIM, A., HAUGE, K. E. (2005):** Impacts of climate change on travel habits – A national assessment based on individual choices, *Cicero Report (7/2005) des Center for International Climate and Environmental Research*, Oslo, Norwegen.
- ADORF, L., KLEMM, O., LOKYS, H., ROSE, P., JÖNE, S. (2019):** Einfluss des Wetters auf die Fahrgastzahlen? - Einfluss des Wetters auf die Nutzung des ÖPNV in Münster, *Der Nahverkehr*, Heft 4/2019, Hamburg: DVV Media Group.
- AEG (2020):** Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG) vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, 2396; 1994 I S. 2439), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1795) geändert worden ist.
- AFRL (2020):** Regionales Raumentwicklungsprogramm Vorpommern, *Regionaler Planungsverband Vorpommern*, Amt für Raumordnung und Landesplanung Vorpommern, Greifswald.
- ARBZG (2020):** Arbeitszeitgesetz vom 6. Juni 1994 (BGBl. I S. 1170, 1171), das zuletzt durch Artikel 8 u. Artikel 11 Absatz 2 Satz 2 des Gesetzes vom 27. März 2020 (BGBl. I S. 575) geändert worden ist.
- ARNOLD, D., ISERMANN, H., KUHN, A., TEMPELMEIER, H., FURMANS, K. (2008):** Handbuch Logistik, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- BASIGO (2020):** BaSigo - Bausteine für die Sicherheit von Großveranstaltungen <http://www.basigo.de>, Bergische Universität Wuppertal, abgerufen am 12.02.2020, Wuppertal.
- BAST (2019):** Automatische Zählstellen auf Autobahnen und Bundesstraßen, abrufbar unter: https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v2-verkehrszaehlung/zaehl_node.html, Bundesanstalt für Straßenwesen.
- BACKHAUS, K., ERICHSON, WEIBER, R. (2013):** Fortgeschrittene Multivariate Analysemethoden, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- BACKHAUS, K., ERICHSON, B., PLINKE, W., WEIBER, R. (2016):** Multivariate Analysemethoden, Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
- BASTIANS, M. (2009):** Preiselastizitäten im öffentlichen Personenverkehr (ÖPV) - Anwendungspotenziale und ihre Übertragbarkeit im räumlichen Kontext, Dissertation, CAU, Kiel.
- BECKER, T., HERRMANN, R., SANDOR, V., SCHÄFER, D., WELLISCH, U. (2016):** Stochastische Risikomodellierung und statistische Methoden, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- BECKER, U.; GERIKE, R.; VÖLLINGS, A. (1999):** Gesellschaftliche Ziele von und für Verkehr, Heft 1 der Schriftenreihe des Instituts für Verkehr und Umwelt e.V. (DIVU), Dresden.
- BECKER, U., RICHTER, F. (2018):** Elektromobilität in Dresden - Potentialstudie, Stadt Dresden (Hrsg.), Dresden.

- BEHNKE, J., BEHNKE, N. (2006):** Grundlagen der statistischen Datenanalyse, Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- BERGNER, U. (2018):** Differenzierungsmodell für eine anforderungsorientierte verkehrliche Kapazitätsplanung im ÖPNV, Dissertation, Hamburg, Dresden.
- BERLIN (2019):** Nahverkehrsplan Berlin 2019-2023, Land Berlin, Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz und CNB GbR, Berlin.
- BIESCHKE, S., LUX, B. (2021):** Betriebliche Aspekte automatisierter öffentlicher Busverkehrsangebote; Der Nahverkehr, Heft 6/21, Hamburg: DVV Media Group GmbH.
- BMVI (2018):** Verkehr in Zahlen, Kraftfahrt-Bundesamt, BMVI (Hrsg.), Flensburg.
- BOLBOL, A., CHENG, T., TSAPAKIS, I. (2013):** Impact of weather conditions on macroscopic urban travel times, in: *Journal of Transport Geography* 28, S. 204-211, London, UK.
- BURA-ZUGTV (2019):** Flächentarifvertrag für das Zugpersonal, abgeschlossen zwischen GDL und AGV DB am 01.01.2019, Frankfurt.
- COHEN, J. (1988):** Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.). Erlbaum Associates, New York.
- CORSTEN, H., STUHLMANN, S. (1997):** Kapazitätsmanagement in Dienstleistungsunternehmen - Grundlagen und Gestaltungsmöglichkeiten, Gabler-Verlag: Wiesbaden.
- DB (2004-2016):** Kursbuchtabeln 190, 192, 193, 203 und 205, (bis 2008 aus Kursbücher Regionalverbindungen - Teil C - Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern; ab 2009 digital veröffentlichte Fahrplantabeln), Hrsg: DB RegionAG: Potsdam, Schwerin, Frankfurt (Main).
- DIN EN 13816 (2002):** Transport – Logistik und Dienstleistungen – Öffentlicher Personenverkehr; Definition, Festlegung von Leistungszielen und Messung der Servicequalität, Deutsches Institut für Normung, Berlin: Beuth Verlag.
- DIW (DEUTSCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG) (2011):** Verkehr in Zahlen 2011 / 2012. Hamburg. (Herausgeber: BMVBS).
- DORSCH, M. (2019):** Öffentlicher Personennahverkehr, München-UKV-Verlag.
- DRECHSLER, R. (2018):** Zusammenhänge zwischen Verkehrsaufkommen und Wetterbedingungen in einer Urlaubsregion, *Diplomarbeit*, Technische Universität Dresden.
- DWD (2015):** Messnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD), www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_wir_ueberuns_praesenz&T21004627941155633442979gsbDocumentPath=Content%2FOeffentlichkeit%2FKU%2FKUPK%2FWir_ueber_uns%2FMessnetz_Teaser.html&_state=maximized&_windowLabel=T2100462, Deutscher Wetterdienst, abgerufen am 17.03.2015, Offenbach.
- DWD (2018):** Wetterdaten und Statistiken Express - Klimadatenbank WESTE-XL, Deutscher Wetterdienst. Offenbach.

- DWD (2019A):** Leistungen WESTE-XL, https://www.dwd.de/DE/leistungen/weste/westexl/weste_xl.html, Deutscher Wetterdienst, abgerufen am 25.01.2019, Offenbach.
- DWD (2019B):** Aktuelles Netz der Stationen mit täglichen Klimadaten des Nationalen Klimadatenzentrums (Stand: 11.10.2018), https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mnetzkarten/messnetz_rr.pdf;jsessionid=7C3C5AF86A85EC226B8C33DF3206E53D.live21061?__blob=publicationFile&v=1, Deutscher Wetterdienst, abgerufen am 12.02.2019, Offenbach.
- DWD (2019C):** Qualität kurzfristiger Punktvorhersagen, https://www.dwd.de/DE/wetter/schon_gewusst/qualitaetvorhersage/qualitaetvorhersage_node.html, Deutscher Wetterdienst, abgerufen am 12.12.2019, Offenbach.
- DWD (2020):** Wetterlexikon, <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/>, Deutscher Wetterdienst, zuletzt abgerufen am 12.02.2020, Offenbach.
- EFPV (2009):** Verordnung über die Einsatzbedingungen des fahrenden Personals im interoperablen grenzüberschreitenden Eisenbahnverkehr, Eisenbahn-Fahrpersonalverordnung (EFPV) vom 24. August 2009 (BGBl. I S. 2957).
- EICHMANN, V., BERSCHIN, F., BRACHER, T., WINTER, M. (2006):** Umweltfreundlicher, attraktiver und leistungsfähiger ÖPNV – Ein Handbuch, Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin.
- EREGG (2020):** Eisenbahnregulierungsgesetz vom 29. August 2016 (BGBl. I S. 2082), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 29. Juni 2020 (BGBl. I S. 1531) geändert worden ist.
- FASTENMEIER, H. (2003):** Ein Erklärungsansatz für Motive und Aktivitäten in Alltags- und Erlebnisfreizeit, *Beitrag in: Schriftenreihe Freizeitmobilitätsforschung*, Mannheim: Verlag MetaGIS Infosysteme.
- FPERSG (2019):** Fahrpersonalgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. Februar 1987 (BGBl. I S. 640), das zuletzt durch Artikel 138 des Gesetzes vom 20. November 2019 (BGBl. I S. 1626) geändert worden ist"
- FPERSV (2017):** Fahrpersonalverordnung vom 27. Juni 2005 (BGBl. I S. 1882), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 8. August 2017 (BGBl. I S. 3158) geändert worden ist.
- FGSV (2001):** Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln: FGSV Verlag GmbH.
- FGSV (2010):** Empfehlungen für Planung und Betrieb des öffentlichen Personennahverkehrs, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln: FGSV Verlag GmbH.
- FGSV (2012):** Empfehlungen für Verkehrserhebungen, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (EVE), Köln: FGSV Verlag GmbH.

- FIS (2020):** Organisation des ÖPNV, Wissenslandkarte des Forschungsinformationssystems Mobilität und Verkehr des BMVI, (abzurufen unter: www.forschungs-informations-system.de), Dresden.
- FORST-LÜRKEN, R. (2003):** Verkehr der Zukunft, *Öffentlicher Vortrag*, http://www.ostfalia.de/export/sites/default/de/ifvm/download/FoLue/Vortraege/Verkehr_der_Zukunft_-_Zukunft_des_Verkehrs.pdf, abgerufen 14.07.2017, Salzgitter.
- FRANKEN, M. (2021):** Potentiale der Reaktivierung von radial zu Oberzentren verlaufenden Nebenbahnen im ländlichen Raum, *Studienarbeit*, Technische Universität Dresden.
- FRIEDRICH, M. (2011):** Wie viele? Wohin? Womit? Was uns Verkehrsnachfragemodelle wirklich sagen? *Tagungsband Herureka 11*, Köln: FGSV Verlag.
- FREYER, W., NAUMANN M., SCHULER, A. (2008):** Standortfaktor Tourismus und Wirtschaft, *Schriftenreihe zu Tourismus und Freizeit, Band 8*, Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- FREYER, W. (2015):** Tourismus - Einführung in die Fremdenverkehrsökonomie, Berlin/München/Boston: De Gruyter GmbH.
- GEBHART, K., NOLAND, R. B. (2013):** The Impact of Weather Conditions on Capital Bike-share Trips. *Transportation Research Board 92nd Annual Meeting*, Washington DC.
- GERICS (2008):** Hitze-Index, https://www.gerics.de/products_and_publications/publications/detail/062996/index.php.de, Climate Service Center Germany (GERICS), zuletzt abgerufen am 12.02.2020, Hamburg.
- GEISLER-BUCKERT, F. (2020):** Dienstpläne nach Wunsch, <https://idispro.de>, IT-Consulting Friedrich Geisler-Buckert, zuletzt abgerufen am 09.11.2020, Wuppertal.
- GINTNER, V. (2008):** Modelle und Lösungsverfahren für die integrierte Ressourceneinsatzplanung im öffentlichen Personennahverkehr, Dissertation, Paderborn.
- GRÜNWALD, R. (2017):** Hypothesentest SPSS: Wie teste und interpretiere ich richtig, <https://novustat.com/statistik-blog/hypothesentest-spss-wie-teste-und-interpretiere-ich-richtig.html>, Novustat, zuletzt abgerufen am 26.08.2020, Wollerau.
- GUTENBERG, E. (1976):** Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Band 1, 22. Auflage, S. 3f, Berlin-Heidelberg-New York: Springer Verlag.
- HAMANN, R. (1998):** Umweltfreundlicher Freizeit und Fremdenverkehr, *FGSV-Arbeitspapier Nr. 47*, Arbeitsausschuss "Öffentlicher Verkehr" der Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitskreis "Tourismusverkehr", S. 12, Köln.
- HARRER, B., BERNDT, M., MASCHKE, J. (2016):** Nachhaltige Mobilitätskonzepte für Touristen im öffentlichen Verkehrs mit Fokus auf Regionen im Bereich von Großschutzgebieten, in: *Schriftenreihe Nr. 56/2016 des DWIF e.V.*, München.
- HEINEN, E. (1985):** Betriebswirtschaftliche Kostenlehre, 6. Auflage, Wiesbaden.

- HOFFMANN, M. (2020):** Prognosegüte von Wettervorhersagen, <https://www.wetterprognose-wettervorhersage.de/wetterkarten-unwetter-regenradar-wolkenradar/wetter-fragen/1036-prognoseguete-von-wettervorhersagen.html>, zuletzt abgerufen am 17.09.2020, Lichtenwald.
- HOFMANN, U. (1983):** Das Verteilungsgesetz der Verkehrsstromstärke und Anwendungsbeispiele in der Praxis, Dissertation, Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“, Dresden.
- IGES (2017):** Nahverkehrsplan für den Landkreis Vorpommern-Greifswald und die Universitäts- und Hansestadt Greifswald, IGES Institut GmbH, Berlin.
- INFAS, DLR (2010A):** MID 2008 (Mobilität in Deutschland 2008), *Ergebnisbericht*, Berlin und Bonn.
- INFAS, DLR (2010B):** MID 2008 (Mobilität in Deutschland 2008), *Ergebnisbericht Mecklenburg-Vorpommern*, Berlin und Bonn.
- INFAS, DLR (2017A):** Mobilität in Deutschland - MiD), *Ergebnisbericht*, Berlin und Bonn.
- INFAS, DLR (2017B):** Mobilität in Tabellen - MiT, <https://www.mobilitaet-in-tabellen.de/mit/>, Berlin und Bonn.
- INFAS, DLR (2018):** Mobilität in Deutschland - MiD), *Tabellarische Grundausswertung*, Berlin und Bonn.
- KALKE, M. (2019):** Analyse des Informationsflusses zur Planung und Realisierung von Bahndienstleistungen *Studienarbeit*, Institut für Bahnsysteme und öffentlicher Verkehr, TU Dresden.
- KALKSTEIN, A., KUBY, M., GERRITY, D. (2009):** An analysis of air mass effects on rail ridership in three US cities, in: *Journal of Transport Geography* 17(3), S. 198-207., Tempe, USA.
- KAMMLER, M. (2003):** Intensität und räumliche Strukturen des Tourismus in der Küstenregion Warnemünde – Kühlungsborn, *Diplomarbeit*, Geografisches Institut der CAU, Kiel.
- KHATTAK, A., DE PALMA, A. (1997):** The Impact of adverse weather Conditions on the Propensity to change travel decisions: a survey of Brussels commuters, *Transportation Research Part A* 31, S. 131-203, Chapel Hill, USA und Cergy Pontoise, Frankreich.
- KIRCHHOFF, P. (2002):** Städtische Verkehrsplanung, Konzepte, Verfahren, Maßnahmen, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden: B.G. Teubner GmbH.
- KITTLER, W. (2010):** Beeinflussung der Zeitwahl von ÖPNV-Nutzern, Dissertation, *Schriftenreihe des Instituts für Verkehr, TU Darmstadt (Hrsg.)* - Heft V 27, Darmstadt.
- KLINGE, R. C. (1997):** Kapazitätsplanung in Dienstleistungsunternehmen, Planungs- und Gestaltungsprobleme: Wiesbaden: Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- KÖBERLEIN, C. (1997):** Verkehrslexikon, München: R. Oldenbourg Verlag.

- KRÖNES, G. (1990):** Aufkommensschwankungen im Personennahverkehr: Verkehrsspitzen und -täler im öffentlichen Personenverkehr an Werktagen, Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft.
- KUMMER, S. (2010):** Einführung in die Verkehrswirtschaft, Wien: Facultas Verlags- und Buchhandels AG.
- LAIV MV (2014):** GeoPortal.MV, Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern, Amt für Geoinformation, Vermessungs- und Katasterwesen, <http://www.gaia-mv.de/gaia/gaia.php>, Schwerin.
- LAIV MV (2021):** Geodatenviewer GDI-MV, <https://www.geoportal-mv.de/gaia/gaia.php>, abgerufen am 13.07.2021, Schwerin.
- LASUV (2018):** Hinweise zur Antragstellung einer Liniengenehmigung nach dem Personenbeförderungsgesetz (PBefG), Landesamt für Straßenbau und Verkehr des Freistaates Sachsen, Dresden.
- LASUV (2019):** Verfahrensweise bei Fahrplanänderungsanträgen (unverbindliches Merkblatt), Landesamt für Straßenbau und Verkehr des Freistaates Sachsen, Dresden.
- LEHMANN, A. (1980):** Die Anpassung von Verkehrsunternehmen bei Nachfrageschwankungen, Berlin.
- LEIPZIG (2019):** Nahverkehrsplan der Stadt Leipzig – Zweite Fortschreibung, https://www.leipzig.de/fileadmin/mediendatenbank/leipzig.de/Stadt/02.6_Dez6_Stadtentwicklung_Bau/66_Verkehrs_und_Tiefbauamt/Nahverkehrsplan/Zweite-Fortschreibung-Nahverkehrsplan-Stadt-Leipzig-2019.pdf, abgerufen am 19.06.2019, Stadt Leipzig (Hrsg.), Leipzig.
- LIU, C., SUSILO, Y., KARLSTRÖM (2014):** Examining the impact of weather variability on non-commuters' daily activity–travel patterns in different regions of Sweden, *Journal of Transport Geography* 39, S. 36-48, Stockholm, Schweden.
- LFTV (2019):** Tarifvertrag für Lokomotivführer von Schienenverkehrsunternehmen (LfTV), abgeschlossen zwischen GDL und AGV Move am 04.01.2019, Frankfurt.
- LOHSE, D., SCHNABEL, W. (1997):** Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung Bd. 2, Berlin: Verlag für Bauwesen GmbH.
- LUTZ, H.-P. (2020):** Zusammenhangsmaße für ordinalskalierte Daten, Virtuelle Lernplattform (ViLeS), Kapitel 10, <http://vilespc01.wiwi.uni-oldenburg.de/navtest/viles1/>, zuletzt abgerufen am 29.05.2020, Oldenburg.
- MALERI, R. (1997):** Grundlagen der Dienstleistungsproduktion. 4. Auflage, Berlin.
- MAZE, T. H., AGARWAL, M., BURCHETT, G. (2005):** Whether Weather matters to traffic demand, traffic safety, and traffic flow; *Final General Report*, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Ames, USA.

- MÜLLER, J. (2016):** Statistical explanatory and prediction models for free-floating carsharing systems, Dissertation, Universität der Bundeswehr München.
- PAPKE, F. (2020):** Gespräch über die Einführung eines verbilligten Schlechtwettertickets bei der Iltztalbahn. Unveröffentlicht.
- PBEFG (2020):** Personenbeförderungsgesetz (PBefG), In der Fassung der Bekanntmachung vom 8. August 1990 (BGBl. I S. 1690), Zuletzt geändert durch Artikel 329 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328).
- PBV (2013):** Nahverkehrsplan für den Landkreis Vorpommern-Rügen 2014 – 2019, Planungsbüro für Verkehr, Bornkessel, Brohm & Markgraf, Berlin.
- PILLAT, J. (2014):** Methoden zur Analyse und Prognose des Verkehrsaufkommens unter Berücksichtigung des Wetters auf Autobahnen, Dissertation, *Schriftenreihe des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.)* - Heft 49, Stuttgart.
- REINBODT, C. (2020):** Grundlagen der Statistik: Zusammenhangsmaße – die Korrelationskoeffizienten nach Spearman und Kendall, <https://wissenschafts-thurm.de/grundlagen-der-statistik-zusammenhangsmasse-die-korrelationskoeffizienten-nach-spearman-und-kendall>, zuletzt abgerufen am 29.05.2020
- REINHARDT, W. (2011):** Öffentlicher Personennahverkehr, Technik – rechtliche und betriebswirtschaftliche Grundlagen, Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag.
- REISS, S. (2017):** Demand Modeling and Relocation Strategies for Free-Floating Bicycle Sharing Systems, Dissertation, Bundeswehr Universität München.
- RL2002/15/EG (2002):** Richtlinie 2002/15/EG zur Regelung der Arbeitszeit von Personen, die Fahrtätigkeiten im Bereich des Straßentransports ausüben des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. März 2002, EU-Amtsblatt Nr. L 080 vom 23/03/2002.
- RMV (2019):** Regionaler Nahverkehrsplan des RMV (RNVP), *Rhein-Main-Verkehrsverbund (Hrsg.)*, Frankfurt am Main.
- RÜDE, M., FIEDLER, F., MEERBACH, T., KUSS, S. (2020):** Ergebnisse aus der Verkehrserhebung SRV 2018 - Mobilität in Dresden und Umland unter der Lupe, Dresden.
- RÜGER, B. (2006):** Mobilität und Wirtschaftsfaktor Tourismus – Ergänzung oder Widerspruch?, *Beitrag zum internationalen Verkehrssymposium Linz 2006*, Wien.
- RÜHLE, J. (2007):** Planungssystem im Schienenpersonenfernverkehr, Köln: Kölner Wissenschaftsverlag.
- RÜSCH, F. (2018):** Zukunftskonzept Virtuelle Kupplung – Ein innovativer Lösungsansatz für die baureihen- und herstellerübergreifende Kuppelbarkeit von Triebfahrzeugen, Dissertation, https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/7907/5/ruesch_franziska.pdf, abgerufen am 01.11.2019, Berlin.

- SANEINEJAD, S. (2010):** Modelling the Impact of Weather Conditions on Active Transportation Travel Behaviour, Dissertation, https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/25793/6/Saneinejad_Sheyda_201011_MASc_thesis.pdf, abgerufen am 02.06.2021, University of Toronto.
- SCHEDLER, K. E., SCHRÖDER O. (2014):** WOLKE - Wetterabhängige Kalibrierung von Verkehrsmodellen für eine optimierte Verkehrssteuerung, *Schlussbericht der Fa. micKS MSR GmbH*, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Förderkennzeichen 19P10017A-D, Fellbach und Oberstdorf.
- SCHMALEN, HELMUT, PECHTL, H. (2013):** Grundlagen und Probleme der Betriebswirtschaft, 15., überarbeitete Auflage, S. 7, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart.
- SCHMIDT, A., MÄNNEL, T. (2017):** Potentialanalyse zur Mobilfunkdatennutzung in der Verkehrsplanung, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart.
- SCHMÖLLER, S., WEIKL, S. MÜLLER, J., BOGENBERGER, K. (2015):** Empirical analysis of free-floating carsharing usage: The Munich and Berlin case, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 56, S. 34-51, Abschn. 3.3.1.
- SCHNIEDER, L. (2015):** Betriebsplanung im öffentlichen Personennahverkehr, Berlin: Springer-Verlag.
- SCHOLZ, G. (2012):** IT-Systeme für Verkehrsunternehmen: Informationstechnik im öffentlichen Verkehr, Heidelberg: dpunkt-Verlag.
- SCHUCAN, G.-M. (2020):** FAIRTIQ – das einfachste Ticket der Schweiz, *Vortrag auf der Fachtagung MobilitätKommunikation*, Januar 2020, Dresden.
- SCHWARZ, J. (2019):** Datenanalyse mit SPSS – Methodenberatung, *Online-Kurs der Universität Zürich*, https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss.html, zuletzt abgerufen am 15.04.2020, Zürich.
- SCHWEIZER BUNDESAMT FÜR STATISTIK (1996):** Verkehrsverhalten in der Schweiz 1994, *Statistik der Schweiz* 11, Bern, Schweiz.
- SCHWEIZER BUNDESAMT FÜR STATISTIK, BUNDESAMT FÜR RAUMENTWICKLUNG (2012):** Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010, *Statistik der Schweiz* 11, Neuchâtel und Bern, Schweiz.
- SCOTT, D., GÖSSLING, S., DE FREITAG, C. R., (2007):** Climate preferences for tourism: an exploratory tri-nation comparison, *Beitrag 3. International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*, Freiburg.
- SNB DB (2020):** Schienennetz-Benutzungsbedingungen der DB Netz AG 2020 (SNB 2020) Gültig ab 15.12.2019, DB AG: Frankfurt.
- SNB MONHEIM (2017):** Schienennetz-Nutzungsbedingungen- Besonderer Teil (SNB-BT) Bahnen der Stadt Monheim GmbH (BSM).

- SNB SAARBAHN (2019):** Entgelte für die Benutzung des Schienenweges „Köllertalstrecke“ der Saarbahn Netz GmbH durch Zugangsberechtigte ab der Netzfahrplanperiode 2020/2021, <https://www.saarbahn.de/media/download-5d51293f7fe14>, zuletzt aufgerufen am 30.09.2020.
- STATISTISCHES AMT MV (2017):** Tabelle G116901G – Gästeankünfte nach Gemeinden, Statistisches Informationssystem des Landes Mecklenburg Vorpommern, Landesamt für innere Verwaltung - Statistisches Amt, Schwerin.
- STATISTISCHES AMT MV (2019):** Tabelle A123 - Bevölkerungsstand der Kreise, Ämter und Gemeinden, Statistisches Informationssystem des Landes Mecklenburg Vorpommern, Landesamt für innere Verwaltung - Statistisches Amt, Schwerin.
- STEINHAU, E. (2016):** Anforderungen aus infrastruktureller und betrieblicher Sicht für ein verändertes Angebotskonzept der Usedomer Bäderbahn, Diplomarbeit, Technische Universität Dresden.
- STEHLAND, T. (2013):** Basiswissen Statistik, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- STILLER, G. (2020):** Wirtschaftslexikon24.com, <http://www.wirtschaftslexikon24.com>, zuletzt abgerufen am 22.09.2020, Managua (Nicaragua).
- SUNRISE-AND-SUNSET (2018):** Sonnenaufgang und Sonnenuntergang Stralsund, Deutschland, www.sunrise-and-sunset.com/de/sun/deutschland/stralsund, abgerufen am 23.03.2018.
- TLUSTECK, T. (2020):** Kurzfristige Kapazitätsanpassungen für touristische Verkehre im öffentlichen Verkehr, *Studienarbeit*, Professur für Bahnverkehr, Öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr, Dresden.
- TU DRESDEN (2006-2016):** Verkehrserhebung in den Nahverkehrszügen Vorpommerns, *Projektberichte 2006-2016*, Professur für Bahnverkehr, Öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr, Dresden: unveröffentlicht.
- TU DRESDEN (2013):** Verkehrserhebung Mecklenburgische Bäderbahn Molli, *Projektbericht*, Professur für Bahnverkehr, Öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr, Dresden: unveröffentlicht.
- TV-N BAYERN (2018):** Tarifvertrag Nahverkehrsbetriebe Bayern (TV-N Bayern) vom 18. August 2006 in der Fassung des 8. Änderungsstarifvertrages vom 22. Juni 2018.
- TzBFG (2019):** Teilzeit- und Befristungsgesetz vom 21. Dezember 2000 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 22. November 2019 (BGBl. I S. 1746) geändert worden ist.
- UBB (2016A):** Triebfahrzeugeinsatzpläne 3/2015, 6 und 7/2016, UBB GmbH, Heringsdorf (nicht veröffentlicht).
- UBB (2016B):** Internetauftritt der UBB, www.ubb-online.com, abgerufen am 23.08.2016, Heringsdorf.

- UHL, J., ULLRICH, M., HANTSCH, F. (2018):** Entwicklung eines bedientheoretischen Modells zur Bestimmung von Fahrgastwechselzeiten im spurgeführten Verkehr, in: *Tagungsband 26. Verkehrswissenschaftliche Tage*, Technische Universität Dresden.
- VDV (1992):** Verkehrserhebungen, *VDV Schrift 1*, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln.
- VDV (2001):** Verkehrserschließung und Verkehrsangebot im ÖPNV, *VDV Schrift 4*, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln.
- VDV (2002):** Messung der Dienstleistungsqualität im ÖPNV, *VDV Mitteilung 10008* Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln.
- VDV (2010):** Gewinnung und Verknüpfung von Nachfragedaten im ÖPNV, *VDV Schrift 951*, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln.
- VDV (2018):** Automatische Fahrgastzählsysteme, *VDV Schrift 457*, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln.
- VDV (2019A):** Verkehrserschließung, Verkehrsangebot und Netzqualität im ÖPNV, *VDV Schrift 4*, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln.
- VDV (2019B):** Fahrzeugreserve in Verkehrsunternehmen *VDV Schrift 801*, Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV), Köln.
- VO (EG) 561 (2014):** Verordnung (EG) Nr. 561/2006 des Rates zur Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr des Rates vom 15.03.2006 zuletzt geändert durch VO (EU) Nr. 165/2014 vom 04.02.2014, ABl. der EU L 60/1 vom 28.02.2014.
- VO (EG) 1370 (2007):** Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über öffentliche Personenverkehrsdienste auf Schiene und Straße und zur Aufhebung der Verordnungen (EWG) Nr. 1191/69 und (EWG) Nr. 1107/70 des Rates, Amtsblatt der Europäischen Union vom 03.12.2007.
- WEGELIN, P., VON ARX, W., STRICKER, Y., FRÖLICHER, J. (2017):** Der Einfluss des Wetters auf das Reiseverhalten. KTI Forschungsprojekt Wertschöpfungspotentiale im Freizeit- und Tourismusverkehr. ITW Working Paper Series Mobilität 004/2017, Hochschule Luzern (HSLU), Luzern.
- WEIDMANN, U. (2011):** Systemdimensionierung und Kapazität Band 2.1, in: *Vorlesungsskript, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH)*, Zürich.
- WENDT, M. (2016):** Freizeitverkehr und ÖPNV- ein Nachfragesegment als Herausforderung; *Stadtverkehr*, Heft 3/2016, Freiburg im Breisgau: EK-Verlag.
- ZVON (2013):** Anlage 1-3 zum Verkehrsvertrag ZVON – Fahrplan 2014 ab 15.12.13, ZVON, Bautzen (unveröffentlicht).
- 4TEACHERS (2014):** Umrisskarte Deutschland, https://www.4teachers.de/?action=keyword_search&searchtype=images&searchstring=Landkarte, abgerufen 01.10.2014, Koblenz.

Anhang A Mobilitätsrelevante Einflüsse und Entscheidungen

Tabelle A-1: Mobilitätsrelevante Entscheidungen, die in einem Verkehrsmodell abgebildet werden und zugehörige Einflussfaktoren (aus Friedrich 2011, S. 2)

Entscheidungsart	Personenbezogene Einflussfaktoren	Externe Einflussfaktoren
Aktivitätenwahl	<ul style="list-style-type: none"> - Lebensphase (Alter, Berufstätigkeit) - Haushaltsstruktur - durchzuführende Aktivitäten 	<ul style="list-style-type: none"> - Verteilung der Nutzungen (Aktivitätenorte) im Raum - Attraktivität der Aktivitätenorte - Erreichbarkeit der Aktivitätenorte
Zielwahl	<ul style="list-style-type: none"> - Zweck der Aktivität - Kenntnis über mögliche Aktivitätenorte und ihrer Eigenschaften - Pkw-Verfügbarkeit, Führerscheinbesitz - Zahlungsbereitschaft und Präferenzen 	
Verkehrsmittelwahl	<ul style="list-style-type: none"> - Zweck der Aktivität - Pkw-Verfügbarkeit, Führerscheinbesitz - Zeitpunkt der Fahrt - Kenntnis über mögliche Verkehrsmittel und ihrer Eigenschaften - Zahlungsbereitschaft und Präferenzen 	<ul style="list-style-type: none"> - verfügbare Verkehrsmittel - Parkplatzverfügbarkeit am Zielort - Eigenschaften der Verkehrsmittel (Reisezeit, Kosten, Umsteigehäufigkeit, Komfort, Sicherheit, etc.)
Abfahrtszeitwahl	<ul style="list-style-type: none"> - gewünschte Ankunftszeit - Kenntnis über die zeitabhängigen Eigenschaften einer Ortsveränderung - zeitliche Flexibilität 	<ul style="list-style-type: none"> - zeitabhängige Reisezeit - zeitabhängige Kosten
Routenwahl	<ul style="list-style-type: none"> - Kenntnis über mögliche Routen und ihrer Eigenschaften - Zahlungsbereitschaft und Präferenzen 	<ul style="list-style-type: none"> - verfügbare Routen - Eigenschaften der Routen (Reisezeit, Umsteigehäufigkeit, etc.) - Verfügbarkeit von Informationssystemen über die aktuellen Eigenschaften der Routen

Anhang B Beurteilung von Wetterfaktoren

Windchilleffekt zur Beurteilung von Temperaturen

Tabelle B-1: Windchilleffekt: Gefühlte Temperaturen in Abhängigkeit vom Wind (eigene Darstellung nach BASIGO 2020)

Windgeschwindigkeit [km/h]	Lufttemperatur [°C]				
	10	5	0	-5	-10
0					
	Gefühlte Temperatur [°C]				
5	10	4	-2	-7	-13
10	8	3	-3	-9	-15
15	8	2	-4	-11	-17
20	7	1	-5	-12	-18
25	7	1	-6	-12	-19
30	7	0	-7	-13	-20
40	6	-1	-7	-14	-20

Hitzeeffekt zur Beurteilung von Temperaturen

Tabelle B-2: Hitzeindex: Gefühlte Temperaturen in Abhängigkeiten der Luftfeuchtigkeit (eigene Darstellung nach GERICS 2020)

Temperatur [°C]	Relative Luftfeuchte [%]				
	25	30	35	40	45
	Gefühlte Temperatur [°C]				
22	22	22	22	22	23
24	24	24	24	25	26
26	26	26	27	28	29
28	28	29	30	31	32
30	30	32	33	34	35
32	33	34	36	37	38
34	36	37	39	40	42

Beaufortskala zur Beurteilung von Windverhältnissen

Tabelle B-3: Beaufortskala zur Beurteilung der Windverhältnisse (eigene Darstellung nach DWD 2020)

Windstärke [Bft]	Bezeichnung	mittl. Windgeschwindigkeit [km/h]	Wirkung an Land
0	Windstille, Flaute	0 – 1	keine Luftbewegung, Rauch steigt senkrecht empor
1	leiser Zug	1 – 5	kaum merklich, Rauch treibt leicht ab, Windflügel und Windfahnen unbewegt
2	leichte Brise	6 – 11	Blätter rascheln, Wind im Gesicht spürbar
3	schwache Brise	12 – 19	Blätter und dünne Zweige bewegen sich, Wimpel werden gestreckt
4	mäßige Brise	20 – 28	Zweige bewegen sich, loses Papier wird vom Boden gehoben
5	frische Brise	29 – 38	größere Zweige und Bäume bewegen sich, Wind deutlich hörbar
6	starker Wind	39 – 49	dicke Äste bewegen sich, hörbares Pfeifen an Drahtseilen und Telefonleitungen
7	steifer Wind	50 – 61	Bäume schwanken, Widerstand beim Gehen gegen den Wind
8	stürmischer Wind	62 – 74	große Bäume werden bewegt, Zweige brechen von Bäumen, beim Gehen erhebliche Behinderung
9	Sturm	75 – 88	Äste brechen, kleinere Schäden an Häusern, Ziegel und Rauchhauben werden von Dächern gehoben, beim Gehen erhebliche Behinderung
10	schwerer Sturm	89 – 102	Baumstämme brechen, größere Schäden an Häusern; selten im Landesinneren
11	orkanartiger Sturm	103 – 117	heftige Böen, schwere Sturmschäden, Wind entwurzelt Bäume; sehr selten im Landesinneren
12	Orkan	≥ 118	schwerste Sturmschäden und Verwüstungen; sehr selten im Landesinneren

Anhang C Takt- und Fahrplangefüge auf den untersuchten Strecken

Barth	Velgast	Stralsund		Züssow	Wolgast	Świnoujście C.	Zinnowitz	Peenemünde
		120 min-Takt UBB					60 min-Takt	
120 min-Takt RE9					60 min-Takt UBB (Sommer)			
		120 min-Takt RE3		120 min-Takt UBB			60 min-Takt	
					60 min-Takt UBB (Sommer)			

Abbildung C-1: Taktgefüge der Streckenabschnitte 2004-2016

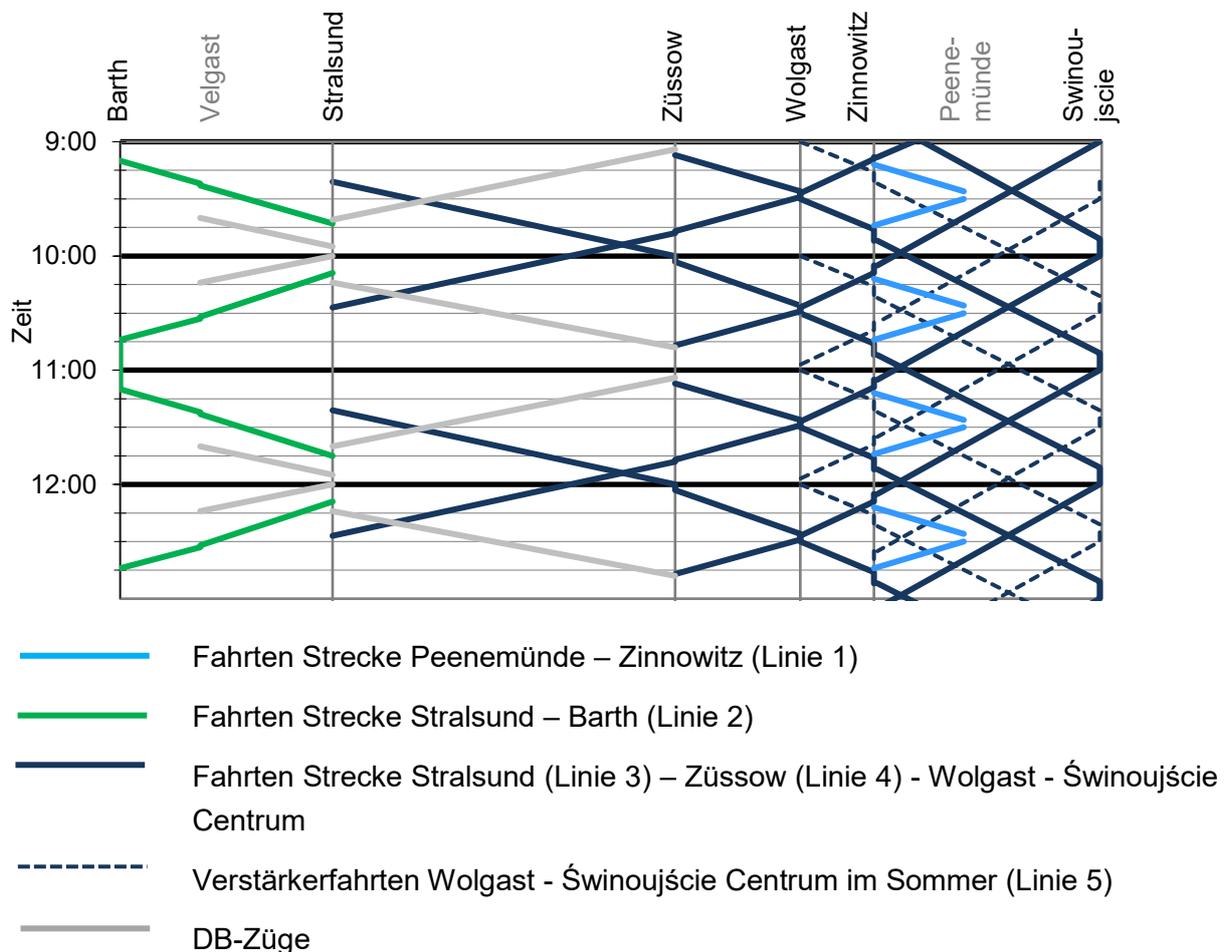


Abbildung C-2: Weg-Zeit-Diagramm (Ausschnitt) mit schematischer Darstellung des Fahrplangefüges im Sommerfahrplan 2014 (DB 2014) im abgebildeten Zeitraum

Anhang D Vertiefende Erläuterung zur Vergleichbarkeit der Analysedaten und zur Eingrenzung des Untersuchungszeitraumes

Bevölkerung

Die Bevölkerungsentwicklung verlief entlang der Strecken recht unterschiedlich. Ein nachweisbarer systematischer Zusammenhang zwischen der Bevölkerungsentwicklung und dem einheimischen Fahrgastaufkommensanteil war nicht ableitbar.

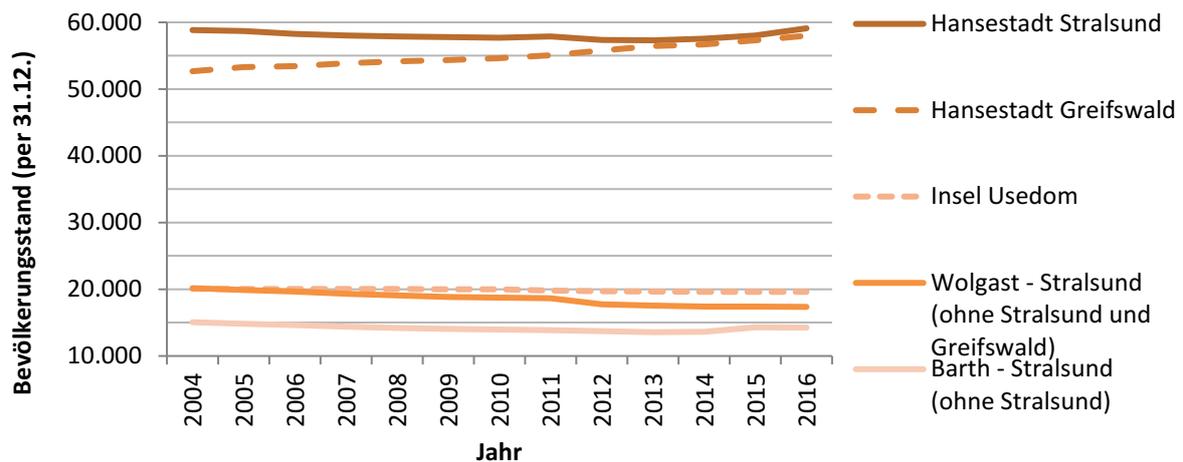


Abbildung D-1: Bevölkerungsentwicklung entlang den UBB-Strecken nach Statistisches Amt MV (2019), Tabelle A123

Tourismus

Der Tourismus stieg seit 1999 vor allem auf der Insel bis 2008 recht stark an (vgl. STATISTISCHES AMT MV, 2017).

Die Anzahl an Freizeiteinrichtungen entwickelte sich mit dem steigenden Bedarf kontinuierlich auf der Insel. Die bekanntesten und größten Einrichtungen wie beispielsweise die Phänomenta⁵⁰ in Peenemünde, die Ostseetherme in Ahlbeck, die Schmetterlingsfarm in Trassenheide oder das Meeresmuseum in Stralsund gibt es jedoch schon seit Ende der 90er bzw. Anfang der 2000er Jahre oder länger. Im Juli 2008 wurde das Ozeaneum⁵¹ in Stralsund eröffnet, welches die Zielwahl der touristischen Fahrgäste nachweisbar beeinflusste.

⁵⁰ Ausstellung über naturwissenschaftliche Phänomene.

⁵¹ Naturkundemuseum mit Schwerpunkt Meer.

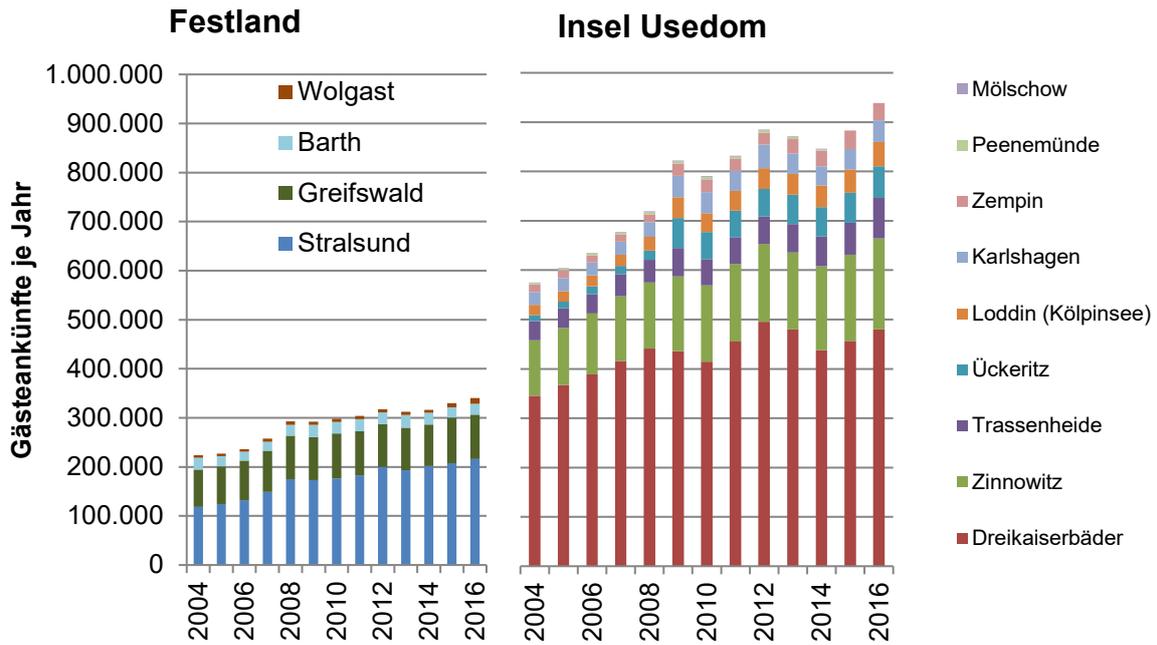


Abbildung D-2: Entwicklung der Gästeankünfte in den touristischen Orten entlang der UBB-Strecken im Untersuchungszeitraum (Statistisches Amt MV 2017)

Trotz kontinuierlicher steigender Übernachtungszahlen haben sich die Anteile der touristischen Fahrtzwecke nicht wesentlich erhöht.

Streckenführung

Die Streckenführung blieb konstant. Zwei neue Haltepunkte haben nachweisbar keine nennenswerten Erhöhungen der Fahrgastzahlen gebracht, es kam lediglich zu einer Verschiebung der Ströme.

Fahrplan

Bei der Fahrtenhäufigkeit gab es nur in den Tagesrandlagen marginale Veränderungen. Die Fahrlagen unterlagen jedoch 2006 einer deutlichen Veränderung (vgl. DB, 2004-2016). Die Analysen zielen auf einen Vergleich der Fahrgastzahlen gleicher Züge an verschiedenen Tagen ab. In welcher Größenordnung es aufgrund der Fahrlagenänderungen zu einer anderen Aufteilung des Fahrgastaufkommens zwischen aufeinanderfolgender Züge lag, kann nicht eingeschätzt werden. Daher beginnt der Betrachtungshorizont erst nach 2006, da sich seitdem die Fahrlagen, wenn überhaupt, nur im Minutenbereich veränderten.

Beförderungszeiten

Die Beförderungszeiten und Übergänge zu relevanten Anschlussverkehrsmittel wurden ebenfalls geprüft. Die Beförderungszeiten unterlagen kleineren Veränderungen, diese Gesamtzeiten pro Strecke lagen aber immer weit unter 10 Prozent des Vergleichswertes und der größte Teil der Fahrgäste war meist gar nicht davon betroffen.

Anschlüsse

Anschlüsse zu anderen relevanten Verkehrsangeboten haben sich mehrfach im Untersuchungszeitraum verändert (vgl. DB, 2004-2016). Grundsätzlich konnten die Veränderungen der analysierten Übergangszeiten als vernachlässigbar angesehen werden. Wo nennenswerte Umsteigeströme sowie größere Übergangszeitschwankungen nachgewiesen konnten, wurden Umsteigeranteile der Anschlussqualität nach (FGSV, 2010)⁵² gegenübergestellt. Systematische Auswirkungen auf das Fahrgastaufkommen in der UBB konnten nach 2007 nicht festgestellt werden.

⁵² Vgl. FGSV (2010), Abschnitt 4.4 Pünktlichkeit und Anschlussqualität.

Anhang E Histogramme des Fahrgastaufkommens im Anwendungsbeispiel

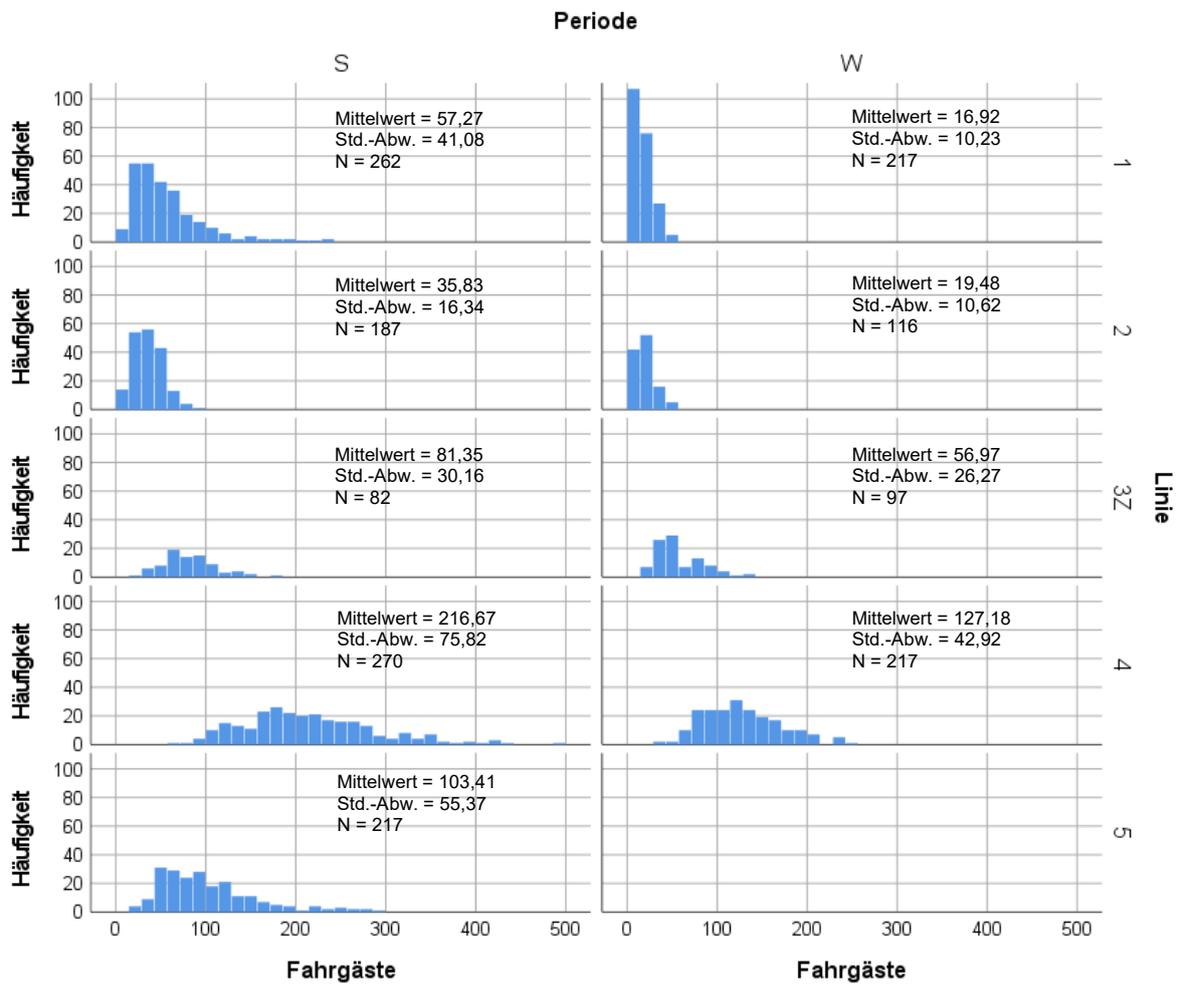


Abbildung E-1: Verteilung des Fahrgastaufkommens nach Linie und Periode

Anhang F Abschätzung des erforderlichen Stichprobenumfanges

Periode	Linie	Schichtung		V	d _r	Anteil Zäufahrten			
		Tagesgruppe	Wetterkategorie			erforderlich	in Stichprobe		
S	1	Montag-Freitag	Ferien	1	0,39	0,05	27%	10%	
		Montag-Freitag	Ferien	3	0,50	0,05	38%	21%	
		Montag-Freitag	Ferien	4	0,23	0,05	14%	2%	
		Montag-Freitag	Ferien	5	0,60	0,05	47%	6%	
		Montag-Freitag	Schule	1	0,72	0,05	59%	2%	
		Montag-Freitag	Schule	3	0,75	0,05	62%	12%	
		Montag-Freitag	Schule	4	0,64	0,05	51%	11%	
		SamstagSonntag	Ferien	2	0,22	0,05	18%	3%	
		SamstagSonntag	Ferien	3	0,65	0,05	61%	25%	
		SamstagSonntag	Ferien	4	0,47	0,05	43%	44%	
		SamstagSonntag	Ferien	5	0,31	0,05	27%	14%	
		SamstagSonntag	Schule	2	0,94	0,05	90%	11%	
	SamstagSonntag	Schule	3	0,47	0,05	43%	44%		
	2	Montag-Freitag	Ferien	1	0,35	0,05	28%	6%	
		Montag-Freitag	Ferien	3	0,40	0,05	33%	9%	
		Montag-Freitag	Ferien	4	0,40	0,05	33%	17%	
		Montag-Freitag	Ferien	5	0,38	0,05	31%	7%	
		Montag-Freitag	Schule	1	0,21	0,05	15%	6%	
		Montag-Freitag	Schule	3	0,49	0,05	42%	29%	
		Montag-Freitag	Schule	4	0,51	0,05	44%	11%	
		Montag-Freitag	Schule	5	0,71	0,05	63%	2%	
		SamstagSonntag	Ferien	3	0,48	0,05	46%	39%	
		SamstagSonntag	Ferien	4	0,51	0,05	48%	78%	
		SamstagSonntag	Schule	1	0,51	0,05	49%	19%	
		SamstagSonntag	Schule	3	0,43	0,05	41%	72%	
	SamstagSonntag	Schule	5	0,25	0,05	23%	6%		
	3Z	Montag-Freitag	Ferien	1	0,07	0,05	3%	2%	
		Montag-Freitag	Ferien	2	0,26	0,05	20%	2%	
		Montag-Freitag	Ferien	3	0,31	0,05	24%	8%	
		Montag-Freitag	Ferien	4	0,44	0,05	37%	2%	
		Montag-Freitag	Ferien	5	0,31	0,05	25%	4%	
		Montag-Freitag	Schule	2	0,09	0,05	5%	2%	
		Montag-Freitag	Schule	3	0,33	0,05	27%	16%	
		Montag-Freitag	Schule	4	0,36	0,05	30%	6%	
		SamstagSonntag	Ferien	2	0,11	0,05	9%	6%	
		SamstagSonntag	Ferien	3	0,00	0,05	49%	3%	
		SamstagSonntag	Ferien	4	0,40	0,05	38%	22%	
		SamstagSonntag	Ferien	5	0,20	0,05	18%	8%	
		SamstagSonntag	Schule	2	0,49	0,05	47%	8%	
		SamstagSonntag	Schule	3	0,36	0,05	34%	19%	
		SamstagSonntag	Schule	4	0,36	0,05	34%	17%	
		SamstagSonntag	Schule	5	0,00	0,05	49%	3%	
		4	Montag-Freitag	Ferien	1	0,32	0,05	21%	3%
			Montag-Freitag	Ferien	2	0,34	0,05	23%	2%
	Montag-Freitag		Ferien	3	0,34	0,05	23%	18%	
Montag-Freitag	Ferien		4	0,29	0,05	19%	6%		
Montag-Freitag	Ferien		5	0,26	0,05	16%	8%		
Montag-Freitag	Schule		1	0,26	0,05	16%	2%		
Montag-Freitag	Schule		2	0,33	0,05	22%	1%		
Montag-Freitag	Schule		3	0,31	0,05	20%	23%		
Montag-Freitag	Schule		4	0,34	0,05	23%	6%		
Montag-Freitag	Schule		5	0,19	0,05	10%	2%		
SamstagSonntag	Ferien		1	0,06	0,05	3%	3%		
SamstagSonntag	Ferien		2	0,16	0,05	13%	3%		
SamstagSonntag	Ferien		3	0,40	0,05	36%	21%		
SamstagSonntag	Ferien		4	0,39	0,05	35%	19%		
SamstagSonntag	Ferien		5	0,30	0,05	26%	15%		
SamstagSonntag	Schule		1	0,55	0,05	51%	7%		
SamstagSonntag	Schule		2	0,37	0,05	33%	8%		
SamstagSonntag	Schule		3	0,29	0,05	25%	40%		
SamstagSonntag	Schule		4	0,41	0,05	36%	14%		
SamstagSonntag	Schule		5	0,15	0,05	11%	3%		

Periode	Linie	Schichtung		V	d _r	Anteil Zählfahrten		
		Tagesgruppe	Wetterkategorie			erforderlich	in Stichprobe	
S	5	Montag-Freitag	Ferien	1	0,40	0,05	28%	6%
		Montag-Freitag	Ferien	3	0,37	0,05	25%	6%
		Montag-Freitag	Ferien	4	0,45	0,05	33%	7%
		Montag-Freitag	Ferien	5	0,25	0,05	15%	2%
		Montag-Freitag	Schule	1	0,37	0,05	25%	5%
		Montag-Freitag	Schule	2	0,47	0,05	35%	2%
		Montag-Freitag	Schule	3	0,38	0,05	27%	18%
		Montag-Freitag	Schule	4	0,38	0,05	27%	5%
		SamstagSonntag	Ferien	1	0,00	0,05	47%	1%
		SamstagSonntag	Ferien	2	0,82	0,05	78%	11%
		SamstagSonntag	Ferien	3	0,73	0,05	68%	21%
		SamstagSonntag	Ferien	4	0,54	0,05	50%	33%
		SamstagSonntag	Ferien	5	0,65	0,05	61%	10%
		SamstagSonntag	Schule	1	0,04	0,05	2%	4%
		SamstagSonntag	Schule	2	0,48	0,05	44%	4%
		SamstagSonntag	Schule	3	0,65	0,05	61%	25%
		SamstagSonntag	Schule	4	0,61	0,05	56%	13%
		SamstagSonntag	Schule	5	0,65	0,05	61%	4%
W	1	Montag-Freitag		3	0,56	0,05	39%	25%
		Montag-Freitag		4	0,46	0,05	31%	6%
		Montag-Freitag		5	0,58	0,05	42%	2%
		SamstagSonntag		3	0,55	0,05	47%	47%
		SamstagSonntag		4	0,54	0,05	46%	19%
		SamstagSonntag		5	0,73	0,05	65%	3%
	2	Montag-Freitag		3	0,56	0,05	47%	12%
		Montag-Freitag		4	0,60	0,05	50%	10%
		Montag-Freitag		5	0,53	0,05	43%	11%
		SamstagSonntag		3	0,46	0,05	42%	53%
		SamstagSonntag		4	0,49	0,05	45%	26%
		SamstagSonntag		5	0,43	0,05	39%	29%
	3Z	Montag-Freitag		3	0,41	0,05	32%	19%
		Montag-Freitag		4	0,47	0,05	38%	7%
		Montag-Freitag		5	0,56	0,05	46%	3%
		SamstagSonntag		3	0,44	0,05	40%	32%
		SamstagSonntag		4	0,43	0,05	39%	29%
		SamstagSonntag		5	0,00	0,05	47%	1%
	4	Montag-Freitag		3	0,29	0,05	21%	44%
		Montag-Freitag		4	0,34	0,05	26%	11%
		Montag-Freitag		5	0,40	0,05	31%	9%
		SamstagSonntag		3	0,34	0,05	30%	72%
		SamstagSonntag		4	0,35	0,05	31%	57%
		SamstagSonntag		5	0,08	0,05	5%	4%

Anhang G Kennwerte der Kontingenzanalyse differenziert nach Tagesart und nach Schule/Ferien

* angestrebtes Signifikanzniveau von $\leq 0,05$ wird erreicht

Tabelle G-1: Kennwerte der Kontingenzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien nach Tagesart

Periode	Linie	MoFr					SaSo				
		Fälle	Chi-Quadrat nach Pearson	FG	Signifikanz	Cramers V	Fälle	Chi-Quadrat nach Pearson	FG	Signifikanz	Cramers V
Sommer	1	160	45,751	6	0,000*	0,38	102	25,841	6	0,000*	0,36
	2	110	6,181	6	0,202	0,17	77	3,348	6	0,382	0,15
	3Z	51	17,215	8	0,014*	0,41	31	7,344	6	0,145	0,34
	4	174	26,683	8	0,000*	0,28	96	10,256	8	0,124	0,23
	5	126	35,821	8	0,000*	0,38	91	10,548	8	0,114	0,24
Winter	1	116	5,244	4	0,132	0,15	100	1,448	4	0,418	0,09
	2	59	3,348	4	0,251	0,17	57	1,357	2	0,254	0,15
	3Z	52	5,355	4	0,126	0,23	45	5,255	4	0,131	0,24
	4	126	6,962	4	0,069	0,17	91	3,647	4	0,228	0,14

Tabelle G-2: Kennwerte der Kontingenzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien nach Tagesart

Periode	Linie	MoFr					SaSo				
		Fälle	Chi-Quadrat nach Pearson	FG	Signifikanz	Cramers V	Fälle	Chi-Quadrat nach Pearson	FG	Signifikanz	Cramers V
Sommer	1	48	11,736	6	0,186	0,04	28	13,325	6	0,019*	0,49
	2	54	7,753	6	0,118	0,42	36	5,146	6	0,263	0,27
	3Z	44	9,132	8	0,178	0,19	27	9,862	6	0,065	0,43
	4	121	19,831	8	0,140	0,01	62	7,022	8	0,267	0,24
	5	68	13,087	8	0,172	0,04	52	12,779	8	0,060	0,35
Winter	1	34	2,935	4	0,149	0,19	28	5,836	4	0,106	0,32
	2	29	3,970	4	0,181	0,43	30	3,186	2	0,102	0,33
	3Z	48	1,363	4	0,102	0,40	38	2,571	4	0,316	0,18
	4	86	7,397	4	0,118	0,05	66	2,756	4	0,300	0,19

* angestrebtes Signifikanzniveau von $\leq 0,05$ wird erreicht

Tabelle G-3: Kennwerte der Kontingenzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien

Ferien/ Schule	Periode	Linie	Fälle	Chi-Quadrat nach Pearson	FG	Signifi- kanz	Cramers V
Ferien	Sommer	1	160	62,803	8	0,000*	0,44
		2	92	6,193	6	0,201	0,19
		3Z	36	8,222	8	0,206	0,34
		4	136	13,858	8	0,043*	0,23
		5	107	11,717	8	0,086	0,23
Schule	Sommer	1	102	40,782	6	0,000*	0,45
		2	95	3,417	6	0,377	0,13
		3Z	46	5,646	6	0,232	0,25
		4	270	9,583	8	0,148	0,19
		5	110	16,110	8	0,020*	0,27

Tabelle G-4: Kennwerte der Kontingenzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien

Ferien/ Schule	Periode	Linie	Fälle	Chi-Quadrat nach Pearson	FG	Signifi- kanz	Cramers V
Ferien	Sommer	1	44	27,437	8	0,000*	0,56
		2	39	9,282	6	0,079	0,35
		3Z	33	5,657	8	0,343	0,29
		4	97	8,475	8	0,194	0,21
		5	58	13,430	8	0,049*	0,34
Schule	Sommer	1	32	11,059	6	0,043*	0,42
		2	51	1,824	6	0,468	0,13
		3Z	38	8,101	6	0,115	0,33
		4	183	8,189	8	0,208	0,22
		5	62	10,343	8	0,121	0,29

* angestrebtes Signifikanzniveau von $\leq 0,05$ wird erreicht

Tabelle G-5: Kennwerte der Kontingenzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien und Tagesart

Ferien/ Schule	Periode	Linie	MoFr					SaSo				
			Fälle	Chi- Quadrat nach Pearson	FG	Signifi- kanz	Cra- mers V	Fälle	Chi- Quadrat nach Pearson	FG	Signifi- kanz	Cra- mers V
Ferien	Sommer	1	98	43,431	6	0,000*	0,47	62	21,830	6	0,001*	0,42
		2	50	2,745	6	0,420	0,17	42	3,100	2	0,106	0,27
		3Z	22	9,114	8	0,166	0,46	14	7,924	6	0,122	0,53
		4	92	16,647	8	0,017*	0,30	44	11,254	8	0,094	0,36
		5	52	20,103	6	0,001*	0,44	55	4,747	8	0,392	0,21
Schule	Sommer	1	62	25,944	4	0,000*	0,46	40	1,421	2	0,246	0,19
		2	60	10,771	6	0,048*	0,30	35	3,887	4	0,211	0,24
		3Z	29	8,508	4	0,037*	0,38	17	4,790	6	0,286	0,38
		4	82	11,934	8	0,077	0,27	52	9,207	8	0,163	0,30
		5	74	15,131	6	0,010*	0,32	36	6,578	8	0,291	0,30

Tabelle G-6: Kennwerte der Kontingenzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien und Tagesart

Ferien/ Schule	Peri- ode	Linie	MoFr					SaSo				
			Fälle	Chi-Quad- rat nach Pearson	FG	Signifi- kanz	Cra- mers V	Fälle	Chi-Quad- rat nach Pearson	FG	Signifi- kanz	Cra- mers V
Ferien	Sommer	1	26	14,920	6	0,003*	0,59	18	13,375	6	0,170	0,43
		2	23	9,245	6	0,084	0,44	16	1,778	2	0,206	0,33
		3Z	20	2,609	8	0,191	0,46	13	6,856	6	0,325	0,40
		4	64	9,410	8	0,148	0,27	33	9,444	8	0,153	0,38
		5	26	9,490	6	0,038	0,47	32	8,411	8	0,098	0,42
Schule	Sommer	1	22	9,167	4	0,071	0,40	10	0,000	1	0,373	0,10
		2	31	5,715	6	0,105	0,37	20	4,158	4	0,345	0,24
		3Z	24	8,816	4	0,178	0,30	0	6,267	6	0,246	0,44
		4	57	13,152	8	0,028*	0,36	29	3,605	8	0,437	0,26
		5	42	6,365	6	0,134	0,30	20	6,056	8	0,147	0,49

Anhang H Kontingenztabelle für relevante Linien und Schichtungen

Bei weniger als 5 Fällen wird auf eine Interpretation der Daten verzichtet.

Tabelle H-1: Kontingenztabelle Linie 1 (Sommer) MoFr, Schule

			Wetterkategorie				Gesamt
			2	3	4	5	
fahrtbezogene Aufkommenskategorie	1	Anzahl	<5	30	<5	<5	38
		Erwartete Anzahl	n<5	25,6	10,2	1,3	38,0
	2	Anzahl	<5	41	17	<5	61
		Erwartete Anzahl	n<5	41,1	16,4	2,1	61,0
	3	Anzahl	<5	49	27	<5	79
		Erwartete Anzahl	n<5	53,3	21,3	2,7	79,0
Gesamt	Anzahl	<5	120	48	6	178	
	Erwartete Anzahl	<5	120,0	48,0	6,0	178,0	

Tabelle H-2: Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl Linie 1 (Sommer) MoFr, Schule

		Wetterkategorie			
		2	3	4	5
Aufkommenskategorie	1		+17%		
	2		0%	+4%	
	3		-8%	+27%	

Tabelle H-3: Kontingenztabelle Linie 1 (Sommer) SaSo, Ferien

			Wetterkategorie				Gesamt
			1	3	4	5	
fahrtbezogene Aufkommenskategorie	1	Anzahl	<5	<5	10	<5	14
		Erwartete Anzahl	n<5	4,1	7,2	2,3	14,0
	2	Anzahl	<5	10	18	<5	31
		Erwartete Anzahl	n<5	9,0	16,0	5,0	31,0
	3	Anzahl	<5	6	<5	7	17
		Erwartete Anzahl	n<5	4,9	8,8	2,7	17,0
Gesamt		Anzahl	<5	18	32	10	62
		Erwartete Anzahl	<5	18,0	32,0	10,0	62,0

Tabelle H-4: Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl Linie 1 (Sommer) MoFr, Ferien

		Wetterkategorie			
		1	3	4	5
Aufkommenskategorie	1			+39%	
	2		+11%	+13%	
	3		+22%		+61%

Tabelle H-5: Kontingenztabelle Linie 5 (Sommer) MoFr, Ferien

			Wetterkategorie				Gesamt
			2	3	4	5	
fahrtbezogene Aufkommenskategorie	1	Anzahl	7	<5	<5	<5	11
		Erwartete Anzahl	3,2	3,2	3,8	n<5	11,0
	2	Anzahl	6	8	5	<5	19
		Erwartete Anzahl	5,5	5,5	6,6	n<5	19,0
	3	Anzahl	<5	<5	12	<5	22
		Erwartete Anzahl	6,3	6,3	7,6	n<5	22,0
Gesamt		Anzahl	15	15	18	<5	52
		Erwartete Anzahl	15,0	15,0	18,0	<5	52,0

Tabelle H-6: Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl Linie 5 (Sommer) MoFr, Ferien

		Wetterkategorie			
		2	3	4	5
Aufkommenskategorie	1	+119%			
	2	+9%	+45%	-24%	
	3			+58%	

Anhang I Kennwerte der Konkordanzanalyse differenziert nach Tagesart und nach Schule/Ferien

* angestrebtes Signifikanzniveau von $\leq 0,05$ wird erreicht

Tabelle I-1: Kennwerte der Konkordanzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien nach Tagesart

Periode	Linie	Szenario 1				Szenario 2			
		MoFr		SaSo					
		Signifi- kanz	So- mers' d	Signifi- kanz	So- mers' d	Signifi- kanz	So- mers' d	Signifi- kanz	So- mers' d
Sommer	1	0,000*	0,45	0,00*	0,30	0,00*	0,45	0,00*	0,30
	2	0,49	-0,05	0,29	0,12	0,49	-0,05	0,29	0,12
	3Z	0,000*	0,35	0,11	-0,26	0,01*	0,33	0,11	-0,26
	4	0,000*	0,26	0,73	-0,03	0,00*	0,26	0,84	-0,02
	5	0,000*	0,38	0,07	0,16	0,00*	0,41	0,05*	0,17
Winter	1	0,39	-0,10	0,43	-0,08	kein zweites RangszENARIO			
	2	0,26	0,13	1,00	0,00				
	3Z	0,43	-0,12	0,51	0,11				
	4	0,04*	-0,21	0,07	-0,18				

Tabelle I-2: Kennwerte der Konkordanzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien nach Tagesart

Periode	Linie	Szenario 1				Szenario 2			
		MoFr		SaSo					
		Signifi- kanz	So- mers' d	Signifi- kanz	So- mers' d	Signifi- kanz	So- mers' d	Signifi- kanz	So- mers' d
Sommer	1	0,000*	0,40	0,000*	0,60	0,000*	0,40	0,000*	0,60
	2	0,239	-0,07	0,187	0,13	0,239	-0,07	0,187	0,13
	3Z	0,367	0,05	0,265	-0,11	0,367	0,03	0,265	-0,11
	4	0,000*	0,32	0,471	0,01	0,000*	0,32	0,471	0,03
	5	0,000*	0,37	0,004*	0,26	0,000*	0,37	0,004*	0,28
Winter	1	0,417	0,05	0,059	-0,35	kein zweites RangszENARIO			
	2	0,127	0,19	0,249	-0,14				
	3Z	0,238	-0,11	0,440	0,03				
	4	0,091	-0,16	0,099	-0,16				

* angestrebtes Signifikanzniveau von $\leq 0,05$ wird erreicht

Tabelle I-3: Kennwerte der Konkordanzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien

Schule/ Ferien	Periode	Linie	RangszENARIO 1		RangszENARIO 2	
			Signifikanz	Somers' d	Signifikanz	Somers' d
Ferien	Sommer	1	0,00*	0,29	0,00*	0,29
		2	0,02*	-0,20	0,02*	-0,20
		3Z	0,76	0,04	0,91	0,01
		4	0,10	0,12	0,09	0,12
		5	0,00*	0,23	0,00*	0,23
Schule	Sommer	1	0,00*	0,51	0,00*	0,50
		2	0,95	0,01	0,95	0,01
		3Z	0,96	0,01	0,96	0,01
		4	0,56	0,05	0,50	0,06
		5	0,03*	0,20	0,02*	0,22

Tabelle I-4: Kennwerte der Konkordanzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien

Schule/ Ferien	Periode	Linie	RangszENARIO 1		RangszENARIO 2	
			Signifikanz	Somers' d	Signifikanz	Somers' d
Ferien	Sommer	1	0,000*	0,50	0,000*	0,50
		2	0,029*	-0,22	0,029*	-0,22
		3Z	0,218	-0,11	0,218	-0,12
		4	0,014*	0,18	0,014*	0,19
		5	0,000*	0,33	0,000*	0,35
Schule	Sommer	1	0,029*	0,31	0,046*	0,29
		2	0,469	0,00	0,469	0,00
		3Z	0,178	0,15	0,178	0,15
		4	0,023*	0,21	0,023*	0,22
		5	0,004*	0,28	0,004*	0,28

* angestrebtes Signifikanzniveau von $\leq 0,05$ wird erreicht

Tabelle I-5: Kennwerte der Kontingenzanalyse mit fahrtbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien und Tagesart

Ferien/ Schule	Periode	Linie	RangszENARIO 1				RangszENARIO 2			
			MoFr		SaSo		MoFr		SaSo	
			Signifi- kantz	Somers' d	Signifi- kantz	Somers' d	Signifi- kantz	Somers' d	Signifi- kantz	So- mers' d
Ferien	Sommer	1	0,00*	0,55	0,19	0,17	0,00*	0,55	0,19	0,17
		2	0,11	-0,18	0,08	-0,30	0,11	-0,18	0,08	-0,30
		3Z	0,17	0,22	0,82	-0,07	0,29	0,18	0,82	-0,07
		4	0,01*	0,23	0,30	-0,12	0,01*	0,23	0,36	-0,11
		5	0,00*	0,50	0,41	0,10	0,00*	0,50	0,38	0,10
Schule	Sommer	1	0,00*	0,56	0,97	-0,01	0,00*	0,56	0,97	-0,01
		2	0,49	-0,08	0,41	0,18	0,49	-0,08	0,41	0,18
		3Z	0,00*	0,51	0,05*	-0,38	0,00*	0,51	0,05*	-0,38
		4	0,05*	0,23	0,32	-0,14	0,04*	0,24	0,37	-0,12
		5	0,00*	0,31	0,11	0,22	0,00*	0,34	0,07	0,24

Tabelle I-6: Kennwerte der Kontingenzanalyse mit tagesbezogenen Aufkommenskategorien nach Schule/Ferien und Tagesart

Ferien/ Schule	Periode	Linie	RangszENARIO 1				RangszENARIO 2			
			MoFr		SaSo		MoFr		SaSo	
			Signifi- kantz	Somers' d	Signifi- kantz	Somers' d	Signifi- kantz	Somers' d	Signifi- kantz	So- mers' d
Ferien	Sommer	1	0,000*	0,55	0,005*	0,47	0,000*	0,55	0,005*	0,47
		2	0,133	-0,16	0,081	-0,33	0,133	-0,16	0,081	-0,33
		3Z	0,251	-0,15	0,420	0,06	0,176	-0,16	0,420	0,06
		4	0,001*	0,30	0,493	0,00	0,000*	0,30	0,466	0,01
		5	0,041*	0,46	0,041*	0,23	0,000*	0,46	0,035*	0,25
Schule	Sommer	1	0,055	0,32	0,500	0,00	0,055	0,32	0,500	0,00
		2	0,304	-0,09	0,324	0,10	0,304	-0,09	0,324	0,10
		3Z	0,026*	0,36	0,345	-0,10	0,026*	0,36	0,345	-0,10
		4	0,005*	0,35	0,394	0,04	0,005*	0,36	0,344	0,07
		5	0,028*	0,35	0,028*	0,27	0,011*	0,35	0,022*	0,29

Anhang J Korrespondenzanalyse (Biplots)

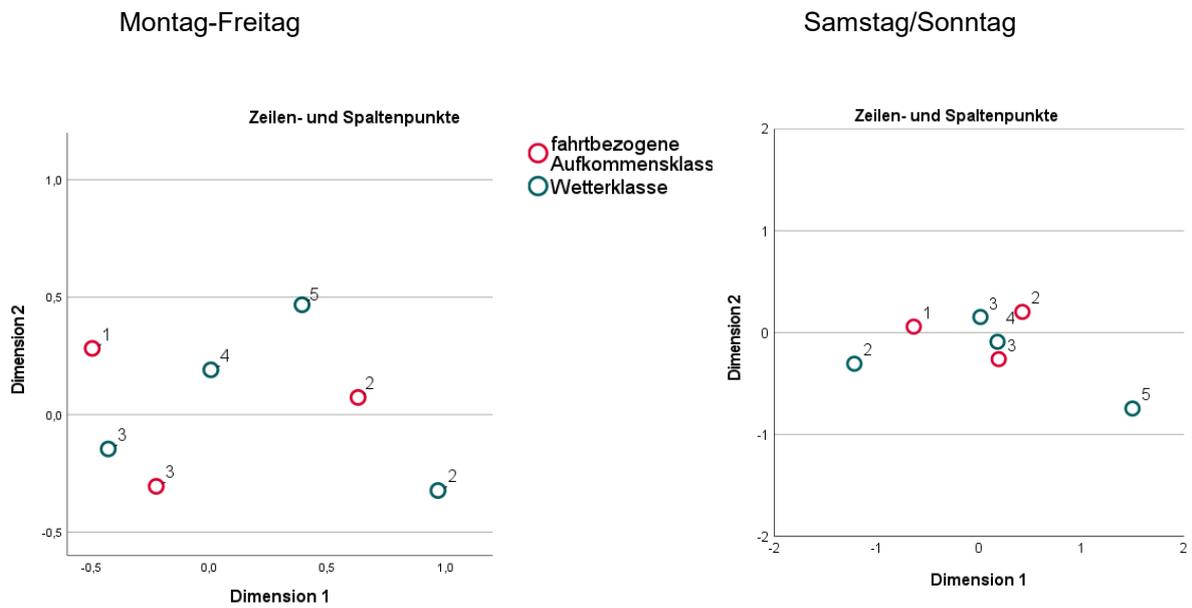


Abbildung J-1: Biplots der Korrespondenzanalyse Linie 2 (Sommer)

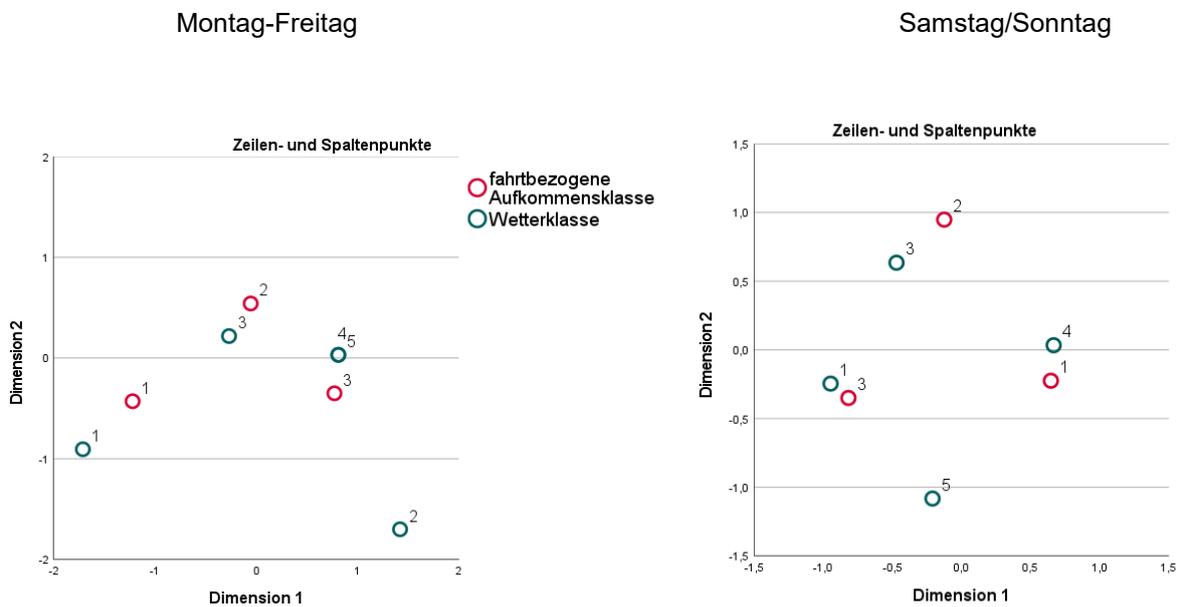
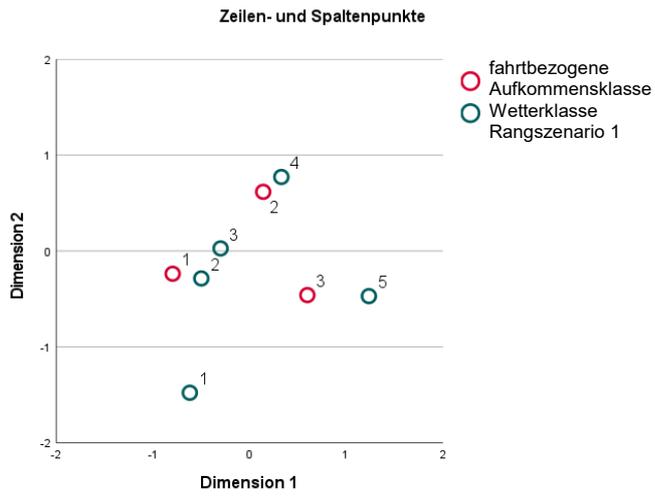


Abbildung J-2: Biplots der Korrespondenzanalyse Linie 3Z (Sommer)

Montag-Freitag



Samstag/Sonntag

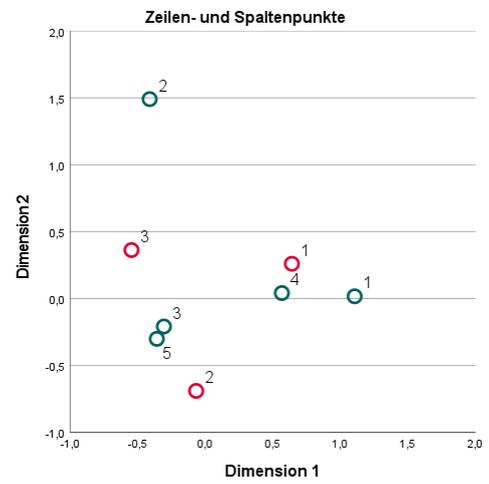
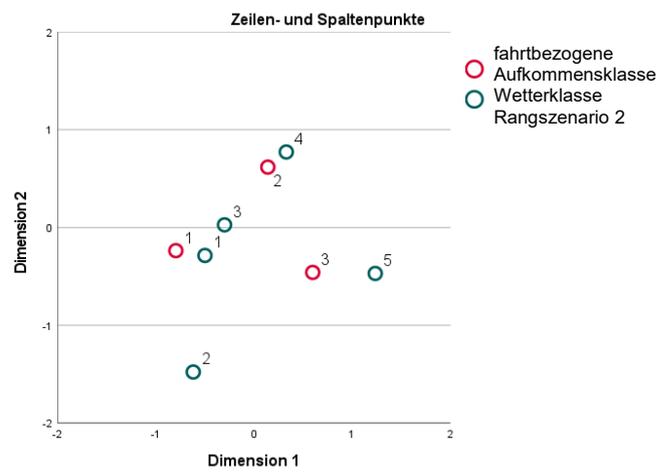
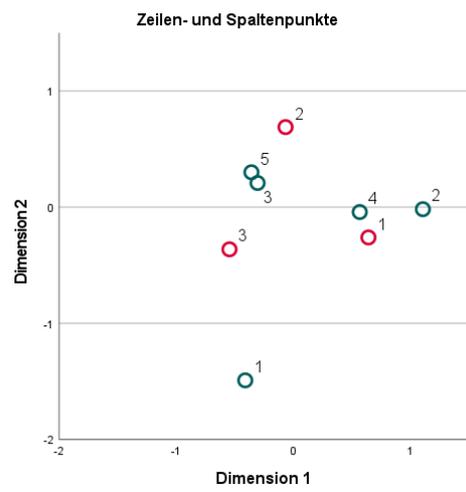


Abbildung J-3: Biplots der Korrespondenzanalyse Linie 4 (Sommer)

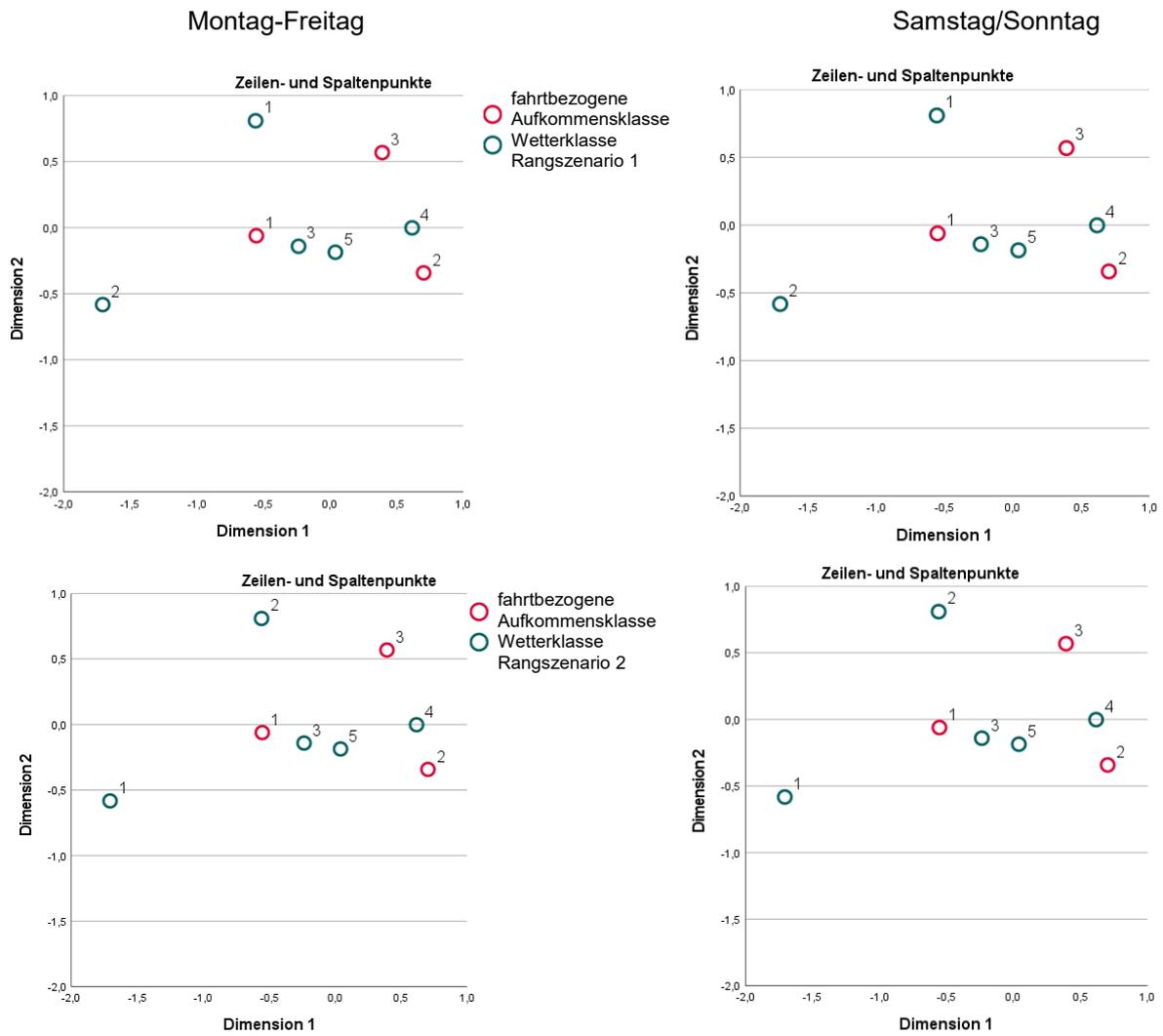


Abbildung J-4: Biplots der Korrespondenzanalyse Linie 5 (Sommer)

Anhang K Kontingenztabelle zwischen Wetterkategorien und Kapazitätsfällen

Bei weniger als 5 beobachteten Fällen wird auf eine Interpretation der Daten verzichtet, da die Tendenzen nicht eingeschätzt werden können.

Tabelle K-1: Kontingenztabelle Kapazitätsfälle und Wetterkategorien (Linie 1, Sommer, MoFr, Ferien)

			Kapazitätsfall		Gesamt
			2	3	
Wetterkategorie	1	Anzahl	24	0	24
		Erwartete Anzahl	20,3	3,7	24,0
	3	Anzahl	43	9	52
		Erwartete Anzahl	44,0	8,0	52,0
	4	Anzahl	6	0	6
		Erwartete Anzahl	5,1	0,9	6,0
	5	Anzahl	10	6	16
		Erwartete Anzahl	13,6	2,4	16,0
Gesamt		Anzahl	83	15	98
		Erwartete Anzahl	83,0	15	98,0

Tabelle K-2: Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl der Kapazitätsfälle (Linie 1, Sommer, MoFr, Ferien)

			Kapazitätsfall	
			2	3
Wetterkategorie	1		+18%	
	3		-2%	+13%
	4		+15%	
	5		-26%	145 %

Tabelle K-3: Kontingenztabelle Kapazitätsfälle und Wetterkategorien (Linie 1, Sommer, MoFr, Schule)

			Kapazitätsfall		Gesamt
			2	3	
Wetterkategorie	1	Anzahl	4	0	4
		Erwartete Anzahl	3,5	0,5	4,0
	3	Anzahl	29	1	30
		Erwartete Anzahl	26,1	3,9	30,0
	4	Anzahl	21	7	28
		Erwartete Anzahl	24,4	3,6	28,0
Gesamt		Anzahl	54	8	62
		Erwartete Anzahl	54,0	8,0	62,0

Tabelle K-4: Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl der Kapazitätsfälle (Linie 1, Sommer, MoFr, Schule)

			Kapazitätsfall	
			2	3
Wetterkategorie	1			
	3		11%	
	4		-14%	94 %

Tabelle K-5: Kontingenztafel Kapazitätsfälle und Wetterkategorien (Linie 5, Sommer, MoFr, Ferien)

			Kapazitätsfall			Gesamt
			1	2	3	
Wetterkategorie	1	Anzahl	1	14	0	15
		Erwartete Anzahl	2,9	10,4	1,7	15,0
	3	Anzahl	3	12	0	15
		Erwartete Anzahl	2,9	10,4	1,7	15,0
	4	Anzahl	6	9	3	18
		Erwartete Anzahl	3,5	12,5	2,1	18,0
	5	Anzahl	0	1	3	4
		Erwartete Anzahl	0,8	2,8	0,5	4,0
Gesamt	Anzahl	10	36	5	52	
	Erwartete Anzahl	10,0	36,0	5,0	52,0	

Tabelle K-6: Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl der Kapazitätsfälle (Linie 5, Sommer, MoFr, Ferien)

		Kapazitätsfall		
		1	2	3
Wetterkategorie	1		+35%	
	3		+16%	
	4	+42%	-28%	
	5			

Tabelle K-7: Kontingenztafel Kapazitätsfälle und Wetterkategorien (Linie 5, Sommer, MoFr, Schule)

			Kapazitätsfall			Gesamt
			-1	0	1	
Wetterkategorie	1	Anzahl	1	10	1	12
		Erwartete Anzahl	4,5	6,6	0,8	12,0
	2	Anzahl	0	3	1	4
		Erwartete Anzahl	1,5	2,2	0,3	4,0
	3	Anzahl	24	22	0	46
		Erwartete Anzahl	17,4	25,5	3,1	46,0
	4	Anzahl	3	6	3	12
		Erwartete Anzahl	4,5	6,6	0,8	12,0
Gesamt	Anzahl	28	41	5	74	
	Erwartete Anzahl	28,0	41,0	5,0	74,0	

Tabelle K-8: Abweichung beobachtete zu erwarteter Anzahl der Kapazitätsfälle (Linie 5, Sommer, MoFr, Schule)

		Kapazitätsfall		
		1	2	3
Wetterkategorie	1		+50%	
	2			
	3	+38%	-14%	
	4		-11%	