



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Forschungspaket VeSPA

Teilprojekt 4:

Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen

**Paquet de recherche VeSPA, sous-projet 4: Effets de
conditions météorologiques sur les accidents de
transport**

**Research Package VeSPA, Sub-project 4: Influences of
Weather on Traffic Accidents**

Ernst Basler + Partner
Stephan Heuel
Ralph Straumann

PTV Transport Consult GmbH
Hagen Schüller

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie
Urs Keller

**Forschungsprojekt SVI 2012/005 auf Antrag der Schweizerischen
Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Forschungspaket VeSPA

Teilprojekt 4

Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen

**Paquet de recherche VeSPA, sous-projet 4: Effets de
conditions météorologiques sur les accidents de
transport**

**Research Package VeSPA, Sub-project 4: Influences of
Weather on Traffic Accidents**

Ernst Basler + Partner

Stephan Heuel
Ralph Straumann

PTV Transport Consult GmbH

Hagen Schüller

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie

Urs Keller

**Forschungsprojekt SVI 2012/005 auf Antrag der Schweizerischen
Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Stephan Heuel

Mitglieder

Ralph Straumann

Mathias Ulmer

Hagen Schüller

Christoph Zulauf

Urs Keller

Federführende Fachkommission

regioConcept AG, Balz Bodenmann

Begleitkommission

Präsident

Anja Simma

Mitglieder

Roland Allenbach

Balz Bodenmann

Wernher Brucks

Christian Häberli

Jaques Huguenin

Christian Kamenik

Arnd König

Heinz Reber

Antragsteller

Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	9
Summary	11
1 Einleitung	13
1.1 Ausgangslage.....	13
1.2 Zieldefinition	14
1.3 Systemabgrenzung	15
2 Stand der Forschung	18
2.1 Einleitung.....	18
2.2 Wettereinflüsse auf das Unfallgeschehen.....	18
2.2.1 Niederschlag	18
2.2.2 Temperatur.....	20
2.2.3 Luftfeuchtigkeit, Wind und Wolkendeckung	20
2.3 Einfluss des Wetters auf das Mobilitätsverhalten	21
2.4 Abgeleitete Hypothesen	22
2.5 Statistische Analysemethoden	24
3 Daten	26
3.1 Einleitung.....	26
3.2 Unfalldaten	26
3.3 Wetterdaten.....	27
3.4 Sonnenblendung	28
3.5 Verkehrszählstellen	29
4 Methodik.....	30
4.1 Datenaufarbeitung.....	30
4.1.1 Verkehrsunfälle	30
4.1.2 Wetter	30
4.1.3 Sonnenblendung	33
4.1.4 Daten aus Verkehrszählstellen	34
4.2 Deskriptive Datenanalyse	34
4.2.1 Einleitung.....	34
4.2.2 Odds-Ratio Methode	35
4.2.3 Methode der Mittelwertvergleiche	36
4.2.4 „Matched-pair“-Analyse	37
4.3 Empirische Modellentwicklung	38
4.3.1 Modellgrundlagen.....	38
4.3.2 Variablen	39
4.3.3 Sonnenblendung	40
4.3.4 Überprüfung Anpassung Mobilitätsverhalten	42
5 Resultate	44
5.1 Vergleich Wetterattribute im UAP und aus COSMO-2	44
5.2 Wettereinflüsse.....	44
5.2.1 Deskriptive Analysen.....	44
5.2.2 Multikriterielles Unfallmodell.....	51
5.3 Sonnenblendung	56
5.3.1 Abschnittbezogenes Blendungspotenzial	56
5.3.2 Zeitbereichsbezogenes Blendungspotenzial	57
5.4 Anpassung Mobilitätsverhalten	58

6	Erkenntnisse und Diskussion	60
6.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	60
6.2	Schlussfolgerungen für die Praxis	62
7	Weiterer Forschungsbedarf	64
7.1	Forschungsbedarf für Phase 2 des Forschungspakets	64
7.2	Weiterer Forschungsbedarf	65
	Anhänge.....	66
	Glossar.....	91
	Literaturverzeichnis.....	94
	Projektabschluss	98
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	101
	SVI Publikationsliste.....	113

Zusammenfassung

Seit Januar 2011 ist es möglich, die Daten des Strassenverkehrsunfall-Registers (VU) mit anderen Registern des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) sowie weiteren Datenquellen zu verknüpfen. Dieser neu geschaffene Datenpool (VeSPA-Datensatz) ermöglicht detaillierte Auswertungen verschiedener Faktoren auf das Unfallgeschehen. Das diesbezügliche Forschungspaket „Verkehrssicherheitsgewinne durch Datapooling und strukturierte Datenanalysen“ (VeSPA) besteht aus insgesamt fünf inhaltlichen Teilprojekten. Diese behandeln über zwei Phasen die Bereiche Mensch/Gesellschaft, Situation/Infrastruktur, Fahrzeug, Wetter und medizinische Folgen.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Arbeiten des Teilprojekts TP4 „Einflüsse von Wetter auf das Strassenunfallgeschehen“ aus Phase 1. Das Ziel von TP4 ist eine datenbasierte Identifizierung und Beschreibung von kausalen Zusammenhängen zwischen beobachtbaren Wetterphänomenen und dem Unfallgeschehen auf dem Schweizerischen Strassennetz. Dabei wird das Gesamtstrassennetz betrachtet, das heisst, es werden National-, Kantons- und Gemeindestrassen, innerorts und ausserorts mit und ohne Kreuzungsbereiche und mit und ohne Tunnel oder Brücken differenziert in die Untersuchungen einbezogen. Zudem wird das vollständige, dokumentierte Verkehrsunfallgeschehen aus VUGIS der Jahre 2011 und 2012 sowie flächendeckende Informationen aus dem Wettermodell von MeteoSchweiz für die Analyse berücksichtigt.

Die verfügbaren Wetter-, Strassen- und Unfallinformationen werden kategorisiert und geeigneten Variablengruppen zugeordnet. Diese unterliegen einer hierarchischen Abstufung, stehen in Zusammenhang zueinander und lassen sich in a) beobachtbare Wetterphänomene, b) bedingte Gefährdungszustände und c) resultierende Unfallereignisse untergliedern. Mit dem Ziel, eine generische Repräsentation der Zusammenhänge zu entwickeln, wird das untersuchte Strassennetz als System betrachtet, das verschiedenen Wetterphänomenen ausgesetzt ist. Diese beobachtbaren Wetterphänomene wiederum verursachen (wetter-) bedingte Gefährdungszustände auf den Strassen und beeinflussen dadurch das Fahrverhalten der Strassenutzer, die Verkehrssicherheit und letztendlich das Unfallgeschehen. Das Unfallgeschehen wird in drei verschiedene Unfallereigniskategorien aufgeteilt: Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden, Unfälle mit leichtem Personenschaden und Unfälle mit schwerem oder letalem Personenschaden.

Da die Daten aus verschiedenen Datenbanksystemen überliefert wurden, werden sie zuerst aufbereitet und für eine gemeinsame Analyse harmonisiert. Zusätzlich werden ergänzende Variablen anhand der Wetterdaten und der Georeferenzierung der Strassendaten berechnet (z. B. Sonnenblendungspotential). Im Anschluss an die Datenaufbereitung werden die enthaltenen Informationen anhand von deskriptiven Statistiken beschrieben, erste Zusammenhänge zwischen Wetter- und Unfallereignissen diskutiert und Hypothesen, die aus der Literaturrecherche abgeleitet wurden, überprüft.

Zur Überprüfung dieser Hypothesen dient auch eine quantitative Beschreibung der Zusammenhänge durch die Entwicklung eines Unfallprädiktionsmodells auf Basis einer multivariaten Regressionsanalyse unter der Annahme von generalisierten, linearen Modellen. Es werden Regressionskoeffizienten für Unfallmodelle verschiedener Wetter- und Strassenkonstellationen geschätzt und ihre jeweilige Aussagekraft im Modell anhand von Signifikanztests bestätigt.

Aus den Ergebnissen der deskriptiven Statistiken sowie der Regressionsanalyse lassen sich unterschiedliche Zusammenhänge zwischen den Wetterphänomenen und dem Unfallgeschehen erkennen. Zwar ist ein Rückschluss auf kausale Zusammenhänge zwischen einzelner Wetterphänomene auf das Unfallgeschehen nur schwer nachweisbar, in der Kombination von mehreren Wetterphänomenen, bestimmten Strassenparametern und Tageszeiten lassen sich jedoch Kausalitäten ableiten, die einen Einfluss des Wetters auf das Unfallgeschehen offenbaren. Die wichtigsten Rückschlüsse aus den

datenbasierten Analysen des Unfallgeschehens und Mobilitätsverhaltens der vorliegenden Untersuchungen sind:

- Die Lufttemperatur hat einen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen, denn mit steigenden Temperaturen (d.h. Durchschnittstemperaturen oberhalb von 8°C) nimmt auch die Unfallhäufigkeit zu..
- Regen ist im Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen im Strassenverkehr eine wichtige Witterungs-Einflussgrösse und wird in der Literatur mit einem signifikanten Anstieg der Unfallzahlen in Verbindung gebracht. Dieser Anstieg konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung mit der gewählten Modellierung jedoch nur für einzelne Unfallkollektive bestätigt werden.
- Schneefall führt zu einem Anstieg des Unfallrisikos, insbesondere hinsichtlich Unfälle mit leichtem Personenschäden. Dagegen lässt sich für Unfälle mit schweren Personenschäden kein Einfluss von Schneefall ermitteln.
- Das unfallbeeinflussende Potential von Sonnenblendungen ist nur unter bestimmten Bedingungen nachweisbar. Es konnte aber gezeigt werden, dass eine erhöhte potentielle Sonnenblendung vor allem innerorts und an Knoten zu mehr Unfällen führt.
- Das Mobilitätsverhalten wird durch Wetterereignisse beeinflusst: Auf Ausserorts- und Innerortsstrassen (ohne Autobahnen) lässt sich bei Regenereignissen ein Rückgang in den Verkehrsmengen feststellen. Rückgänge in den Verkehrsmengen lassen sich auch bei Schneefall Ausserorts nachweisen. Im Gegensatz dazu wird aber Innerorts ein gegenteiliger Effekt festgestellt. Auf die Temperatur an warmen Tagen reagiert vor allem der Verkehr auf Ausserortsstrassen.

Zusätzlich zu den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen, die das Potential der vorhandenen Datenquellen analysieren, werden Empfehlungen für zukünftige Datenerhebungen ausgesprochen, die eine sinnvolle Ergänzung und eine Verbesserung der Analyseresultate ermöglichen könnten. Es werden zudem Massnahmen diskutiert, die den wetterbedingten Gefährdungszuständen auf den Strassen entgegenwirken; z. B. Massnahmen gegen Strassenglätte oder Sichtprobleme bei Niederschlagsereignissen. Diese Massnahmen werden anhand von baulichen Veränderungen der Strasse oder des Strassenraumes (z. B. Beleuchtung oder reflektierende Markierungen), durch Schulung und Kontrolle der Verkehrsteilnehmer, durch Geschwindigkeits- oder Gewichtsbegrenzungen oder durch Unterhaltsmassnahmen wie z. B. Streuen bei Strassenglätte umgesetzt.

Der praktische Nutzen und das Potential der Erkenntnisse zum Wettereinfluss auf das Unfallgeschehen liegen in der Verwendung von Modellen als Grundlage und Hilfestellung für die Entscheidungsfindung in den verschiedenen Bereichen der Verkehrsplanung und des Verkehrssicherheitsmanagements. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen zwar, dass eine Unfallanalyse ausschliesslich auf Basis von Wetterphänomenen bei begrenztem Datenvolumen nur bedingt aussagekräftig ist, allerdings lässt sich ein grosses Potential im Zusammenspiel mit anderen Risikofaktoren erkennen, die in anderen Teilprojekten des Forschungspakets untersucht werden. Es ist zum Beispiel zu erwarten, dass eine Berücksichtigung und ein Einbezug der Erkenntnisse aus TP4 in die Modelle und Analysen aus TP2 (Einfluss von Infrastrukturparametern auf das Unfallgeschehen) einen Mehrwert in der Unfallanalyse und zukünftigen Unfallprädiktion erzielen wird.

Weitere Forschungsschwerpunkte sind in einer vertiefenden Analyse des Wettereinflusses zu sehen. Es wird davon ausgegangen, dass, abgestützt auf einem grösseren Datenfundament (z. B. Unfallbeobachtungszeitraum grösser als zwei Jahre) und Untersuchungstiefgang, noch wesentlich aussagekräftigere Ergebnisse erzielt und konkretere Empfehlungen für das Sicherheitsmanagement auf den Schweizerischen Strassen abgeleitet werden könnten.

Résumé

Depuis janvier 2011, il est possible d'associer les données du registre des accidents de la route (VU) avec d'autres registres de l'Office fédéral des routes (OFROU). Cet ensemble de données nouvellement créé permet d'effectuer des analyses détaillées de différents facteurs d'accidents. Le paquet de recherches "Gains de sécurité routière par datapooling et analyses structurées de données" (VeSPA) comporte au total cinq projets partiels. Ceux-ci traitent en deux phases des questions Homme/société, situation/infrastructure, véhicule, météorologie et conséquences médicales.

Le présent document illustre les travaux du projet partiel TP4 (« Influences de la météo sur l'accidentologie ») de la phase no 1. TP4 a pour objectif l'identification basée sur les données et la description des liens de cause à effet entre les phénomènes météorologiques observables et la survenue d'accidents sur le réseau routier suisse. A cet égard, l'étude porte sur la totalité du réseau routier, à savoir qu'elle intègre en les différenciant les routes nationales, cantonales et communales, les routes en agglomération et hors agglomération avec ou sans zones de croisement et avec ou sans tunnel et/ou ponts. Par ailleurs, l'analyse prend en compte la totalité de l'historique documenté des accidents du projet VuGIS pour les années 2011 et 2012 ainsi que les informations nationales issues du modèle météorologique de MétéoSuisse.

Les informations disponibles sur la météo, les routes et les accidents sont classées par catégories et attribuées à des groupes de variables idoines. Ces derniers sont hiérarchisés, corrélés entre eux et subdivisés en fonction a) des phénomènes météorologiques observables, b) des situations de danger conditionnelles et c) des accidents qui en résultent. Afin de mettre au point une représentation générique des liens, le réseau routier est étudié en tant que système soumis à divers phénomènes météorologiques. Les phénomènes météorologiques observables génèrent quant à eux des situations de danger (liées aux conditions météo) sur la route et influencent ainsi le comportement de conduite des usagers de la route, la sécurité de circulation et, enfin, l'accidentologie. Les accidents sont classés en trois catégories: les accidents avec des dommages exclusivement matériels, les accidents avec des dommages corporels légers et les accidents avec des dommages corporels graves ou mortels.

Etant donné que les données proviennent de différents systèmes de banques de données, elles doivent d'abord être traitées et harmonisées afin d'être soumises à une analyse commune. Par ailleurs, des variables supplémentaires sont également calculées à l'aide des données météorologiques et du géoréférencement des données routières (p. ex. le potentiel d'éblouissement dû au soleil). A l'issue du traitement des données, les informations recueillies sont décrites à l'aide de statistiques descriptives, les premiers liens entre les événements météorologiques et les accidents survenus font l'objet de discussions et les hypothèses tirées de la littérature sont vérifiées.

Aux fins de vérification de ces hypothèses, il est également procédé à une description quantitative des liens à l'aide d'un modèle de prédiction des accidents développé sur la base d'une analyse de régression multivariée fondée sur la supposition de modèles linéaires généralisés. Il est réalisé une estimation des coefficients de régression appliqués à des modèles d'accidents avec diverses configurations météorologiques et routières, et leur pertinence est corroborée dans le modèle à l'aide de tests de signification. Les résultats des statistiques descriptives ainsi que de l'analyse de régression permettent d'établir des liens de diverse nature entre les phénomènes météorologiques et la survenue d'accidents. La conclusion de liens de cause à effet entre des phénomènes météorologiques isolés et l'accidentologie est certes difficile à établir avec certitude; toutefois, la combinaison de plusieurs phénomènes météorologiques, de paramètres routiers particuliers et de tranches horaires permet de déduire des liens de causalité démontrant l'influence de la météo sur l'accidentologie. Les conclusions les plus importantes découlant des analyses basées sur les données de l'accidentologie et des comportements de mobilité dans les présentes études sont les suivantes:

- La température de l'air a une influence significative sur la survenue d'accidents. La montée de températures (pendant les journées estivales, c'est-à-dire à des températures moyennes supérieures à 8 °C) coïncide avec l'augmentation de la fréquence des accidents.
- Eu égard à la survenue d'accidents de la circulation routière, la pluie constitue un facteur météorologique important qui, dans la littérature, est mis en relation avec une augmentation significative du nombre d'accidents. Dans le cadre de la modélisation choisie par la présente étude, cette augmentation n'a cependant pu être confirmée que pour certains types d'accidents.
- Les chutes de neige, quant à elles, entraînent une augmentation du risque d'accidents, notamment des accidents avec dommages corporels légers. En revanche, il n'a pas été possible d'identifier un impact des chutes de neige sur les accidents avec dommages corporels graves.
- Le potentiel d'influence des éblouissements dus au soleil sur la survenue des accidents ne peut être établi que dans certaines conditions. Il a pu toutefois être démontré un lien entre un éblouissement potentiel accru, surtout dans les agglomérations et aux intersections, et l'augmentation du nombre d'accidents.
- Les comportements de mobilité sont impactés par les événements météorologiques. Sur les routes en et hors agglomération (à l'exclusion des autoroutes), on constate un recul du volume de circulation lors de chutes de pluie. Un recul du volume de circulation est également avéré lors de chutes de neige en dehors des agglomérations. En revanche, un impact contraire est observé au sein des agglomérations. C'est avant tout sur les routes hors agglomération que l'on constate une réaction de la circulation aux températures en période chaude.

En plus des résultats des études destinées à analyser le potentiel des sources de données disponibles, des recommandations sont émises pour de futurs recueils de données susceptibles d'apporter un complément judicieux et une amélioration des résultats d'analyse. En outre, des mesures destinées à remédier aux situations de danger liées aux conditions météorologiques font l'objet de discussions: p. ex. des mesures contre le verglas ou les problèmes de visibilité liés aux précipitations. Ces mesures sont mises en œuvre au travers de modifications apportées à la route ou à la chaussée (p. ex. éclairage ou marquages réfléchissants), de la formation et du contrôle des usagers, de limitations de vitesses ou de poids, ou de mesures d'entretien telles que le salage en cas de verglas.

L'utilité pratique et l'intérêt des conclusions concernant l'impact de la météo sur la survenue d'accidents résident dans l'utilisation de modèles de base et dans l'aide à la prise de décision dans les différents domaines de la planification du trafic et de la gestion de la sécurité de la circulation. Si les résultats de la présente étude montrent que la pertinence d'une analyse accidentologique reposant exclusivement sur des phénomènes météorologiques et sur un volume de données limité n'est que conditionnelle, la prise en compte d'autres facteurs de risque faisant l'objet d'études dans d'autres projets partiels du programme de recherche laisse en revanche entrevoir un fort potentiel (d'acquisition de connaissances). Ainsi, on peut s'attendre à ce que l'intégration des résultats de TP4 dans les modèles et les analyses de TP2 (Impact des paramètres d'infrastructures sur la survenue d'accidents) permettra d'apporter de la valeur ajoutée dans l'analyse des accidents et des futures prédictions d'accidents.

D'autres axes de recherche sont à chercher dans une analyse approfondie de l'impact météorologique. On estime qu'en s'appuyant sur un socle de données plus large (p. ex. période d'observation des accidents supérieure à deux ans) et des enquêtes approfondies, il sera possible de dégager des conclusions d'une pertinence considérablement accrue et d'élaborer des recommandations concrètes en matière de gestion de la sécurité sur les routes suisses.

Summary

Since January 2011, it is possible to link data of the Road Traffic Accident Register (VU) with other registers of the Swiss Federal Roads Office (FEDRO) and with data from various other sources. This newly created pool of data allows detailed analysis of various factors on accident rates. The according research package "road safety gains resulting from datapooling and structured data analysis" (VeSPA) comprises six sub-projects (TP). The scientific sub-projects examine in two phases impacts of persons/society, situation/infrastructure, vehicle, weather, and medical consequences.

The report at hand documents the efforts and achievements within sub-project TP4 on the "Influence of Weather on Road Traffic Accidents" in Phase 1. The overall goal of TP4 is the data-driven identification and description of causal relationships between observable weather phenomena and traffic accidents on the Swiss road network. The analyses include the entire road network of Switzerland differentiating it into national, cantonal and municipal roads and streets, in and outside of settlements, as well as intersections, tunnels and bridges. Additionally, the complete VUGIS record set of traffic accidents from the years 2011 and 2012 as well as information from the nationwide COSMO-2 weather model of MeteoSwiss are leveraged in the analyses.

Information on weather, roads and streets, and accidents are categorised and sorted into suitable variable groups. These are structured hierarchically, are inter-related and can be classified into a) observable weather phenomena, b) conditional risk situations, and c) resulting accidents. In order to develop a generic representation of the relationships and links between variables, the road network is conceptualised as a system that is subject to various weather phenomena. These phenomena cause risk situations on roads and streets, and thereby influence the driving behaviour of individuals, traffic safety, and, as a consequence, the occurrence and frequency of traffic accidents. Accident events are classified into three accident event categories with varying levels of severity: Accidents with purely material damage, accidents with light injury to persons, and accidents with heavy injury to persons or fatalities.

As the various datasets in our analyses stem from different databases and data warehouses they are first assessed regarding compatibility, then pre-processed and harmonised. Additionally, supplementary variables are computed based on both the weather data and the road infrastructure data (e.g. sun glare potential). Subsequent to data pre-processing and harmonisation the information at hand is summarised using techniques from descriptive statistics. At this stage initial relationships between weather and accident occurrence are assessed and hypotheses from the literature studies are tested. Hypothesis testing is supported (among others) by a quantitative description of the relationships through development of an accident prediction model in the form of a multivariate regression analysis using generalised linear models. Regression coefficients of such accident prediction models for different weather and road infrastructure configurations are estimated. The predictive power of the various regression variables is asserted using significance tests.

The descriptive statistics and the results of the regression analyses reveal various relationships between weather phenomena and the occurrence of accidents. While establishing causal links between individual phenomena and accidents is difficult, such links can be derived between the combined occurrences of several weather phenomena, certain infrastructure parameters as well as specific times of the day and accidents. The most relevant inferences from the data analyses in the investigation at hand are:

- Air temperature has a significant impact on accident occurrences. Rising temperatures (i.e., average temperatures above 8°C) lead to an increased frequency of accidents.
- Rain is an important weather factor with regards to accident occurrences and the literature has linked it to significant increase of accident numbers. However, in the investigation at hand these increasing numbers could only be asserted for certain groups of accidents.

- Snowfall yields an increase of accident risk, especially with regards to traffic accidents with light injury to persons. In contrast, no such influence could be detected for accidents with heavy injury to persons or fatalities.
- The potential of sun glare to influence accident occurrence was detectable only in specific conditions. However, it could be shown that an elevated sun glare potential leads to more accidents especially in settlement areas and at intersections.
- Mobility behaviour is influenced by weather events: On rural roads and urban roads (without highways) a decrease in traffic volume can be detected during rain events. Decreased vehicle numbers can also be found during snowfall on rural roads. In contrast, we find the opposite effect on urban roads and streets. Temperature on generally warm days influences primarily traffic volume on rural roads.

In addition to the insights gained from the analyses based on the available data, this report offers recommendations as to future data collection and processing that would yield sensible additions to, and improvements of, existing results. Furthermore, the report discusses measures to counteract weather-induced risk situations on roads and streets; e.g., precautions against slippery surfaces or visibility problems during precipitation events. Such precautions can be put into practice through amendments to road infrastructure and streetscapes (e.g. illumination or reflecting markings), through education of drivers and traffic law enforcement, through speed and weight limits or through maintenance efforts such as de-icing and gritting in slippery conditions.

The tangible benefits and the potential of the insights into the weather's influence on traffic accidents lies in the use of the statistical models for decision-support in traffic planning and road safety management. While the results of this report show that an analysis of accidents solely based on weather phenomena and with limited data volumes achieves only limited assertive power, the combination with risk factors from other sub-projects of this research package has considerable potential to deepen the insights gained. For example, we would expect the inclusion of insights from TP4 in the models and analyses of TP2 (influence of infrastructure parameters) to add substantial value to the investigation and future accident prediction efforts.

We see further research foci in a more intricate analysis of weather influences. Specifically, we expect that a larger pool of data (e.g., with an accident monitoring period longer than two years) combined with more detailed analysis efforts would achieve even more significant results and even more concrete recommendations for safety management on the Swiss road network.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Trotz der positiven Entwicklung der letzten Jahre sterben in der Schweiz noch immer jedes Jahr im Strassenverkehr mehr als 300 Menschen und nahezu 4'500 werden schwer verletzt. Abgesehen vom verursachten persönlichen Leid der Involvierten und Angehörigen entstehen zudem materielle Kosten aus Sachschäden, Heilungskosten oder Produktionsausfall von jährlich schätzungsweise 5 Milliarden Franken (bfu, 2010). Angesichts dieser Zahlen verfolgen der Bund und verschiedene private Organisationen zusammen das Ziel, das Unfallrisiko auf den Schweizerischen Strassennetzen weiter zu reduzieren.

Mit dem Handlungsprogramm des Bundes für mehr Sicherheit im Strassenverkehr „Via sicura“ will das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmenden in den nächsten Jahren erhöhen. Der Bundesrat hat deshalb mit seiner Botschaft vom 20. Oktober 2010 dieses Verkehrssicherheitspaket dem Parlament zur weiteren Umsetzung überwiesen.

Mit den vorgeschlagenen Massnahmen sollen vor allem die bestehenden Vorschriften besser durchgesetzt und die häufigsten Unfallursachen sowie grössten Unfallschwerpunkte beseitigt werden. Darüber hinaus soll die Prävention verstärkt werden. Das erklärte Ziel von Via sicura lautet zusammengefasst: Nur gut ausgebildete, fahrfähige und für das Autofahren geeignete Menschen verkehren in sicheren Fahrzeugen auf Strassen, die Fehler verzeihen (UVEK, 2010a).

Das Monitoring-Instrument von Massnahmen zur Reduktion des Unfallrisikos ist seit 1926 die Verkehrsunfallstatistik. Deren Daten wurden im Januar 2011 in das Strassenverkehrsunfall-Register des Bundesamts für Strassen (ASTRA) überführt. Mit dieser Integration in das Management-Informationssystem Strasse und Strassenverkehr (MISTRA) wird es möglich, die Unfalldaten mit weiteren ASTRA-Registern und Applikationen zu verknüpfen. Dies betrifft insbesondere die folgenden Register und Informationssysteme:

- Strassenverkehrsunfall-Register (VU)
- Register der Administrativmassnahmen (ADMAS)
- Fahrberechtigungsregister (FABER)
- Fahrzeug- und Halterdatenregister (MOFIS)
- Basissystem von MISTRA (BS)

Der neu geschaffene Datenpool ermöglicht detaillierte Auswertungen des Unfallgeschehens und eine datenbasierte Identifikation von Zusammenhängen verschiedener Risikofaktoren auf das Unfallgeschehen. Beispiele für Risikofaktoren sind neben dem Wetter das Verhalten der Strassennutzer, Betriebstauglichkeit und Motorleistung der Fahrzeuge, die baulichen/technischen Eigenschaften der Strasseninfrastruktur sowie die verkehrsbezogene Exposition der Strassennutzer.

Das Forschungspaket „Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen“ fasst insgesamt sechs thematisch voneinander getrennter Teilprojekte zusammen. In einer ersten Phase werden die Teilprojekte „Mensch/Gesellschaft“, „Situation/Infrastruktur“, „Fahrzeug“, „Wetter“, „medizinische Folgen“ und „volkswirtschaftliche Kosten“ untersucht. Phase 1 dient dabei vor allem der Überprüfung der Verfügbarkeit, Konsistenz und Verknüpfbarkeit von vorhandenen Datenbeständen.

In der zweiten Phase werden die Resultate aus diesen Teilprojekten miteinander verknüpft, es werden vertiefte Untersuchungen zu Themen vorgenommen, die sich in

Phase1 als besonders interessant und zielführend erwiesen haben und es wird eine ganzheitliche Analyse in Form von bereichsübergreifenden Modellierungen angestrebt.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Arbeiten des Teilprojekts TP4 „Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen“ der Phase 1 des Gesamtprojekts. Viele Strassennutzer haben das Gefühl, dass das Wetter einen grossen Einfluss auf das Unfallgeschehen ausübt. Im Gegensatz zu anderen Einflussbereichen wurde das Wetter bisher aber nur in geringem Masse als unfallbegünstigender Umstand untersucht und bestätigt. Häufig wird bei Unfallanalysen in anderen Bereichen von unfallverursachenden Risikofaktoren diskutiert, dass einzelne Wetterphänomene für Unfallereignisse verantwortlich sein können. Diese wetterbedingten Unfallereignisse können aber anhand der Dateninformationen der stets begrenzten Auswahl an Risikoindikatoren nicht abschliessend erklärt werden. Das Wetter selbst ist durch Massnahmen nicht zu beeinflussen, jedoch können Massnahmen für wetterbedingte Gefährdungszustände ergriffen werden. Für eine effiziente Entscheidungsfindung im Zusammenhang mit dem Sicherheitsmanagement auf Strassen im allgemeinen und mit der Auswahl sinnvoller Massnahmen zur Reduktion des Unfallrisikos im speziellen, bedarf es statistischer Analysen zur Identifikation und Quantifizierung potentieller Zusammenhänge zwischen beobachtbaren Wetterphänomenen und dem resultierenden Unfallgeschehen.

Kenntnisse über den Wettereinfluss auf das Unfallgeschehen dienen unter anderem dazu,

- mögliche negative Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit durch Massnahmen (z. B. Winterdienst, Infrastruktur, Verkehrsmanagement oder Gesetzgebung) abzufedern,
- Unfallstatistiken und daraus abgeleitete Entwicklungen (z. B. jährliche Unfallzahlen) besser bewerten zu können (Bereinigung um Wettereinfluss, z. B. saisonale Schwankungen auszugleichen oder andere Massnahmen hinsichtlich ihrer Wirkung genauer bewerten zu können) und
- verbesserte Abschätzungen zukünftiger Unfallentwicklungen unter Berücksichtigung des Klimawandels durchführen zu können.

Ausgehend von der Zieldefinition in Abschnitt 1.2 und der Systemabgrenzung in Abschnitt 1.3 werden in den folgenden Abschnitten zuerst die verfügbaren Daten und Informationen zu Strasse, Verkehr, Wetter und Unfallgeschehen strukturiert und harmonisiert (Abschnitt 3). Auf dieser Basis lassen sich erste Eigenschaften und Zusammenhänge zwischen Wetterphänomenen und dem Unfallgeschehen anhand von deskriptiven Statistiken und Korrelationsanalysen ableiten (Abschnitt 4). Für eine quantitative Beschreibung der Zusammenhänge werden die Risikoindikatoren und das Unfallgeschehen anhand von Regressionsanalysen miteinander in Verbindung gesetzt und es können letztendlich Rückschlüsse und Massnahmenvorschläge aus den Untersuchungen gezogen werden (Abschnitt 6).

1.2 Zieldefinition

Die Zielsetzung des Gesamt-Forschungspakets umfasst Untersuchungen des Potentials zur Erhöhung der Verkehrssicherheit durch datenbasierte Methoden wie Datapooling und strukturierte Datenanalysen. Unter diesem Deckmantel beschränkt sich das Hauptziel im Teilprojekt TP4 auf die Identifikation und Beschreibung von kausalen Zusammenhängen zwischen beobachtbaren Wetterphänomenen und resultierenden Unfallereignissen. Dabei können Wetterphänomene einzeln oder in Kombination betrachtet werden.

Das Hauptziel des Teilprojekts lässt sich in folgende Ziele untergliedern, die gleichzeitig auch die Grundlage für den strukturellen Aufbau des vorliegenden Berichts bilden:

- Identifikation und Aufbereitung bereits bestehender Erkenntnisse zum Einfluss des Wetters auf das Unfallgeschehen anhand einer ausführlichen Literaturrecherche (siehe Kapitel 2).
Dabei wird der aktuelle Stand der Forschung im Bereich Unfallanalyse und Wettereinflüsse aufgezeigt. Es werden anhand der Erkenntnisse aus der

- Literaturrecherche Hypothesen zum Einfluss des Wetters auf das Unfallgeschehen abgeleitet, die im weiteren Verlauf der Untersuchungen im Teilprojekt bestätigt oder widerlegt werden sollen.
- Überprüfung, Verknüpfung, Harmonisierung und Vergleich der zur Verfügung gestellten Datengrundlagen (siehe Kapitel 3).
Das Ziel liegt darin, einen oder mehrere Datensätze zu generieren, die für die gemeinsame Analyse von Informationen aus unterschiedlichen Quellen verwendet werden kann. Beispielsweise werden die Strassen- und Wetterdaten von verschiedenen Organisationen zur Verfügung gestellt (ASTRA und MetoSchiweiz). Dazu gehören neben Wetterwerten von Messstationen und aus meteorologischen Modellen auch die Berechnung eines Datensatzes für Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, um das Unfallrisiko von tiefstehender Sonne und dem damit verbundenen Blendungspotential zu beleuchten.
 - Auswahl der statistischen Verfahren, die für die Analyse der Unfallereignisse im Hinblick auf den Einfluss von beobachtbaren Wetterereignissen verwendet werden sollen (siehe Kapitel 4).
Eine wichtige Grundlage für das Erzielen von aussagekräftigen und praktisch nützlichen Untersuchungsergebnissen ist eine sorgfältige Auswahl geeigneter statistischer Analysemethoden. Je nach Fragestellung, Datenverfügbarkeit und Projektumfang empfiehlt es sich, auf unterschiedliche Verfahren zurückzugreifen.
 - Qualitative und quantitative Analyse der Wetterdaten und ihrer Wechselwirkung mit den Verkehrsunfalldaten (siehe Kapitel 5).
Es sollen objektive Resultate der Anwendung der in Kapitel 4 ausgewählten statistischen Verfahren dargestellt werden. Dabei werden verschiedener Strassen- und Verkehrssituationen (z. B. Ausrichtung von Strassen, Strassentyp/Knoten, Tageszeit) unterschieden und die Ergebnisse differenziert ausgewiesen.
 - Erkenntnisse, Diskussion und Beurteilung der Resultate (siehe Kapitel 6).
Die Resultate werden mit Hinblick auf die Verwendbarkeit von Wetterbeobachtungen und Wettermodellen für die Unfallanalyse diskutiert. Es werden die in Kapitel 2.5 aus der Literaturrecherche abgeleiteten Modellhypothesen überprüft und die Ergebnisse hinsichtlich kausaler Zusammenhänge interpretiert. Es werden Rückschlüsse für eine Nutzung der Ergebnisse und ihrer Bedeutung für die Praxis gezogen und Empfehlungen für sinnvolle Massnahmenansätze auf Basis der Ergebnisse und Erkenntnisse ausgesprochen.
 - Identifikation und Empfehlung von weiteren Forschungsschwerpunkten (siehe Kapitel 7).

1.3 Systemabgrenzung

Im vorliegenden Bericht des TP 4 werden ausschliesslich Wetterphänomene hinsichtlich ihres Einflusses auf das Unfallgeschehen analysiert. Für eine nachvollziehbare Systemdefinition wurden die verfügbaren Wetter-, Strassen- und Unfallinformationen kategorisiert und geeigneten Variablengruppen zugeordnet. Diese unterliegen einer hierarchischen Abstufung, stehen in Zusammenhang zueinander und lassen sich entsprechend *Abb.1* in a) beobachtbare Wetterphänomene, b) wetterbedingte Gefährdungszustände und c) resultierende Unfallereignisse untergliedern.

Wetterphänomene

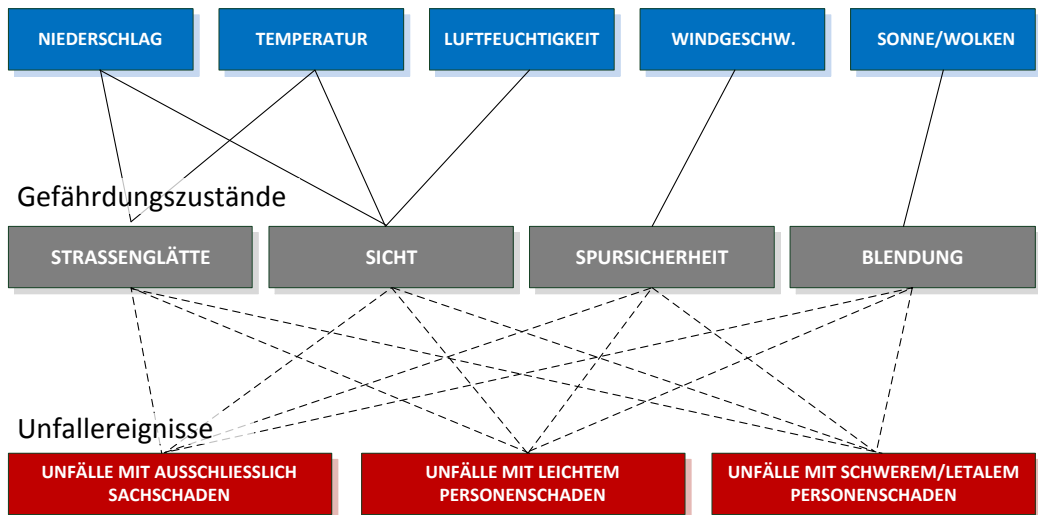


Abb.1 Systematische Strukturierung der vorhanden Informationen und potentieller Zusammenhänge

Das untersuchte Strassennetz wird im Folgenden als System betrachtet, das verschiedenen beobachtbaren Wetterphänomenen ausgesetzt ist. Diese wiederum verursachen (wetter-) bedingte Gefährdungszustände auf den Strassen und für das Fahrverhalten der Strassennutzer und beeinflussen dadurch das resultierende Unfallgeschehen. Abb.1 zeigt die Kategorisierung der Systemvariablen. Die durchgezogenen Verknüpfungslinien zwischen den beobachtbaren Wetterphänomenen und den wetterbedingten Gefährdungszuständen repräsentieren Annahmen von Zusammenhängen. Die gestrichelten Linien zwischen den Gefährdungszuständen und den resultierenden Unfallereignissen spiegeln ungewisse Modellhypothesen wider, die es durch die vorliegenden Untersuchungen zu widerlegen oder zu bestätigen gilt (siehe Kapitel 6).

Die wetterbedingten Gefährdungszustände treten stets als Ergebnis einzelner oder einer Kombination von beobachtbaren Wetterphänomenen auf. Zwar sind im eigentlichen Sinne die Gefährdungszustände die Auslöser für die Unfallereignisse, für die statistischen Untersuchungen im Teilprojekt 4 werden jedoch die Zusammenhänge direkt zwischen den beobachtbaren Wetterphänomenen und den resultierenden Unfallereignissen analysiert und bewertet und die Gefährdungszustände nur implizit berücksichtigt.

Als Lesebeispiel für Abb.1: Das Phänomen Niederschlag tritt immer in Kombination mit bestimmten Temperaturen auf und es kann somit bei einer definierten Grenztemperatur zwischen Regen und Schnee unterschieden werden. Je nach Temperatur resultiert Niederschlag (Regen oder Schnee) in einem Reibungsverlust auf der Fahrbahn, der im schlimmsten Fall Glätte durch Schneefall oder Glatteis durch überfrierende Nässe darstellt.

Darüber hinaus unterliegt das untersuchte System inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Abgrenzungen:

Inhaltlich wird ausschliesslich zwischen messbaren Wetterphänomenen wie z. B. Niederschlag, Temperatur, Winde, etc. unterschieden. Es werden verschiedene Unfallschwerekategorien analysiert entsprechend dem höchsten aufgetretenem Verletzungsgrad pro Unfall. Daraus ergeben sich die Unfallschwerekategorien Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden, Unfälle mit leichtem Personenschaden und Unfälle mit schwerem Personenschaden. In Bezug auf die untersuchten Strassenabschnitte handelt es sich um alle Strassentypen, sowohl innerhalb und ausserhalb geschlossener Ortschaften, als auch mit und ohne Richtungstrennung und unabhängig von behördlichen Zuständigkeiten (National, Kantons- und Gemeindestrassen).

Räumlich werden die Strassen-, Unfall- und Wetterdaten flächendeckend für die ganze Schweiz zur Verfügung gestellt.

Die zeitliche Systemdefinition umfasst einen Beobachtungszeitraum des Unfallgeschehens der Jahre (einschliesslich) 2011 bis 2012. Entsprechend wurden auch die Wetterdaten aus dem Modell von MeteoSchweiz über diesen Zeitraum ausgelesen.

2 Stand der Forschung

2.1 Einleitung

Bei der Interpretation von jährlichen Unfallzahlen und deren Entwicklung wird oft das Wetter als Einflussfaktor genannt. Es werden beispielsweise erhöhte Unfallzahlen im Motorradverkehr auf lange Perioden mit warmem Wetter ohne Niederschlag zurückgeführt oder Nebelsituationen mit schweren Auffahrunfällen unter Beteiligung von mehreren Fahrzeugen assoziiert. Allerdings bestehen (zumindest im deutschsprachigen Raum) nur wenige empirische Untersuchungen zum Einfluss des Wetters auf die Verkehrssicherheit (mit Ausnahmen von z. B. [20]). Das Wetter wird in der Regel auch bei anderen Unfallanalysen z. B. zum Infrastruktureinfluss nicht weiter berücksichtigt. Eine Übersicht in [11] zeigt aber, dass für skandinavische sowie englischsprachige Länder die Erkenntnislage besser ist.

Den Einfluss des Wetters auf die Verkehrssicherheit gilt es aus zwei Blickwinkeln zu betrachten:

- Einerseits kann die Wahrscheinlichkeit für Unfälle durch Wetterausprägungen wie Niederschlag, Nebel oder Frost erhöht werden, da sich u. a. Bremswege verlängern (Nässe, Glätte), Sichtweiten verkürzen (Nebel, dichter Niederschlag, Dunkelheit) oder die Bewältigung der Fahraufgabe erschwert wird (Glätte in Kurven, Wind bei grossflächigen Fahrzeugen).
- Andererseits kann das Wetter die Exposition verringern, indem die Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer entweder langsamer und/oder aufmerksamer fahren [7], ein anderes Verkehrsmittel wählen (Bus statt Velo [26]) oder ganz auf die Ortsveränderung verzichten (reduzierter Freizeitverkehr, Velo- und Motorradverkehr bei schlechtem Wetter, siehe [4] oder [9]).

Beide Einflüsse können sich in ihrer Wirkung auf das Unfallgeschehen überlagern und dabei entgegengesetzt wirken. Dabei spricht man von Risiko-Kompensationseffekten. Diese Kompensation kann ausreichend sein, so dass sich keine zusätzlichen negativen Auswirkungen des Wetters auf das Unfallgeschehen ergeben, wie z. B. bei Schnee vereinzelt festgestellt wurde (erhöhte Aufmerksamkeit, weniger nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer; siehe [12]). Häufig ist dies aber nicht der Fall und es kommt zu höheren Wahrscheinlichkeiten für Unfälle z. B. bei Regen und Eisglätte, wie von Autoren aus verschiedenen Ländern bestätigt wird (siehe z. B. Übersicht in [11] oder [27]). Vereinzelt werden in der Forschung auch andere Faktoren untersucht, wie beispielsweise Sichtbehinderungen durch Nebel in [28].

2.2 Wettereinflüsse auf das Unfallgeschehen

2.2.1 Niederschlag

Regen

Verschiedene Literaturgrundlagen weisen aus, dass Regenereignisse zu mehr Unfällen führen (siehe z. B. [2–6], [9–12], [14–15], [17, 20, 25, 29, 32]). Dieser Zusammenhang differenziert sich aber je nach Unfallschwerekategorie, der Unfallbeteiligung, der Jahres- und Tageszeit, der Ortslage, dem Geschwindigkeitsniveau und auch der zeitlichen Aggregationsstufe (jährlich, monatlich, täglich, stündlich).

Eine Ausnahme stellen die Ergebnisse in [8] dar: Dort wurde für Innerortsstrassen bei Niederschlag ein Rückgang des Unfallrisikos festgestellt. Dieser wird auf die geringeren Verkehrsstärken zurückgeführt. In [11] findet sich ein geringeres Risiko für Unfälle mit Getöteten.

Ein erhöhter Regeneinfluss (d. h. Regen führt zu einer erhöhten Unfallhäufigkeit) in Bezug auf das Unfallgeschehen zeigt sich:

- bei Unfällen mit einer geringeren Unfallschwere [9, 11, 30]; dies könnte auch ein Hinweis auf eine Verschiebung zwischen den Unfallschwerekategorien sein.
- bei motorisierten Unfallbeteiligten [9].
- in den Wintermonaten [9], bei milder Temperatur und viel Niederschlag [26].
- in den Herbstmonaten [17].
- bei Ausserortsunfällen [4, 31].
- auf Strassen mit einem tendenziell höherem Geschwindigkeitsniveau [4, 20, 31].
- in den Abendstunden [5, 32].
- bei höherer Regenmenge [11, 12], Regendauer und -intensität [10].
- nach längeren Trockenperioden [11, 17, 29].
- in Unfallschwerpunkten [31].
- am Wochenende [20].
- in der Nacht [20].
- am Beginn eines Regenereignisses (< 20 min, [16]).

In [6] wird ein sofortiger Rückgang des Unfallrisikos zum Ende eines Regenereignisses festgestellt, auch wenn die Strassen noch nass sind.

In [11] werden widersprüchliche Ergebnisse für den Regeneinfluss auf Monatsbasis (weniger Unfälle) und Tagesbasis (mehr Unfälle) festgestellt.

In [4] wird anhand von regionalen Vergleichen ein Gewöhnungseffekt an häufige Regenereignisse untersucht, welcher aber nicht bestätigt werden konnte.

In [5] wurde anhand von Langzeitanalysen (über Jahrzehnte) festgestellt, dass der Regeneinfluss im zeitlichen Verlauf auf Unfälle rückläufig ist.

Überfrierender Niederschlag („freezing rain“) wird ein doppelt so hohes Unfallrisiko attestiert wie normalen Regenereignissen ([2]).

Schnee

Der Einfluss von Schneefall bzw. einer entsprechenden Schneehöhe ist nicht so eindeutig wie der von Regenereignissen. Ein Anstieg der Unfallzahl bei Schnee wird in mehreren Untersuchungen [2, 3, 4, 11, 13] bestätigt.

Ein Rückgang der Unfälle bei Schnee oder auch kein Einfluss wird in [12] und [15] festgestellt.

In [2] wird für Schneefall ein leicht höherer, positiver Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen (mehr Unfälle) festgestellt. Gleichzeitig wurden glatte Strassen in milden Wintern als gefährlicher eingestuft als schneebedeckte Strassen in kalten Wintern. Somit wird Eis auf der Strasse am gefährlichsten innerhalb eines Temperaturbereichs von 0°C bis -3°C eingeschätzt.

In [3] wird Schnee im Vergleich mit der Temperatur und dem Regen der stärkste Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen attestiert.

Die stärksten Zusammenhänge mit Schnee (d. h. Schnee führt zu einer erhöhten Unfallhäufigkeit) oder vergleichbaren winterlichen Wetterausprägungen (Glätte, überfrierende Nässe, etc.) ergeben sich bei folgenden Merkmalen:

- auf Ausserortsstrassen [4].
- bei höheren Geschwindigkeiten [4].
- junge Fahrerinnen bzw. Fahrer [4].

- in den Abendstunden [5].
- bei Unfällen mit einer geringeren Unfallschwere [11, 30].

In [5] wurde anhand von Langzeitanalysen (über Jahrzehnte) festgestellt, dass der Schneeeinfluss auf Unfälle gleichbleibend ist. In der historischen Entwicklung konnte somit keine Verbesserung im Umgang mit Schneeereignissen festgestellt werden.

In [11] werden Schneefallmenge wie auch Schneehöhe parallel analysiert. Dabei zeigen sich für Unfälle mit Personenschaden weniger Unfälle bei einer höheren Schneedecke (umgekehrter Einfluss bei Schneefallmenge). Bei einer Klassierung der Schneefallmenge zeigte sich ausserdem ein umgekehrt U-förmiger Zusammenhang, d. h. bei einer Schneefallmenge von 1–10 cm pro Tag besteht das höchste Unfallrisiko. Dieses nimmt dann sowohl für kleinere als auch für grössere Mengen ab. Ähnliches wird in [13] – allerdings bezogen auf den gesamten Niederschlag in den Wintermonaten – für die Mengen von 0.5–1 cm pro Tag festgestellt.

In [26] werden Jahre mit harten Wintern, viel Schnee und Nebel in den Monaten November und Dezember als auffällig bezüglich Unfälle (erhöhtes Unfallgeschehen) beschrieben.

2.2.2 Temperatur

In den Niederlanden wurde eine positive Korrelation zwischen der Lufttemperatur und der Anzahl bei Unfällen verunglückter Personen festgestellt ([9], [26]). Diese Korrelation entspricht denen mit dem Mobilitätsverhalten (siehe weiter unten), allerdings zeigt sich ein stärkerer Zusammenhang der Temperatur mit den Unfällen als mit den zurückgelegten Distanzen. Es kann aufgrund der Korrelationsanalyse nicht abschliessend beurteilt werden, ob der Anstieg verunfallter Personen nicht alleine eine Folge des erhöhten Mobilitätsverhaltens ist.

Die Temperatur beeinflusst den Zusammenhang von Regen und Schneefall mit dem Unfallgeschehen. Der Temperatur wird aber kein kausaler Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen unterstellt [3, 8]. Dies trifft vor allem im Winter bei Frost (Strassenglätte) zu. Je häufiger Frost auftritt, desto weniger Unfälle konnten festgestellt werden [8, 12, 15]. Im Sommer werden positive Korrelationen u. a. mit Einschränkungen der physischen Leistungsfähigkeit begründet (u. a. [3], [19], [27]). In [15] wird diesbezüglich eine Einflussgrenze bei 25°C gesehen, oberhalb dieser Grenze zeigt sich der genannte Effekt.

Gemäss [10] zeigen sich widersprüchliche Ergebnisse für den Zusammenhang mit der Temperatur. Auf Tagesbasis wird eine Erhöhung der Unfallzahl bei steigender Temperatur festgestellt, auf Monatsbasis ergibt sich der gegenteilige Effekt.

In [8] zeigt sich bei Berücksichtigung der Verkehrsleistung im Unfallmodell kein signifikanter Temperatureinfluss mehr. Dies könnte ein weiterer Hinweis auf die Funktion der Temperatur in den Modellen als Stellvertretergrösse für Veränderungen im Mobilitätsverhalten (Substitution oder Verzicht) sein.

2.2.3 Luftfeuchtigkeit, Wind und Wolkendeckung

Die Einschränkungen der Sicht durch Nebel werden in [1] thematisiert, wobei für Unfälle während dieser Umstände:

- eine erhöhte Unfallschwere,
- mehr Unfallbeteiligte sowie
- Auffälligkeiten
 - bei Frontal- und Heckkollisionen,
 - bei hohen Geschwindigkeiten,
 - bei fehlender Mitteltrennung und
 - auf Ausserortsstrassen generell

festgestellt wurden. Mehr Unfälle bei schlechter Sicht wurden auch in [25] ermittelt. In [10] konnte auch im Vergleich mit zahlreichen weiteren Wetterkenngrössen keinen signifikanten Einfluss schlechter Sicht festgestellt werden.

Die Sonnenscheindauer ergab in [10] nur dann einen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen, wenn diese als Anteilswert bezogen auf die maximal mögliche Sonnenscheindauer berücksichtigt wurde. In [12] wurde für die Anzahl Sonnenstunden ein negativer Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen (weniger Unfälle bei mehr Sonnenstunden) ermittelt. In [46] und [49] wird eine Methodik aufgezeigt, wie für den Strassenentwurf bzw. die Trassierung und deren Überprüfung im Sicherheitsaudit Potenziale für Sonnenblendung berechnet werden können. Ein direkter Abgleich mit dem Unfallgeschehen erfolgte in dieser Untersuchung aber nicht.

Unfälle bei Nacht sind auf Ausserortsstrassen zu grossen Teilen Schleuder- und Selbstunfälle mit Abkommen von der Fahrbahn, wobei deren Anteil in den Wintermonaten aufgrund der tiefstehenden Sonne erwartungsgemäss höher ist [33]. In der Untersuchung von [10] wurde für Sonnenblendung in den Wintermonaten ein hochsignifikanter positiver Einfluss auf das Unfallgeschehen ermittelt (mehr Unfälle).

Eine Untersuchung des Einflusses von Wind ergab in [10] keine signifikanten Ergebnisse. In [14] wurde hingegen mit zunehmender Windgeschwindigkeit eine signifikante Zunahme der Unfallzahlen ermittelt.

In [10] wurden Zusammenhänge zwischen Unfallgeschehen und dem Luftdruck untersucht, aber keine signifikanten Zusammenhänge ermittelt. In [19] ergaben sich negative Zusammenhänge zwischen Unfällen und der Luftfeuchte. Allerdings wurden in [19] Daten aus dem klimatisch nicht mit Mitteleuropa vergleichbaren Saudi-Arabien ausgewertet.

Untersuchungen des Zusammenhangs zwischen Wolkenbedeckung und Unfallgeschehen ergaben keine signifikanten Zusammenhänge [10].

2.3 Einfluss des Wetters auf das Mobilitätsverhalten

In [9] wird gezeigt, dass sich das Wetter erwartungsgemäss am stärksten auf den Freizeit- und Einkaufsverkehr auswirkt und den Berufsverkehr vergleichsweise weniger stark beeinflusst. Mit steigender Temperatur steigt auch das Mobilitätsverhalten und damit das Verkehrsaufkommen. Ein entgegengesetzter Trend lässt sich für den Fussgängerverkehr sowie die Benutzung der öffentlichen Verkehrsmittel erkennen.

In [34] wurde das Verkehrsverhalten bei Regenereignissen auf Autobahnen untersucht. Bezüglich der täglichen Verkehrsstärke ergab sich kein Zusammenhang: Bei Regenereignissen gehen die Geschwindigkeiten zurück und die Folgezeitlücken werden grösser. Eine ähnliche Analyse führten [7] für städtische Autobahnen durch. Hierbei wurden Geschwindigkeits- und Kapazitätsreduktionen bei Regen, Schnee und Nebel ermittelt.

In einer australischen Untersuchung [18] wurden signifikante Rückgänge der täglichen Verkehrsstärke bei Regen nur für den Winter und den Frühling mit -1,35% und -2,11% festgestellt. Diese Rückgänge verstärken sich noch leicht bei stärkeren Regenereignissen. Bei einer tageszeitbasierten Unterscheidung ergaben sich für Regenereignisse bei Nacht Verkehrsstärkerückgänge für alle Jahreszeiten. Wird der Regeneinfluss auf das Unfallgeschehen um diese Ergebnisse bereinigt, ergibt sich am Tag ein um 2% und bei Nacht ein um 5% erhöhter Einfluss.

In [4] wurde ein durchschnittlicher Rückgang von 3,3% bezogen auf die täglichen Verkehrsstärken bei Tagen mit Niederschlagsereignissen ermittelt. Dieser ist erwartungsgemäss am Wochenende mit einem höheren Anteil am Freizeitverkehr höher als im Zeitraum von Montag bis Donnerstag.

In [21] wurde ein Rückgang der v_{85} -Geschwindigkeiten bei erhöhten Windgeschwindigkeiten festgestellt. Es zeigt sich aber, dass diese Geschwindigkeitsreduzierungen für die Reduzierung des Unfallrisikos nicht ausreichend sind, da immer noch ein erhöhtes Risiko im Vergleich zu Normalbedingungen besteht. In [35] wurde für diese Rückgänge ein Modell für die mittleren freien Geschwindigkeiten auf französischen Autobahnen entwickelt.

In [20] wurden Geschwindigkeitsanpassungen bei Regenereignissen in der Schweiz analysiert. Tagsüber ergaben sich Geschwindigkeitsrückgänge erst bei starken Regenereignissen ($> 3 \text{ mm/h}$) auf Ausserortsstrassen und bei allen Regenereignissen auf Autobahnen. Bei Nacht erfolgt eine Anpassung schon bei leichtem Regen ($0,5 \text{ bis } 0,9 \text{ mm/h}$). Bei trockenem Wetter nehmen bei Nacht die Geschwindigkeiten zu.

In [36] wurden verschiedene Effekte von Niederschlagsereignissen auf das Verhalten aus der Literatur abgeleitet: Geschwindigkeit (Einzelgeschwindigkeiten und Kenngrößen der Geschwindigkeitsverteilung), Kapazität und Verkehrsstärke nehmen bei Niederschlag ab. Zeit- und Raumlücken sowie die Geschwindigkeitsstreuung und die Stauwahrscheinlichkeit nehmen hingegen zu.

In [37] wurden mittels Befragungen der Einfluss von Wettervorhersagen sowie des tatsächlichen Wetters auf das Mobilitäts- und Fahrverhalten untersucht. Es zeigte sich ein wesentlich geringerer Einfluss der Vorhersagen z. B. im Vergleich zum tatsächlich beobachteten Wetter. Der Einfluss von Wetterberichten ist bei Nachtfahrten im Vergleich am grössten. Wie auch [9] nahelegt, wird bei ungünstigen Wetterbedingungen am ehesten der Freizeitverkehr eingeschränkt. Aussagen zu Geschwindigkeitsreduzierungen bei ungünstigen Wetterbedingungen passen laut den Autoren zu real gemessenen Geschwindigkeiten bei diesen Bedingungen.

Aus dem *Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 der Schweiz* [39] wurden die Witterungsverhältnisse in folgenden Anteilen (Anteil befragter Personen/Haushalte) als Grund für die Verkehrsmittelwahl angegeben:

- 5.5% für den motorisierten Individualverkehr (MIV) und
- 3.8% für den öffentlichen Verkehr (ÖV).

2.4 Abgeleitete Hypothesen

Aus zuvor beschriebenen Erkenntnissen der Literaturanalyse und anhand der Ergebnisse eines Workshops mit Experten von MeteoSchweiz verschiedene Forschungshypothesen abgeleitet und diskutiert. Die Hypothesen stellen tendenziell ein umfassendes Bild des Forschungsthemas in TP4 dar. Im Rahmen der hier vorliegenden Untersuchung konnte jedoch – aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten – nur ein Teil dieser Hypothesen tatsächlich analysiert werden.

Die Modellhypothesen, die zur Überprüfung durch die Ergebnisse der statistischen Analyseverfahren der vorliegenden Untersuchungen ausgewählt wurden, sind nachfolgend untergliedert nach beobachtbaren Wetterphänomenen zusammengefasst.

Hypothesen zum Temperatureinfluss

- 1) Hohe Temperaturen stehen im positiven Zusammenhang mit Unfallgeschehen.
- 2) Sehr hohe Temperaturen (z. B. $> 25^\circ\text{C}$) sind tendenziell gefährlicher, da die physische Leistungsfähigkeit und Konzentration der Fahrer eingeschränkt ist.
- 3) Der Einfluss der Temperatur auf das Unfallgeschehen unterscheidet sich entsprechend der zeitlichen Untersuchungsintervalle.
- 4) Es existieren Unterschiede beim Temperatureinfluss in Abhängigkeit der Lage der Strasse (Ortslage, Strassentyp, Strecke/Kurve/Knoten).

Hypothesen zum Niederschlageinfluss

Regen

- 5) Regenereignisse führen zu mehr Unfällen.
- 6) Regenereignisse führen vor allem im Winter zu mehr Unfällen.
- 7) Es gibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Intensität eines Regenereignisses und dem Unfallgeschehen.
- 8) Strassen mit hohen Geschwindigkeiten sind in besonderem Masse von Niederschlagsereignissen betroffen bzw. dort steht der Niederschlag in besonders hohem Zusammenhang mit einer Erhöhung der Unfallzahl.
- 9) Der Einfluss von Niederschlagsereignissen ist in den Abendstunden und in der Nacht besonders hoch.
- 10) Regen führt zu einer geringeren Unfallschwere.
- 11) Der Regeneinfluss ist bei nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmern schwächer ausgeprägt.
- 12) Erst bei schweren Regenereignissen ist ein Rückgang der Unfälle gegenüber dem Anstieg der Unfallzahlen bei durchschnittlichen Regenereignissen festzustellen.
- 13) Das erhöhte Unfallrisiko bei Regenereignissen ist vor allem zu Beginn des Ereignisses festzustellen. Es nimmt nach Beendigung des Regen (trotz nasser Strasse) schlagartig ab.
- 14) Regenereignisse sind nach längeren Trockenperioden noch gefährlicher als im Durchschnitt.
- 15) Regenunfälle treten vor allem lokal gehäuft (z. B. in Unfallschwerpunkten) auf.
- 16) Regenereignisse wirken sich im Herbst am stärksten und im Frühling am geringsten auf das Unfallgeschehen aus.
- 17) Regenereignisse führen zu einem Rückgang des Verkehrsaufkommens (Anpassung Mobilitätsverhalten).

Schneefall und Eis

- 18) Schneefall bzw. winterliche Wetterbedingungen führen zu mehr Unfällen.
- 19) Schneefall steht im Zusammenhang mit einer geringeren Unfallschwere.
- 20) „Plötzliche“ Schneefallereignisse führen zu mehr Unfällen.
- 21) Glatte Strassen in milden Wintern sind gefährlicher als „schneebedeckte“ Strassen in kalten Wintern.
- 22) Überfrierende Nässe, vereisender Regen, Schneeregen und Nebelregen sind die kritischsten Glättearten.
- 23) Eis auf der Strasse ist bei einer Oberflächentemperatur von 0 bis -3°C am gefährlichsten.
- 24) Bei Strassenglätte sind signifikant viele Unfälle an Brücken und Viadukten zu verzeichnen.
- 25) Vereisender Regen oder Nebelregen sind die kritischsten Glättearten.
- 26) Schnee auf der Strasse ist kritischer wenn Temperaturen fallen im Vergleich zu ansteigenden Temperaturen.
- 27) Reifglätte ist unter den Bedingungen klarer Himmel, kein Niederschlag, Temperatur im Bereich von 0°C, bei hoher Luftfeuchtigkeit und während des Sonnenaufgangs am gefährlichsten für den Strassenverkehr.

Hypothesen zum kombinierten Einfluss Temperatur und Luftfeuchtigkeit

- 28) Unfälle im Nebel sind schwerer und weisen mehr Unfallbeteiligte auf.

- 29) Unfälle im Nebel sind vor allem auf Strassen mit hohem Tempolimit, ohne bauliche Mitteltrennung und Ausserortsstrassen überrepräsentiert.

Hypothesen zum Einfluss der Wolkendeckung bzw. Sonnenblendung

- 30) Der Anteil an Sonnenstunden sowie die potenzielle Sonnenblendung führen zu mehr Unfällen.
 31) Hohe Temperaturen, Sonnenschein und (vor allem am) Wochenende/Feiertag führen vermehrt zu Motorradunfällen.

Hypothesen zum Einfluss der Windgeschwindigkeit

- 32) Hohe Windgeschwindigkeiten führen lokal zu mehr Unfällen.

2.5 Statistische Analysemethoden

Es gibt eine Vielzahl an statistischen Methoden zur Analyse des Unfallgeschehens auf Strassennetzen und zur Entwicklung von Modellen zur Abschätzung der Häufigkeiten von Unfallereignissen. Für eine umfassende Übersicht statistischer Verfahren zur Unfallanalyse und –Prädiktion wird auf folgende Referenz verwiesen: Lord & Mannering (2010).

In Bezug auf den Einfluss von Wetterphänomenen auf das Unfallgeschehen, wurden neben standardmässigen, deskriptiven Unfallanalysen in früheren Untersuchungen vor allem folgende Verfahren verwendet:

- a) ausschliesslich unfallbasierte Analysen:
 - Mittelwertunterschiede der Unfallzahlen von Regen- versus Trockentagen [29]
 - „Odds-ratio“ bzw. Wahrscheinlichkeitsverhältnisse unterschiedlicher Unfallkollektive zur Analyse relativer Auffälligkeiten (z. B. [1])
- b) „Wet pavement index“ bzw. Wahrscheinlichkeitsverhältnis von z. B. Nässeunfällen und Regenzeiten (z. B. [9], [29])
- c) „Matched-pair“ Analysen bzw. Vergleich der Unfallzahlen von Zeitperioden mit besonderen Wetterereignissen zu Zeitperioden ohne besondere Wetterereignisse (u. a. in [4–6] oder [17])
- d) Multifaktorielle Analysemethoden (Poisson-, Negative-Binomial-Regression u. a.) zum Vergleich von Jahres-, Monats-, Tages- und Stundengruppen-Zeiträumen mit gleichzeitiger Kontrolle von mehreren Einflussfaktoren wie z. B. dem Verkehrsaufkommen und gleichzeitig der Fahrbahngestaltung und/oder signalisierter Geschwindigkeit (u. a. in [8], [10], [11]).

Eine Analyse von Wettereinflüssen wird anhand des Niederschlags in [29] anschaulich beschrieben (siehe Abb.2). Diese dient als Grundlage für die Abschätzung des Wettereinflusses ausschliesslich anhand von Unfalldaten. Zur Analyse des Einflusses von Regenereignissen werden die Unfälle in zwei Gruppen aufgeteilt:

- Erwartete Unfälle: Unfälle, welche auch bei trockenem Wetter passiert wären z. B. aufgrund des Verkehrsaufkommens („expected accidents“).
- Zusätzliche Unfälle: Unfälle, welche sich zusätzlich aufgrund der veränderten Bedingungen bei Regen (z. B. längere Bremswege) ereignet haben („excess accidents“).

Für die Beschreibung des Regeneinflusses bedarf es einer Abschätzung der zusätzlichen Unfälle. Dies gilt allerdings nur für den Fall eines positiven Zusammenhangs zwischen

Regenereignissen und Unfällen. Bei einem negativen Zusammenhang würden bei zunehmender Verkehrsstärke weniger erwartete Unfälle oder aufgrund einer Risiko-Kompensation keine zusätzlichen Unfälle und weniger erwartete Unfälle auftreten.

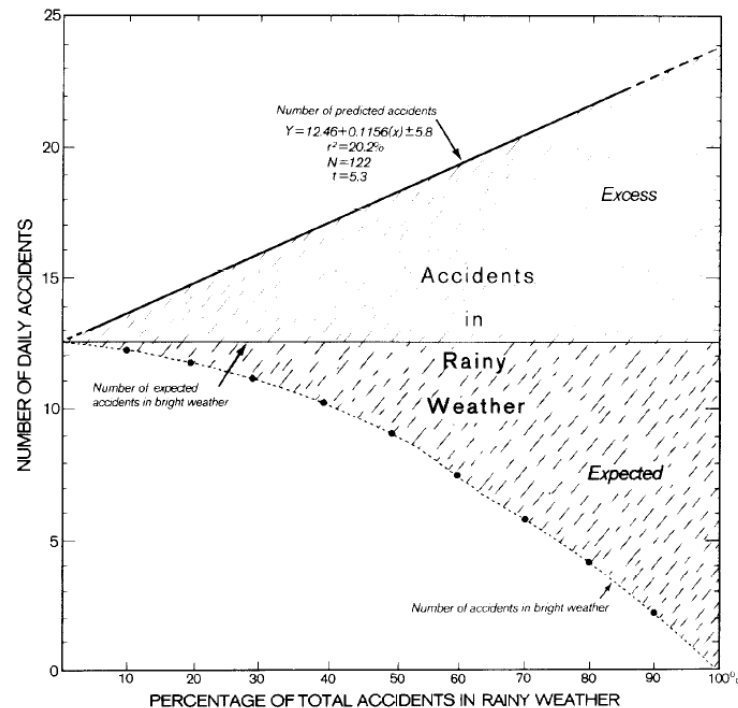


Abb.2 Anzahl täglicher Unfälle aufgetragen über den Anteil der täglichen Unfälle bei Regen (Quelle:[29])

Bei „*matched pair*“- und multifaktoriellen Analysemethoden braucht es diese Unterscheidung nicht. Hier ist das Ziel, Veränderungen in den (Gesamt-)Unfallzahlen bei z.B. Regenereignissen abzuschätzen und gleichzeitig weitere relevante Einflussgrößen des Unfallgeschehens zu berücksichtigen.

Im Rahmen der „*matched pair*“-Analysen werden vergleichsweise kurze Zeiträume (z. B. 6–9 Uhr an einem Dienstag) mit dem zu analysierenden Wetterereignis identifiziert und einer Kontrollgruppe ohne dieses Wetterereignis (z. B. 6–9 Uhr an einem Dienstag eine oder zwei Wochen später) gegenübergestellt. In diesem Vergleich bleiben alle infrastrukturellen Einflussgrößen konstant. Zusätzlich kann auch von der Annahme ausgegangen werden, dass ähnliche Verkehrsstärken in Untersuchungs- und Kontrollgruppe vorherrschen. Aus diesen Gründen kann mit vergleichsweise geringem statistischem Aufwand (z. B. Mittelwertvergleich der Unfallhäufigkeiten) ein Einfluss (z. B. der von Regen) abgeschätzt werden. Dieser Analyseansatz weist aber Einschränkungen bzw. Nachteile bei geringen Unfallniveaus (geringe Unfallhäufigkeit, viele Fälle bzw. Zeiträume ohne Unfälle) auf.

Multifaktorielle Analysemethoden vergleichen demgegenüber auch unterschiedliche Zeitperioden miteinander, wobei variierende Rahmenbedingungen über zusätzliche Variablen im Modell berücksichtigt werden. Ausserdem wird die poissonverteilte Auftretenswahrscheinlichkeit von Unfällen durch entsprechende Verteilungsannahmen im Modell berücksichtigt. Die häufige Voraussetzung normalverteilter Zufallsgrößen bei einfachen statistischen Methoden spielt dann keine Rolle mehr.

3 Daten

3.1 Einleitung

Im Kapitel *Daten* werden die zentralen Datengrundlagen zur Beschreibung des Unfallgeschehens und des Wetters dokumentiert. Es ergeben sich dabei Überschneidungen mit dem Kapitel *Methodik* hinsichtlich der Aufbereitung einzelner Wetterdaten. Die Ausführungen dienen auch der Verdeutlichung von Möglichkeiten und Einschränkungen, welche sich aus der Art der hier verwendeten Daten für die Analyse des Wettereinflusses auf das Unfallgeschehen ergeben und die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.

3.2 Unfalldaten

Die zentrale Grundlage der Analysen sind die Unfalldaten des ASTRA aus der MISTRA-Fachapplikation VUGIS. Es werden die Unfalldaten der Jahre 2011-2012 verwendet. Die Unfalldaten liegen flächendeckend für die gesamte Schweiz beim ASTRA vor. Aufgrund von kantonalen Erhebungsunterschieden hinsichtlich der Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden (siehe *Abb.3*) können diese in der hier vorgesehene gesamtschweizerische Analyse nicht berücksichtigt werden.

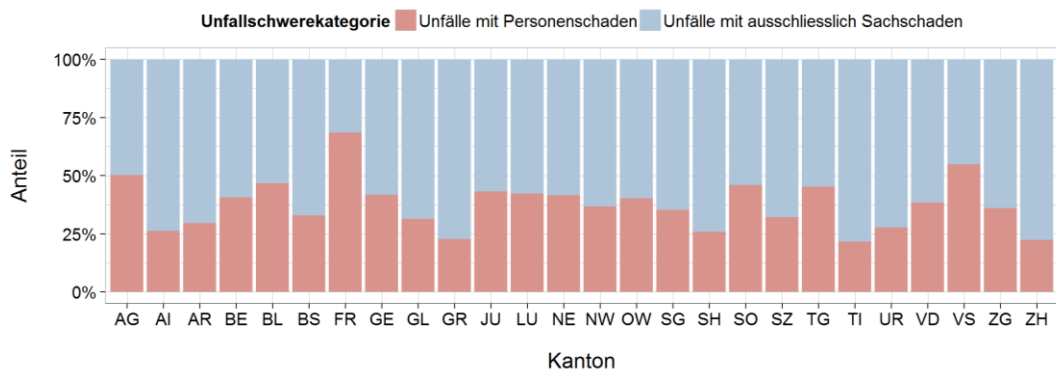


Abb.3 Anteile von Unfällen mit Personen- und ausschliesslich Sachschaden in den Kantonen im gesamten Untersuchungszeitraum

Die Informationen für jeden Unfall stammen aus den drei folgenden Datenblätter:

- Unfallblatt: Hier sind ausgewählte Umstände des Unfalls wie z.B. Zeitpunkt, Typ oder Witterung aufgeführt.
- Objektblatt: Hier sind die beteiligten Fahrzeuge und/oder Fussgänger sowie deren Eigenschaften bei der Unfallbeteiligung wie z.B. Ursache oder Fahrzeugart aufgeführt. Pro Unfall können mehrere Datensätze zu den Unfallbeteiligten enthalten sein.
- Personenblatt: Hier sind die beteiligten Personen sowie deren Eigenschaften wie z.B. Alter oder Unfallfolgen (Verletzungsschwere) aufgeführt. Je Objekt können mehrere Datensätze zu in dem Objekt befindlichen Personen enthalten sein.

Die verschiedenen Datenblätter sind über entsprechende Unfall- und Objektidentifikationsnummern miteinander verknüpft. Die Analysen in der vorliegenden Untersuchung berücksichtigen nur Angaben aus dem Unfall- und dem Objektblatt.

Verschiedene Attribute der Objekt- und Personenebene werden bei Bedarf in aggregierter Form auf der Unfallebene abgebildet (wie z. B. die schwerste Unfallfolge als Unfallschwerekategorie oder die Fahrzeugart der ersten beiden Beteiligten).

3.3 Wetterdaten

Es werden keine direkten Wetterbeobachtungen sondern das gitterbasierte Prognosemodell COSMO-2 (Modell mit 2km Auflösung) zur Beschreibung des Wetters verwendet. Gründe hierfür sind:

- Verwendung eines flächendeckenden Datensatzes,
- detailliertere Abbildung des Wetters (2.2km-Raster) im Vergleich zur Wetterstationsdichte,
- homogene Qualität und Aufbereitung der Wetterdaten für die Gesamtschweiz und
- keine Lücken aufgrund von Datenausfällen (z. B. aufgrund eines Fehlers in einer Messstation).

COSMO-2 wird im Rahmen des Projekts vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) zur Verfügung gestellt. Es ist Teil einer Modellhierarchie, in der Modelle mit unterschiedlicher Auflösung und geographischer Ausdehnung kombiniert sind.

Das Modell wird im Rahmen der sogenannten Assimilation mit einer Kombination von Beobachtungsdaten, vorangegangenen Modellläufen und klimatologischen Daten validiert und kalibriert. In einem typischerweise 24 Stunden dauernden Assimilationslauf verarbeitet COSMO-7 (Modell mit 7km Auflösung) Informationen von

- circa 120 Radiosondierungen,
- circa 8'000 Flugzeugbeobachtungen,
- circa 28'000 Stationsbeobachtungen und
- circa 1'000 Wind-Profiler-Messungen.

Im Gegensatz zu COSMO-7 verarbeitet COSMO-2 zusätzlich Informationen aus dem Regen-Radar für die bessere Repräsentation konvektiver Prozesse [39].

In der vorliegenden Untersuchung wird der Zeitpunkt $t = 0$ des Modells verwendet, da die Vorhersagekraft in diesem Fall am grössten ist. COSMO-2 rechnet achtmal täglich Vorhersagen (alle 3 Stunden ab 0 Uhr UTC) [5]. Der Zeitpunkt $t = 0$ bedeutet, dass zu den genannten Stunden keine Prognose (*Forecasting*) sondern eine Modellbasierte Ist-Zustandsabschätzung (*Nowcasting*) vorgenommen wird. Dies erfolgt als interpolierende Modellrechnung aus Inputdaten und Randbedingungen. Die fehlenden Werte der folgenden zwei Stunden (1 Uhr und 2 Uhr bei *Nowcasting* um 0 Uhr) sind dann Prognosen.

In COSMO-2 werden die in *Tab. 1* aufgelisteten Parameter berechnet.

Tab. 1 COSMO-2-Parameter

Parametername	Beschreibung	Einheit
TD_2M	Taupunkttemperatur 2m über dem Grund	°C
SNOW_%	Anteil am Niederschlag in Form von Schnee	%
H_SNOW	Höhe der Schneedecke	cm
FF_10M	Windgeschwindigkeit 10m über dem Grund (m/s)	m/s
VMAX_10M	Maximale Windgeschwindigkeit in Böen auf 10 m über Boden in der vorangehenden Stunde	m/s
CLCL	Wolkenbedeckungsgrad tiefe Wolken	%

CLCM	Wolkenbedeckungsgrad mittlere Wolken	%
CLCH	Wolkenbedeckungsgrad hohe Wolken	%
CLCT	Totaler Wolkenbedeckungsgrad	%
T_2M	Temperatur 2m über dem Grund	°C
RELHUM_2M	Relative Feuchte 2m über dem Grund	%
TOT_PREC	Gesamtniederschlag, Summe über die vorangegangene Stunde	kg/m ²
DD_10M	Windrichtung 10m über dem Grund	°
PS	Luftdruck am Boden	hPa
EVAP_S	Verdunstung am Boden innerhalb der letzten Stunde	kg/m ²

Anhand der in *Tab.1* aufgelisteten Parameter wird klar, dass Wetterattribute wie Nebel, Temperatur und Zustand der Strassenoberfläche daraus nicht oder nur bedingt abgeleitet werden können. Auch lokale Phänomene wie überfrierende Nässe sind anhand des Modells zwar abschätzbar, deren Übereinstimmung mit der Realität und damit auch deren Aussagefähigkeit hinsichtlich eines unfallbegünstigenden Umstandes sind eingeschränkt. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es daher, eher beobachtbare Wetterphänomene in der Gesamtschweiz zu analysieren. Für lokale Untersuchung sind Messwerte aus Wetterstationen oder anderen lokalen Sensoren gegebenenfalls zielführender.

3.4 Sonnenblendung

Ausgehend von der Hypothese, dass Sonnenblendungen von Fahrzeuglenkern zu einer erhöhten Anzahl an Unfällen führen kann, wurde zusätzlich zu den Wetterdaten Werte für das Sonnenblendungspotential je nach Tageszeit und Fahrtrichtung berechnet. Das Sonnenblendungspotential wird anhand folgender Datensätze beschrieben:

1. Rohdaten mit einer definierten Stichprobengrösse
2. Geometrisch aggregierte Daten
3. Strassenabschnittbezogenes Blendungspotenzial

Sonnenblendungsdaten werden an unterschiedlichen Stellen in der Analyse verwendet, wobei jeweils auch unterschiedliche Auflösungsstufen zur Anwendung kommen.

Die Ermittlung von Sonnenblendungsdaten bedarf verschiedener Eingangsdaten:

- Positions- und Zeitangaben zu Unfallereignissen aus den Unfalldaten
- Angaben zu Fahrtrichtung (Azimut) und Fahrtwinkel in der Vertikalen (Altitude) abgeleitet aus den Strassengeometrien (MISTRA Basissystem BS) und einem digitalen Höhenmodell (DHM)
- Ermittlung Horizontsituation aus DHM (Modellierung der Verdeckung der Sonne durch z.B. Berg).

Für die Analysen wurde ein DHM von Ernst Basler + Partner verwendet. Dieses wurde mittels *Data Fusion* aus interferometrischen Radarsatellitendaten (SAR-Daten) und optischen Stereosatellitenbildern gewonnen. Die horizontale Auflösung des DHM beträgt 25m analog zum verbreitetsten DHM der Swisstopo.

Beim DHM handelt es sich primär um ein Terrainmodell, das heisst Objekte wie Wälder oder Häuser sind im DHM nicht enthalten.

3.5 Verkehrszählstellen

Für die Überprüfung von Mobilitätsanpassungen bei bestimmten Wetterausprägungen wurden einzelne automatische Verkehrszählstellen der Strassenverkehrszählung von ASTRA und Kantonen beispielhaft ausgewählt (siehe *Tab.2*). Für diese Verkehrszählstellen lagen stündliche Daten zu den Verkehrsmengen der Kfz für das Jahr 2012 vor.

Tab.2 Automatische Verkehrszählstellen für die Analyse der Mobilitätsanpassungen

ZST	Name	Kanton	Lage
23	MATTSTETTEN (AB)	BE	Autobahn
66	SCHLIEREN (AB)	ZH	Autobahn
274	WUERENLOS (AB) - AG1401	AG	Autobahn
30	SOYHIERES	JU	Ausserorts
357	SCHWARZENBURG E	BE	Ausserorts
88	BERN, MONBIJOURBRUECKE	BE	Innerorts
90	BERN, LORRAINEBRUECKE	BE	Innerorts
134	LAUSANNE, RUE CESAR ROUX	VD	Innerorts
151	GENEVE, PONT DU MONT-BLANC	GE	Innerorts

4 Methodik

4.1 Datenaufarbeitung

Auf Basis der Erkenntnisse aus früheren Untersuchungen zum Einfluss von Wetterereignissen auf das Unfallgeschehen, wie sie im Stand der Forschung unter Abschnitt 2 aufgeführt sind, beschränken sich die nachfolgenden empirischen Datenanalysen auf die folgenden Variablen:

4.1.1 Verkehrsunfälle

Unfälle wurden in unterschiedlichen Kollektiven differenziert, um die aus der Literaturanalyse abgeleiteten Zusammenhänge überprüfen zu können. Grundsätzlich wurden alle Kollektive nach folgenden Unfallschwerekategorien unterschieden:

- Unfälle mit schwerem Personenschaden U(G+SV): Unfälle mit Getöteten und/oder Schwerverletzten
- Unfälle mit leichtem Personenschaden U(LV): Unfälle mit Leichtverletzten aber keinen Getöteten oder Schwerverletzten

Eine isolierte Beschreibung der Unfälle mit Getöteten ist wegen zu geringer Unfallzahlen nicht zielführend (zu stark durch Zufälligkeit bestimmt).

Weitere Unterscheidungen wurden anhand der Angaben im Unfallprotokoll getroffen:

- innerorts/ausserorts (aO/iO)
- Tempolimit ≥ 80 km/h (g80)
- Beteiligung von Fussgängerinnen und Fussgängern (Fg)
- Beteiligung von Radfahrerinnen und Radfahrern (Rf)
- Beteiligung von Motorrädern (Mr)
- Beteiligung von schweren Nutzfahrzeugen (SNF)
- Ausschliessliche Beteiligung von motorisierten Fahrzeugen (mFz)
- Unfalltypengruppe 0 „Schleuder- oder Selbstunfall“ (UT0)
- Unfalltypengruppe 1 „Überholunfall, Fahrstreifenwechsel“ (UT1)
- Unfalltypengruppe 2 „Auffahrunfall“ (UT2)
- Unfalltypengruppen 3+4+5 „Abbiegen, Einbiegen, Überqueren der Fahrbahn“ (UT345)
- Unfalltypengruppe 6 „Frontalkollision“ (UT6)
- Unfalltypengruppe 8 „Fussgängerunfall“ (UT8)
- Strecke / Kurve / Knoten (Str/Ku/Kn)
- Gefälle oder Steigungsstrecke (Neigung, Ng)
- Dämmerung/Nacht (DäNa)

4.1.2 Wetter

Aus dem COSMO-2-Datensatz lassen sich unterschiedliche Wetterkenngrossen zu den folgenden Wetterausprägungen ableiten:

- Temperatur
- (Luftfeuchte)
- Niederschlag
- Anteil Schneefall am Niederschlag
- Schneehöhe
- Wolkenbedeckung

Je nach zeitlich-räumlicher Aggregierung lassen sich daraus verschiedene stetige und kategoriale Kenngrössen ableiten. Als Aggregationsfunktion kamen Mittelwerte (teilweise gewichtet), Summen sowie Verhältnisse zum Einsatz. Eine detaillierte Aufstellung der einzelnen Variablen und der zugehörigen Aggregationsfunktionen finden sich im Anhang in *Tab.5*.

Eine Auswertung der Originaldaten im Raster von 2,2 km ist nicht möglich, da die mittlere Anzahl der Unfälle je Fall sehr klein und damit nur schwierig zu modellieren wäre. Es bedarf daher einer räumlichen und zeitlichen Aggregation.

Räumliche Aggregation

Die räumliche Aggregation fand auf zwei Ebenen statt:

- Gesamtschweiz
- Regionen, welche einen gewissen Grad an Homogenität hinsichtlich der topografischen Charakteristik sowie des Wettergeschehens aufweisen (siehe *Abb.4*). Im Vordergrund steht die Analyse der Regionen, da diese einen Kompromiss zwischen ausreichender Unfallzahl und räumlich zutreffender Beschreibung des Wetters darstellen. Als Grundlagen für die regionale Aggregation dienten die Klimaregionen von MeteoSchweiz, mit zwei Anpassung (Waadtländer/Freiberger Alpen und Chablais als separate Region ausgeschieden – Region 13; Südtessin vom restlichen Alpensüdhang getrennt – Region 14).

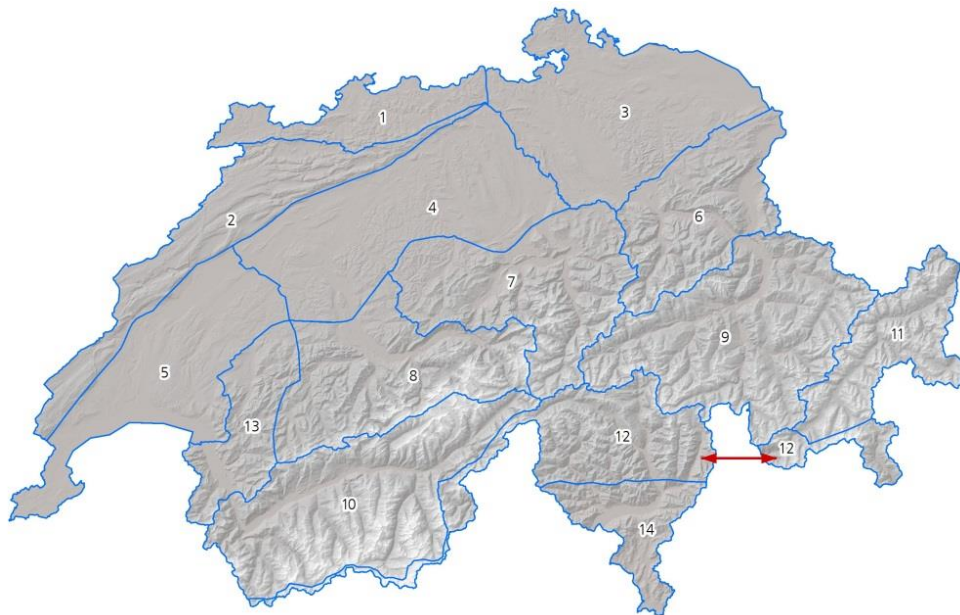


Abb.4 Untersuchungsregionen für die regionale Aggregation der COSMO-2-Daten

Für die Berechnung der aggregierten Werte wurden alle Zellen des COSMO-2-Modells einbezogen, deren Mittelpunkte in der entsprechenden Region lagen.

Die Untersuchungsregionen sind so definiert (bzw. modifiziert), dass sie ein möglichst homogenes Klima aufweisen. Diese Homogenität wird aber durch die Variation der klimatologischen Verhältnisse in Abhängigkeit der Höhe über Meer eingeschränkt. Gerade die (vor)alpinen Regionen erstrecken sich über einen grossen Höhenbereich. Dabei ist weiter zu beachten, dass in den hohen Bereichen eine geringere Strassennetzdichte existiert und dementsprechend die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Unfällen a priori eingeschränkt ist – geringere Exposition (siehe *Abb.5*).

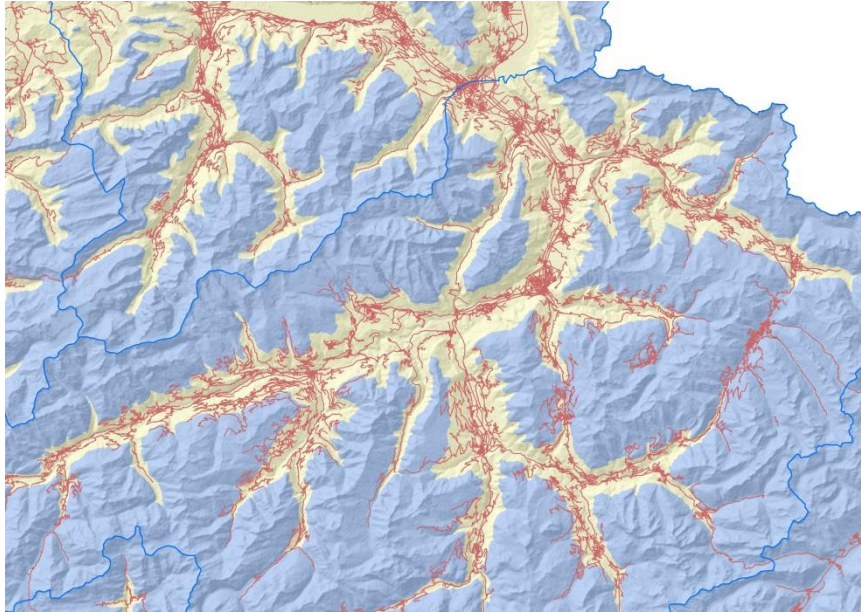


Abb.5 Beispiel für eine typische Verteilung der Strassen in alpinen Regionen. Die Strassen konzentrieren sich in Tallagen und liegen grösstenteils unter 1'500 m (gelber Bereich).

Die die Inputwerte eines COSMO-2-Modellpunktes werden damit in Abhängigkeit der Strassenlänge im Bereich um diesen Punkt bei der Aggregation gewichtet. COSMO-2-Modellpunkte, in deren Bereich keine Strassen liegen, werden damit nicht berücksichtigt. Die aggregierten Meteoparameter spiegeln damit das Wetter im Bereich der öffentlichen Strassen. Die Inhomogenitäten in den Regionen aufgrund der Höhenlage werden gemildert.

In Tab.5 im Anhang ist vermerkt, bei welchen Meteoparametern diese Gewichtung vorgenommen wurde. Ein Beispiel der auf Strassenlängen basierenden Gewichtungsfaktoren ist in Abb.6 veranschaulicht.

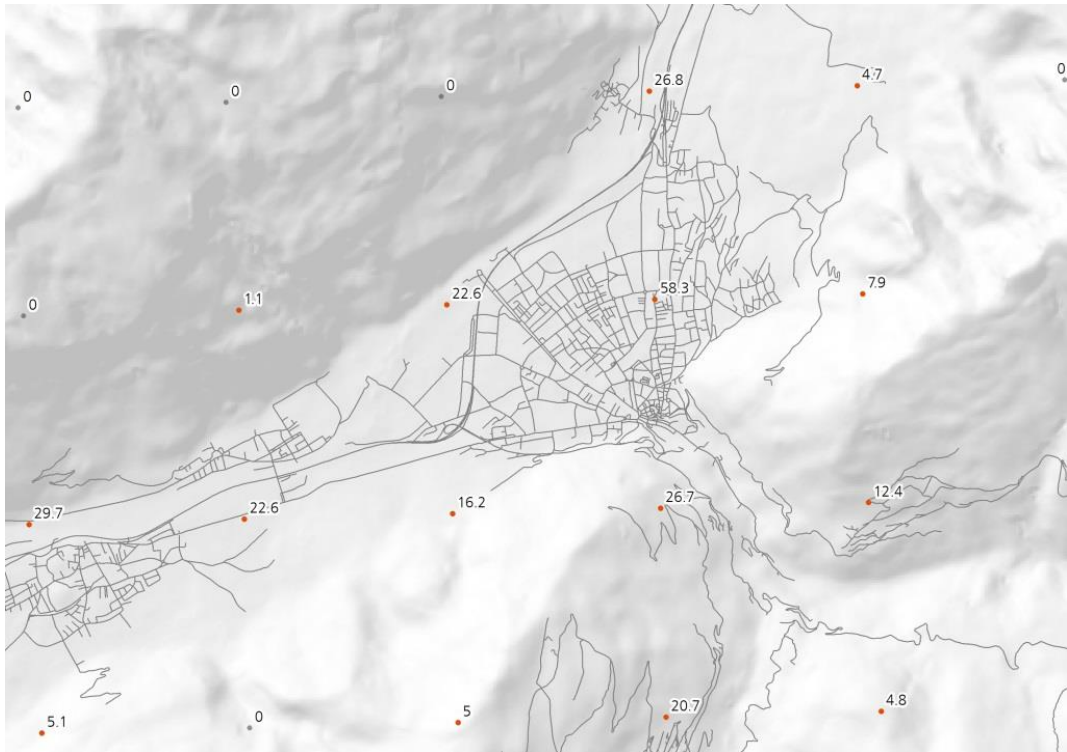


Abb.6 COSMO-2-Modellpunkte mit Angabe der Länge des Strassennetzes in umliegenden Bereich

Zeitliche Aggregation

Die Wetterdaten stehen als stündliche Werte zur Verfügung. Diese zeitliche Detaillierung wird in der Literatur als zu feingliedrig beschrieben und dem entsprechend kaum verwendet (siehe u. a. [9]). Ein wesentliches Argument gegen diese feine Einteilung sind die ungenauen bzw. verzerrten Erhebungen der Unfallzeitpunkte durch die Polizei (z. B. Tendenz zu zeitlicher Verortung auf volle Stunden). Ausserdem besteht erneut das Problem der geringen Unfallhäufigkeiten bzw. der hohe Anteil an Fällen (Zeitbereiche) ohne Unfälle.

Im Rahmen der Literaturanalyse wurde erwähnt, dass zeitliche Aggregationen auf Monate oder Jahre zu grundsätzlich anderen Ergebnissen (entgegengesetzte Zusammenhänge) führen können als Analysen auf Tages- oder Stundenbasis.

Aus diesen Gründen wird sich vorrangig für eine Analyse auf Tagesbasis entschieden, d. h. es werden Tage hinsichtlich ihrer Unfallzahl miteinander verglichen. Der Grossteil der (multikriteriellen) Untersuchungen basiert auf diesen Zeitbereichen. Zusätzlich werden im Rahmen der „match pair“-Analysen auch Stundengruppen – hier vorrangig 6h-Zeiträume – analysiert.

4.1.3 Sonnenblendung

Die Sonnenblendungen soll auf zwei Arten analysiert werden:

- Einerseits wird beispielhaft für den Kanton Zürich ein strassenabschnittsbezogenes Blendungspotenzial hergeleitet und in einer Karte dargestellt. Dies dient eher der deskriptiven Darstellung von tendenziell durch Sonnenblendung betroffenen und aus diesem Grund ggf. sicherheitskritischen Bereichen des Strassennetzes.
- Andererseits wird ein zeitbereichsbezogenes (Stundengruppe) Blendungspotenzial im Zusammenhang mit der Wolkenbedeckung hinsichtlich eines möglichen Zusammenhangs mit dem Unfallgeschehen analysiert.

Strassenabschnittsbezogenes Blendungspotenzial

Für das Vorhandensein bzw. den Grad von Blendung ist der Winkel, unter dem die Fahrerin bzw. der Fahrer eines Fahrzeugs die Sonne sieht, entscheidend. Azimut und Höhenwinkel eines Fahrzeugs sind durch den Strassenverlauf an einer bestimmten Stelle gegeben. Azimut und Höhenwinkel der Sonne zum Unfallzeitpunkt wurden astronomisch berechnet.

Für die Bestimmung des Strassenverlaufs wurde der Strassendatensatz aus dem MISTRA Basissystem (BS) verwendet. Die Geometrien wurden an ihren Stützpunkten (Vertices) aufgesplittet, so dass alle Strassenzüge in lineare Segmente aufgeteilt waren. Anschliessend wurde mit GIS die Azimutrichtung bestimmt sowie die Steigung anhand eines Digitalen Höhenmodells (DHM).

Auf Basis dieser Grundlagen wurde anschliessend der Differenzwinkel berechnet. Dazu werden aus den beiden Winkelpaaren die jeweiligen Einheitsvektoren im dreidimensionalen Raum gebildet und mittels Methoden der Vektorgeometrie (Skalarprodukt) der Differenzwinkel abgeleitet. Diese Berechnungen erfolgten mittels diverser Abfragen in der Datenbank.

Wenn der Differenzwinkel eine bestimmte Grösse unterschreitet, kann davon ausgegangen werden, dass Blendung möglich ist. Dieser Schwellenwert wurde aufgrund der Literatur bei 30° angesetzt. Die Berechnungen in der Datenbank lieferten pro Strassensegment und pro Meteoquartal die Anzahl solcher potentieller Blendungsereignisse sowie – zu Qualitätssicherungszwecken – den jeweiligen mittleren Differenzwinkel zwischen Strassenrichtung und Sonnenposition. Diese Angaben wurden in zwei Berechnungsschritten jeweils für die Hin- und für die Rückrichtung der Strassensegmente durchgeführt. Beide Resultate wurden anschliessend zusammengezogen und zusätzlich ein sogenannter Blendungsanteil ermittelt. Dieser besagt, an welchem Anteil der 5-Minuten-Iterationen ein Strassensegment möglicherweise Blendung erfährt. Dieselben Angaben (Anzahl Blendungsereignisse und Anteil Blendungsereignisse) wurde anschliessend statt auf eine Quartalssicht auch auf eine jährliche Sicht aggregiert.

Mittels einer Strassensegments-ID können die Resultate aus der Datenbank zurück an die jeweiligen Strassensegments-Geometrien gespielt und räumlich visualisiert werden.

Zeitbereichsbezogenes Blendungspotenzial

Für die zeitbereichsbezogenen Analysen wurde vereinfacht das Sonnenblendungspotenzial nur aus der dem Winkel der Sonne über dem Horizont ohne Berücksichtigung von Gelände und Strassennetz abgeleitet. Die Sonnenblendung wurde als ein Wert zwischen 0 und 1 nach folgenden Regeln festgelegt:

- Sonnenblendung = 1 bei Differenzwinkel (Sonne über Horizont) zwischen 0° und 15°
- Sonnenblendung = 1...0 aus linearer Interpolation bei Differenzwinkeln zwischen 15° und 30°

4.1.4 Daten aus Verkehrszählstellen

Über die geografische Lage der Zählstellen konnte diese mit den Wetterdaten aus dem COSMO-2-Datensatz verschnitten werden. Analog zur zentralen Analyse anhand des Unfallmodells wurde hier eine zeitliche Aggregation auf 24h gewählt. Die Verkehrsmengen (Fz/d) wurden für die Analyse standardisiert, um die Beeinflussung der Analyseergebnisse durch Niveauunterschiede weitestgehend auszuschliessen.

4.2 Deskriptive Datenanalyse

4.2.1 Einleitung

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung soll die zentrale Analyse bzw. die Überprüfung der Hypothesen durch den Aufbau eines multikriteriellen Unfallmodells auf Basis von zeitlich aggregierten Wetterkenngrössen erfolgen. Diese Vorgehensweise besitzt klare Vorteile hinsichtlich der statistischen Analysemöglichkeiten sowie der Berücksichtigung von auch kleinen Unfallzahlen.

Zusätzlich sollen beispielhaft auch andere Analysemethoden zur Anwendung kommen. Das sind die deskriptive Analysen der Unfallzahlen (u. a. Wahrscheinlichkeitsverhältnisse), rein unfallbasierte Mittelwertvergleiche sowie „*matched-pair*“-Analysen. Damit werden die folgenden Ziele verfolgt:

- Einordnung der für diese Untersuchung zentralen Analysen basierend auf multikriteriellen Modellen sowie der Erkenntnisse aus der Literatur.
- Darstellung zusätzlicher, einfach nachzuvollziehender Methoden, welche vergleichsweise schnell für andere Kollektive reproduziert werden können.
- Umfassende Abdeckung der Analysemethoden aus der Literatur in vergleichbaren Fällen.
- Überprüfung, ob grundsätzliche Unterschiede zwischen den Methoden bestehen und in welche Richtung diese tendieren.
- Validierung der Ergebnisse, welche aus dem multikriteriellen Unfallmodell resultieren

Aus diesen Gründen werden beispielhaft nur Regen- bzw. Nässeinflüsse anhand der *einfacheren* Methoden untersucht, welche die notwendigen grösseren Unfallkollektive auch für die einfacheren Methoden aufweisen.

4.2.2 Odds-Ratio Methode

Unter den deskriptiven Analysen werden vor allem relative Vergleiche zwischen verschiedenen Unfallkollektiven sowie die Berechnung von Wahrscheinlichkeitsverhältnissen (*odds-ratios*) verstanden.

Ziel ist die Identifizierung von Auffälligkeiten im Unfallgeschehen bei „verändertem Wetter“ gegenüber dem Unfallgeschehen bei „normalem Wetter“.

Das Unfallkollektiv wird jeweils in zwei korrespondierende Gruppen eingeteilt. Ein Kollektiv beschreibt eine bestimmte Wetterausprägung und wird dem restlichen Unfallgeschehen ohne die Wetterausprägung gegenübergestellt. Dies erfolgt einerseits auf Basis der Angaben aus dem Unfallaufnahmeprotokoll (UAP) und andererseits den Wettermodellwerten aus COSMO-2:

- Wetterattribute aus dem UAP
 - Strassenzustand (feucht + nass) vs. Rest
 - Strassenzustand (Schneematsch + verschneit + vereist) vs. Rest
 - Witterung (Regen) vs. Rest
 - Witterung (Schneefall) vs. Rest
- Wetterattribute aus COSMO-2
 - Witterung (COSMO Niederschlag > 0,1 mm) vs. Rest
 - Witterung (COSMO Niederschlag > 0,1 mm & Schneefall > 0%) vs. Rest

Zu den jeweiligen Wetterausprägungen werden die Anteile der betroffenen Unfälle am Gesamtunfallgeschehen berechnet und gegenübergestellt. Dies wird für folgende Unfallkollektive differenziert analysiert:

- Unfalltypgruppen UTG 1, 2, 3+4+5, 6, 7, 8, 9

- Autobahn+Autostrasse / restliche Ausserortsstrassen / Innerortsstrassen
- signalisierte Höchstgeschwindigkeit ≤ 30 ; 31-50; 51-80; > 80
- Lichtverhältnis Tag / Dämmerung / Nacht

Weiterhin werden Wahrscheinlichkeitsverhältnisse (*odds-ratios*) nach Formel (1) berechnet. Diese Analyse dient der Analyse des Wettereinflusses auf die Unfallschwere.

$$OR = \frac{\left(\frac{U_{WA, UA}}{U_{(1-WA), UA}} \right)}{\left(\frac{U_{WA}}{U_{(1-WA)}} \right)} \quad [1]$$

Index WA, UA Unfälle eines Unfallattributs UA während einer Wetterausprägung WA

Index (1-WA), UA Unfällen eines bestimmten Unfallattributs UA während Normalzustand, d.h. alle Unfälle, welche nicht der Wetterausprägung entsprechen

Index WA alle Unfällen während einer Wetterausprägung WA

Index (1-WA), UA Unfällen während Normalzustand, d.h. alle Unfälle, welche nicht der Wetterausprägung entsprechen

Die Wetterausprägungen WA werden entsprechend der oberen Auflistung gewählt. Es werden die folgenden Unfallattribute für die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsverhältnisse ausgewählt:

- $U_{(G+SV)}$
- $U_{(G+SV)}$ & Unfalltypgruppen UTG 1, 2, 3+4+5, 6, 7, 8, 9
- $U_{(G+SV)}$ & Autobahn+Autostrasse / restliche Ausserortsstrassen / Innerortsstrassen

4.2.3 Methode der Mittelwertvergleiche

In [29] wird ein Mittelwertvergleich nur basierend auf Unfalldaten zur Abschätzung des Nässeinflusses bereitgestellt. Die Autoren bewerten den so ermittelten Nässeinfluss als eine Unterschätzung des tatsächlichen Nässeisikos.

In Abb.7 ist die Methodik der Mittelwertvergleiche dargestellt. Kern dieser Analyse ist die Idee, Unfälle mit dem Attribut „Nässe“ (hier: Strassenzustand = „nass – 522“ oder „feucht – 521“) als einen Indikator bzw. Exposition für Tage mit Regen/Nässe anzusetzen.

Regentage werden über mindestens einem Nässe-Unfall definiert. Trockentage sind entsprechend diejenigen Tage, an denen sich kein Nässeunfall ereignet hat. Im nächsten Schritt werden die Unfälle mit dem Attribut „Nässe“ an Regentagen abgegrenzt. Deren Mittelwert stellt die Summe der „*excess*“-Unfälle und der „*expected*“-Unfälle dar (siehe Beschreibung von „*excess*“- und „*expected*“-Unfällen in der Literaturanalyse zu Abb.2).

Wird von diesem Mittelwert die Differenz aller Unfälle an jeweils Trocken- und Regentagen subtrahiert, erhält man den Mittelwert der „*expected*“-Unfälle. Das sind die „Nässeunfälle“, welche sich auch bei trockenem Wetter z. B. aufgrund des Verkehrsaufkommens ereignet hätten. Das Verhältnis zwischen Nässeunfällen und den „*expected*“-Unfällen ergibt den zusätzlichen Nässeinfluss, welcher sich durch ein Regenereignis ergibt. Ein Faktor von 2 bedeutet zum Beispiel, dass bei einem Regenereignis doppelt so viele Unfälle wie sonst zu erwarten sind.

$$\text{"Nässeinfluss"} = \frac{\text{ØNässeunfälle}}{\text{ØNässeunfälle} - (\text{ØUnfälle}_{\text{Regentage}} - \text{ØUnfälle}_{\text{Trockentagen}})} \quad [2]$$

Diese Methodik wird für alle Unfälle mit Personenschaden im Zeitraum 2011–2012 angewendet. Eine Unterscheidung von Regionen oder Zeitbereichen wird nicht vorgenommen. Die Ergebnisse sollen die Methodik (nur) beispielhaft illustrieren.

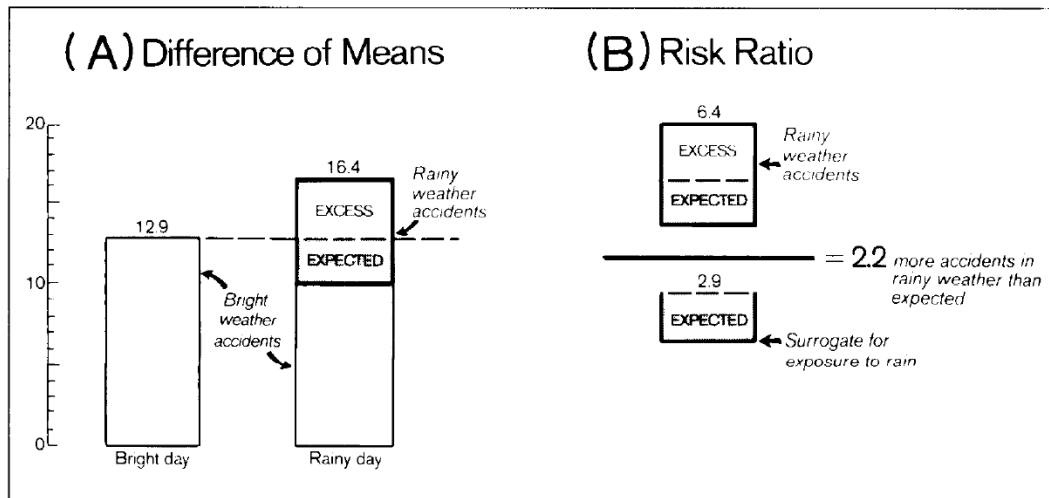


Abb.7 Methodik der Mittelwertvergleiche; die Risk-Ratio entspricht dem hier berechneten „Nässeinfluss“ (Quelle: [29])

4.2.4 „Matched-pair“-Analyse

Ziel dieser Methodik ist es, Paare von Zeitbereichen zu identifizieren, welche hinsichtlich ihres Unfallgeschehens miteinander verglichen werden können. Es wird jeweils ein Zeitbereich als Untersuchungsfall (z. B. Regentag) und ein Zeitbereich als Kontrollfall (z. B. Tag ohne Regenereignis) definiert.

Ein wesentlicher Aspekt dieser Methodik ist es, alle weiteren potenziellen Einflüsse des Unfallgeschehens durch eine entsprechend enge Definition des Zeitbereiches und der Wahl des zugehörigen Kontrollfalls möglichst konstant zu halten und auf diese Weise in der Analyse zu kontrollieren. Für die vorliegende Untersuchung wird ein Zeitbereich von 6 Stunden in Anlehnung an [17] definiert. Als Kontrollfall wird jeweils der gleiche Zeitbereich eine Woche später ausgewählt. Auf diese Weise werden Unterschiede hinsichtlich Monat bzw. Jahreszeit und Wochentag weitestgehend ausgeschlossen. Ausserdem wird nach der Wetterregion unterschieden.

Regenzeiträume werden definiert über eine mittlere Niederschlagsintensität von mehr als 0,1 mm/h bezogen auf einen 6h-Zeitraum. Dieser Wert wird aus dem – um den Schneefall bereinigten – Niederschlag berechnet, welcher nach der Strassennetzlänge im COSMO-2-Modellgitter gewichtet ist. Fällt in der gesamten Schweiz (entsprechend des Modells) kein Regen, wird dieser Zeitbereich als Trockenzeitraum (Vergleichsfall, „matched pair“) definiert. Alle Paare (Zeiträume in einem Wochenrhythmus), welche zu einem Regenzeitraum einen entsprechenden Trockenzeitraum aufweisen, werden in das Untersuchungskollektiv aufgenommen.

Aufgrund der detaillierten räumlichen und zeitlichen Einteilung weisen eine Vielzahl der Fälle Unfallhäufigkeiten von Null auf. Dies kann nicht über einfache paarweise Verhältnisse abgebildet werden, da beispielsweise ein Trockenzeitraum ohne Unfälle aufgrund der Division durch Null ausgeschlossen ist. Es werden daher jeweils die Summe der Unfälle in den Regenzeiträumen und die Summe der Unfälle in den Trockenzeiträumen gebildet und das Verhältnis aus beiden berechnet:

$$\text{"Regeneinfluss"} = \frac{\sum \text{Unfälle}_{\text{Regenzeitraum}}}{\sum \text{Unfälle}_{\text{Zeitraum ohne Regen (+1 Woche)}}} \quad [3]$$

4.3 Empirische Modellentwicklung

4.3.1 Modellgrundlagen

Der zentrale Untersuchungsansatz basiert auf Regressionsanalysen nach der Methode der verallgemeinerten linearen Modelle (*Generalised Linear Models*). Hierbei wird die poissonverteilte Auftretenswahrscheinlichkeit von Unfällen berücksichtigt. Anpassungen der Analysetichprobe auf die Poissonverteilung sind allerdings mit Einschränkungen hinsichtlich der Beurteilung der Modellgüte verbunden, da die Poissonverteilung nur über einen Parameter für Mittelwert und Standardabweichung definiert ist. Dies führt zur sogenannten Überzufälligkeit, welche in einer verzerrten Schätzung von Regressionskoeffizienten und deren Signifikanzen resultieren kann. Aus diesem Grund wird häufig die negative Binomialverteilung herangezogen, welche als eine Kombination aus Poissonverteilung und Gammaverteilung angesehen werden kann. Die Modellierung von Überzufälligkeit ist damit für praktische Belange ausreichend möglich. Als Verknüpfungsfunktion wird die Logarithmusfunktion (natürlicher Logarithmus) verwendet.

Detailliertere Ausführungen zum Thema verallgemeinerte lineare Modelle und Überzufälligkeit finden sich u. a. in [39–42]. Eine Analyse des Wetteinflusses wurde bereits in [11] auf Basis eines verallgemeinerten linearen Modells anhand einer negativen Binomialverteilung vorgenommen.

Die funktionale Form eines Unfallmodells wird üblicherweise in der folgenden Art dargestellt:

$$\mu = \alpha \cdot \prod Y_i^{\beta_i} \cdot e^{\sum \gamma_j x_j} \quad [4]$$

μ	Erwartungswert Unfallhäufigkeit bzw. Unfälle je Zeitraum
α, β, γ	Regressionskoeffizienten
i, j	Indizes
Y	Exposition
x	Einflussvariable (Risikofaktor)

Der Erwartungswert in der vorliegenden Untersuchung ist immer *Unfälle je Zeitraum*. Die Zeiträume können dabei Jahre, Monate, Tage oder Stundengruppen sein. Es wird vorrangig ein Tagesbezug gewählt, als Kompromiss zwischen Genauigkeit der Abbildung der Wetterkenngrossen und ausreichenden Unfallkollektiven.

Die Modellierung einzelner Stunden würde eine Genauigkeit suggerieren, welche die Unfalldaten nicht aufweisen. Ausserdem müssen bei Stunden und Stundengruppen sehr kleine Erwartungswerte für das Unfallgeschehen modelliert werden, was zur Unterzufälligkeit führen kann. Diese kann mit den gängigen (eher einfachen) Modellierungsansätzen (wie z.B. der negativen Binomialverteilung) nur unzureichend abgebildet werden [42].

In der vorliegenden Untersuchung stehen keine üblichen Expositionsgrössen (wie z. B. Verkehrsaufkommen) zur Verfügung. Eine tagesfeine Abbildung des Verkehrsaufkommens wäre zwar sehr hilfreich, vor allem um z. B. Änderungen des Mobilitätsverhaltens bei Niederschlagsereignissen abzubilden, liegt aber für die gesamte Schweiz nicht vor. Aus diesem Grund werden Stellvertretergrössen für Unterschiede des Verkehrsaufkommens aber auch weiterer potenzieller Einflussgrössen des Unfallgeschehens (z.B. Zusammensetzung des Verkehrs, Wegezwecke) herangezogen.

Dies geschieht vorrangig über Monats und Wochentagesangaben. Es soll das Unfallgeschehen der gesamten Schweiz modelliert werden. Um unterschiedlich räumliche Wetterausprägungen abzubilden, wurde die Schweiz in Regionen unterteilt (siehe Kapitel 4.1.2).

Aus den zeitlichen und räumlichen Kenngrössen zur Abbildung von potenziellen Einflussfaktoren, welche nicht im Zusammenhang mit dem Wetter stehen, lassen sich Gruppen ableiten. Ziel der Modellierung ist es, die Streuung der Unfallhäufigkeiten innerhalb dieser Gruppen über Wetterkenngrössen zu erklären. Dabei sollen die Unterschiede zwischen den Gruppen (Wochenende vs. Wochentag oder Region 1 vs. Region 2) kontrolliert werden, um die Verzerrung (*bias*) der Regressionskoeffizienten der Wetterkenngrössen durch andere Einflussfaktoren zu verringern. Dies ähnelt der statistischen Analyse von Paneldaten.

Hierbei kommen unter anderem folgende zwei wesentliche Modellansätze zur Anwendung:

- *Random Effect*-Modelle: Modellierung anhand verallgemeinerter linearer gemischter Modelle
- *Fixed Effect*-Modelle: Modellierung anhand „normaler“ verallgemeinerter linearer Modelle

Ein wesentliches Unterscheidungskriterium zwischen diesen beiden Modellen ist das Vorliegen von Korrelationen zwischen den analysierten Einflussvariablen (Wetterkenngrössen) und den Gruppen (Regionen, Monate, Wochentage). Liegen Korrelationen vor, sind *Fixed Effect*-Modelle den *Random Effect*-Modellen vorzuziehen. Dies ist in der vorliegenden Untersuchung der Fall, da vor allem die Monate und z. B. die Niederschlags- und Temperaturkenngrössen miteinander korrelieren. Dies entspricht auch der Vorgehensweise in [11].

Die zeitlichen und räumlichen Gruppenfaktoren werden als Dummy-Variablen (dichotomisierte Variablen zur Abbildung von z. B. einzelnen Monaten (Bsp: Monat Mai: nein/ja \rightarrow 0/1)) in allen Modellen berücksichtigt.

Die Modelle werden schrittweise durch Hinzunahme einer weiteren Wetterkenngrösse aufgebaut. Hierbei wird jeweils getestet (*Likelihood-ratio-Test*), ob durch die Hinzunahme einer weiteren Kenngrösse eine signifikant bessere Erklärung der Reststreuung erreicht werden konnte (sogenannte *forward selection*). Signifikanz wird auf dem 95%-Niveau definiert, vereinzelt werden aber auch nicht signifikante Werte aufgenommen und entsprechend gekennzeichnet.

Wetterkenngrössen, welche stark miteinander korrelieren (Überprüfung anhand Spearman-Korrelationskoeffizienten) werden in den meisten Fällen nicht gemeinsam im Modell berücksichtigt, um die negativen Auswirkungen von Multikollinearität (z. B. instabiles Verhalten der Regressionsmodelle) möglichst zu vermeiden. Wenn aus inhaltlichen Gründen aber eine gemeinsame Berücksichtigung als notwendig erachtet wird, sind die resultierenden Regressionskoeffizienten mit Vorsicht zu interpretieren.

Die in den Modellen angegebenen Regressionskoeffizienten entsprechen den relativen Veränderungen der Unfallhäufigkeit (je Zeitraum) bei Veränderung einer Wetterkenngrösse um eine Einheit. Ein Regressionskoeffizient von beispielsweise +0,05 für den Einfluss der durchschnittlichen Temperatur ($^{\circ}\text{C}/\text{d}$) auf das tägliche Unfallgeschehen bedeutet, dass mit jedem zusätzlichen Grad Celsius die tägliche Unfallzahl um 5% zunimmt.

4.3.2 Variablen

Die Gruppen zur Abbildung der *Fixed Effects* wurden auf folgende Weise kategorisiert:

- Region R1 bis R14

- Monate M1 bis M12
- Freitage (Fr)
- Wochenende (SaSo)
- Wochentage (Mo-Do)

Die Wochentage Freitag sowie Samstag+Sonntag wurden als Gruppe von den Tagen Montag bis Donnerstag abgegrenzt, da sich relevante Unterschiede im Verkehrsaufkommen aus den standardisierten Ganglinientypen ableiten lassen (siehe [43]).

Die Gruppen bilden allerdings nicht nur (bekannte) Unterschiede im Verkehrsaufkommen ab, sondern auch (unbekannte) weitere, potenziell denkbare Einflüsse auf das Unfallgeschehen. Hierzu zählen u. a. verschiedene Netz- und Infrastrukturcharakteristiken in den Regionen aber auch unterschiedliche Modal Splits und Wegezwecke in den Regionen und Zeitbereichen.

Feiertage wurden aus dem Analysedatensatz ausgeschlossen, da an diesen ein grundsätzlich anderes Mobilitätsverhalten erwartet wird.

Aus dem COSMO-2-Datensatz wurden die Wetterkenngrossen abgeleitet, welche im Anhang in *Tab.5* aufgelistet sind. Je nach zeitlich-räumlicher Aggregation lassen sich daraus verschiedene stetige und kategoriale Kenngrössen ableiten. Erwartungsgemäss korrelieren verschiedene Kenngrössen eines Wetterattributs (z.B. des Niederschlags) vergleichsweise stark miteinander. Es wurden daher verschiedene Kenngrössen getestet und diskutiert, letztendlich aber nur ein Teil der Wetterkenngrossen (einfach nachvollzieh- und reproduzierbar) für die Analyse ausgewählt:

- durchschnittliche Temperatur **avgT** [°C] (ansatzweise wurden auch minimale **minT** und maximale Temperaturen **maxT** untersucht)
- durchschnittliche Luftfeuchtigkeit **LF** [%]
- durchschnittliche Niederschlagsintensität Regen **avgNS** [mm/d]
- durchschnittliche Niederschlagsintensität Schnee **avgSN** [mm/d]
- durchschnittliche Schneehöhe **avgSH** [cm]
- durchschnittliche Wolkenbedeckung **WB** [%] (zwischen 8 und 17Uhr)

Aus den Attributen zu Niederschlag und Anteil Schneefall wurden entsprechende Kenngrössen zur mengenmässigen Beschreibung der Regen- und Schneefallintensität ([mm/h] bzw. [mm/d]) abgeleitet. Eine Übersicht zum Datenkollektiv findet sich im Anhang in *Tab.6*.

Der Gesamtniederschlag wurde als Kenngrösse nicht weiter berücksichtigt, da darin sowohl Regen- als auch Schneeereignisse abgebildet sind, welche aber getrennt voneinander analysiert werden sollen.

Die zentralen Wetterkenngrossen Temperatur, Regen- und Schneefallintensität und Schneehöhe wurden als stetige und klassierte Variablen im Modell untersucht. Bei der Temperatur wurden unterschiedliche Klassenvariablen (Faktoren) für warme und kalte Tage festgelegt, da erwartet wird, dass sich gegebenenfalls unterschiedliche Zusammenhänge für hohe und tiefe Temperaturen ergeben.

Die Klassen wurden so eingeteilt, dass ein Kompromiss zwischen hinreichender Klassenbesetzung und inhaltlicher Aussagekraft erzielt wird.

4.3.3 Sonnenblendung

Abschnittsbezogenes Blendungspotenzial

Anhand des Blendungspotenzials werden beispielhaft Dichtekarten erstellt, für die Unfälle strassensegmentweise aggregiert werden. Das Gewicht jedes Unfalls (0 für „Sonnenblendung unwahrscheinlich“, 1 für „Sonnenblendung möglich“, 2 für

„Sonnenblendung wahrscheinlich“) wurde dabei anteilig auf die Strassensegmente aufgeteilt, auf die der Unfall gematcht wurde. Anschliessend wurden die Unfälle pro Strassensegment aggregiert. Dabei wurde für jedes Strassensegment die Summe der korrigierten Gewichtungen berechnet und eruiert, wie viele Unfälle diesem Segment insgesamt (mit oder ohne Sonnenblendung) mit welchem Anteil zugeordnet worden waren. Anschliessend wurde pro Segment der Quotient dieser beiden Masse gebildet, um so die relative Häufigkeit von Sonnenblendung als möglicher Unfallfaktor gemessen an der Gesamtunfallhäufigkeit an diesem Ort zu ermitteln.

Das so abgeleitete Mass ist für eine geglättete Rasterdarstellung geeignet, welche die Werte in einer gewissen Umgebung aufsummiert. Gleichzeitig wurde noch ein zweites, einfacheres Mass ermittelt, welches die Unfälle nicht anteilig auf alle potentiellen Segmente aufteilt. Die relative Dichte auf den Strassensegmenten wurde dann direkt durch den Quotienten aus der Summe der Gewichte (*Weight*) und der Gesamtanzahl der Unfälle gebildet.

Zeitbereichsbezogenes Blendungspotenzial

Der Zusammenhang zwischen Sonnenblendung und Unfallgeschehen wird nur für den Kanton Zürich analysiert, da für diese Region entsprechende Sonnenblendungsdaten zur Verfügung stehen. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, auch Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden in die Analyse einzubeziehen (keine Berücksichtigung der interkantonalen Unterschiede hinsichtlich der Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden notwendig).

Die Vorgehensweise ist hier analog zur Methodik zur Erstellung der multikriteriellen Unfallmodelle mit der Sonnenblendung als zusätzliche potenzielle Einflussvariable. Die Sonnenblendung ist nur für einen vergleichsweise kurzen Zeitraum als potenziell sicherheitsrelevant für die Verkehrsteilnehmer. Das ist immer dann der Fall, wenn die Sonne knapp über dem Horizont steht. Daraus resultieren zwei, für die Analyse relevante Besonderheiten:

- Eine potenzielle Gefährdung durch Sonnenblendung besteht nur für einen relativ kurzen Zeitanteil bezogen auf einen Tag.
- Der Zeitbereich mit einem erhöhten Gefährdungspotenzial durch Sonnenblendung „wandert“ über den Tagesverlauf während eines Jahres. Hierdurch sind auch unterschiedliche Bereiche des Tagesgangs der Verkehrsmenge betroffen.

Aufgrund der kurzen Gefährdungszeit bedarf es der Abgrenzung eines kürzeren Zeitraumes als die bisherigen 24 Stunden, um die tendenziell eher geringeren (potenziellen) Effekte auch in den Unfallzahlen nachweisen zu können (nur eine Fahrt- bzw. Blickrichtung betroffen). Aufgrund der sich ändernden Verkehrsmengen während der Gefährdungszeit und der fehlenden Daten zu lokalen Verkehrsstärken bedarf es eines festen Zeitraums für die Analyse (konstante Verkehrsbedingungen). Hierfür wurden – unter Berücksichtigung der Zeitemstellung (Sommer-/Winterzeit) – jeweils 4-Stunden-Zeiträume morgens und abends ausgewählt. Das betrifft jeweils den Bereich von 6 bis 10 Uhr sowie 16 bis 20 Uhr. Für diese beiden Zeitbereiche werden (jeweils getrennt) alle anderen Daten aggregiert, ähnlich der Vorgehensweise beim Aufbau des auf täglichen Unfallhäufigkeiten basierenden Unfallmodells.

Die Gruppen zur Abbildung der *Fixed Effects* wurden auf folgende Weise kategorisiert:

- 4h-Zeitraum am Morgen und am Abend
- Monate M1 bis M12
- Freitage (Fr)
- Zählstellenummer

Aus den Sonnenblendungsdaten wurden folgende Variablen für die Analyse abgeleitet:

- durchschnittliche Sonnenblendung **SBI** (aus Differenzwinkel der Sonne über dem Horizont)

- durchschnittliche Sonnenblendung multipliziert mit dem Kehrwert der Totalbewölkung (Anteil Gesamtwolkenbedeckung in Prozent **WB**) ergibt sich zu **SBIWB**

Die erste Kenngrösse **SBI** ist eher theoretischer Natur, da bei entsprechender Wolkenbedeckung die Sonnenblendung nicht bei den Verkehrsteilnehmern „ankommt“. Im Zentrum der Analyse steht daher die zweite Kenngrösse **SBIWB**, welche das tatsächliche Sonnenblendungspotenzial widerspiegelt. Diese Kenngrösse wird maximal, wenn keine Wolken am Himmel vorhanden sind und die Sonne im Winkel zwischen 0° und 15° über dem Horizont steht.

Zur Beschreibung des Wetters werden nur die Kenngrössen zur Beschreibung der Temperatur getrennt nach warmen (>4°C, **avgTw**) und kalten Tagen (<1°C, **avgTk**) sowie zur Beschreibung von Regen- (**avgNS**) und Schneefallintensität (**avgSN**) verwendet.

Alle Wetterkenngrössen beziehen sich hier auf den 4h-Zeitraum.

Es werden getrennte Modelle für Unfälle mit Personen- und ausschliesslich Sachschaden auf Innerorts- und Ausserortsstrassen sowie an Knoten und Strecken ermittelt. Unfälle mit schwerem und leichtem Personenschaden werden aufgrund der kleineren Stichprobe zusammengefasst. Die Abgrenzung der Kollektive erfolgt auf Basis der Attribute aus dem Unfallprotokoll. Grund für diese Differenzierung sind folgende Vermutungen bzw. Hypothesen zum Einfluss der Sonnenblendung:

- Auf Innerortsstrassen wird ein geringerer Einfluss der Sonnenblendung erwartet, da die Sonne häufiger – bei entsprechend kritischem Winkel – durch Gebäude verdeckt sein kann.
- Es wird ein erhöhter Einfluss der Sonnenblendung bei Unfällen am Knotenpunkt erwartet. Insbesondere an Knoten ohne Lichtsignalanlagen ist es zur Einhaltung der Wartpflicht notwendig, andere Fahrzeuge mit Vorrang auch aus weiterer Entfernung zu erkennen. Aber auch plötzliche Halte von (z. B. wartenden oder abbiegenden) Fahrzeugen an Knoten bedingen eine gute Sichtbarkeit, um frühzeitig darauf reagieren zu können. Beide Situationen bzw. die dort notwendige Sichtbarkeit anderer Verkehrsteilnehmer kann durch Sonnenblendung eingeschränkt werden. Hinzu kommt, dass im Gegensatz zur Strecke entsprechende Verhaltensanpassungen (Risikokompensation) wie auf der Strecke (z. B. geringere Geschwindigkeit) nur bedingt möglich sind.

4.3.4 Überprüfung Anpassung Mobilitätsverhalten

Die Vorgehensweise ist auch hier weitestgehend analog mit der Methodik zur Erstellung der multikriteriellen Unfallmodelle. Zwei wesentliche Unterschiede sind aber dabei zu beachten:

- Die abhängige Variable bzw. Zielvariable ist statt der Unfallzahl nun die tägliche Verkehrsmenge in [Fz/d] bzw. deren standardisierte Kenngrösse (Mittelwert gleich Null und Varianz gleich Eins).
- Die Analyse erfolgt anhand einer linearen Regressionsanalyse statt der Verwendung von verallgemeinerten linearen Modellen, da hier keine poissonverteilte Zufallsgrösse (Unfälle) vorliegen.

Es werden grundsätzlich unterschiedliche Veränderungen in den Verkehrsmengen in Abhängigkeit des Wetters in der Woche und am Wochenende erwartet. Bisher wurden Unterschiede im Verkehrsaufkommen aufgrund der standardisierten Ganglinien zwischen Montag bis Donnerstag, Freitag sowie Samstag und Sonntag angenommen. Hier soll nun eine möglichst strenge Abgrenzung des Freizeitverkehrs erfolgen, für da diesen Wegezweck eine besondere hohe Sensibilität hinsichtlich des Wetters attestiert wird. Nach [43] lassen sich für den Freizeitverkehr zwei klare Cluster im Wochenverlauf abgrenzen. Das sind die Tage Montag bis Donnerstag sowie die Spitzenverkehre am

Freitag, Samstag und Sonntag. Aus diesem Grund werden separate Analysen für diese beiden Wochenzeitbereiche durchgeführt.

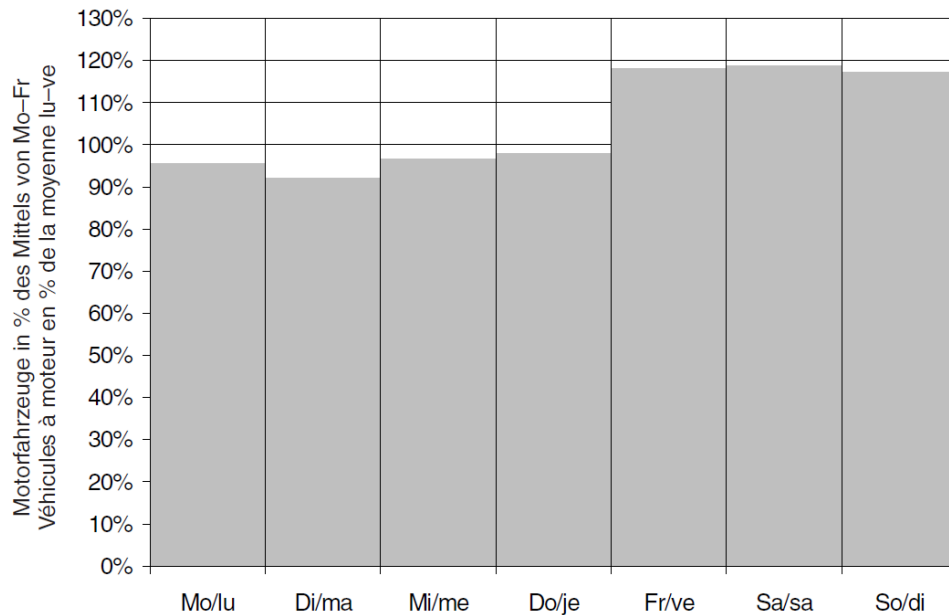


Abb.8 Wochenganglinie Typ „Freizeitverkehr“ (Quelle: [43])

Es werden Faktoren zur (stellvertretenden) Beschreibung von Unterschieden im Verkehrsaufkommen als *fixed-effects* berücksichtigt:

- Zählstellennummer
- Monate M1 bis M12
- Freitage (Fr)

Zur Beschreibung des Wetters werden nur die Kenngrößen zur Beschreibung der Temperatur getrennt nach warmen ($>4^{\circ}\text{C}$, **avgTw**) und kalten Tagen ($<1^{\circ}\text{C}$, **avgTk**) sowie zur Beschreibung von Regen- (**avgNS**) und Schneefallintensität (**avgSN**) verwendet.

Alle Wetterkenngrößen beziehen sich hier auf einen 24h-Zeitraum.

5 Resultate

5.1 Vergleich Wetterattribute im UAP und aus COSMO-2

Anhand der vorliegenden COSMO-2 Daten wurde jedem Unfall anhand der Unfallstelle der nächstgelegene Gitterpunkt mit den jeweiligen Wetterparametern zugewiesen. Ein Vergleich der Witterung (*Abb. 1* im Anhang) und dem Strassenzustand (*Abb. 2* im Anhang) gemäss Unfallprotokoll mit den Niederschlagswerten aus COSMO-2 ist damit möglich: Mutmasslich korrekte Kombinationen sind beispielsweise trockene Strassen und kein Niederschlag in der vorhergehenden Stunde, oder eine Form von Niederschlag im Unfallprotokoll (Regen, Schneefalls, Hagel) sowie Niederschlag in der letzten Stunde gemäss COSMO-2. Es gibt aber auch Situationen, bei denen sich scheinbar widersprechende Kombinationen korrekt sind, z. B. wenn der Niederschlag kurz nach dem Unfall einsetzt. Ein Widerspruch zwischen dem Wettermodell und den Angaben im Unfallprotokoll kann zusätzlich durch zeitliche und räumliche Ungenauigkeit in Modell und Daten verschärft werden.

Generell beschreiben weder die Wetterinformationen im UAP noch in COSMO-2 das Wettergeschehen exakt. Beim UAP entstehen Ungenauigkeiten vor allem bei der Erhebung (z. B. nachträgliche Dokumentation des Unfalls, zeitliche motivationstechnische Einschränkungen bei der Erhebung vor Ort). Bei COSMO-2 sind aufgrund des Modellcharakters Ungenauigkeiten a priori enthalten.

Die Untersuchung der Korrelation zeigen, dass die Niederschlagsmengen bei der Angabe „Regen“ wie zu erwarten höher sind als bei schönen oder bedecktem Himmel. Jedoch sind die Unterschiede qualitativ betrachtet nicht so stark, wie es bei einer hohen Übereinstimmung beider Datenquellen zu erwarten wäre: Auch bei der Witterungsangabe „schönes Wetter“ im Unfallprotokoll sind in den korrespondierenden Wettermodelldaten Niederschlagsmengen von bis zu 7 mm/h zu verzeichnen. Umgekehrt sind auch bei den Unfällen mit der Witterungsangabe „Regen“ keine signifikanten Niederschlagsmengen in COSMO-2 zu verzeichnen.

Zusätzlich zur qualitativen Beurteilung der nach Witterungstypen unterteilten Histogramme (*Abb. 1* im Anhang) wurden die Verteilungen anhand eines Chi-Quadrat Tests verglichen. Dazu wurden die Witterungskategorien aus dem UAP in "kein Niederschlag" bzw. "Niederschlag" aggregiert. Die Tests ergaben statistisch signifikant unterschiedliche Verteilung der Regenmengen während der letzten Stunde für „Niederschlag“ und „kein Niederschlag“.

Fazit der Überprüfung ist, dass die Wetterdaten eine Aussage über die potenziellen aber nicht unbedingt realen Witterungsverhältnisse zum Unfallzeitpunkt an einem Unfallort ermöglichen. Das gilt es bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Aus diesem Grund sind auch nur – wie in dieser Untersuchung vorgesehen – makroskopische Analysen zielführend. Für lokale Analysen eignen sich die Modellwetterdaten nur bedingt. Es können zusätzlich keine gesicherten Aussagen über den Strassenzustand gemacht werden, da dieser stark lokal – z. B. durch andere Umwelteinflüsse (beispielsweise Laubfall) oder manuelle Eingriffe (Beispiel Räumdienste) – sowie durch weitere Wetterparameter beeinflusst wird. Aufgrund dieser Einschränkung werden auch mehrere Analysemethoden angewendet, welche sowohl auf den Wetterinformationen aus dem UAP als auch denen aus COSMO-2 basieren.

5.2 Wettereinflüsse

5.2.1 Deskriptive Analysen

Odds Ratio

Im Rahmen der deskriptiven Analysen werden verschiedene Unfallkollektive in relativen Vergleichen einander gegenübergestellt, um daraus Auffälligkeiten und Hinweise zum Witterungseinfluss auf das Unfallgeschehen ableiten zu können.

Anhand dieser relativen Vergleiche kann nicht abgeleitet werden, sich ob generell mehr Unfälle bei bestimmten Wetterereignissen ereignen, sondern nur inwieweit sich die Verteilung der Unfälle über verschiedene Merkmale verändert.

Die Betrachtung der Unfälle über die Unfalltypengruppen lässt eine Tendenz zu mehr Schleuder- oder Selbstunfällen (UTG 0) sowie Fussgängerunfällen (UTG 8) bei Regen erkennen (Abb.9). Das die UTG 0 stärker von Regenereignissen betroffen sind kann vor allem über die Rolle von überhöhten Geschwindigkeiten bei diesen Typen erklärt werden. Überhöhte Geschwindigkeiten können dann kritisch sein, wenn Bremswege aufgrund eingeschränkter Haftreibung durch Nässe verlängert werden oder in Kurven die eingeschränkte Haftreibung ausreicht, um das Fahrzeug auf der Strasse zu halten. Die Auffälligkeit bei der Beteiligung von Fussgängern kann nicht abschliessend geklärt werden. Eine Vermutung wäre, dass durch die Verlagerung auf den ÖV, mehr Fussgänger in den Zugangsbereichen der ÖV-Haltestellen ein erhöhtes Unfallgeschehen nach sich ziehen. Ähnliches gilt auch, wenn nur der Strassenzustand nass/feucht betrachtet wird (siehe Abb.4 im Anhang).

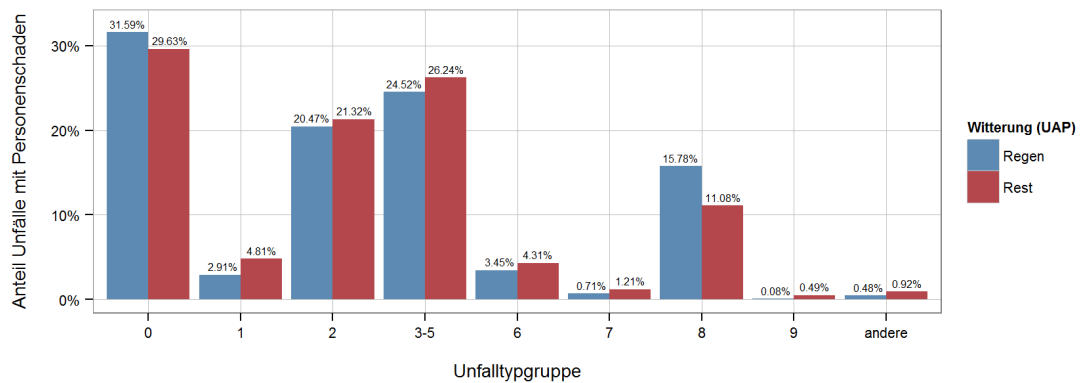


Abb.9 Verteilung der Unfalltypengruppen UTG über das Kollektive der Unfälle bei Regen (UAP-Attribut) und den restlichen Unfällen

Die Verteilung bei Schneefall sieht ähnlich aus (siehe Abb.4 im Anhang). Allerdings werden statt den Fussgängerunfällen (UTG 8) die Frontalkollisionen (UTG 6) bei Regen auffällig. Weiterhin werden die Auffälligkeiten bei den Schleuder- oder Selbstunfällen noch verschärft. Dies geht dabei vor allem zu Lasten der typischen Knotenunfällen (UTG 3-5), welche bei Regen und noch vielmehr bei Schnee nur eine untergeordnete Rolle spielen. Die Verteilung zum Strassenzustand mit Schnee oder Eis bestätigt die Ergebnisse zum Schneefall (siehe Abb.5 im Anhang).

Betrachtet man nun statt den UAP-Attributen die nach den COSMO-2-Wetterattributen differenzierten Unfallkollektive ergibt sich grundsätzlich ein ähnliches Bild (siehe Abb.6 und Abb.7 im Anhang). Da aber im Niederschlag in COSMO-2-Datensatz auch der Schneefall inkludiert ist, wird die UTG 6 schon bei Differenzierung nach dem Attribut Niederschlag auffällig.

Die oben genannte Vermutung, dass vor allem Unfälle im Zusammenhang mit höheren Geschwindigkeiten vom Wetter stärker beeinflusst sind wird durch Abb.10 bedingt bestätigt. So findet eine klar sich verstärkende Verschiebung der Unfälle bei feuchtem/nassem Strassenzustand hin zu Strassen mit höheren zulässigen Höchstgeschwindigkeiten statt. Interessanterweise ist dieser Zusammenhang nicht so eindeutig bei Betrachtung der Witterung bzw. von Regenereignissen (siehe Abb.8 im Anhang).

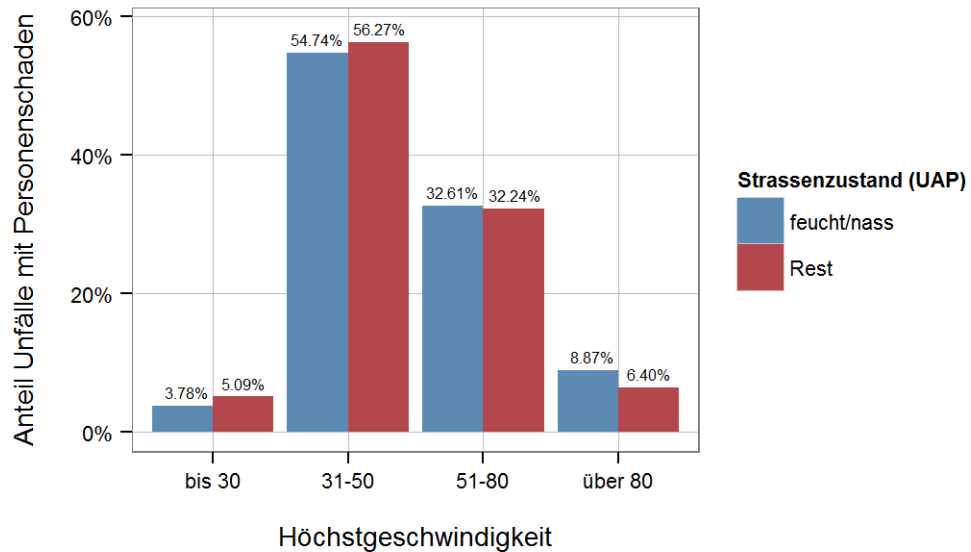


Abb.10 Verteilung der Unfälle nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit über das Kollektive der Unfälle bei feuchtem/nassem Strassenzustand (UAP-Attribut) und den restlichen Unfällen

Der Effekt bei unterschiedlichen Tempolimits verstärkt sich noch bei Betrachtung von Wetterereignissen mit Schnee (siehe *Abb.9* und *Abb.10*). Allerdings sind dann die Strassen mit Tempolimits zwischen 50 und 80 km/h (meist Ausserortsstrassen ausserhalb der Autobahnen) am stärksten betroffen. Hier wird ein Einfluss der Priorisierung des Winterdienstes auf die höchst belasteten Strassen vermutet, d. h. vor allem auf Autobahnen kommt der Winterdienst sehr schnell z. T. sogar vorbeugend zu winterlichen Wetterereignissen zum Einsatz im Vergleich zu den restlichen Ausserortsstrassen. Die Ergebnisse auf Basis der COSMO-2-Daten tendieren in eine ähnliche Richtung und unterstreichen die getätigten Aussagen (siehe *Abb.11* und *Abb.12* im Anhang). Es wird ausserdem deutlich, dass bei Betrachtung des gesamten Niederschlags (Regen und Schnee) sich die Auffälligkeiten nivellieren. Der Niederschlag sollte daher – gerade bei den multikriteriellen Analysen – immer getrennt nach Regen und Schneefall ausgewertet werden.

Eine ähnliches Ergebnis zeigt sich bei Differenzierung der Unfallkollektive nach Ortslage/Strassentyp (siehe *Abb.13* und *Abb.14* im Anhang).

Eine nasse bzw. feuchte Fahrbahnoberfläche wirkt sich vor allem bei Dämmerung und während der Nacht (Dunkelheit) auf das Unfallgeschehen aus (siehe *Abb.11*). Dieser Effekt wird u. U. etwas überschätzt, da bei Tag durch den Sonnenschein die Fahrbahn schneller trocknet. Betrachtet man aber die Witterung (Regen) ergibt sich ein ähnliches Bild, das Regenereignisse vor allem bei Nacht im Zusammenhang mit einer erhöhten Unfallzahl stehen (siehe *Abb.15* im Anhang). Eine ähnliche Verteilung ergibt sich für Schneefall bzw. Schnee/Eis auf der Fahrbahn, d. h. auch bei diesen winterlichen Wetterereignissen sind Unfälle bei Nacht in einer wesentlich höheren Masse betroffen als die Unfälle bei Tag (siehe *Abb.16* und *Abb.17* im Anhang). Die Ergebnisse werden ebenfalls durch Auswertungen unter Berücksichtigung der COSMO-2-Wetterdaten unterstützt (siehe *Abb.18* und *Abb.19* im Anhang).

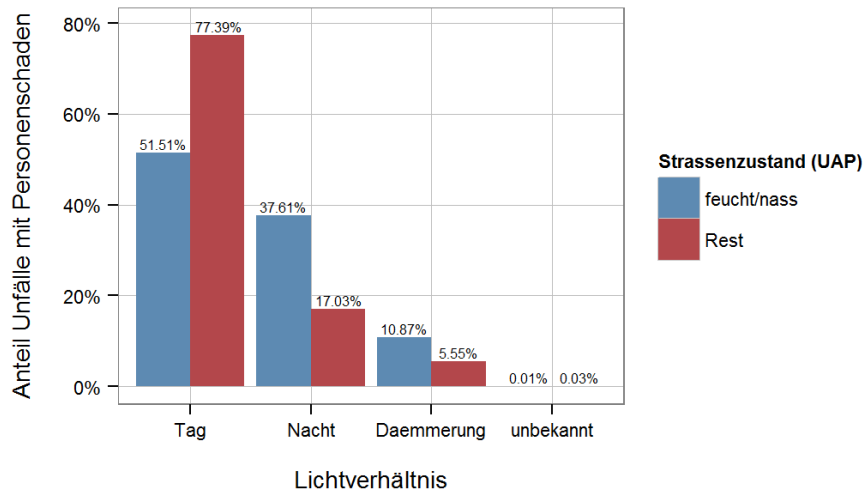


Abb.11 Verteilung der Unfälle nach den Lichtverhältnissen über das Kollektive der Unfälle bei feuchtem/nassem Strassenzustand (UAP-Attribut) und den restlichen Unfällen

Im Folgenden werden nun anhand der Wahrscheinlichkeitsverhältnisse Auffälligkeiten bei Niederschlagsereignissen hinsichtlich der Unfallschwere analysiert. Die Wahrscheinlichkeitsverhältnisse vergleichen jeweils den Anteil der Unfälle mit schweren Personenschäden an allen Unfällen mit Personenschäden im Vergleich der Unfallkollektive mit einer bzw. ohne eine bestimmte Wetterausprägung. Wahrscheinlichkeitsverhältnisse (Odds-Ratios) kleiner Eins bedeuten eine geringere Unfallschwere bei einer bestimmten Wetterausprägung.

Generell zeigt sich in für alle Niederschlagsereignisse sowie nasse und vereiste Fahrbahnzustände ein Rückgang in der Unfallschwere, d. h. es findet eine Verlagerung von Unfällen mit schwerem zu Unfällen mit leichtem Personenschaden statt (siehe Abb.12). Diese Verlagerung ist besonders stark bei winterlichen Niederschlagsereignissen (Schnee/Eis). Generell wird hinter diesem Effekt ein Kompensationseffekt bei diesen Wetterereignissen vermutet, welcher sich in geringeren Geschwindigkeiten niederschlägt. Dieser ist bei Schnee und Eis stärker ausgeprägt, da diesen Wetterausprägungen von Seiten der Verkehrsteilnehmer wahrscheinlich ein grösseres subjektives Gefahrenpotenzial attestiert wird.

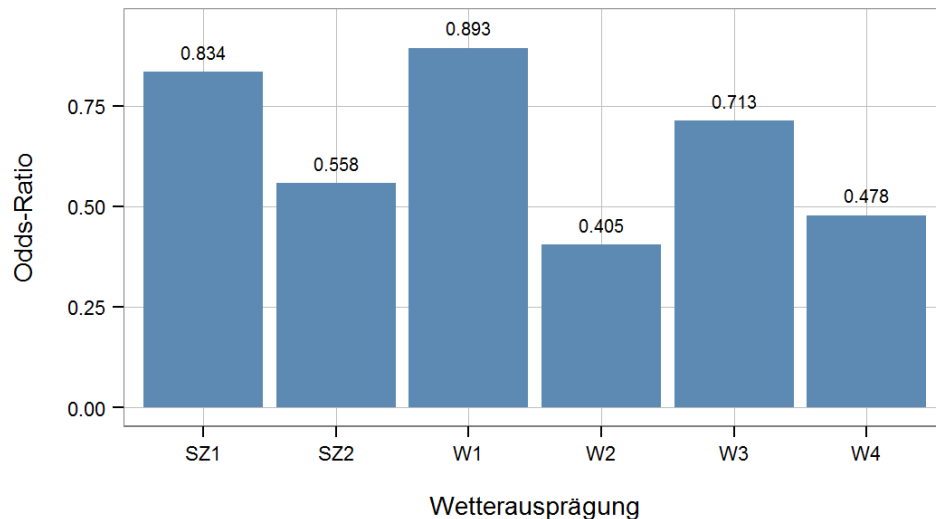


Abb.12 Odds-ratios (Unfälle mit $U_{(G+SV)}$ zu $U_{(G+SV+LV)}$) für verschiedene Strassen-und Witterungszustände: SZ1 – nasser/feuchter Strassenzustand (UAP); SZ2 – Eis/Schnee auf der Fahrbahn (UAP); W1 – Regen (UAP); W2 – Schneefall (UAP); W3 – Niederschlag (COSMO-2); W4 – Niederschlag mit Schneeanteil (COSMO-2)

Bei einer differenzierteren Betrachtung nach verschiedenen Unfallcharakteristiken zeigen sich vereinzelt Ausreiser von diesem Trend (siehe Abb.20 bis Abb.22 im Anhang):

- Bei einem nassen/feuchten Strassenzustand zeigt sich bei der Unfalltypengruppe 8 (Fussgängerunfälle) eine erhöhte Unfallschwere. Da Fussgängerunfälle – vor allem bei Kollision mit Fahrzeugen – generell eher schwere Folgen haben, wird dies als eine Folge der erhöhten Unfallhäufigkeit dieses Unfalltyps bei nassem Strassenzustand zurückgeführt.
- Bei Schnee/Eis auf der Fahrbahn ereignen sich nicht nur tendenziell mehr Frontalunfälle als bei trockenen Verhältnissen, es erhöht sich zusätzlich auch die Schwere dieser Unfälle (allerdings könnte hier ein ähnlicher Effekt wie bei den Fussgängerunfällen vermutet werden, da auch dieser Unfalltyp generell eher schwere Folgen hat).
- Auf Autobahnen und Autostrassen nimmt die Unfallschwere bei nasser/feuchter Fahrbahn zu. Dies lässt sich nicht für Eis/Schnee auf der Fahrbahn feststellen. Auch auf den restlichen Ausserortsstrassen wurde keine Zunahme der Unfallschwere weder bei nasser/feuchter Fahrbahn noch bei Eis/Schnee auf der Fahrbahn festgestellt.

Fazit der deskriptiven Analysen ist, dass eine Vielzahl der Erkenntnisse aus der Literatur für das Unfallgeschehen auf Schweizer Strassen bei bestimmten Wetterausprägungen bestätigt werden konnte. Regen- und Schneefallereignisse sowie daraus resultierende Fahrbahnzustände sind vor allem auf schnellen Ausserortsstrassen sowie während der Dunkelheit kritisch. Dementsprechend sind auch die (häufig geschwindigkeitsbedingten) Schleuder- und Selbstunfälle auffällig. Generell lässt sich mit Ausnahme der Autobahnen/Autostrassen sowie vereinzelter Fussgänger- und Frontalunfälle ein Rückgang in der Unfallschwere bei Niederschlagsereignissen und daraus resultierenden Fahrbahnzuständen feststellen.

Unfallbasierte Mittelwertvergleiche

Es wird ein potenzieller Nässeinfluss nur auf Basis der Unfallattribute nach der Methodik aus [29] untersucht. Im ersten Schritt wird die Grafik aus [29] anhand der hier verwendeten Stichprobe erstellt. Es werden die gesamtschweizerischen Unfälle mit und ohne das Unfallattribut „Nässe“ über den Anteil der Unfälle mit Unfallattribut „Nässe“ aufgetragen. In diesem Diagramm lassen sich grafisch die „expected“ und „excess“-Unfälle abgrenzen. Es wurden jeweils einfache Regressionslinien eingetragen. Dies ist

bei höheren Mittelwerten des Unfallgeschehens durchaus zulässig, da sich in diesen Bereichen die Poissonverteilung einer Normalverteilung annähert.

Im Vergleich der Abb.13 zu der Abbildung aus [29] (siehe auch Abb.2 in der Literaturanalyse) wird deutlich, dass unabhängig vom Anteil der Nässeunfälle pro Tag kein zusätzlich erhöhtes Unfallgeschehen bei Nässe festgestellt werden kann. Es wird vermutet, dass ein entsprechendes Kompensationsverhalten (geringeres Verkehrsaufkommen sowie angepasstes Verhalten) dazu führt, dass bei Tagen mit Nässeunfällen nie der Mittelwert der Unfällen an Trockentagen (definiert über das Ausbleiben von Nässeunfällen) überschritten wird. Es wird aber auch deutlich, dass bei einem höheren Anteil an Nässeunfällen (d. h. gegebenenfalls. mehr oder intensivere Regenereignisse in der Schweiz) auch die Gesamtzahl der Unfälle wieder ansteigt. Dies wird als ansteigender, relativer Einfluss bei längeren/intensiveren sowie nicht nur lokalen Regenereignissen interpretiert.

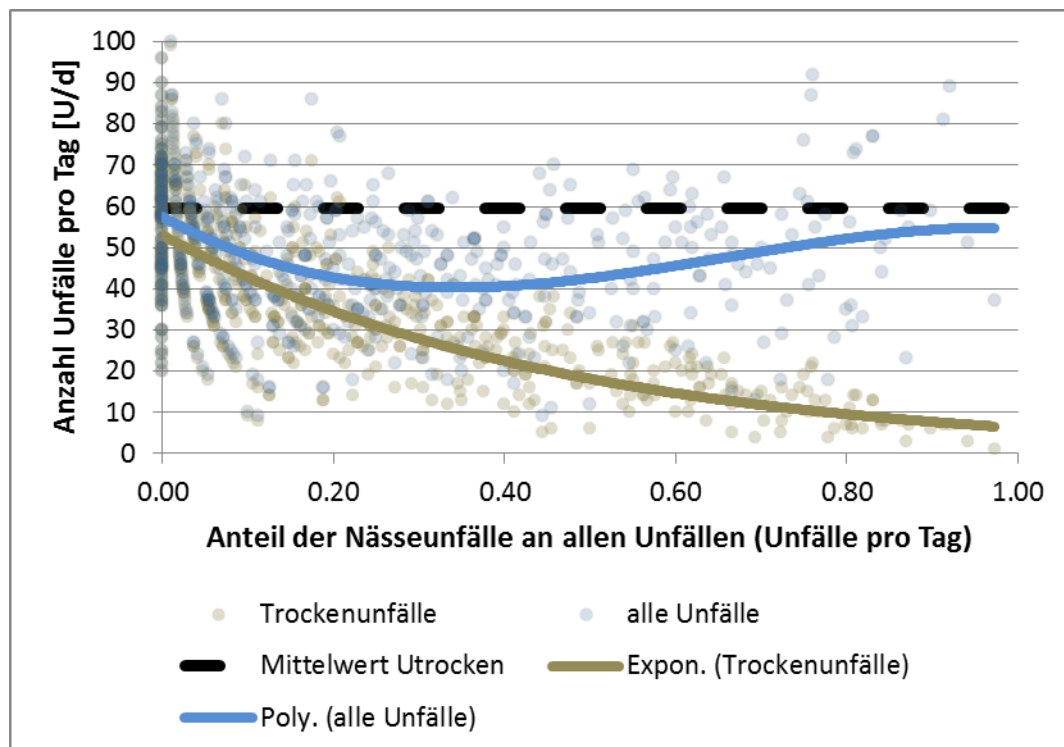


Abb.13 Trocken"-Unfälle und alle Unfälle je Tag über Anteil der Regenunfälle pro Tag (Unfälle mit Personenschaden 2011-2012)

Die Interpretation des Diagramms wird durch die Ergebnisse der Berechnung des Nässeinflusses in der Tab.3 unterstrichen (Berechnung nach Formel (2)). Ein Nässeinfluss von 0,48 bedeutet, dass sich das Unfallgeschehen bei Nässe im Mittel um Faktor 0,48 (-52%) verringert. Laut den Aussagen aus [29] stellt dieser Wert eine Untergrenze für einen Nässeinfluss dar und sollte auch dementsprechend interpretiert werden. Es deutet sich aber an, dass bei Regenereignissen tendenziell mit weniger Unfällen zu rechnen ist, unabhängig davon, ob das „echte“ Nässe-Risiko (bereinigt um Anpassungen im Mobilitätsverhalten bzw. Veränderungen in der Verkehrsstärke) steigt oder sinkt. Das „echte“ Nässe-Risiko kann in dieser Untersuchung nicht bestimmt werden, da Informationen zur Änderungen in der Verkehrsstärke fehlen.

Tab.3 Ergebnisse Berechnung Nässeeeinfluss

$U_{(G+SV+LV)}$ 2011-2012	Anzahl	U/d	$U_{Nässe}/d$	$U_{Nässe}/d - \Delta U/d$	Nässeeeinfluss
Nässe-Tage	589	48,7	10,0	20,8	0,48
Trocken-Tage	142	59,5			
Differenz		-10,8			

Summe Unfälle = 37.138

Fazit dieser nur beispielhaften Untersuchung unterstreichen die Ergebnisse der deskriptiven Analysen, welche für Unfälle bei Nässe eine geringere Häufigkeit im Vergleich zu Unfällen bei Trockenheit ergeben.

„Matched-pair“ Analysen

In Tab.4 sind die Ergebnisse der „matched-pair“-Analysen dargestellt (Formel (3)). Ein Faktor von z. B. 0,81 bedeutet, dass sich in Regenzeiträumen rund 19% weniger Unfälle ereignen als in vergleichbaren Zeiträumen ohne Regen.

Im Mittel ereignen sich in Zeiträumen mit Regen tendenziell weniger Unfälle als in vergleichbaren Zeiträumen ohne Regen. Das Unfallgeschehen in den Abend- und Nachtstunden weicht hiervon ab, da während dieser Zeiträume tendenziell mehr Unfälle bei Regen festgestellt werden (nur bezogen auf die Unfälle mit leichtem Personenschaden). In den Abend- und vor allen den Nachtstunden wird ein geringerer Anteil an Freizeittrips vermutet. Dem Freizeitverkehr wird eine besonders hohe Sensibilität hinsichtlich des Wetters attestiert (siehe auch Literaturanalyse), d. h. es werden bei schlechtem Wetter geplante Wege im Freizeitverkehr z. T. nicht begonnen. Im Umkehrschluss existiert während der Nacht ein höherer Anteil an „nicht verschiebbaren“ bzw. notwendigen Wegen, d. h. Kompensationseffekte im Mobilitätsverhalten sind geringer und überlagern damit weniger das „echten“ Regenrisiko. Eine andere Möglichkeit, welche die gleiche Tendenz aufweist, betrifft eine Verstärkung der Sichteinschränkungen durch Regenfall während der Nacht, aufgrund ungünstiger Lichtverhältnisse. In diesem Fall wäre auch das „echte“ Regenrisiko höher als am Tag.

Generell wird für Unfälle mit leichtem Personenschaden ($U_{(LV)}$) ein ungünstigerer Einfluss des Regens im Vergleich zu den schwereren Unfällen ($U_{(G+SV)}$) festgestellt. Dies entspricht den Ergebnissen aus der Literatur.

Mit Ausnahme der $U_{(LV)}$ bei Nacht führen Regenereignisse zu einer derartigen Anpassung des Mobilitäts- und/oder Fahrverhaltens, dass sich tendenziell weniger Unfälle ereignen. Dies sagt nichts über das tatsächliche/„echte“ Regenrisiko (bereinigt um das Kompensationsverhalten) aus.

Tab.4 Ergebnisse der „matched-pair“ Analysen bzw. Verhältnis der Unfällen im Vergleich von 6-Zeiträumen mit und ohne Regenereignisse

"Regeneinfluss"				
Zeitraum	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV+LV)}$	Σ Unfälle _(G+SV+LV)
Ø 6-h-Zeitraum	0,81	0,94	0,91	5.312
00:00 - 06:00 Uhr	0,90	1,04	1,00	436
06:00 - 12:00 Uhr	0,88	0,94	0,93	1443
12:00 - 18:00 Uhr	0,69	0,85	0,81	2061
18:00 -24:00 Uhr	0,88	1,05	1,01	1372

Anzahl untersuchte Paare (matched pairs) = 665

Auch die Ergebnisse dieses beispielhaften Analyseschrittes bestätigen die vorhergehenden Resultate, dass bei einer Betrachtung des gesamten Unfallkollektives bei Regenereignissen tendenziell weniger Unfälle mit einer geringeren Schwere zu beobachten sind.

5.2.2 Multikriterielles Unfallmodell

Im ersten Schritt wurde für die zentralen Kenngrössen eine Korrelationsmatrix erstellt, in der die Korrelationskoeffizienten (Spearman-Rho) und die jeweilige p-Werte (Signifikanzwert) dargestellt sind (siehe Abb.23 im Anhang).

Korrelationsmatrix sollte hier gezeigt werden. Niemand hat Lust, extra in den Anhang zu schauen.

Aus diesen Ergebnissen werden folgende Schlussfolgerungen gezogen:

- Die durchschnittliche Temperatur korreliert vor allem mit Schneefall und Schneehöhe. Grosse Schneehöhen ergeben sich entsprechend nur bei tiefen Temperaturen; hier ist besondere Vorsicht bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Temperatur und Schneehöhe im Modell geboten.
- Die relative Luftfeuchte korreliert vorrangig mit dem Regen und Schneefall. Starke Niederschlagsereignisse gehen erwartungsgemäss einher mit einer erhöhten Luftfeuchte.
- Schneefall und Schneehöhe korrelieren erwartungsgemäss stark miteinander, auch hier ist Vorsicht bei gleichzeitiger Berücksichtigung im Unfallmodell geboten.
- Wolkenbedeckung und Niederschlag korrelieren erwartungsgemäss stark miteinander.

Bei der Modellbildung werden die relative Luftfeuchte und die Wolkenbedeckung vorerst aussen vor gelassen, da sie vergleichsweise stark mit den Niederschlagskenngrössen (Regen und Schneefall) korrelieren, welche aus Analysesicht die höchste Priorität in der Untersuchung besitzen. Die hohe Korrelation zwischen Temperatur und Schneehöhe muss bei der Interpretation berücksichtigt werden, da beide Kenngrössen von grossem Interesse sind.

In Tab.5 sind die Ergebnisse für sechs zentrale Unfall-Wetter-Modelle dokumentiert. Es wurden jeweils getrennte Modelle für die stetigen Wetterkenngrössen (Modell A) und die klassierten Wetterkenngrössen (Modell B) berechnet. Im Anhang finden sich weitere, nach Unfallcharakteristiken differenzierte Modelle für stetige Wetterkenngrössen (siehe Abb.25 bis Abb.28 im Anhang).

Bevor die Modelle interpretiert werden, lohnt es sich nochmal, darauf hinzuweisen, dass die hier vorgestellten Ergebnisse nicht den isolierten Wettereinfluss darstellen sondern die Summe der Folgen aus bestimmten Wetterereignissen. Das bedeutet, die Regressionskoeffizienten ermöglichen eine Abschätzung der Veränderungen im Unfallgeschehen bei bestimmten Wetterereignissen. Es kann nicht geklärt werden, welcher Anteil davon auf Mobilitäts- und Fahrverhaltensanpassungen und welcher Anteil z. B. ursächlich auf Einschränkungen der Sicht oder der Griffbarkeit der Fahrbahnoberfläche bei Regenereignissen zurückzuführen ist.

In Abb.29 im Anhang sind die Regressionskoeffizienten für die Gruppen (*fixed effects*) dargestellt. Damit können grundsätzliche Unterschiede zwischen den Regionen, Monaten und Wochentagen abgeschätzt werden. Die Grösse und die Richtung der Regressionskoeffizienten ähneln dem Trend bzw. der Form der standardisierten Ganglinien in [43]. Dies unterstreicht deren Verwendung als Stellvertreterkenngrössen für Unterschiede im Verkehrsaufkommen zwischen den Zeitbereichen. Damit können die Gruppen bzw. deren Faktoren als eine Art Exposition angesehen werden.

Temperatur

Die zentrale Kenngrösse des Wetters ist die durchschnittlich tägliche Temperatur, welche für nahezu jedes Unfallkollektiv einen signifikanten positiven Einfluss aufweist. Das bedeutet: mit steigender Temperatur nimmt auch das Unfallgeschehen zu. Dies wird als ein Mobilitätseffekt interpretiert, da bei höheren Temperaturen generell mehr Freizeitverkehr auftritt und auch der Langsamverkehr (dieser beeinflusst das Unfallgeschehen mit Personenschäden in besonderem Masse) eine grössere Rolle spielt. Der zweite Punkt wird auch dadurch unterstützt, dass das Unfallgeschehen innerorts leicht und das Unfallgeschehen mit Velobeteiligung vergleichsweise stark gegenüber dem restlichen Unfallgeschehen auf höhere Temperaturen reagiert. Der im Vergleich höhere Koeffizient für die schweren Nutzfahrzeuge könnte ein Hinweis auf eine stärkere Belastung von Berufschauffeurinnen und -chauffeuren bei hohen Temperaturen sein. Hier reagiert auch die oberste Kategorie der warmen Tage mit Durchschnittstemperaturen oberhalb von 16°C am stärksten.

Tab.5 Unfall-Wetter-Modelle (getrennte Modelle für stetige und klassierte Wetterkenngrossen)

		Regressionskoeffizienten (tägliche Unfallhäufigkeiten)					
				innerorts		ausserorts	
		$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$
Anzahl Unfälle		8.378	27.990	5.087	18.413	3.291	9.577
Anzahl Tage		9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926
Modell A (stetige Wetterkenngrossen)							
Temperatur	avgT [°C/d]	0,036 ***	0,023 ***	0,039 ***	0,028 ***	0,034 ***	0,014 ***
Regen	avgNS [mm/d]	-0,010 ***				-0,018 ***	
Schneefall	avgSN [mm/d]		0,039 ***		0,033 ***		0,045 ***
Schneehöhe	avgSH [cm]	-0,004 **				-0,005 **	
Modell B (klassierte Wetterkenngrossen)							
Temperatur	avgT [°C/d]						
	"warme" Tage						
	<4	-	-	-	-	-	-
	4...8	0,070 n.S.	0,073 *	0,039 n.S.	0,054 n.S.	0,128 n.S.	0,102 *
	8...12	0,234 ***	0,252 ***	0,168 *	0,210 ***	0,341 ***	0,308 ***
	12...16	0,373 ***	0,338 ***	0,336 ***	0,323 ***	0,479 ***	0,336 ***
	>16	0,513 ***	0,424 ***	0,509 ***	0,414 ***	0,585 ***	0,424 ***
	"kühle" Tage						
	>1	-	-	-	-	-	-
	-1...1	-0,140 .	-0,071 .	-0,288 **	-0,108 *	0,057 n.S.	-0,006 n.S.
	-3...1	-0,206 *	0,043 n.S.	-0,221 *	-0,022 n.S.	-0,176 n.S.	0,156 *
	-6...1	-0,213 *	-0,135 **	-0,357 **	-0,156 *	0,007 n.S.	-0,104 n.S.
	<-6	-0,115 n.S.	-0,157 **	-0,376 **	-0,267 ***	0,198 n.S.	-0,018 n.S.
Regen	avgNS [mm/d]						
	<0,1	-	-	-	-	-	-
	0,1...1	-0,085 *				-0,013 n.S.	
	1...5	-0,103 **				-0,078 n.S.	
	5...10	-0,190 ***				-0,217 **	
	>10	-0,187 ***				-0,293 ***	
Schneefall	avgSN [mm/d]						
	<0,1	-	-	-	-	-	-
	0,1...0,5		0,108 ***		0,063 .		0,193 ***
	0,5...1		-0,058		-0,113 n.S.		0,048 n.S.
	1...4		0,112 .		0,027 n.S.		0,245 ***
	>4		0,400 ***		0,360 ***		0,453 ***
Schneehöhe	avgSH [cm]						
	<1	-	-	-	-	-	-
	1...7	-0,105 *				-0,164 *	
	7...25	-0,277 ***				-0,374 ***	
	25...60	-0,446 ***				-0,646 ***	
	>60	-0,358 **				-0,543 **	
fixed effects	Region	x	x	x	x	x	x
	Monat	x	x	x	x	x	x
	Freitag	x	x	x	x	x	x
	Wochenende	x	x	x	x	x	x

*** p < 0,001 / ** p < 0,01 / * p < 0,05 / . p < 0,10 / n.S. p > 0,10

Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung

Im Vergleich mit den klassierten Wetterkenngrossen zeigt sich, dass der Temperatureffekt vorrangig von den höheren Temperaturen an warmen Tagen resultiert. Temperaturen unter Null zeigen nur einen geringen Einfluss, wenn auch ab -1°C Durchschnittstemperatur das Unfallgeschehen sich leicht verringert. Eine Zunahme der Unfälle bei Frost ist zumindest nicht nachweisbar. Allerdings könnte hierfür die Aggregationstufe zu hoch bzw. Kompensationseffekte verantwortlich sein.

Im Vergleich der Unfallschwerekategorien beim Temperatureinfluss sind nur geringe Unterschiede festzustellen. Auffällig ist, dass vor allem die oberste Klasse der sommerlichen Temperaturen tendenziell eine stärkere Zunahme der Unfälle mit schwerem Personenschaden aufweist. Wie bereits erwähnt wird dies innerorts auf eine Zunahme des Langsamverkehrs zurückgeführt. Ausserorts resultiert dies wahrscheinlich

vor allem aus der Zunahme des Verkehrs mit motorisierten Zweirädern bei warmen Temperaturen.

Regen

Regenereignisse wurden im Rahmen der Modellierung vorrangig mit einem Rückgang der Unfallzahlen (negative Regressionskoeffizienten) assoziiert. Ausnahme davon bilden Unfälle auf Strassen mit einem Tempolimit von mehr als 80km/h, Unfälle bei Nacht, das Unfallgeschehen in den Wintermonaten (Hinweis auf überfrierende Nässe) sowie Unfälle mit schwerem Personenschaden und Fussgängerbeteiligung oder Beteiligung von Motorrädern. Für diese Kollektive wird eine Zunahme der Unfallhäufigkeit bei Regenereignissen nachgewiesen. Diese Ergebnisse sind weniger eindeutig als der Grossteil der Aussagen in der Literatur aber (grösstenteils) im Einklang mit den Resultaten der vorhergehenden Kapitel bzw. Analysemethoden in dieser Untersuchung. Hierfür gibt es verschiedene mögliche Erklärungen:

- Das gesamtschweizerische Unfallgeschehen mit Personenschaden wird zu zwei Dritteln dominiert durch Unfälle auf Innerortsstrassen. In der Literatur finden sich Hinweise, dass Regen vorrangig einen Einfluss auf das Ausserortsunfallgeschehen auf Strassen mit höheren Geschwindigkeiten besitzt. Dies wird durch den positiven Regressionskoeffizienten für Regen auf Strassen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von ≥ 80 km/h in der vorliegenden Analyse unterstützt. In [8] wurde wie hier ebenfalls ein negativer Zusammenhang zwischen Regenereignissen und dem innerörtlichen Unfallgeschehen gefunden.
- Ein negativer Regressionskoeffizient bedeutet nicht zwangsläufig, dass bei Regen ein geringeres Risiko herrscht, am Strassenverkehr teilzunehmen. Es kann auch sein, dass Anpassungen im Mobilitäts- und Fahrverhalten ein höheres Risiko durch Regenereignisse (über-)kompensieren. Aus [38] ist bekannt, dass rund 6% der Verkehrsteilnehmerinnen und Verkehrsteilnehmer sich aufgrund der Witterung (angenommen, schlechte Witterung lässt auf Niederschlag schliessen) für den MIV entscheiden. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf eine Verlagerung vom Langsamverkehr zum MIV. Berücksichtigt man, dass schwere Unfälle mit Fussgängerbeteiligung einen positiven Zusammenhang mit Regenereignissen aufweisen, könnte die Verlagerung vom (bei Regen unsicheren) Fussgängerverkehr hin zum MIV ein Grund für die meist negativen Zusammenhänge mit dem Regen sein.
- In der Literatur wurden Rückgänge in den Verkehrsstärken des MIV (häufig bezogen auf einen Tag) von 1–5 % bei Niederschlagsereignissen festgestellt. Geht man von einem linearen Zusammenhang mit der Unfallhäufigkeit aus (was häufig allerdings nicht zutrifft), ist dies gleichbedeutend mit einem Rückgang der Unfälle um den gleichen Prozentbetrag. Diesen Effekt müsste man nun auf die Regressionskoeffizienten aufaddieren (z. B. +0,05), um einen Regeneffekt zu erhalten, welcher (zumindest) bereinigt um Anpassungen des Mobilitätsverhaltens ist (aber: keine Berücksichtigung der Anpassungen im Fahrverhalten). Dies könnte unter Umständen dazu führen, dass bei den Unfallkollektiven, welche aktuell keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Regen aufweisen, sich ein positiver Zusammenhang und damit ein höheres Risiko bei Regenereignissen im Strassenverkehr ergeben.
- Es fällt auf, dass bei vielen Unfallkollektiven ein negativer Zusammenhang mit Regenereignissen für Unfälle mit schwerem Personenschaden, aber kein signifikanter Zusammenhang für die Unfälle mit leichtem Personenschaden auftritt. Dies kann als ein Hinweis auf eine Verschiebung der Unfälle zwischen den Unfallschwerekategorien interpretiert werden bzw. als ein Rückgang der Unfallschwere bei Regenereignissen. Der Effekt einer stärkeren Auswirkung von Regenereignissen auf leichte Unfälle wird vermehrt auch in der Literatur festgestellt. Es wäre denkbar, dass auch eine Verschiebung hin zu den Unfällen mit ausschliesslich Sachschaden stattfindet und gegebenenfalls in der Summe aller Unfälle kein Rückgang sondern eine Zunahme bei Regenereignissen stattfindet. Dies kann hier aber aufgrund der unterschiedlichen Erhebungspraktiken für diese Unfallschwerekategorien in den Kantonen (siehe Bericht zur Datenqualität) nicht näher untersucht werden.

Unabhängig davon, ob nun das tatsächliche Regenrisiko für die Teilnahme am Strassenverkehr bestimmt werden kann oder nicht, ist für die Praxis (beispielsweise für die Auswertung von Unfallentwicklungen oder besonderer Massnahmen bei Regenereignissen) relevant, in welchem Masse die Unfallbilanz reagiert. Gehen bei Regenereignissen die Unfallzahlen zurück, ist zumindest kein dringender Handlungsbedarf gegeben, auch wenn bei entsprechenden Massnahmen allenfalls noch mehr Unfälle vermieden werden könnten.

Werden kategoriale statt stetige Kenngrössen zur Beschreibung der Regenintensität in der Analyse verwendet, wird deutlich, dass sich der Einfluss eines Regenereignisses mitzunehmender Intensität verstärkt. Dies geschieht in beiden Richtungen. Wird aufgrund von Regen ein Rückgang der Unfallhäufigkeit nachgewiesen, so ist dieser besonders stark ausgeprägt bei intensiven Regenereignissen. Wird aufgrund von Regen eine Zunahme der Unfallhäufigkeit festgestellt, so kann dieser teilweise erst bei einer hohen Regenintensität nachgewiesen werden. Es gilt hier zu berücksichtigen, dass aufgrund der Mittelung über eine Region, eine hohe Regenintensität auch ein eher flächendeckendes als ein lokal begrenztes Regenereignis beschreibt (Folge: mehr Verkehrsteilnehmer betroffen).

Schneefall

Schneefall führt tendenziell zu mehr Unfällen, insbesondere zu solchen mit leichtem Personenschaden. Auch für dieses Wetterereignis kann nicht abschliessend geklärt werden, ob dieses ein höheres Risiko für die Verkehrsteilnehmer bei Schneefall bedeutet oder ob es die Folge eines vermehrten Freizeitverkehrs in den alpinen Regionen (z. B. zum Zweck des Ski-(Tages)Tourismus) ist.

Auffällig ist, dass der Zusammenhang einer Art U-Funktion folgt. Ein erhöhtes Risiko wird vor allem bei geringen und hohen Schneefallintensitäten festgestellt (siehe klassierte Wetterkenngrössen). Bei Schnee-Niederschlag von 0,5 bis 1 mm pro Tag wird kein Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen festgestellt.

Unfälle auf Ausserortsstrassen und einem hohem Tempolimit, Schleuder-/Selbstunfälle sowie Frontalkollisionen aber auch Unfällen an Knoten und in Kurven sind in besonderem Masse von Schneefällen betroffen (Zunahme der Unfallzahlen).

Da Unfälle mit schwerem Personenschaden in den meisten Fällen nicht auf den Schneefall reagieren, wird als Folge einer Fahrverhaltensanpassung bei Schneefall interpretiert. Geringere Geschwindigkeiten wirken sich vor allem auf einen Rückgang der Unfallschwere aus.

Schneehöhe

Die Ergebnisse zur Schneehöhe sind mit Vorsicht zu interpretieren, aufgrund der starken Korrelationen mit der Temperatur. Die Schneehöhe wurde auch nur dann ins Modell aufgenommen, wenn der Schneefall keine signifikanten Ergebnisse aufwies. Die negativen Korrelationskoeffizienten bei den schweren Unfällen werden vor allem als eine Folge der Geschwindigkeitsanpassungen interpretiert. Eine geschlossene Schneedecke ist für die Verkehrsteilnehmer gut wahrnehmbar und im Gegensatz zum „plötzlichen“ Schneefall, werden die Verkehrsteilnehmer auch nicht durch dieses Wetterereignis überrascht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich die Ergebnisse der multikriteriellen Unfallmodelle in die vorhergehenden Resultate einfügen bzw. den dort angedeuteten Trend fortführen.

5.3 Sonnenblendung

5.3.1 Abschnittbezogenes Blendungspotenzial

In Abb. 14 ist beispielhaft für eine Region der Schweiz das strassenabschnittsbezogene Blendungspotenzial dargestellt. Es ist gut sichtbar, dass hauptsächlich Ost-West-ausgerichtete Strassenachsen übers Jahr gesehen hohe Blendungsanteile erzielen. Dieser Datensatz lässt sich beispielsweise in der operativen Praxis des Sicherheitsmanagements zur Visualisierung von potenziellen Risikobereichen der Sonnenblendung verwenden.

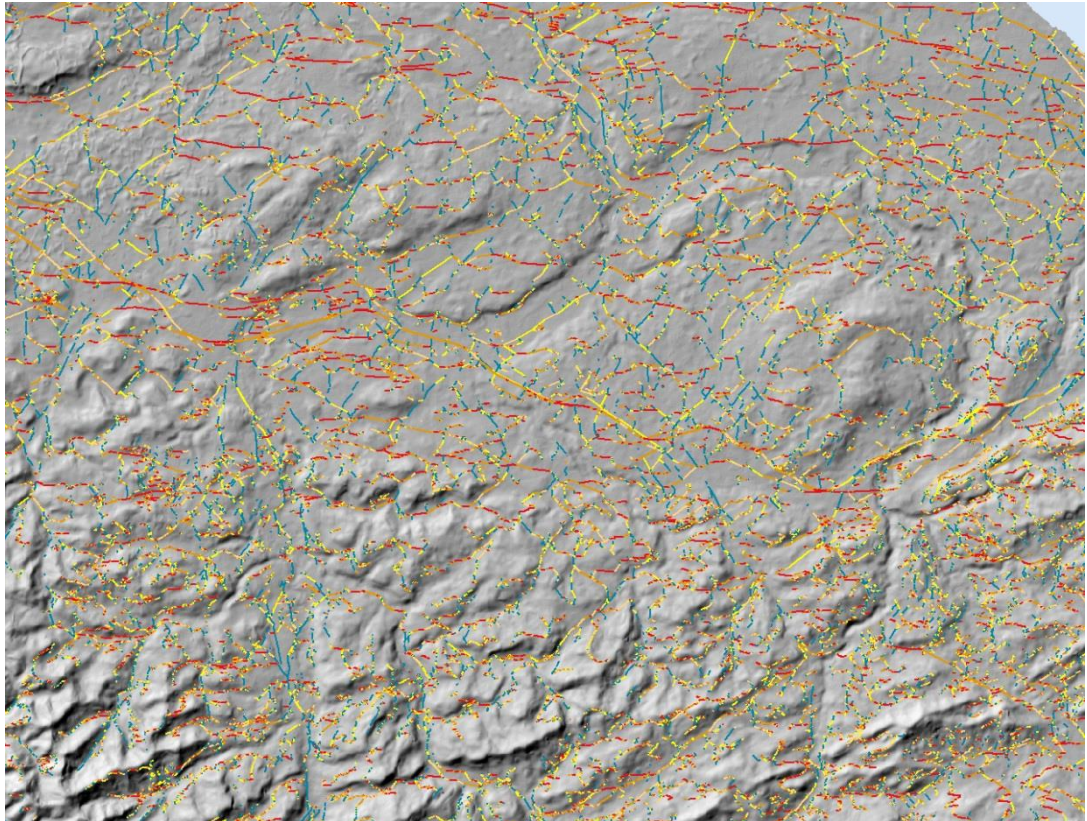


Abb. 14 Sonnenblendungsanteil im Gebiet Wil–Gossau SG–St. Gallen: Ein hoher Anteil von Blendungsereignissen ist rot, ein tiefer blau dargestellt.

Anhand der mit dem Sonnenstand bewerteten Unfalldaten wurde eine Dichtekarte erstellt, exemplarisch für den Kanton Zürich. Von dieser Dichtebetrachtung wurden manuell noch die grösseren Tunnels ausgeschlossen (bei Tunneleingängen wurde noch ein gewisser Toleranzbereich eingeräumt). Unfälle, für die Blendung wahrscheinlich ist, wurden in der Dichteanalyse doppelt gewichtet gegenüber jenen, wo Blendung „nur“ möglich ist.

Eine Variante dieser Darstellung findet sich in Abb. 15. Auch in dieser kleinen Darstellung sind Hotspots mit relativ vielen Unfällen mit möglichem Sonneneinfluss deutlich ersichtlich. Viele davon befinden sich auf Autobahnen mit Ost-West- oder Nordwest-Südost-Verlauf, aber auch auf Kantonsstrassen zum Beispiel im Zürcher Oberland oder im Reppischtal. Die Autobahnen und Kantonsstrassen unterscheiden sich wie oben beschrieben in der Analyse: Bei Autobahnen ist die Fahrtrichtung bekannt und die relative Dichte von Unfällen mit möglichem Sonneneinfluss wird nicht dadurch gemindert, dass beide Richtungen einer Strasse betrachtet werden. Auf Kantonsstrassen wird ein Unfallereignis im Gegensatz dazu in zwei Richtungen untersucht und die Chance, einen Sonneneinfluss zu finden, ist dadurch zumindest theoretisch erhöht. Diese beiden Effekte wirken einander aber entgegen.

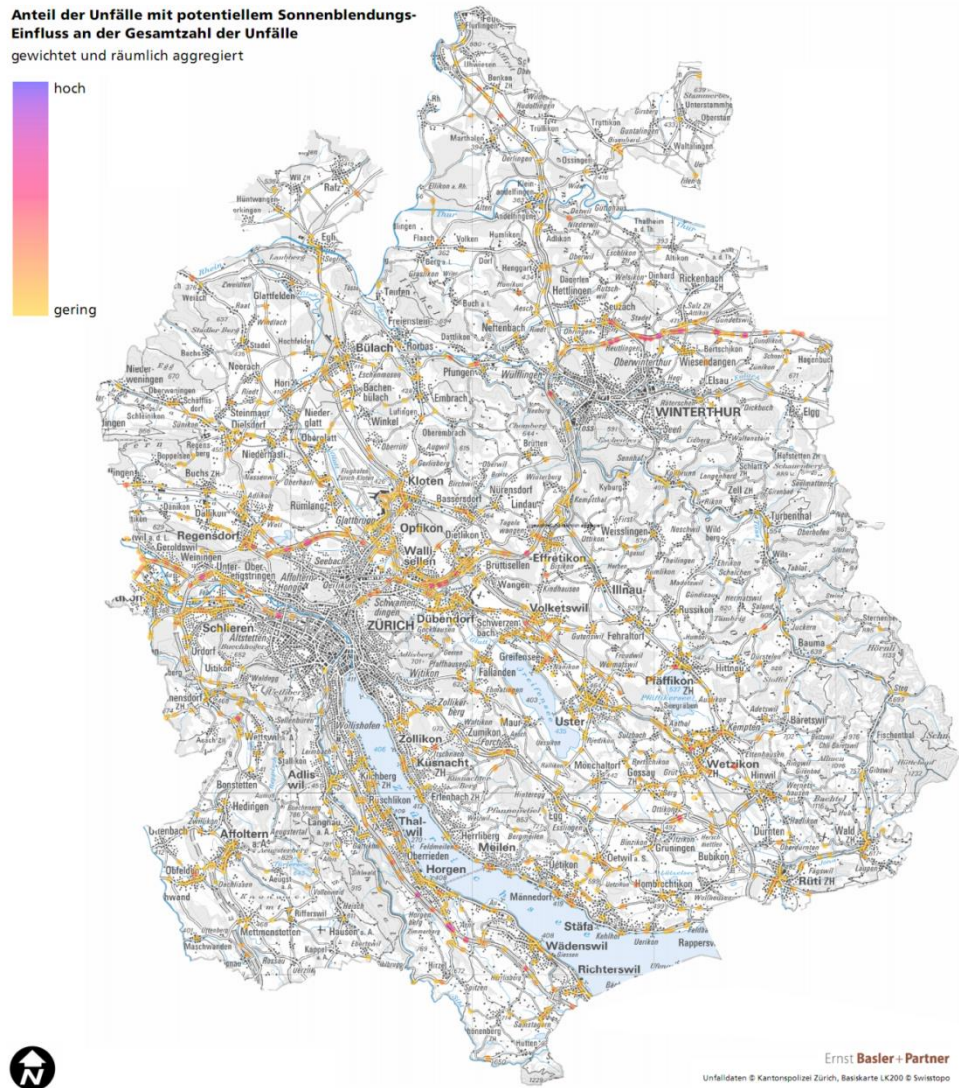


Abb.15 Relative Dichte von Unfällen mit möglichem Sonnenblende-Einfluss.

5.3.2 Zeitbereichsbezogenes Blendungspotenzial

Im ersten Schritt wurden Korrelationen zwischen den Wetterkenngrössen berechnet (siehe Abb.24 im Anhang). Hier zeigen sich erwartungsgemäss sehr starke Abhängigkeiten zwischen der Kenngrösse zur Beschreibung der Sonnenblende **SBIWB** und den Kenngrössen der Niederschlagsintensität sowie der Wolkenbedeckung. Dies beschreibt den Zustand, dass Sonnenblende vor allem dann auftritt, wenn kein Niederschlag fällt. Für die Modellierung stellt dies ein Problem dar. Potenzielle Effekte, welche aus der Sonnenblende resultieren, könnten durch Effekte des Niederschlags bzw. dessen Ausbleiben konfundiert werden. Um diese Problematik möglichst auszuschliessen, werden nur Zeitbereiche ohne Niederschlag ($<0,1$ mm/h) auf Effekte der Sonnenblende hin analysiert.

Die Ergebnisse der Unfallanalyse sind in der Tab.6 dargestellt. Es zeigt sich kein einheitliches Ergebnis. Es wurden in Kapitel 5.3.2 zwei Hypothesen aufgestellt, wonach die Sonnenblende sich stärker auf Ausserortsstrassen und an Knoten auf das Unfallgeschehen auswirkt als das Innerorts und auf der freien Strecke der Fall ist. Die erste Hypothese kann nicht bestätigt werden, da sich ein Zusammenhang zwischen Sonnenblende (korrigiert um Wolkenbedeckung SBIWB) und Unfallgeschehen nur für Innerortsstrassen nachweisen lässt. Die zweite Hypothese kann bestätigt werden, da sich nur für das Unfallgeschehen an Knoten ein Zusammenhang mit der Sonnenblende

nachweisen lässt. In allen Fällen führt eine erhöhte (potenzielle) Sonnenblendung zu mehr Unfällen. Die Höhe des Regressionskoeffizienten kann nur bedingt interpretiert werden, da die untersuchte Kenngrösse SBIWB eine Kombination aus Sonnenblendung und Wolkenbedeckung (bzw. deren Kehrwert) ist.

Tab.6 Ergebnisse der Unfall-Sonnenblendung-Modelle

		Regressionskoeffizienten (Unfälle pro 4h)							
		ausserorts		innerorts		Knoten		Strecke	
ohne Zeitbereiche mit Niederschlag >0,1mm/h		$U_{(G+SV+LV)}$	$U_{(SS)}$	$U_{(G+SV+LV)}$	$U_{(SS)}$	$U_{(G+SV+LV)}$	$U_{(SS)}$	$U_{(G+SV+LV)}$	$U_{(SS)}$
Anzahl Unfälle		400	1.400	1.154	3.083	721	1.406	833	3.077
Anzahl 4h-Zeiträume		722	722	722	722	722	722	722	722
Sonnenblendung	SBIWB [-]	n.s.	n.s.	0,005 **	0,003 *	0,009 ***	0,004 *	n.s.	n.s.
Temperatur	>4°C $sumT$ [°C/d]	n.s.	n.s.	0,029 ***	n.s.	n.s.	n.s.	0,029 **	n.s.
	<1°C $winT$ [°C/d]	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
fixed effects	Morgen/Abend	x	x	x	x	x	x	x	x
	Monat	x	x	x	x	x	x	x	x
	Freitag	x	x	x	x	x	x	x	x
	Wochenende	x	x	x	x	x	x	x	x

*** p < 0,001 / ** p < 0,01 / * p < 0,05 / n.s. nicht signifikant

5.4 Anpassung Mobilitätsverhalten

Es wird darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse nur einen Hinweisscharakter besitzen und nicht den Anspruch erheben, repräsentativ zu sein. Grund hierfür ist einerseits die geringe Anzahl an Zählstellen und andererseits die weniger strenge Überprüfung der Modellierung (z. B. Zielvariable nur bedingt normalverteilt).

Unabhängig davon sollen aber vermutete Wechselwirkungen zwischen Wetter und Verkehrsaufkommen des motorisierten Verkehrs untersucht werden. Hieraus lassen sich unter Umständen Hinweise für eine bessere Interpretation der Unfallmodelle ableiten. Aus den bisherigen Modellen wurde die Vermutung bzw. Hypothese aufgestellt, dass sich – vor allem Regenereignisse – unterschiedlich auf das Verkehrsaufkommen auf Autobahnen ($v_{zul} > 80$ km/h), Ausserorts- und Innerortsstrassen auswirken. Weiterhin wird vermutet, dass ausserhalb der Autobahn bei Regenereignissen ein (stärkerer) Rückgang im Verkehrsaufkommen der motorisierten Fahrzeuge stattfindet.

Die Ergebnisse der Analyse auf Basis der Zählstellendaten sind in Tab.7 dargestellt. Es wurden insgesamt sechs Modelle für die beiden Zeitbereiche Montag bis Donnerstag und Freitag bis Sonntag sowie die drei oben erwähnten Strassentypen überprüft.

Tab.7 Ergebnisse der Verkehrsmengen-Wetter-Modelle

		Regressionskoeffizienten (tägliche Verkehrsmengen Fz - standardisiert)					
		Montag - Donnerstag			Freitag - Sonntag		
		AB	aO	iO	AB	aO	iO
Bandbreite q [Fz/d]		20.480 - 141.600	2.240 - 5.670	6.894 - 27.690	20.180 - 145.800	2.146 - 5.891	7.526 - 27.600
Anzahl Tage		627	418	627	471	314	471
Temperatur	>4°C $sumT$ [°C/d]		0,029 *	-0,012 .	0,008 *	0,074 ***	
	<1°C $winT$ [°C/d]				0,017 **		
Regen	$avgNS$ [mm/d]		-0,268 .	-0,238 *		-0,412 **	
Schneefall	$avgSN$ [mm/d]	-0,316 *	-1,111 *	1,330 *			
fixed effects	ZST	x	x	x	x	x	x
	Monat	x	x	x	x	x	x
	Freitag				x	x	x

*** p < 0,001 / ** p < 0,01 / * p < 0,05 / . p < 0,10 / n.s. p > 0,10

Zumindest für den Verkehr im Zeitbereich Montag bis Donnerstag kann die Hypothese bestätigt werden. Im Gegensatz zur Autobahn lässt sich auf Ausserorts- und Innerortsstrassen bei Regenereignissen ein signifikanter Rückgang in den Verkehrsmengen feststellen (nur für Innerortsstrassen auf 5% Niveau signifikant). Interessanterweise ist dies für den stärker durch den Freizeitverkehr beeinflussten Zeitbereich von Freitag bis Sonntag nur für Ausserortsstrassen nachzuweisen.

Weiterhin lassen sich Rückgänge in den Verkehrsmengen bei Schneefall im Zeitbereich von Montag bis Donnerstag nachweisen. Im Gegensatz dazu wird aber Innerorts ein gegenteiliger Effekt nachgewiesen, bei Schneefall steigt das Verkehrsaufkommen des motorisierten Verkehrs.

Auf die Temperatur an warmen Tagen reagiert vor allem der Verkehr auf Ausserortsstrassen. In beiden Zeitbereichen lässt sich ein Anstieg des Verkehrs bei höheren Temperaturen nachweisen.

6 Erkenntnisse und Diskussion

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Erkenntnisse zum Wettereinfluss auf das Unfallgeschehen besitzen eine Relevanz für verschiedene Bereiche der Verkehrsplanung und des Verkehrsmanagements, des Sicherheitsmanagements der Strasseninfrastruktur sowie der Analyse der Unfallstatistik. Denn unter Kenntnis des Einflusses von einzelnen Wetterereignissen auf das Unfallgeschehen können gezielt Gegenmassnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und zur Sicherstellung der Mobilität eingeleitet werden. Risikomodelle zur Abschätzung des Wettereinflusses erlauben anhand von Parameterstudien die Identifikation effizienter Massnahmen. Auch wenn kein isolierter Wettereinfluss (ohne Kompensationseffekte) ermittelt werden konnte, können die resultierenden Veränderungen im Unfallgeschehen bei bestimmten Wetterereignissen in Praxis und Forschung genutzt werden. Die Erkenntnisse können zudem unterstützend anhand funktioneller Zusammenhänge in Unfallprädiktionsmodelle implementiert werden.

Zuverlässigkeit der Witterungsangaben im Unfallprotokoll

Die Untersuchungen zeigen grundsätzlich, dass die Witterungsangaben im Unfallprotokoll einen hohen Deckungsgrad mit den Modelldaten der MeteoSchweiz aufweisen. Aufgrund von Modell- und Datenunschärfen sind diese Korrelationen jedoch nicht so eindeutig, wie man es erwarten könnte. Trotzdem ist für die statistischen Analysen über eine grössere Stichprobenmenge die Verknüpfung der Wettermodelldaten mit den Unfalldaten unerlässlich. Dies haben die starken Abweichungen (Unterschätzung) der rein unfallbasierten Untersuchung des Wettereinflusses gezeigt.

Einfluss der Lufttemperatur auf das Unfallgeschehen

Die Lufttemperatur hat nachweislich einen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen. Mit steigenden Temperaturen (an sommerlichen Tagen, d.h. Durchschnittstemperaturen oberhalb von 8°C) nimmt die Unfallohfigkeit zu. Das betrifft sowohl Innerorts- wie auch Ausserortsstrassen. Auffällige Zunahmen sind insbesondere für Unfälle mit Personenschäden im Langsamverkehr zu verzeichnen. Bei Unfällen mit Fussgängerbeteiligung betrifft dies die Unfälle mit leichten Personenschäden, bei Unfällen mit Radfahrbeteiligung steigen auch die schweren Personenschäden stark an. Ein Anstieg resultiert auch bei Unfällen mit motorisierten Zweirädern, vor allem für solche mit leichten Personenschäden. Aus Grundlage der Literatúrauswertungen kann die Vermutung abgeleitet werden, dass die Zunahmen auf das erhöhte Mobilitätsverhalten und hierbei insbesondere den Freizeitverkehr an warmen Tagen und bei gutem Wetter zurückgeführt werden können. Zudem ist ein temperaturbedingter Anstieg der Unfälle mit schweren Nutzfahrzeugen festzustellen. Eine mögliche Erklärung sind die negativen Auswirkungen des Wär-mestresses, dem Berufskraftfahrer in besonderem Masse ausgesetzt sind.

Einfluss von Regen auf das Unfallgeschehen

Regen ist im Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen im Strassenverkehr eine wichtige Witterungs-Einflussgrösse und wird in der Literatur mit einem signifikanten Anstieg der Unfallzahlen in Verbindung gebracht. Dieser beruht auf der Verschlechterung der Sicht bei Regenereignissen und einer Verringerung des Kraftschlusses zwischen Rad und Fahrbahn.

Dieser Anstieg konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung mit der gewählten Modellierung jedoch nur für einzelne Unfallkollektive bestätigt werden. Es wurden bezogen auf die Unfälle mit schwerem Personenschaden eine Abnahme der Unfälle von bis zu 19% bei Regenereignissen ermittelt. Zunahmen wurden nur bei Strassen mit hohen Geschwindigkeiten mit Tempolimit von über 80 km/h sowie auf allen Strassen in

der Dämmerung und bei Nacht, bei Unfällen in den Wintermonaten sowie bei schweren Unfällen mit Beteiligung von Fussgängern oder Motorrädern festgestellt.

Die Ergebnisse erscheinen auf den ersten Blick im Gegensatz zu den Aussagen der Literatur zu stehen. Bei genauer Betrachtung finden sich aber viele Gemeinsamkeiten. Der dokumentierte erhöhte Einfluss von Regenereignissen auf das Unfallgeschehen auf „schnelleren“ Strassen ausserorts sowie bei Nacht aber auch die Verlagerung zu leichteren Unfallschwerekategorien wird durch die vorliegenden Ergebnisse voll bestätigt. Die hier nicht mögliche Analyse von Unfällen mit ausschliesslich Sachschaden hätte unter Umständen diese Aussage noch bekräftigt. Weiterhin gilt es strukturelle Unterschiede zwischen den Ländern, welche die Untersuchungen der Literatur dominieren (wie USA, Kanada, skandinavische Länder) sowie der Schweiz zu berücksichtigen. Im Gegensatz zur Schweiz weisen diese Länder stark MIV-geprägte Strassennetze auf (z. B. grosse Weiten, hoher Anteil Ausserortsstrassen). Kompensationen durch ein angepasstes Mobilitätsverhalten sind in der Schweiz wesentlich einfacher realisierbar und attraktiver aufgrund des ÖV-Angebots, kurzer Wegelängen sowie einem erhöhten Anteil des Freizeitverkehrs. Anhand einer stichprobenhaften Analyse konnte diese Vermutung zumindest ansatzweise bestätigt werden. Generell war eine Überprüfung von Kompensationseffekten auch im Fahrverhalten (z. B. geringere Geschwindigkeiten) nicht möglich, sind aber sehr wahrscheinlich.

Einfluss von Schnee auf das Unfallgeschehen

Schneefall führt generell zu einem Anstieg des Unfallrisikos, insbesondere hinsichtlich Unfälle mit leichtem Personenschäden. Dagegen lässt sich für Unfälle mit schweren Personenschäden kein Einfluss von Schneefall ermitteln. Das Ergebnis kann mit einer Anpassung des Fahrverhaltens resp. der Fahrgeschwindigkeiten an die Witterungsbedingungen interpretiert werden.

Das erhöhte Risiko lässt sich insbesondere bei geringen und hohen Schneefallintensitäten feststellen. Bei einer mittleren Niederschlagsmenge zwischen 0.5 und 1 mm lässt kein signifikanter Zusammenhang zwischen Witterung und Unfällen erkennen. Besonders betroffen von Schneeunfällen sind Ausserortstrassen mit Tempolimit von 80 km/h und höher sowie Knoten und Kurvenbereiche. Die Risiken von Frontalkollisionen und Schleuder-/Selbstunfällen steigen bei Schnee an.

Im Vergleich zu den Ergebnissen bei Regenereignissen werden bei Schneefall andere Mobilitätseffekte vermutet. Bei Schneefall wird eher ein Anstieg bestimmter Freizeitverkehre vermutet (Skifahren in den Bergen), welche gegebenenfalls anders gerichtete Mobilitätseffekte (Abbruch oder zeitlicher Verlagerung von Wegeaktivitäten) ihrerseits kompensieren.

Einfluss der Sonnenblendung auf das Unfallgeschehen

Das unfallbeeinflussende Potential von Sonnenblendungen ist nur unter bestimmten Bedingungen nachweisbar, es kann aktuell keine abschliessende Bewertung getroffen werden. Es wurden aber erste signifikante Zusammenhänge zwischen einer erhöhten potenziellen Sonnenblendung und den Unfällen auf Innerortsstrassen sowie an Knoten nachgewiesen.

Einfluss des Wetters auf das Mobilitätsverhalten

Das Mobilitätsverhalten wird durch Wetterereignisse beeinflusst: Auf Ausserorts- und Innerortsstrassen (ohne Autobahnen) lässt sich bei Regenereignissen ein Rückgang des motorisierten Individualverkehr feststellen. Rückgänge in den Verkehrsmengen lassen sich auch bei Schneefall Ausserorts nachweisen, auf Innerortsstrassen zeigt sich ein gegenteiliger Effekt. Steigende Temperaturen an warmen Tagen führen zu mehr Verkehr auf Ausserortsstrassen, auf Innerortsstrassen zeigt sich während der Woche (Mo-Do) ein gegenteiliger Effekt.

Mit Bezug auf die am Anfang aufgestellten Hypothesen sind die Ergebnisse nochmals in einer Übersicht in *Tab.8* zusammengefasst. Alle dort nicht aufgeführten Hypothesen wurden u. a. aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten nicht überprüft.

Tab.8 Überprüfte Hypothesen

Nr	Kategorie	Hypothese	Bestätigung		Einschränkung / Konkretisierung
			ja	nein	
1	Temperatur	Mehr Unfälle bei steigenden Temperaturen	X		nur für Temperaturen oberhalb von 8°C
2		Auffälligkeit erhöhter Unfallzahlen bei sehr hohen Temp. (z. B. > 25°C)	(x)		wahrscheinlich aber nicht direkt nachgewiesen
4		Unterschiede im Temperatureinfluss abhängig von Ortslage, Strassentyp und Netzbereich		(x)	nur sehr leichte Unterschiede hinsichtlich Ortslage und Netzbereich
5	Regen	Mehr Unfälle bei Regenereignissen	(x)		nur bzw. vorrangig bei Nacht, vzu>80km/h und im Winter
6		Regenereignisse führen vor allem im Winter zu mehr Unfällen.	X		
7		Auch Regenintensität besitzt Einfluss auf das Unfallgeschehen	X		
8		Zunahme Unfälle bei Regen vor allem auf Strassen mit hohen Geschwindigkeiten	X		
9		Regeneinfluss ist in den Abendstunden und Nachts am grössten	X		
10		Regen führt zu einer geringeren Unfallschwere.	(x)		Ausnahme: deskriptive Analyse zeigt Zunahme der Unfallschwere bei Regen auf Autobahnen
11		Der Regeneinfluss ist bei nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmern schwächer ausgeprägt.		(x)	vereinzelt konnte ein Anstieg der Unfallhäufigkeit für U _(G+SV) mit Fussgängern nachgewiesen werden
12		nach Unfallzunahme bei normalen Regen folgt Unfallrückgang bei schweren Regenereignissen	(x)	(x)	starke Rückgänge als auch starke Zunahmen der Unfälle bei starken Regenereignissen
16		Regeneinfluss im Herbst am stärksten und im Frühling am geringsten ausgeprägt		X	erhöhte Unfallhäufigkeit bei Regen im Winter; stärkster Rückgang der Unfallhäufigkeit im Frühling
17		Regen führt zu einem Rückgang des Verkehrsaufkommens	(x)		stichprobenhafter Nachweis nur für Innerorts- und Ausserortsstrassen (ohne Autobahnen) möglich
18	Schneefall und Eis	Mehr Unfälle bei Schneefall	X		
19		Schneefall führt zu einer geringeren Unfallschwere	X		
22		Überfrierende Nässe, vereisender Regen, Schneereggen und Nebelregen führen zu mehr Unfällen	(x)		Vermutung liegt aufgrund von unfallerhöhenden Regenereignissen im Winter nahe
30	Sonnenblendung	Erhöhte potenzielle Sonnenblendung führt zu mehr Unfällen.	(x)		

6.2 Schlussfolgerungen für die Praxis

Anhand der Resultate aus Kapitel 5 lassen sich für erhöhte Lufttemperatur, Regen bei Nacht und Sonnenblendung folgende Erkenntnisse für die Praxis ziehen:

Lufttemperatur

Die Zunahme der Unfallhäufigkeit bei hohen Lufttemperaturen gilt es bei verschiedenen Bewertungen, Interpretationen und Prognosen zu berücksichtigen:

- Die Quantifizierung des Einflusses der Lufttemperatur auf das Unfallgeschehen ermöglicht eine verbesserte Interpretation von Entwicklungen im Unfallgeschehen (z. B. Trends in der jährlichen Unfallstatistik). Vermeintliche Verbesserungen in der bundesweiten Unfallstatistik können u. U. auf tendenziell kältere Temperaturen im Sommer des betrachteten Jahres zurückgeführt werden. Eine Bereinigung der Unfallentwicklung um diesen Wittereinfluss wäre hier denkbar.

- Auswirkungen zukünftiger Veränderungen des Klimas (z. B. Anstieg der Durchschnittstemperatur) könnten hinsichtlich ihres Einflusses auf das Unfallgeschehen bewertet werden.
- Dem erhöhten Einfluss der Lufttemperatur auf Berufskraftfahrer im Schwerverkehr könnte durch Vorgaben zur Installation von Klimaanlage oder Beschränkungen der Lenkzeiten bei höheren Temperaturen begegnet werden.

Regen bei Nacht und auf Hochleistungsstrassen

Mit dem Rückgang der Unfallzahlen bei Regen scheint kein vordringlicher Handlungsbedarf gegeben, da die Verkehrsteilnehmer in den meisten Fällen dies durch angepasste Verhaltensweisen kompensieren.

Ausnahmen sind aber das Unfallgeschehen auf Strassen mit Tempolimits über 80 km/h, sowie bei den Unfällen in der Dämmerung und in der Nacht. Für diese Kollektive wurde ein erhöhtes Risiko bei Regenereignissen festgestellt. Denkbar sind in diesem Zusammenhang angepasste bzw. reduzierte Tempolimits wie sie bspw. in Frankreich bei Regenereignissen vorgeschrieben sind. Für eine endgültige Bewertung solcher Massnahmen bedarf es aber einer Abwägung des Nutzen durch vermiedene Unfälle sowie der volkswirtschaftlichen Kosten durch z. B. verlängerte Reisezeiten. Der erhöhten Unfallhäufigkeit bei Regenereignissen bei Nacht kann u. U. durch bessere Beleuchtungsausstattung an Fahrzeugen begegnet werden, dies müsste aber nochmals unter Berücksichtigung der Daten zur Fahrzeugtechnik überprüft werden.

Geringe und hohe Schneefallintensitäten

Für die erhöhten Unfallhäufigkeiten bei Schneefall kommen grundsätzlich ähnliche Massnahmen wie bei Regenereignissen in Frage. Zusätzlich können Anreize geschaffen werden, auf den ÖV umzusteigen, um bspw. in die Berge zum Skifahren zu gelangen. Hier müssten aber die auch erhöhten Häufigkeiten im Fussgängerunfallgeschehen im Detail analysiert werden, da diese auch im Zusammenhang mit der ÖV-Nutzung stehen. Bei Schneefall sind insbesondere Kurven betroffen, was ggf. durch zusätzliche passive Schutzeinrichtungen in besonders betroffenen Netzbereichen abgefedert werden könnte.

Sonnenblendung

Das im Zuge der Forschung weiterentwickelte Sonnenblendungstool und der zugehörigen Hotspotkarte kann ggf. im operativen Sicherheitsmanagement unterstützend eingesetzt werden. Als Indikative Hilfe kann jeder Unfall hinsichtlich einer möglichen Sonnenblendung getestet werden. Eine Prüfung vor Ort ist jedoch weiterhin unerlässlich.

Mit der Karte für das Sonnenblendungspotenzial können bei Auffälligkeiten an einem bestimmten Verkehrsknoten oder Abschnitt geprüft werden, ob eine Sonnenblendung dafür verantwortlich sein könnte.

7 Weiterer Forschungsbedarf

7.1 Forschungsbedarf für Phase 2 des Forschungspakets

In der Phase 2 des aktuellen Forschungspakets sollen die in den einzelnen Teilpaketen gewonnenen Ergebnisse und Daten miteinander verknüpft werden. Dazu stehen aufgrund der vorliegenden Arbeiten den anderen Teilpaketen die Witterungsinformationen zu den Unfällen zur Verfügung. Diese können Grundlage für weitere Arbeiten in Zusammenhang mit Wetterinformationen sein.

TP1 Mensch und Gesellschaft

Kompensationsverhalten spielen vermutlich eine wesentliche Rolle beim Einfluss von Temperaturen, Regen und Schneefall auf das Unfallgeschehen. Hier bedarf es einer detaillierteren Analyse von Hintergründen aber auch Auffälligkeiten in bestimmten Personengruppen:

- Können weitere die Hinweise aus dem Mikrozensus 2010 abgeleitet werden, welche als Indizien oder auch Nachweise eines veränderten Mobilitätsverhaltens bei „schlechtem“ Wetter interpretiert werden können? Hierzu zählen auch Unterschiede von Wegeaktivitäten im Vergleich von Tag und Nacht sowie auf Hochleistungsstrassen (>80km/h) und dem restlichen Netz.
- Sind einzelne Personengruppen in besonderem Masse vom Wetter in ihrem Mobilitätsverhalten beeinflusst? Hierunter könnte bspw. die vermutete Verlagerung bzw. der Abbruch von Aktivitäten älterer Menschen bei Nacht oder schlechtem Wetter analysiert werden.

TP2 Situation und Infrastruktur

In der Analyse des Wettereinflusses ergaben sich Unterschiede zwischen verschiedenen Strassentypen. Diese wurden bisher nur auf Basis der Unfallattribute zur Infrastruktur untersucht. Der Aufbau von Unfallmodellen auf Basis von Infrastrukturparametern wäre hier z. B. für Trocken- und Nässeunfälle denkbar. Durch den Vergleich beider Modelle könnte Auffälligkeiten des Nässeunfallgeschehens abgeleitet werden.

Folgende weitere Fragestellungen sind u. a. im Zusammenhang mit der Infrastruktur von Interesse:

- Können einzelne Strassensituationen mit einer erhöhten Unfallhäufigkeit auf eine ungünstige Kombination mit bestimmten Wettersituationen zurückgeführt werden (z. B. eingeschränkte Erkennbarkeit von Markierungen an komplexen Knoten aufgrund von Schneefall/-bedeckung)?
- Ab welcher Regenintensität steigt die Unfallhäufigkeit auf Strecken mit einer (zu definierenden) ungenügenden Griffigkeit?

TP3 Fahrzeug

Es lässt sich vermuten, dass ein Zusammenhang zwischen den einzelnen Fahrzeugtypen, der Unfallschwere und Wetterverhältnissen existiert (z.B. Bremsverhalten bei Glätte, Nässe). Folgende Fragestellungen könnten hier von Interesse sein:

- Lassen bestimmte Fahrzeugtypen bzw. Ausstattungsmerkmale (z. B. ABS oder ESP) ein im Vergleich geringeres Risiko bzw. Auffälligkeit hinsichtlich des Unfallgeschehens bei bestimmten Wetterereignissen erwarten? Es wären dabei beide Tendenzen denkbar, d. h. dass sowohl weniger Unfälle aufgrund aktiver Sicherheitssysteme festzustellen sind oder dass sich mehr Unfälle aufgrund einer Überkompensation

- (subjektive Einschätzung, dass bei einem Fahrzeug mit aktiven Sicherheitssystemen auch bei widrigen Wetterbedingungen schnell gefahren werden kann) ereignen.
- Im Zusammenspiel mit TP1 und TP3 wären detailliertere Analysen zum Freizeitverkehr mit dem Motorrad denkbar. Typische Fragestellungen sind u. a.: Welche Personengruppen mit welchen Motorradtypen (z. B. Leistung) sind besonders auffällig im Freizeitverkehr bei schönem Wetter einerseits Motorradtrips zu unternehmen und andererseits dabei zu verunglücken? Es existieren Erkenntnisse, dass vor allem (Wieder-)Fahranfänger in den mittleren Jahren mit sehr schweren Maschinen bei Freizeitrrips tendenziell häufiger verunglücken.

Jedoch ist zu prüfen, ob die Stichprobengrösse hinreichend für weitere Analysen ist.

TP5: Medizinische Folgen

Die Kategorisierung der Unfallschwere als Ergebnis des TP5 ist bisher noch nicht eingehend untersucht worden. Dabei ist jedoch zu bemerken, dass gerade bei einer höheren Unfallschwere die Stichprobe (Unfälle mit schwerem Personenschaden) zu klein ist, um tiefergehende Analysen durchzuführen. Es kann u. U. hilfreich sein, dass die Daten zu medizinischen Folgen aus dem Jahr 2012 für die Phase 2 zur Verfügung stehen würden.

7.2 Weiterer Forschungsbedarf

Die hier vorliegende Untersuchung untersuchte Wetterereignisse vorrangig auf makroskopischer Ebene, dies ist bedingt durch einerseits die Modelldaten und andererseits die geringe Unfallstichprobe. Ausserdem konnten im Rahmen der vorliegenden Untersuchung einige wichtige Witterungsbedingungen nicht geprüft werden: Für Glatteis, Nebel und Wind wurden keine weiteren statistischen Auswertungen und Analysen durchgeführt, da diese Witterungsbedingungen nicht aus direkt aus den vorliegenden Daten abgeleitet werden können. Es stellt sich daher die Frage, wie diese potenziell wetterbedingten Unfallrisiken operationalisiert werden können.

Insbesondere die vergleichsweise häufig auftretenden Bedingungen Glätte (oder Glatteis) und Nebel werden mit einem erhöhten Unfallgeschehen assoziiert und werden seitens der Verkehrsteilnehmer als besonders gefährlich wahrgenommen. Solche Witterungsverhältnisse treten eher lokal begrenzt auf, wodurch die Untersuchungsstichprobe der Unfälle stark eingeschränkt wird. Ein längerer Untersuchungszeitraum mit zusätzlichem Einbezug der Unfälle mit ausschliesslich Sachschaden könnte hier hilfreich sein. Ausserdem müssten hier weitere lokale Randbedingungen wie z. B. tatsächlicher Strassenzustand, weitere lokale Umwelteinflüsse (beispielsweise Laubfall) oder manuelle Eingriffe (Beispiel Räumdienste) betrachtet werden. Der Einbezug von historischen Daten des Strassenbetriebsdienstes (z. B. Einsatzpläne, Streusalzmengen) könnte hier hilfreich sein, sofern diese auch gespeichert und für solche Analysen bereitgestellt werden könnten.

Anhänge

I	Wetterkenngrössen	67
II	Daten	71
II.1	Datenaufbereitung	71
II.1.1	Wetter.....	71
III	Variablen	74
IV	Auswertungen	75
IV.1	UAP vs. COSMO-2.....	75
IV.2	Verteilungsvergleiche.....	77
IV.3	Korrelationsmatrix	84
IV.4	Unfallmodelle	86

I Wetterkenngrossen

Tab.1 Potenzielle Kenngrössen zur Beschreibung des Wetters Teil 1

Attribut		Kenngrösse		Intervalle		Quelle	
Temperatur	Luft	Durchschnitt	[°C/Monat]			[19]	
			[°C/d]	<-20 / 0-(-20) 10-1 / >10		[3], [7], [8], [10], [13]	
				<5 / 5-10 / 10-20 / 20-30 / >30			
				<0 / 0-10 / 10-20 / >20			
			[°C/30min]	>0; <0; >25; -1 bis +1 (auch mit Niederschlag >0mm)		[15]	
		Differenz [°C/d]-[°C/Monat]				[10]	
		Echtzeit	[°C]		[14], [25]		
		Min/Max	[°C/d]		[3],[8], [10], [18]		
		Winter-kategorien	winterliche Be- dingungen	leicht	<=0 °C/d		[22]
				mässig	<= -7°C/d		
	schwer			<= -20°C/d			
	Frost 0/1		[8]				
	Tage mit Frost		[d/Monat], [0,5d/Monat]		[12]		
	Fahrbahn	Minimum	[°C/d]	>= < 0		[2]	
				>4 / 3 - 0 / (-1) – (-4) / <(-4)			
Glätte	Raureif	[°C/5-6h]	mässig	0,5-2,0 < Taupunkt		[2]	
		[°C/4-5h]	stark	>2,0 < Taupunkt			
	Eis	[°C/3-4h]	nasse Strasse → Temp. < 1 (0)				
		[°C/3h]	Temp. < 1 (0) → Niederschlag				
		vereiste FB-Oberfläche	> 0 mm Schnee, Eisregen, Graupel			[4]	
		Regen-intensität	[mm/10min]		[1]		
			[mm/15min]		[14]		
			[mm/h]		[24], [25]		
			[inch/h]	0 / 0-0,01 / 0,01-0,25 / >0,25		[7]	
			Standardabweichung der [mm/h]			[25]	
			[mm/3h]			[18]	

Tab.2 Potenzielle Kenngrössen zur Beschreibung des Wetters Teil 2

Attribut		Kenngrösse		Intervalle		Quelle	
Glätte	Nieder-schlag	Regen-intensität	[mm/6h]	0,39-2 / 2-10 / >10		[5]	
			[mm/d], [cm/d], [inch/d]		[3], [8], [10],[11], [17],[18], [23]		
			[mm/d]	0 / 0-5 / 5-10 / 10-20 / 20-40 / 40-60 / >60		[8]	
				0 / 1 / 2 / 5 / 10 / 20		[18]	
				0 / 0,1 / 1 / 5 / 10 / 20		[13], [17]	
			[cm/d]	0-0,5 / 0,5-1 / 1-2 / 2-5 / >5		[11]	
			[mm/Monat]		[12], [19]		
		Regen-kategorien	[mm/30min]	Regen	> 0		[15]
			[mm/6h]	Regen	>= 0,4	min.3h Regen beobachtet	[4]
				Stark-regen	> 5		
			[mm/h]	leichter Regen		0,5-0,9	[20]
				mässiger Regen		1,0 – 2,9	
				starker regen		>= 3,0	
			[mm/d]	trocken	< 0,1		[9]
				Regen	>= 0,1		
		Tage mit Regen			[d/Monat]		[12], [23]
		Wasser-filmdicke	[mm/h]		[14]		
		Regen-dauer	Regenereignis x*2h Trockendauer bis max. 6h		[6]		
			[h]		[10]		
		Effekt Trocken-periode	[d] seit letzten Regen	0 / 0-5 / >5		[10], [17]	
		Regen-verlauf	20min-Intervalle		[16]		
		Schnee-intensität	[mm/10min]	Schneefall-Äquivalent		[1]	
			[inch/h]	0 / <=0,05 / 0,06-0,01 / 0,11-0,5 / >0,5		[7]	
			[mm/h]	eine Stunde vor Unfall		[25]	
			Standardabweichung [mm/h]				
			[mm/6h]	0,39-2 / 2-10 / >10		[5]	
			[cm/d], [inch/d]		[3], [23]		
			[cm/d]	0-1 / 0,5 -5 / 1-10 / 2-20 / >5		[11]	
			[mm/Monat]		[12]		

Tab.3 Potenzielle Kenngrössen zur Beschreibung des Wetters Teil 3

Attribut		Kenngrösse		Intervalle			Quelle	
Glätte	Nieder-schlag	Schnee-kategorien	[mm/6h]	Schnee-fall	$\geq 0,4$	min.3h Schnee beo-bachtet	[4]	
				Starker Schnee-fall	> 2			
			[cm/d]	leichter Schnee		≥ 1	[22]	
				mittel Schnee		≥ 10		
				starker Schnee		≥ 20		
		[mm/h]	Winterlicher Niederschlag		$\geq 0,4$	[4]		
		Tage mit Schnee	[d/Monat]					[12], [23]
		Mittlere Schneetiefe	[cm]	0-5 / 0,5-10 / 1-20 / 2-50 / >5			[11], [12]	
Plötzlicher Schneefall	[?]					[12]		
Sicht	Nebel, Regen, Schnee etc.	Sichtweite	[Meilen]	1-hour average visibility			[1]	
			[Meilen]	>1 / 1-0,51 / 0,5-0,25 / $<0,25$			[7]	
			[km]				[24]	
			[?]	mittlere Sichtweite während des Unfalls			[25]	
			[m]	<100 / 100-200 / 200-300 / ...			[10]	
	Licht-verhält-nisse	Sonnen-schein-dauer	[h], [min]		[10], [12]			
			[min] zwischen 7 und 23 Uhr		[12]			
			[%], Anteil an maximal möglicher Sonnenscheindauer		[10]			
Sonnen-ble-n-dung	Ja/Nein	Sep-Febr + Anteil Sonnenscheindauer $>70\%$ + Wolkenbedeckung < 4 Oktanten					[10]	
Wind	Wind-geschwindigkeit	[km/h]	< 16 / 16-32 / >32			[7], [14]		
			>10			[21]		
		[m/s]	täglicher Durchschnitt, stündliches Maximum, Maximum einer Böe			[10], [18]		
			> 40 Böe			[21]		
		[m/s] Winter / Böe	Leicht	≥ 17		[22]		
			Mässig	≥ 25				
			Stark	≥ 32				
	Windrichtung	Entgegen der Fahrtrichtung					[7]	
Nord/Süd/West/Ost					[10], [14]			

Tab.4 Potenzielle Kenngrössen zur Beschreibung des Wetters Teil 4

Attribut		Kenngrösse		Intervalle		Quelle
sonstige	Luftdruck	Mean surface air pressure	[?]			[10], [18]
		Surface pressure anomaly	[?]			[18]
	Luftfeuchte	relative humidity	[°C/Monat]			[19]
	Wolkenbedeckung		[Oktanten]			[10], [18]
				Starke WoBe	> 6/7	[18]
	Blizzard	Schnee/Regen >=10cm/d + <0°C + Wind >= 17m/s				[22]

II Daten

II.1 Datenaufbereitung

II.1.1 Wetter

Tab.5 Variablen zur Beschreibung des Wetters inklusive Aggregationsfunktionen

Parameter	Operationalisierter Aspekt	Beschreibung	Verwendete COSMO-2-Parameter
AVG_T_2M	Temperatur	Durchschnitts-temperatur	T_2M
MAX_T_2M	Temperatur	Maximaltemperatur	T_2M
MIN_T_2M	Temperatur	Minimaltemperatur	T_2M
AVG_RELHUM_2M	Luftfeuchtigkeit	Durchschnittliche Luftfeuchtigkeit	RELHUM_2M
MAX_RELHUM_2M	Luftfeuchtigkeit	Maximale Luftfeuchtigkeit	RELHUM_2M
MIN_RELHUM_2M	Luftfeuchtigkeit	Minimale Luftfeuchtigkeit	RELHUM_2M
SUM_TOT_PREC	Niederschlag/ Starkniederschlag	Niederschlagssumme	TOT_PREC
AVG_TOT_PREC	Niederschlag/ Starkniederschlag	Durchschnittlicher Niederschlag	TOT_PREC
AVG_TOT_PREC_RW	Niederschlag/ Starkniederschlag	Durchschnittlicher Niederschlag (gewichtet nach Strassenlänge)	TOT_PREC
CELL_COUNT_TOT_PREC	Niederschlag/ Starkniederschlag	Anzahl Records mit Niederschlag(>0.1mm)	TOT_PREC
TOT_PREC_RATIO	Niederschlag/ Starkniederschlag	Anteil Records mit Niederschlag(>0.1mm)	TOT_PREC
AVG_SNOW_PERCENTAGE	Niederschlag in Form von Schnee	Durchschnittlicher Anteil Schnee am Gesamtniederschlag	SNOW_PERCENTAGE
MAX_SNOW_PERCENTAGE	Niederschlag in Form von Schnee	Maximaler Anteil Schnee am Gesamtniederschlag	SNOW_PERCENTAGE
AVG_SNOW_PERCENTAGE_RW	Niederschlag in Form von Schnee	Durchschnittlicher Anteil Schnee am Gesamtniederschlag (gewichtet nach Strassenlänge)	SNOW_PERCENTAGE
CELL_COUNT_PERC_SNOW	Niederschlag/ Starkniederschlag in Form von Schnee	Anzahl Records mit Schneefall(>0%)	SNOW_PERCENTAGE
INDEX_PERC_SNOW_25_RW	Niederschlag in Form von Schnee	Anteil Records mit Schneeanteil am Niederschlag > 25%, (gewichtet nach	SNOW_PERCENTAGE

Strassenlänge)			
AVG_H_SNOW	Potenziell schneebedeckte Strassen	Durchschnittliche Schneehöhe am Boden	H_SNOW
AVG_H_SNOW_ RW	Potenziell schneebedeckte Strassen	Durchschnittliche Schneehöhe am Boden, (gewichtet nach Strassenlänge)	H_SNOW
MAX_H_SNOW	Potenziell schneebedeckte Strassen	Maximale Schneehöhe am Boden	H_SNOW
MIN_H_SNOW	Potenziell schneebedeckte Strassen	Minimale Schneehöhe am Boden	H_SNOW
INDEX_H_SNOW_ 2cm_RW	Potenziell schneebedeckte Strassen	Anteil Records mit Schneehöhe am Boden > 2cm, (gewichtet nach Strassenlänge)	H_SNOW
INDEX_H_SNOW_ 25cm_RW	Potenziell schneebedeckte Strassen	Anteil Records mit Schneehöhe am Boden > 25cm, (gewichtet nach Strassenlänge)	H_SNOW
CELL_COUNT_ H_SNOW	Potenziell schneebedeckte Strassen	Anzahl Records mit Schneehöhe am Boden > 0cm	H_SNOW
SUM_TOT_ PREC_SNOW	Niederschlag/ Starkniederschlag in Form von Schnee	Niederschlagssumme aller Datensätze mit Schneeanteil am Niederschlag > 0%	TOT_PREC, SNOW_PER CENTAGE
SUM_TOT_ PREC_SNOW_50	Niederschlag/ Starkniederschlag in Form von Schnee	Niederschlagssumme aller Records mit Schneeanteil am Niederschlag > 50%	TOT_PREC, SNOW_PER CENTAGE
AVG_TOT_ PREC_SNOW	Niederschlag/ Starkniederschlag in Form von Schnee	Durchschnittliche Niederschlagssumme pro Stunde mit Schneeanteil am Niederschlag > 0%	TOT_PREC, SNOW_PER CENTAGE
AVG_TOT_ PREC_SNOW_50	Niederschlag/ Starkniederschlag in Form von Schnee	Durchschnittliche Niederschlagssumme pro Stunde mit Schneeanteil am Niederschlag > 50%	TOT_PREC, SNOW_PER CENTAGE
AVG_TOT_ PREC_SNOW_RW	Niederschlag/ Starkniederschlag in Form von Schnee	Durchschnittliche Niederschlagssumme pro Stunde mit Schneeanteil am Niederschlag > 0%, (gewichtet nach Strassenlänge)	TOT_PREC, SNOW_PER CENTAGE
AVG_TOT_PREC_SNO W_50_RW	Niederschlag/ Starkniederschlag in Form von Schnee	Durchschnittliche Niederschlagssumme pro Stunde mit Schneeanteil am	TOT_PREC, SNOW_PER CENTAGE

		Niederschlag > 50%, (gewichtet nach Strassenlänge)	
AVG_CLCT	Bewölkung/ bedeckter Himmel	Durchschnittliche Wolkenbedeckung total (tiefe, mittlere und hohe Wolken)	CLCT
AVG_CLCL	Bewölkung/ bedeckter Himmel	Durchschnittliche Wolkenbedeckung tiefe Wolken	CLCL
AVG_CLCM	Bewölkung/ bedeckter Himmel	Durchschnittliche Wolkenbedeckung mittlere Wolken	CLCM
AVG_CLCH	Bewölkung/ bedeckter Himmel	Durchschnittliche Wolkenbedeckung hohe Wolken	CLCH
AVG_CLCT_8_17 *	Bewölkung/ bedeckter Himmel/ Sonneneinstrahlung	Durchschnittliche Wolkenbedeckung total (tiefe, mittlere und hohe Wolken) zwischen 8 und 17 Uhr	CLCT
SUNHOURS_CLCT SMALLERTHAN 50_8_17 *	Bewölkung/ bedeckter Himmel/ Sonneneinstrahlung	Sonnenstunden: Stunden zwischen 8 und 17 Uhr mit Wolkenbedeckung total < 50%	CLCT

III Variablen

Tab.6 Mittelwerte und Bandbreite der analysierten Wetterkenngrossen

				Anzahl Tage	Mittelwert	Min	Max
Temperatur	Durchschnitt	avgT		9.926	7,3	-20,3	26,8
		< 4		3.507			
		4 ... 8		1.639			
	Klassen "warme"	8 ... 12		1.602			
	Tage	12 ... 16		1.714			
		> 16		1.464			
		> 1	[°C/d]	7.668			
		1 ... (-1)		719			
	Klassen "kalte"	(-1) ... (-3)		527			
	Tage	(-3) ... (-6)		515			
relative Luftfeuchte		< (-6)		497			
	Minimal-	minT		9.926	-1,4	-27,1	20,1
	Maximal-	maxT			16,1	-13,2	38,4
	Durchschnitt	LF	[%]	9.926	71,8	25,2	98,2
Regenintensität	Durchschnitt	avgNS		9.926	2,9	0,0	72,4
		< 0,1		5.248			
		0,1 ... 1		1.280			
	Klassen	1 ... 5	[mm/d]	1.608			
		5 ... 10		843			
Schneefall-intensität		> 10		947			
	Durchschnitt	avgSN		9.926	0,6	0,0	44,6
		< 0,1		7.941			
		0,1 ... 0,5		1.239			
	Klassen	0,5 ... 1	[mm/d]	268			
Schneefallhöhe		1 ... 4		259			
		> 4		219			
	Durchschnitt	avgSN		9.926	10,5	0,0	175,1
		< 0,1		6.419			
		0,1 ... 0,5		1.158			
	Klassen	0,5 ... 1	[cm]	1.005			
		1 ... 4		814			
		> 4		530			
durchschn. Wolkenbedeckung zw. 8 und 17 Uhr		WB	[%]	9.926	56,2	0,0	100,0

IV Auswertungen

IV.1 UAP vs. COSMO-2

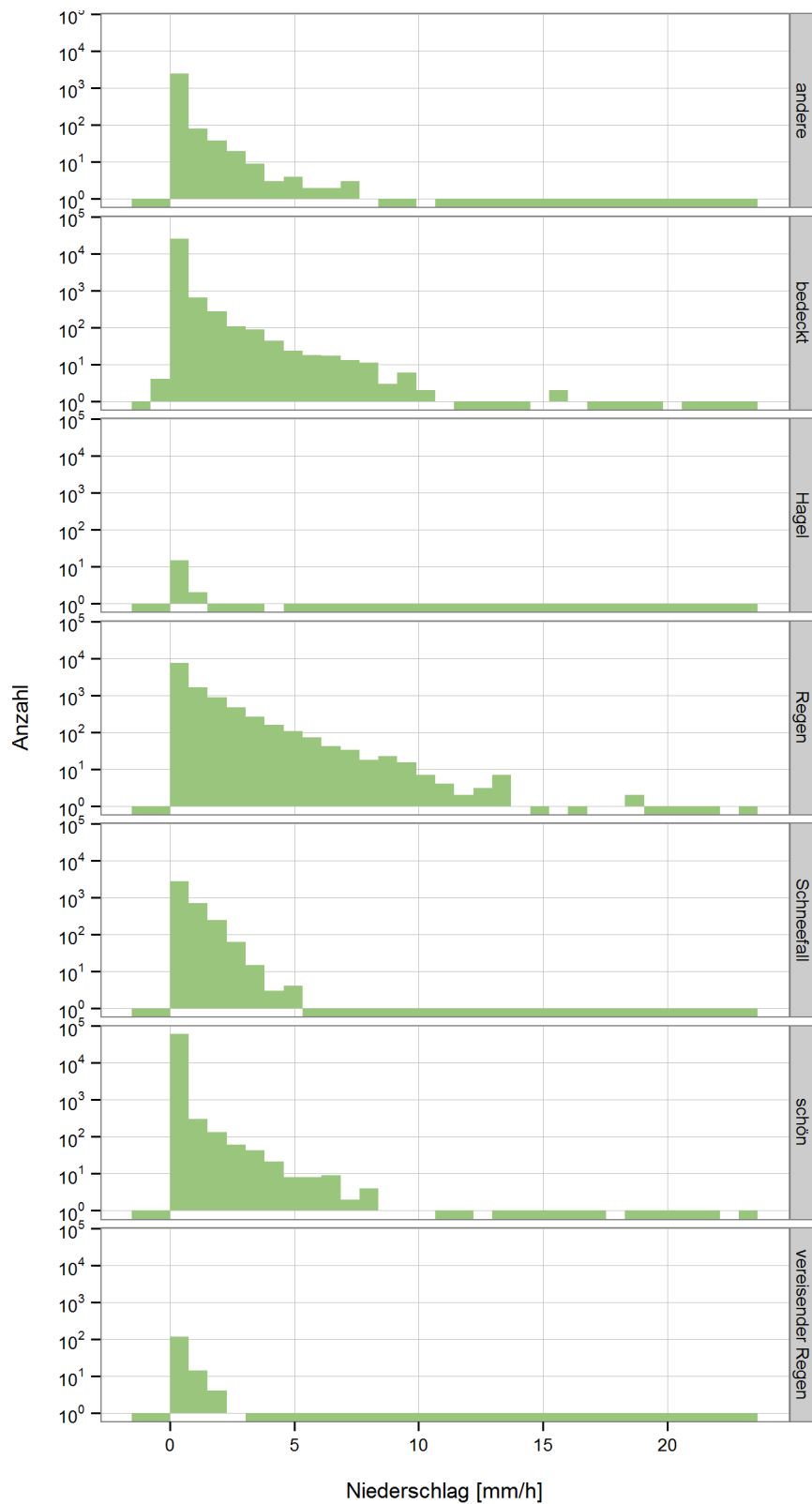


Abb.1 Korrelation der Witterung gemäss UAP mit der Niederschlagsmenge in der vergangenen Stunde gemäss COSMO-2

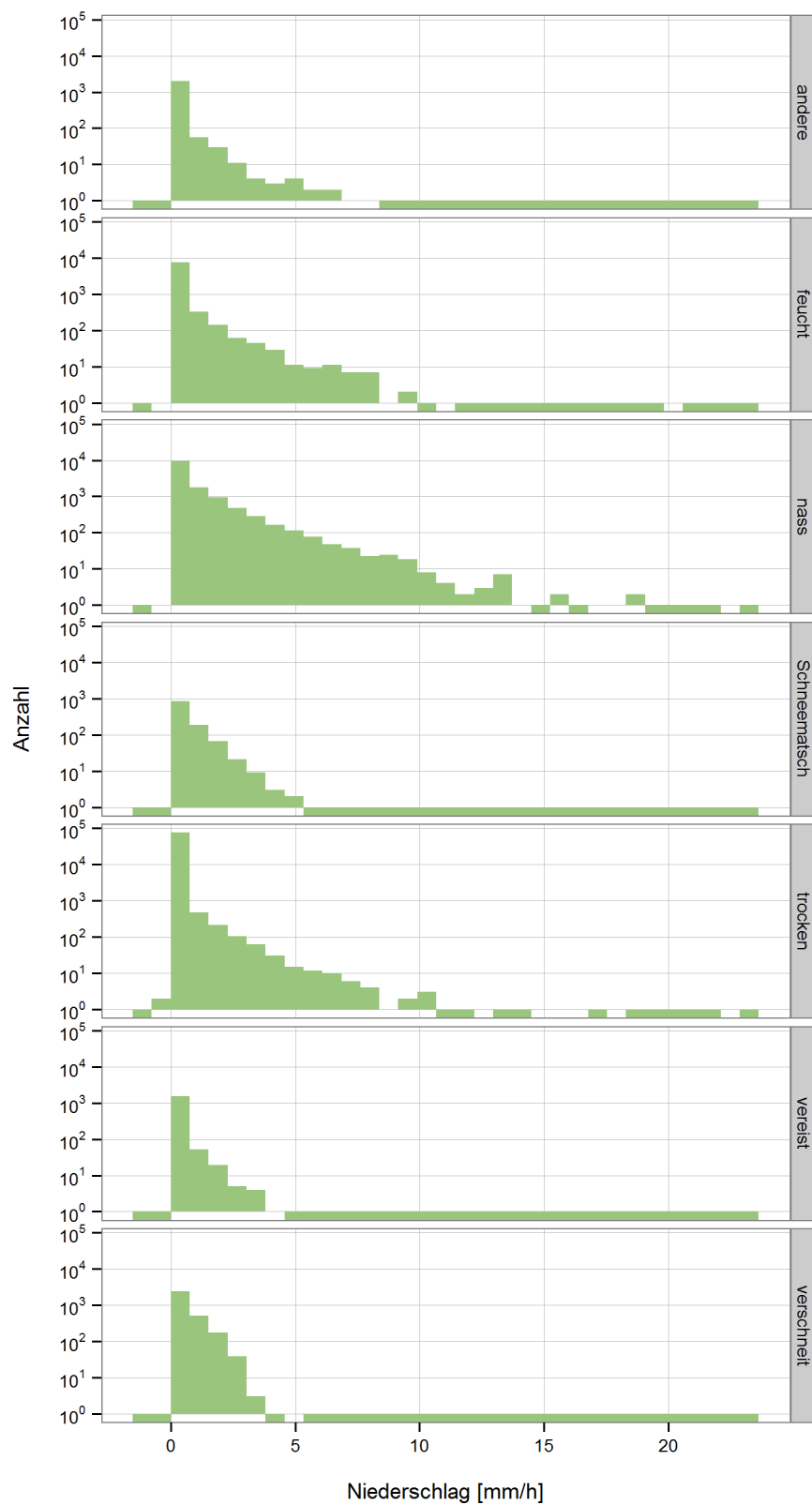


Abb.2 Korrelation des Strassenzustands gemäss UAP mit der Niederschlagsmenge in der vergangenen Stunde gemäss COSMO-2

IV.2 Verteilungsvergleiche

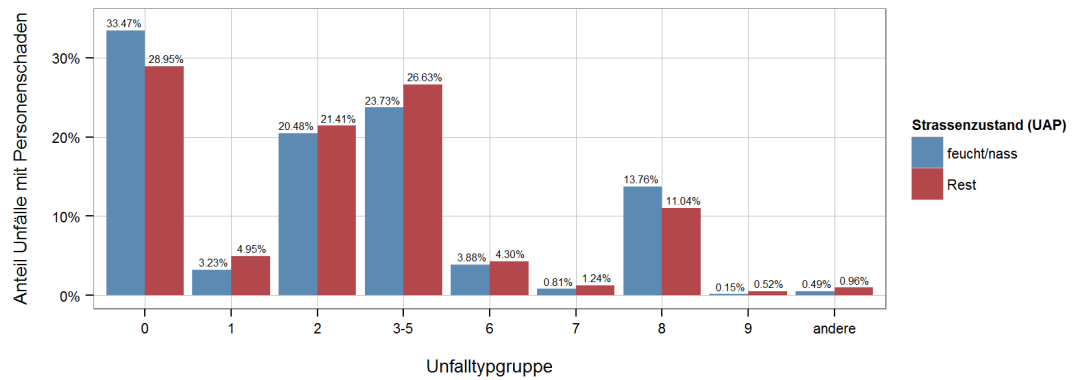


Abb.3 Verteilung der Unfalltypengruppen UTG über das Kollektive der Unfälle bei nassem/feuchtem Strassenzustand (UAP-Attribut) und den restlichen Unfällen

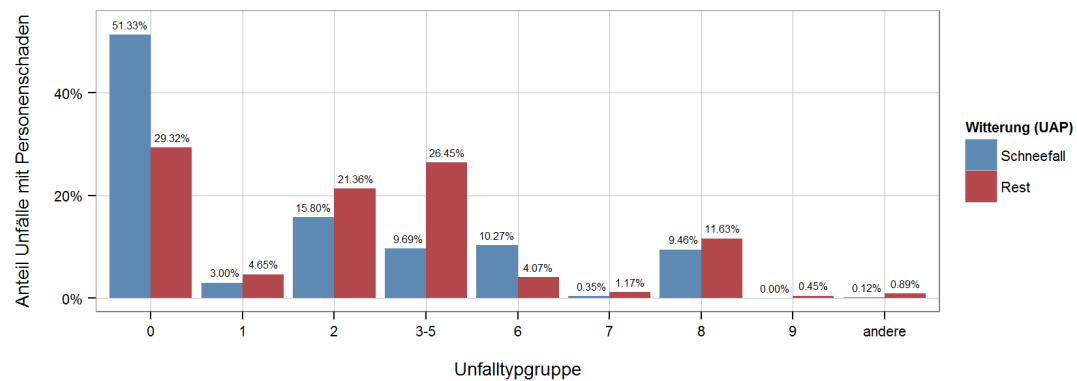


Abb.4 Verteilung der Unfalltypengruppen UTG über das Kollektive der Unfälle bei Schneefall (UAP-Attribut) und den restlichen Unfällen

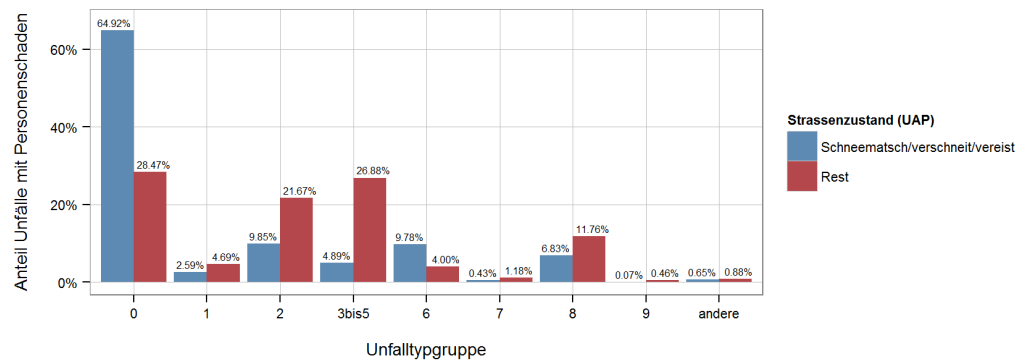


Abb.5 Verteilung der Unfalltypengruppen UTG über das Kollektive der Unfälle bei Schnee oder Eis auf der Fahrbahn (UAP-Attribut) und den restlichen Unfällen

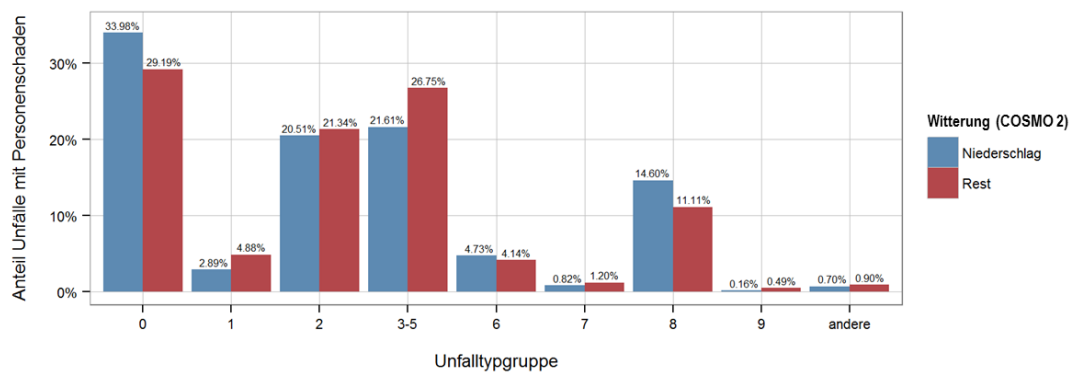


Abb.6 Verteilung der Unfalltypengruppen UTG über das Kollektive der Unfälle bei Niederschlag (COSMO-2-Attribut) und den restlichen Unfällen

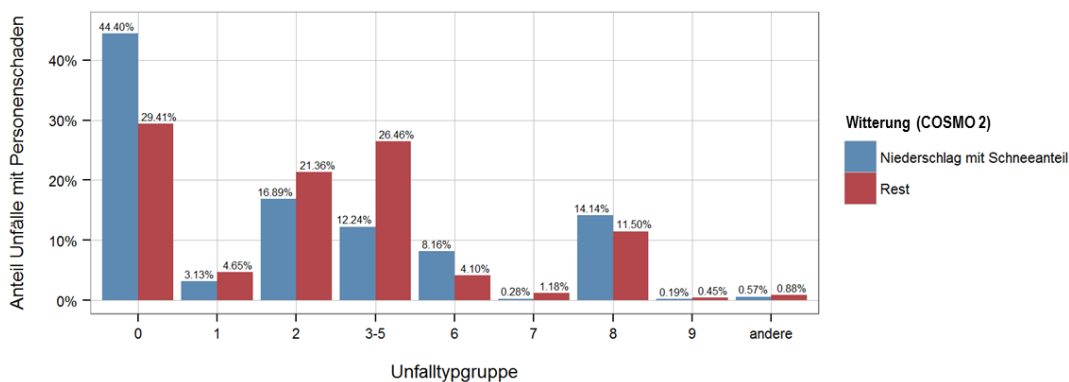


Abb.7 Verteilung der Unfalltypengruppen UTG über die Kollektive der Unfälle bei Niederschlag mit Schneeanteil (COSMO-2-Attribut) und den restlichen Unfällen

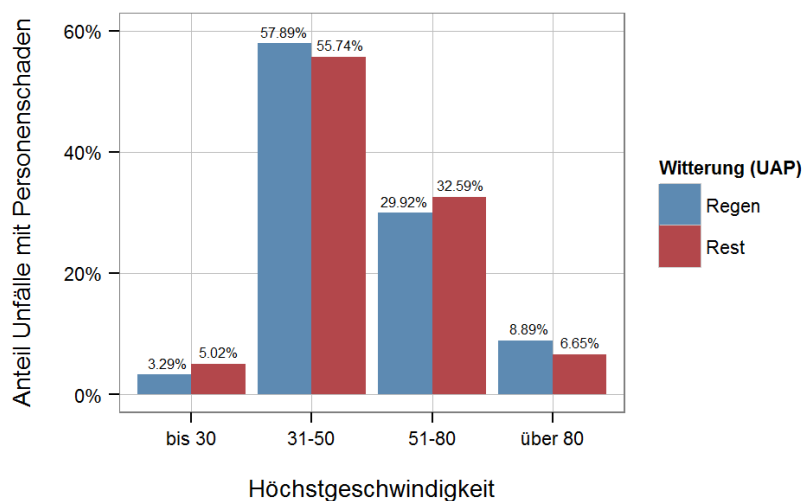


Abb.8 Verteilung der Unfälle nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit über die Kollektive der Unfälle bei Regen (UAP) und den restlichen Unfällen

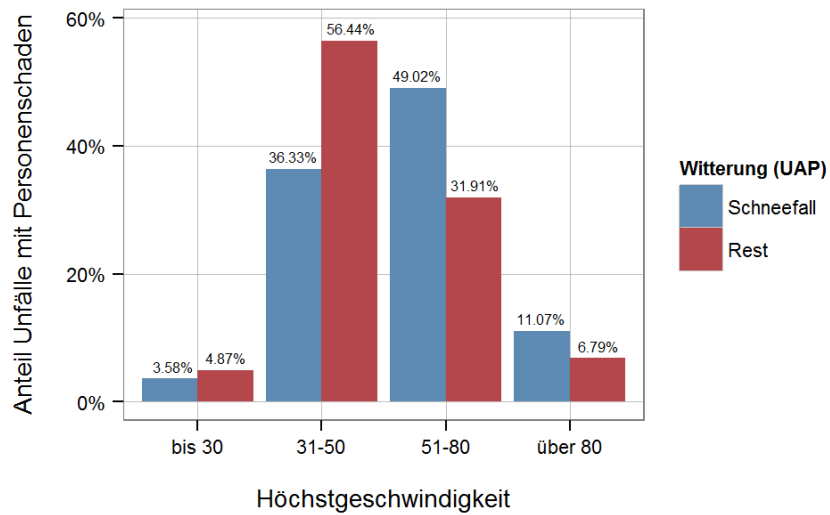


Abb.9 Verteilung der Unfälle nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit über die Kollektive der Unfälle bei Schneefall (UAP) und den restlichen Unfällen

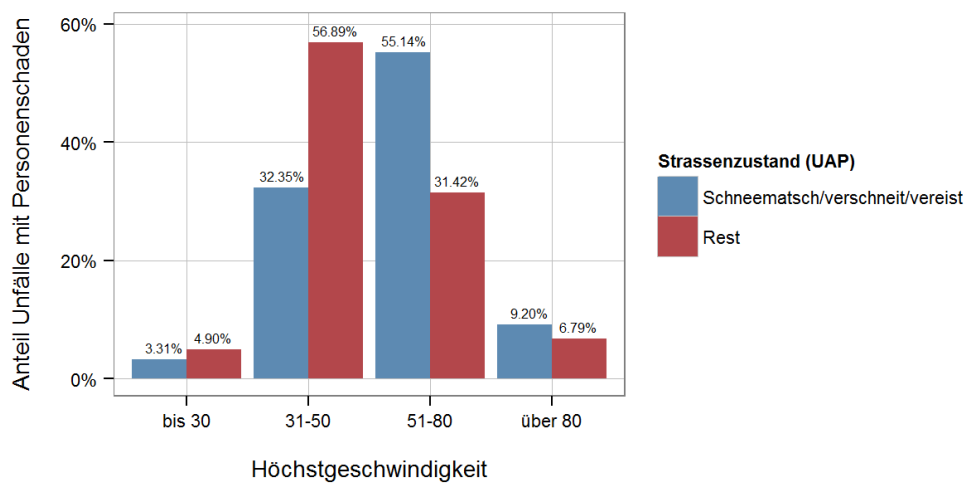


Abb.10 Verteilung der Unfälle nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit über die Kollektive der Unfälle bei Schnee oder Eis auf der Fahrbahn (UAP) und den restlichen Unfällen

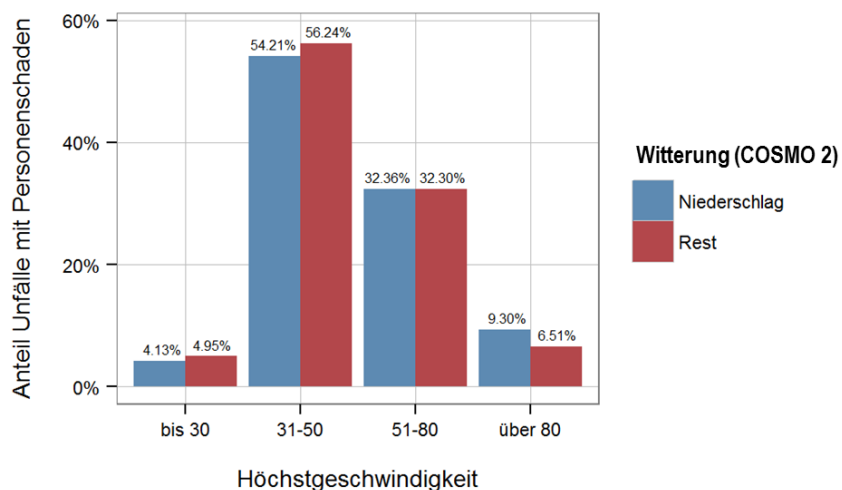


Abb.11 Verteilung der Unfälle nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit über die Kollektive der Unfälle bei Niederschlag (COSMO-2) und den restlichen Unfällen

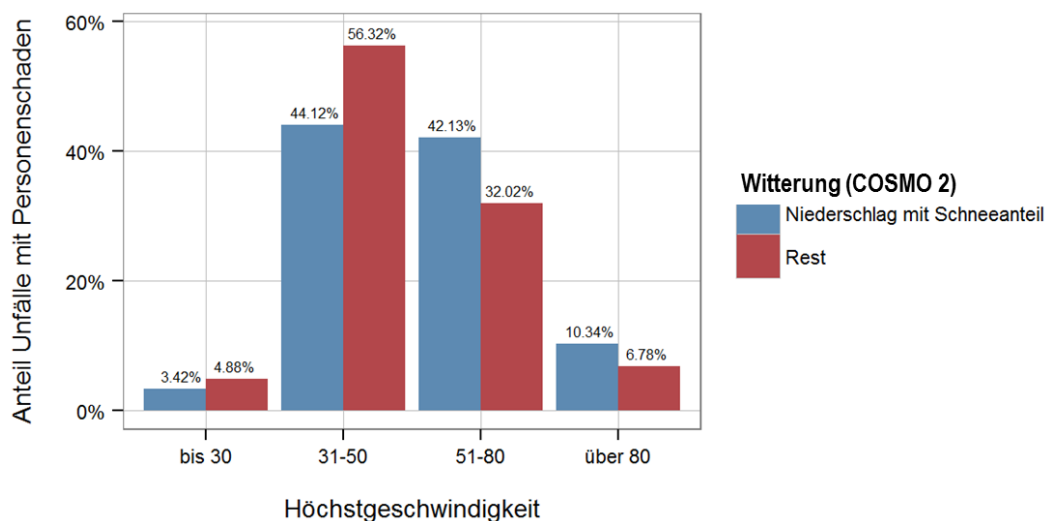


Abb.12 Verteilung der Unfälle nach der zulässigen Höchstgeschwindigkeit über die Kollektive der Unfälle bei Niederschlag mit Schneeanteil (COSMO-2) und den restlichen Unfällen

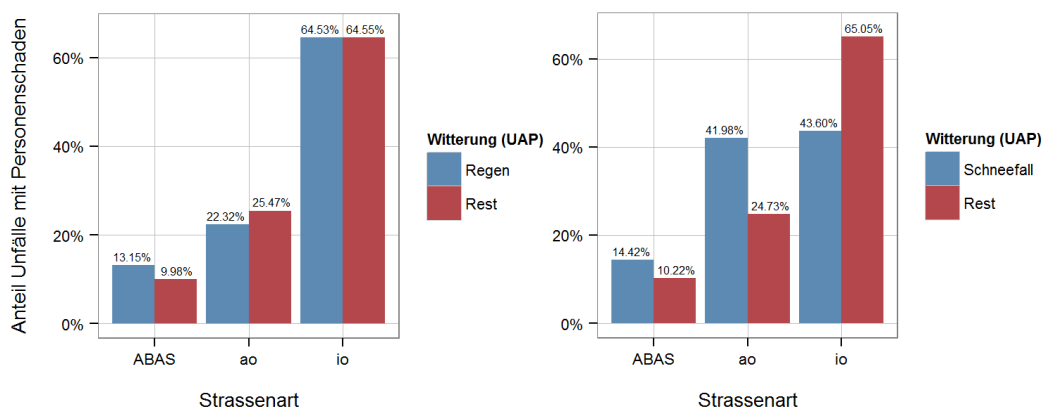


Abb.13 Verteilung der Unfälle nach der Strassenart über die Kollektive der Unfälle bei Regen (links) und bei Schneefall (rechts) (UAP) und den restlichen Unfällen

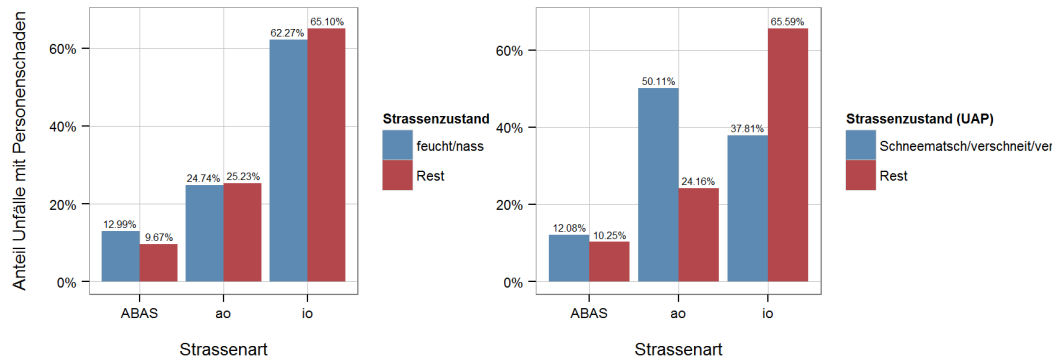


Abb.14 Verteilung der Unfälle nach Strassenart über die Kollektive der Unfälle feucht/nassem Strassenzustand (links) und Eis/Schnee auf der Fahrbahn (rechts) (UAP) und den restlichen Unfällen

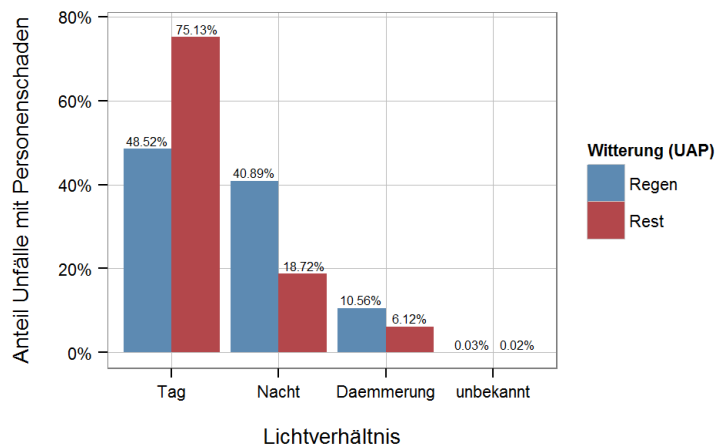


Abb.15 Verteilung der Unfälle nach den Lichtverhältnissen über die Kollektive der Unfälle bei Regen (UAP) und den restlichen Unfällen

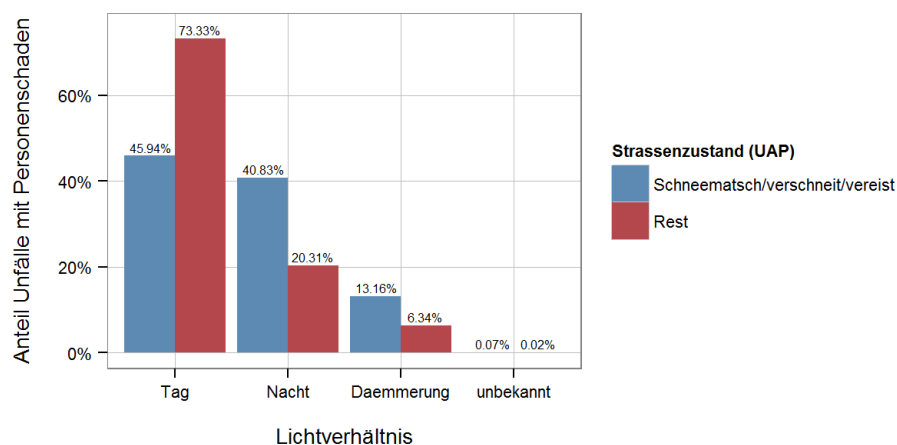


Abb.16 Verteilung der Unfälle nach den Lichtverhältnissen über die Kollektive der Unfälle bei Regen (UAP) und den restlichen Unfällen

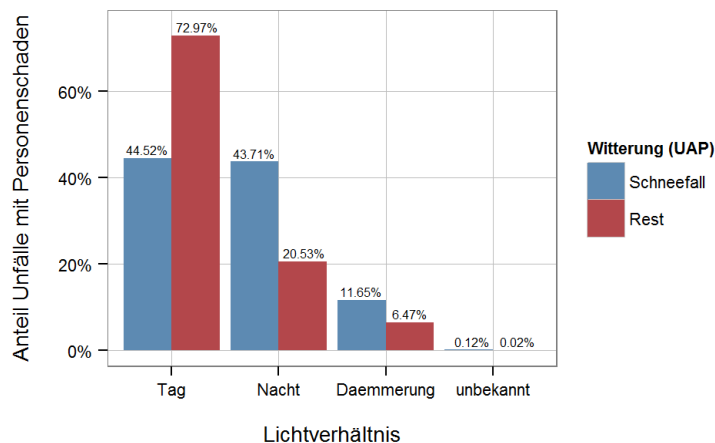


Abb.17 Verteilung der Unfälle nach den Lichtverhältnissen über die Kollektive der Unfälle bei Regen (UAP) und den restlichen Unfällen

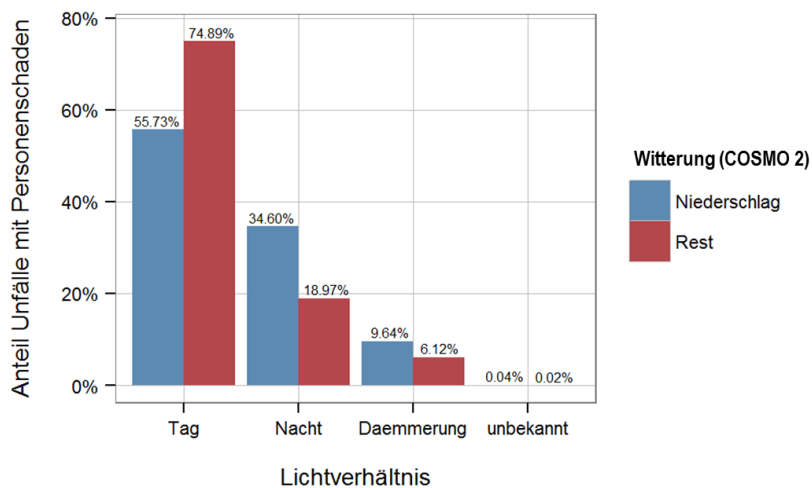


Abb.18 Verteilung der Unfälle nach den Lichtverhältnissen über die Kollektive der Unfälle bei Niederschlag (COSMO-2) und den restlichen Unfällen

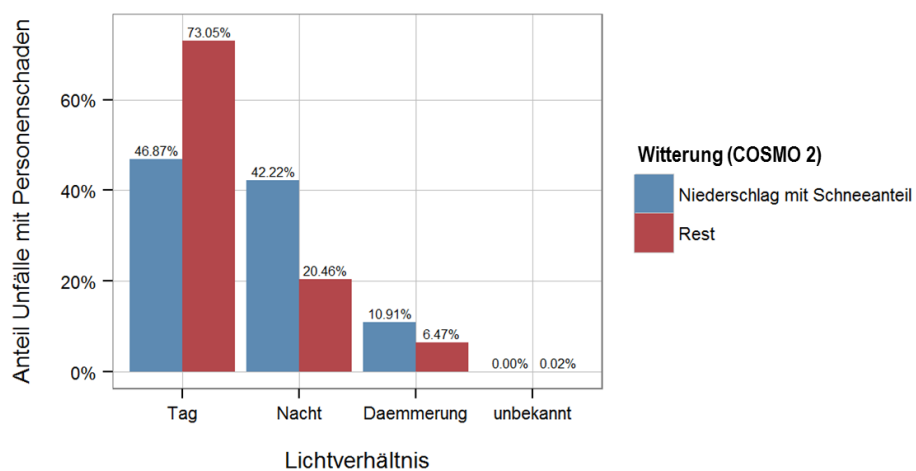


Abb.19 Verteilung der Unfälle nach den Lichtverhältnissen über die Kollektive der Unfälle bei Niederschlag mit Schnee (COSMO-2) und den restlichen Unfällen

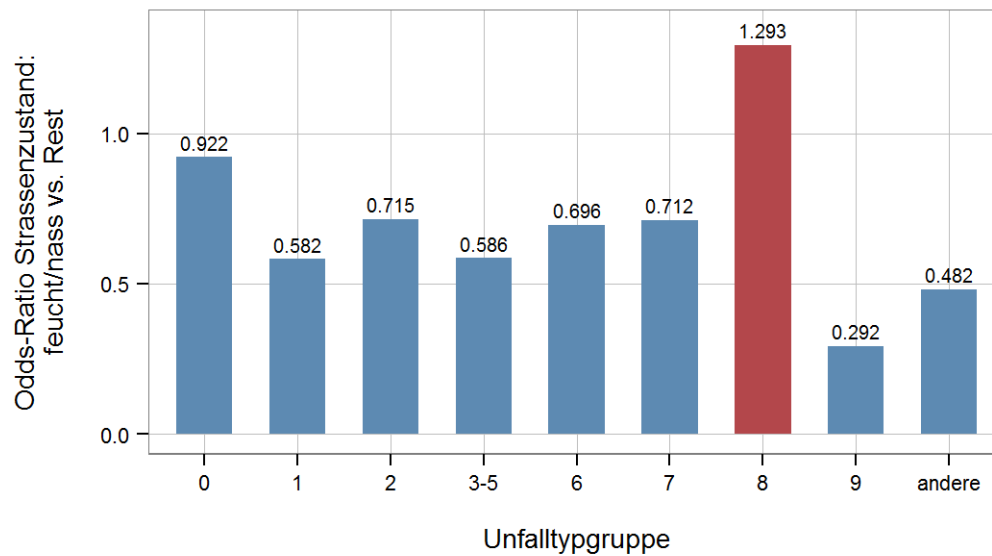


Abb.20 Odds-ratios (Unfälle mit $U_{(G+SV)}$ zu $U_{(G+SV+LV)}$) für feucht/nassen Strassenzustand (UAP) über die Unfalltypengruppen

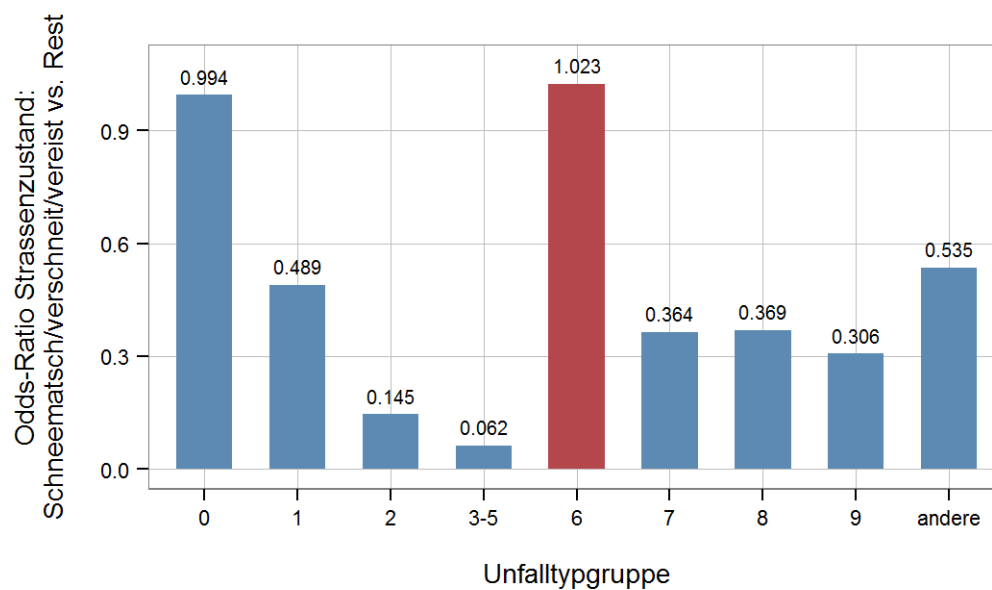


Abb.21 Odds-ratios (Unfälle mit $U_{(G+SV)}$ zu $U_{(G+SV+LV)}$) für Eis/Schnee auf der Fahrbahn (UAP) über die Unfalltypengruppen

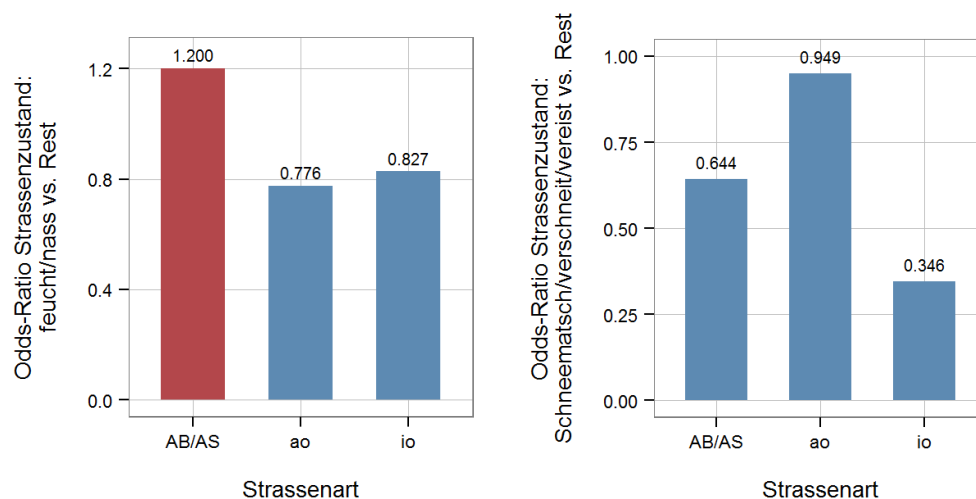


Abb.22 Odds-ratios (Unfälle mit $U_{(G+SV)}$ zu $U_{(G+SV+LV)}$) für feuchte/nasse Fahrbahn (links, UAP) sowie Eis/Schnee auf der Fahrbahn (rechts; UAP) über die Strassenart

IV.3 Korrelationsmatrix

	avgT	minT	maxT	LF	avgNS	avgSN	avgSH	WB	
avgT		0,94	0,94	-0,28	0,19	-0,58	-0,82	-0,15	Spearman-Rho
minT	< 0.01		0,82	-0,40	0,13	-0,52	-0,69	-0,23	
maxT	< 0.01	< 0.01		-0,12	0,20	-0,58	-0,87	-0,08	
LF	< 0.01	< 0.01	< 0.01		0,48	0,48	0,09	0,62	
avgNS	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01		0,38	-0,14	0,66	
avgSN	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01		0,59	0,53	
avgSH	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01		0,10	
WB	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01		
p-Werte									

Abb.23 Korrelationsmatrix der Wetterkenngrossen aus COSMO-2 (Spearman-Rho)

	SBI	SBIWB	avgTw	avgTk	avgNS	avgSN	WB	
SBI		0,26	0,02	0,12	-0,12	-0,17	-0,10	Spearman-Rho
SBIWB	< 0.01		0,24	0,16	-0,70	-0,47	-0,96	
avgTw	0.403	< 0.01		0,52	-0,03	-0,49	-0,26	
avgTk	< 0.01	< 0.01	< 0.01		0,02	-0,42	-0,15	
avgNS	< 0.01	< 0.01	0.227	0.463		0,360	0,701	
avgSN	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01		0,464	
WB	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01		
<i>p</i> -Werte								

Abb.24 Korrelationsmatrix der Wetterkenngrossen aus COSMO-2 (Spearman-Rho) für Sonnenblendungsanalysen (4h-Zeiträume, nur Kanton Zürich)

IV.4 Unfallmodelle

Regressionskoeffizienten (tägliche Unfallhäufigkeiten)												
Schleuder- / Selbstunf.		Überholen, FS-Wechsel		Auffahruntfall		Ab-/Einbiegen + Queren		Frontalkollision				
	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$		
Anzahl Unfälle	3.214	7.554	395	1.282	712	7.045	1.939	7.569	493	1.038		
Anzahl Tage	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926		
Temperatur	avgT [°C/d]	0,034 ***	0,014 ***	0,038 ***	0,036 ***	0,016 ***	0,052 ***	0,031 ***	0,050 ***	0,026 **		
Regen	avgNS [mm/d]	-0,012 ***		-0,023 ***	-0,016 *		-0,016 ***		-0,026 **			
Schneefall	avgSN [mm/d]		0,060 ***				-0,088 **		0,058 **	0,079 ***		
Schneehöhe	avgSH [cm]				-0,018 **							
fixed effects	Region	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	Monat	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	Freitag	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	Weekende	x	x	x	x	x	x	x	x	x		

*** p < 0,001 / ** p < 0,01 / * p < 0,05
 Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung

Abb.25 Unfall-Wetter-Modelle (Modelle für stetige Wetterkenngrößen) Teil 2

Regressionskoeffizienten (tägliche Unfallhäufigkeiten)												
	vzul > 80 km/h		Beteiligung Fussgänger		Beteiligung Radfahrer		Beteiligung Motorräder		Beteiligung schw. Nutzfz.		Beteilig. aussch. MotorFz	
	U _(G+SV)	U _(LV)	U _(G+SV)	U _(LV)	U _(G+SV)	U _(LV)	U _(G+SV)	U _(LV)	U _(G+SV)	U _(LV)	U _(G+SV)	U _(LV)
Anzahl Unfälle	392	2115	1.483	2912	1.865	4.761	3.070	6.112	4.761	886	5.118	20.381
Anzahl Tage	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926
Temperatur												
Regen												
Schneefall												
Schneehöhe												
fixed effects	Region	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Monat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Freitag	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Wochenende	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
*** p < 0,001 / ** p < 0,01 / * p < 0,05												
Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung												

Abb.26 Unfall-Wetter-Modelle (Modelle für stetige Wetterkenngrossen) Teil 3

Regressionskoeffizienten (tägliche Unfallhäufigkeiten)											
	gerade Strecke		Kurven		Knoten		Steigung + Gefälle		Dämmerung + Nacht		
	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	
Anzahl Unfälle	3.688	13.459	2.053	4.901	2.362	8.918	3.251	9.043	2.317	7.696	
Anzahl Tage	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	9.926	
Temperatur $avgT$ [°C/d]	0,036 ***	0,028 ***	0,028 ***		0,028 ***		0,043 ***	0,016 ***	0,016 **		
Regen $avgNS$ [mm/d]			-0,018 ***		-0,018 ***		-0,017 ***		0,015 ***	0,014 ***	
Schneefall $avgSN$ [mm/d]		0,041 ***		0,056 ***		0,056 ***		0,048 ***		0,042 ***	
Schneehöhe $avgSH$ [cm]			-0,006 **		-0,006 **		-0,004 *				
fixed effects	Region	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Monat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Freitag	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Wochenende	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

*** $p < 0,001$ / ** $p < 0,01$ / * $p < 0,05$ / . $p < 0,10$ / n.s. $p > 0,10$
 Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung

Abb.27 Unfall-Wetter-Modelle (Modelle für stetige Wetterkenngrössen) Teil 4

Regressionskoeffizienten (tägliche Unfallhäufigkeiten)									
	Sommer		Winter		Frühling		Herbst		
	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$	
Anzahl Unfälle	2.626	7.866	1.421	5.543	2.165	7.096	2.166	7.485	
Anzahl Tage	2.520	2.520	2.422	2.422	2.464	2.464	2.520	2.520	
Temperatur $avgT$ [°C/d]	0,042 ***	0,026 ***		0,010 *	0,042 ***	0,037 ***	0,038 ***	0,017 ***	
Regen $avgNS$ [mm/d]	-0,014 ***		0,032 ***	0,009 *	-0,019 ***	-0,007 *	-0,008 *		
Schneefall $avgSN$ [mm/d]				0,042 ***				0,037 ***	
Schneehöhe $avgSH$ [cm]									
fixed effects	Region	x	x	x	x	x	x	x	x
	Monat	x	x	x	x	x	x	x	x
	Freitag	x	x	x	x	x	x	x	x
	Wochenende	x	x	x	x	x	x	x	x

*** $p < 0,001$ / ** $p < 0,01$ / * $p < 0,05$
 Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung

Abb.28 Unfall-Wetter-Modelle (Modelle für stetige Wetterkenngrossen) Teil 5

Grundmodell	Regressionskoeffizienten (tägliche Unfallhäufigkeiten)	
	$U_{(G+SV)}$	$U_{(LV)}$
Anzahl Unfälle	8.378	27.990
Anzahl Tage	9.926	9.926
Konstante	-0,636 ***	0,589 ***
Region 1	-	-
Region 2	-0,640 ***	-0,704 ***
Region 3	1,236 ***	1,591 ***
Region 4	1,211 ***	1,530 ***
Region 5	0,943 ***	1,058 ***
Region 6	-0,579 ***	-0,558 ***
Region 7	-0,552 ***	-0,685 ***
Region 8	-0,535 ***	-0,534 ***
Region 9	-1,420 ***	-0,774 ***
Region 10	-0,112 .	-1,323 ***
Region 11	-2,719 ***	-2,436 ***
Region 12	-1,873 ***	-2,111 ***
Region 13	-0,936 ***	-1,140 ***
Region 14	-0,001 ***	-0,105 **
Januar	-	-
Februar	-0,074 n.S.	-0,018 n.S.
März	0,182 **	0,104 **
April	0,390 ***	0,254 ***
Mai	0,580 ***	0,444 ***
Juni	0,598 ***	0,421 ***
Juli	0,519 ***	0,253 ***
August	0,618 ***	0,411 ***
September	0,514 ***	0,423 ***
Oktober	0,395 ***	0,279 ***
November	0,192 **	0,206 ***
Dezember	0,047 n.S.	0,171 ***
Montag - Donnerstag	-	-
Freitag	0,113 ***	0,073 ***
Samstag+Sonntag	-0,006	-0,216 ***

*** $p < 0,001$ / ** $p < 0,01$ / * $p < 0,05$ / . $p < 0,10$ / n.S. $p > 0,10$

Schätzung auf Basis der angepassten negativen Binomialverteilung

Abb.29 Basis-Unfall-Modelle (Darstellung der Unterschiede zwischen den fixed effects Variablen) 4

Glossar

Begriff	Bedeutung
ADMAS	Register der Administrativmassnahmen
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
avgNS	Durchschnittlicher Niederschlag (Regen)
avgSH	Durchschnittliche Schneehöhe
avgSN	Durchschnittlicher Niederschlag (Schnee)
avgT	Durchschnittstemperatur
avgTk	Durchschnittstemperatur an „kalten“ Tagen
avgTw	Durchschnittstemperatur an „warmen“ Tagen
BFS	Bundesamt für Statistik
bfu	Beratungsstelle für Unfallverhütung
BK	Begleitkommission
BS	Basissystem von MISTRA
bzw.	beziehungsweise
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
FABER	Fahrberechtigungsregister
Fg	Fussgänger
FOKO	Kommission für Forschung im Strassenwesen des UVEK
FP	Forschungspaket
Fz	Fahrzeug
i.d.R.	in der Regel
LF	Luftfeuchtigkeit
LSA	Lichtsignalanlage
LV	Langsamverkehr
maxT	Maximale Temperatur
minT	Minimale Temperatur
MISTRA	Management-Informationssystem Strasse und Strassenverkehr
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MOFIS	Fahrzeug- und Halterdatenregister
öV	Öffentlicher Verkehr
PW	Personenwagen

Begriff	Bedeutung
SBI	Potenzielle Sonnenblendung
SBIWB	Potenzielle Sonnenblendung multipliziert mit Kehrwert der Wolkenbedeckung
SVI	Schweiz. Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten
TP	Teilprojekt
TRA	Fachapplikation Trasse in MISTRA (Verwaltung von Strassendaten)
UAP	Unfallaufnahme-Protokoll
usw.	und so weiter
UTG	Unfalltypengruppe: 0. Schleuder- oder Selbstunfall 1. Überholunfall, Fahrstreifenwechsel 2. Auffahrunfall 3. Abbiegeunfall 4. Einbiegeunfall 5. Überqueren der Fahrbahn 6. Frontalkollision 7. Parkierunfall 8. Fussgängerunfall 9. Tierunfall
UVEK	Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VEKTOR 25	Digitales Landschaftsmodell der Schweiz (basiert auf Landeskarte 1:25'000)
vgl.	vergleiche
VMON	Fachapplikation Verkehrsmonitoring in MISTRA
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
VU	Strassenverkehrsunfall-Register
VU+	Datenbank Strassenverkehrsunfall-Register (ergänzt mit weiteren Daten)
WB	Grad der Wolkenbedeckung (Totalbewölkung)
Alternativroute <i>itinéraire bis</i>	Alternative zu einer Stammroute. Die Stammroute bleibt befahrbar.
BSA <i>EES</i>	Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) <i>équipements d'exploitation et de sécurité (EES)</i>
BZ <i>plan de feux</i>	Betriebszustand (BZ) Bezeichnet den Signalisationszustand; beziehungsweise die Anzeigen auf mehreren zusammengehörenden Aktoren.
CEN	Europäisches Komitee für Normung (CEN)
KLZ	Kantonale Leitzentrale (KLZ) <i>centrale cantonale de gestion du trafic (KLZ)</i>
RDS-TMC	Radio Data System – Traffic Message Channel (RDS-TMC)
SN	Schweizer Norm (SN)
SSV <i>OSR</i>	Signalisationsverordnung (SSV) <i>Ordonnance sur la signalisation routière (OSR)</i>
Stammroute <i>itinéraire de base</i>	Signalisierte Route, wo der Betriebszustand der Grundzustand ist.
Umleitungsroute <i>itinéraire de déviation</i>	Umleitung zu einer Stammroute. Die Stammroute ist nicht mehr befahrbar oder die Verlustzeit ist grösser als der Umweg über eine verfügbare Umleitungsroute.
VM-CH	Verkehrsmanagement in der Schweiz (VM-CH)

Begriff	Bedeutung
	<i>gestion du trafic en Suisse (VM-CH)</i>
VMP	Verkehrsmanagementplan (VMP) <i>plan de gestion de trafic (VMP)</i>
VMZ-CH	Verkehrsmanagementzentrale Schweiz (VMZ-CH) <i>centrale nationale suisse de gestion du trafic (VMZ-CH)</i>
RLZ	Regionale Leitzentrale (RLZ) <i>centrale régionale de gestion du trafic (RLZ)</i>
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)
WTA PMV	Wechseltextanzeige (WTA) <i>panneau à messages variables (PMV)</i>
WWW	Wechselwegweisung (WWW) <i>panneau de direction à indications variables (WWW)</i>

Literaturverzeichnis

-
- Ahmed, M.M.; Abdel-Aty, M.; Yu, R. (2012). **Linking crash occurrence to real-time weather conditions and AVI**
- [1] traffic data: ensemble data-mining approach. Wien: 19th IST World Congress, 22-26 Oktober 2012
-
- Andersson, A. K. (2010): **Winter Road Conditions and Traffic Accidents in Sweden and UK**. Gothenburg: University of Gothenburg (Dissertationsschrift)
-
- Andreescu, M.-P.; Frost, D. B. (1998): **Weather and traffic accidents in Montreal, Canada**. In: CLIMATE RESEARCH Vol.9, S. 225-230
-
- Andrey, J.; Hambly, D.; Mills, B.; Afrin, S. (2013). **Insights into driver adaptation to inclement weather in Canada**. In: Journal of Transport Geography 28 (2013) S. 192-203
-
- Andrey, J. (2010). **Long term trends in weather-related crash risks**. In: Journal of Transport Geography 18 (2010) S. 247-258
-
- Andrey, J.; Yagar, S. (1993). **A temporal analysis of rain-related crash risk**. In: Accid. Anal. And Prev. Vol. 25, No. 4, S. 465-472
-
- Agarwal, M.; Maz, T. H.; Souleyrette, R. (2005). **Impact of Weather on Urban Freeway Traffic Flow Characteristics and Facility Capacity**. Ames: Iowa State University (Aurora project)
-
- Bergel, R.; Debbbarh, M.; Antoniou, C.; Yannis, G. (2013). **Explaining the road accident risk: weather effects**. In: Accident Analysis and Prevention (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.03.006>
-
- Bijleveld, F.; Churchill, T. (2009). **The influence of weather conditions on road safety**. Leidschendam: SWOV (NL)
-
- Brijs, T.; Karlis, D.; Wets, G. (2008). **Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model**. In: Accid. Anal. And Prev. 40 (2008), S. 1180-1190
-
- Eisenberg, D. (2004). **The mixed effects of precipitation on traffic crashes**. In: Accid. Anal. And Prev. 36 (2004), S. 637-647
-
- Fridstrom, L. et al. (1995). **Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts**. In: Accid. Anal. And Prev. Vol. 27 No. 1, S. 1-20
-
- Juga, I. (2012). **The effect of snowfall and low temperature on road traffic accident rates in Southern Finland**. In: Conference proceedings of SWIREC 2012 in Helsinki
-
- Jung, S.; Qin, X.; Noyce, D. A. (2010). **Rainfall effect on single-vehicle crash severities using polychotomous response models**. In: Accid. Anal. And Prev. 42 (2010), S. 213-224
-
- Junk, J. (2010). **Ausgewählte meteorologische und lufthygienische Aspekte des Stadtklimas von Trier**. Trier: Universität Trier, Fachbereich Geographie, Geowissenschaften (Dissertationsschrift)
-
- Kazys, J.; Valiukas, D.; Rimkus, E. (2006). **Variation of traffic accidents volume on different phases of adverse weather conditions**. Turin: SWIREC Conference 2006
-
- Keay, K.; Simmonds, I. (2006). **Road accidents and rainfall in a large Australian city**. In: Accid. Anal. And Prev. 38 (2006), S. 445-454
-
- Keay, K.; Simmonds, I. (2005). **The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia**. In: Accid. Anal. And Prev. 37 (2005), S. 109-124
-
- Nofal, F. H.; Saeed, A. A. W. (1997). **Seasonal variation and weather effects on road traffic accidents in Riyadh City**. In: Public Health (1997) 111, S. 51-55
-

-
- [20] Thoma, J. (1993). **Geschwindigkeitsverhalten und Risiken bei verschiedenen Strassenzuständen, Wochentagen und Tageszeiten**. Bern: bfu (bfu-report 20)
-
- [21] Thordarson, S.; Olafsson, B. (2008). **Weather induced road accidents, winter maintenance and user information**. Ljubljana: Tmasport Research Area Europe 2008
-
- [22] Vajda, A.; Tuomenvirta, H.; Jokinen, P. (2012). **Observed and future changes of extreme winter events in Europe with implication for road transportation**. Helsinki: SWIREC 2012
-
- [23] Agüero-Valverde, J.; Jovanis, P. P. (2006). **Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania**. In: *Accid. Anal. And Prev.* 38 (2006), S. 618-625
-
- [24] Xu, C.; Wand, W.; Liu, P. (2013). **Identifying crash-prone traffic conditions under different weather on freeways**. In: *Journal of Safety Research* 46 (2013) S. 135-144
-
- [25] Yu, R.; Abdel-Aty, M.; Ahmed, M. (2013). **Bayesian random effect models incorporating real-time weather and traffic data to investigate mountainous freeway hazardous factors**. In: *Accid. Anal. And Prev.* 50 (2013), S. 371-376
-
- [26] Bos, J.M.J. (2001). **In all kinds of weather; Road safety effects of periods of extreme weather (in Dutch)**. R-2001-23. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam
-
- [27] SWOV Institute for Road Safety Research (2009). **The influence of weather on road safety**. Leidschendam: SWOV
-
- [28] Abdel-Aty, M.; Ekram, A.; Huang, H.L.; Choi, K. (2011). **A study on crashes related to visibility obstruction due to fog and smoke, Accident Analysis and Prevention Volume: 43 Issue: 5 Pages: 1730-1737**
-
- [29] Brodsky, H.; Hakkert, A. S. (1988). **Risk of a road accident in rainy weather**. In: *Accid. Anal. And Prev.* Vol. 20 No. 3, S. 161-176
-
- [30] Edwards, J. B. (1998). **The Relationship Between Road Accident Severity and Recorded Weather**. In: *Journal of Safety Research* Vol. 29 No. 4, S. 249-262
-
- [31] Geurts, K.; Thomas, I.; Wets, G. (2005). **Understanding spatial concentration of road accidents using frequent item sets**. *Accid. Anal. And Prev.* 37 (2005), S. 787-799
-
- [32] Petersen, L. (2011). **Der Einfluss der Witterung auf das Unfallgeschehen im städtischen Straßenverkehr**. Dresden: Studienarbeit am Lehrstuhl für Strassenverkehrstechnik der TU Dresden
-
- [33] Lerner, M.; Albrecht, M.; Evers, C. (2005). **Das Unfallgeschehen bei Nacht**. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Strassenwesen
-
- [34] Hogema, J.H. (1996). **Effects of rain on daily traffic volume and on driving behaviour. A study as part of the Project Road and Weather Conditions**. Rapport TNO-TM 1996-B019. TNO Human Factors Research Institute TM, Soesterberg.
-
- [35] Allain, G.; Goudal, P.; Loubes, J.-M. (2012). **Modelling Weather Conditions Consequences on Road Trafficking Behaviours**. Toulouse: Institut de Mathématiques de Toulouse
-
- [36] Faouzi, N.-E.; Billot, R.; Nurmi, P.; Nowotny, B. (2010). **Effects of adverse weather on traffic and safety: State-of-the-art and a European initiative**. In: *SIRWEC 2010: 15th International Road Weather Conference*
-
- [37] Kilpeläinen, M.; Summala, H. (2006). **Effects of weather and weather forecasts on driver behaviour**. In: *Transportation Research Part F* 10 (2007) S. 288-299
-
- [38] Bundesamt für Statistik BFS; Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2012). **Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010**
-
- [39] Schüller, H. (2010). **Modelle zur Beschreibung des Geschwindigkeitsverhaltens auf Stadtstraßen und dessen Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit auf Grundlage der Straßengestaltung**. Dresden: Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, (Dissertationsschrift am Lehrstuhl

-
- Straßenverkehrstechnik mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung)
-
- Reurings, M.; Janssen, T.; Eenink, R.; Elvik, R.; Cardoso, J.; Stefan, C. (2005). **Accident**
 [40]**Prediction Models and Road safety Impact assessment: a state-of-the-art.** Schlussbericht
 zum RIPCORDER-IPEREST-Projekt
-
- Maher, M.J.; Summersgill, I. (1996). **A comprehensive methodology for the fitting of**
 [41]**predictive accident models.** In: *Accid. Anal. & Prev.*, 28 (3), S. 281-296
-
- Lord, D.; Mannering, F. (2010) **The Statistical Analysis of Crash-Frequency Data: A Review**
 [42]**and Assessment of Methodological Alternatives.** Transportation Research Part A
-
- [43]SN 640 005a: **Ganglinientypen und durchschnittlicher täglicher Verkehr** (DTV)
-
- Bundesamt für Statistik; „**Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität**
 [44]**und Verkehr**“ 2010
-
- Auffray B. (2007): **Impact of Adverse Weather on Traffic Conditions on an American**
 [45]**Highway: Effect of the Sun Glare on Traffic Flow Quality.** Masterarbeit, École nationale des
 Travaux Publics d'État (ENTPE), http://www.its.pdx.edu/upload_docs/1248894237RsdaFwErKg.pdf
-
- Churchill A. M., Lovell D. J. (2009, submitted): **A procedure for auditing highway alignments**
 [46]**for the effect of sun glare,** http://www.4ishgd.valencia.upv.es/index_archivos/44.pdf
-
- Vos J.J. (2003): **On the cause of disability glare and its dependence on glare angle, age**
 [47]**and ocular pigmentation.** *Clinical and Experimental Optometry*, 86: 6, 363–370. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1444-0938.2003.tb03080.x/pdf>.
-
- Mauch D. (2012): **Accidents in the Gubrist Tunnel – an analysis on the momentary**
 [48]**inattention.** Masterarbeit ETHZ.
-
- Piña R. J., Pardillo Mayora J. M., Huarte J. P. (2010, submitted): **Software tool for the**
 [49]**analysis of highway alignments to detect and prevent sun glare vision impairment**
hazards, http://4ishgd.webs.upv.es/index_archivos/3.pdf
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 16.02.2014

Grunddaten

Projekt-Nr.: SVI 2012/005
Projekttitel: Forschungspaket VeSPA, Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen
Enddatum: 28.2.2014

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Aus den Resultaten der Datenanalysen lassen sich unterschiedliche Zusammenhänge zwischen den Wetterphänomenen und dem Unfallgeschehen erkennen. Zwar ist ein Rückschluss auf kausale Zusammenhänge zwischen einzelner Wetterphänomene auf das Unfallgeschehen nur schwer nachweisbar, in der Kombination von mehreren Wetterphänomenen, bestimmten Strassenparametern und Tageszeiten lassen sich jedoch Kausalitäten ableiten, die einen Einfluss des Wetters auf das Unfallgeschehen offenbaren. Die wichtigsten Rückschlüsse aus den datenbasierten Analysen des Unfallgeschehens und Mobilitätsverhaltens der vorliegenden Untersuchungen sind:

- Die Lufttemperatur hat einen signifikanten Einfluss auf das Unfallgeschehen, denn mit steigenden Temperaturen (d.h. Durchschnittstemperaturen oberhalb von 8°C) nimmt auch die Unfallhäufigkeit zu.
- Regen ist im Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen im Strassenverkehr eine wichtige Witterungs-Einflussgrösse und wird in der Literatur mit einem signifikanten Anstieg der Unfallzahlen in Verbindung gebracht. Dieser Anstieg konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchung mit der gewählten Modellierung jedoch nur für einzelne Unfallkollektive bestätigt werden:
- Schneefall führt zu einem Anstieg des Unfallrisikos, insbesondere hinsichtlich Unfälle mit leichtem Personenschaden. Dagegen lässt sich für Unfälle mit schweren Personenschaden kein Einfluss von Schneefall ermitteln.
- Das unfallbeeinflussende Potential von Sonnenblendungen ist nur unter bestimmten Bedingungen nachweisbar. Es konnte aber gezeigt werden, dass eine erhöhte potentielle Sonnenblendung vor allem innerorts und an Knoten zu mehr Unfällen.
- Das Mobilitätsverhalten wird durch Wetterereignisse beeinflusst: Auf Ausserorts- und Innerortsstrassen (ohne Autobahnen) lässt sich bei Regenereignissen ein Rückgang in den Verkehrsmengen feststellen. Rückgänge in den Verkehrsmengen lassen sich auch bei Schneefall Ausserorts nachweisen. Im Gegensatz dazu wird aber Innerorts ein gegenteiliger Effekt nachgewiesen. Auf die Temperatur an warmen Tagen reagiert vor allem der Verkehr auf Ausserortsstrassen. In beiden Zeitbereichen lässt sich ein Anstieg des Verkehrs bei höheren Temperaturen nachweisen.

Zusätzlich zu den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen, die das Potential der vorhandenen Datenquellen analysieren, werden Empfehlungen für zukünftige Datenerhebungen ausgesprochen, die eine sinnvolle Ergänzung und eine Verbesserung der Analyseergebnisse ermöglichen könnten. Es werden zudem Massnahmen diskutiert, die den wetterbedingten Gefährdungszuständen auf den Strassen entgegenwirken; z. B. Massnahmen gegen Strassenglätte oder Sichtprobleme bei Niederschlagsereignissen. Diese Massnahmen werden anhand von baulichen Veränderungen der Strasse oder des Strassenraumes (z. B. Beleuchtung oder reflektierende Markierungen), durch Schulung und Kontrolle der Verkehrsteilnehmer, durch Geschwindigkeits- oder Gewichtsbegrenzungen oder durch Unterhaltsmassnahmen wie z. B. Streuen bei Strassenglätte umgesetzt.

Der praktische Nutzen und das Potential der Erkenntnisse zum Wettereinfluss auf das Unfallgeschehen liegen in der Verwendung von Modellen als Grundlage und Hilfestellung für die Entscheidungsfindung in den verschiedenen Bereichen der Verkehrsplanung und des Verkehrssicherheitsmanagements. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen zwar, dass eine Unfallanalyse ausschliesslich auf Basis von Wetterphänomenen bei begrenztem Datenvolumen nur bedingt aussagekräftig ist, allerdings lässt sich ein grosses Potential im Zusammenspiel mit anderen Risikofaktoren erkennen, die in anderen Teilprojekten des Forschungspakets untersucht werden. Es ist zum Beispiel zu erwarten, dass eine Berücksichtigung und ein Einbezug der Erkenntnisse aus TP4 in die Modelle und Analysen aus TP2 (Einfluss von Infrastrukturparametern auf das Unfallgeschehen) einen Mehrwert in der Unfallanalyse und zukünftigen Unfallprädiktion erzielen wird.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Das Ziel von TP4 ist eine datenbasierte Identifizierung und Beschreibung von kausalen Zusammenhängen zwischen beobachtbaren Wetterphänomenen und dem Unfallgeschehen auf dem Schweizerischen Strassennetz. Diese Ziele wurden im Rahmen des Projekts erfüllt.

Folgerungen und Empfehlungen:

In der Phase 2 des aktuellen Forschungspakets sollen die in den einzelnen Teilpaketen gewonnenen Ergebnisse und Daten miteinander verknüpft werden. Dazu stehen aufgrund der vorliegenden Arbeiten den anderen Teilpaketen die Witterungsinformationen zu den Unfällen zur Verfügung. Diese können Grundlage für weitere Arbeiten in Zusammenhang mit Wetterinformationen sein:

- Kompensationsverhalten spielen vermutlich eine wesentliche Rolle beim Einfluss von Temperaturen, Regen und Schneefall auf das Unfallgeschehen. Hier bedarf es einer detaillierteren Analyse von Hintergründen aber auch Auffälligkeiten in bestimmten Personengruppen.
- In der Analyse des Wettereinflusses ergaben sich Unterschiede zwischen verschiedenen Strassentypen. Diese wurden bisher nur auf Basis der Unfallattribute zur Infrastruktur untersucht. Der Aufbau von Unfallmodellen auf Basis von Infrastrukturparametern wäre hier z. B. für Trocken- und Nässeunfälle denkbar. Durch den Vergleich beider Modelle könnte Auffälligkeiten des Nässeunfallgeschehens abgeleitet werden
- Es lässt sich vermuten, dass ein Zusammenhang zwischen den einzelnen Fahrzeugtypen, der Unfallschwere und Wetterverhältnissen existiert (z.B. Bremsverhalten bei Glätte, Nässe).

Weitere Forschungsschwerpunkte sind in einer vertiefenden Analyse des Wettereinflusses zu sehen. Es wird davon ausgegangen, dass, abgestützt auf einem grösseren Datenfundament (z. B. Unfallbeobachtungszeitraum grösser als zwei Jahre) und Untersuchungstiefgang, noch wesentlich aussagekräftigere Ergebnisse erzielt und konkretere Empfehlungen für das Sicherheitsmanagement auf den Schweizerischen Strassen abgeleitet werden könnten.

Publikationen:

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Heuel

Vorname: Stephan

Amt, Firma, Institut: Ernst Basler + Partner

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

Stephan Heuel



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Der Forschungsgestelle ist es in einem ersten, sehr aufwändigen Schritt gelungen, die modellierten Wetterdaten auf das Strassennetz zu legen und ein Modell der Sonnenblendung zu entwickeln. Da dieser erste Schritt sehr viel Zeit beanspruchte, war die Zeit für die Modellierung knapp. Nichtsdestotrotz konnte die Forschungsstelle erste spannende Modelle schätzen. So konnte sie zum Beispiel zeigen, dass die Zusammenhänge zwischen Regen und Unfallgeschehen komplexer sind als bisher angenommen.

Umsetzung:

Die Forschungsstelle überzeugte die BK insbesondere mit ihrer Beharrlichkeit und ihrer Innovationsbereitschaft bei der Aufbereitung der Daten. Die Fokussierung der Forschungsstelle auf eine Person führte zu Verzögerungen bei der Abgabe von Inputs.

weitergehender Forschungsbedarf:

Abschluss (wie geplant); Integration der Ergebnisse in TP 1 und 2

Einfluss auf Normenwerk:

-

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Simma

Vorname: Anja

Amt, Firma, Institut: Bundesamt für Strassen ASTRA, Abteilung Strassenverkehr

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Anja Simma

Anja Si —

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 31.10.2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologietransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labormassstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		Verkehrsanlagen	
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		Autobahnen	
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
		propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoeermittlung bei Steinschlagschutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009

SVI Publikationsliste

- 1980 **Velo- und Mofaverkehr in den Städten**
(R. Müller)
- 1980 **Anleitung zur Projektierung einer Lichtsignalanlage**
(Seiler Niederhauser Zuberbühler)
- 1981 **Güternahverkehr, Gesetzmässigkeiten**
(E. Stadtmann)
- 1981 **Optimale Haltestellenabstände beim öffentlichen Verkehr**
(Prof. H. Brändli)
- 1982 **Entwicklung des schweizerischen Strassenverkehrs ***
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1983 **Lichtsignalanlagen mit oder ohne Uebergangssignal Rot-Gelb**
(Weber Angehm Meyer)
- 1983 **Güternahverkehr, Verteilungsmodelle**
(Emch + Berger AG)
- 1983 **Modèle Transyt 8: Traffic Network Study Tool; Programme Pretrans**
(...)
- 1983 **Parkraumbewirtschaftung als Mittel der Verkehrslenkung ***
(Glaser + Saxer)
- 1984 **Le rôle des taxis dans les transports urbains (franz. Ausgabe)**
(Transitec)
- 1984 **Park and Ride in Schweizer Städten ***
(Balzari & Schudel AG)
- 1986 **Verträglichkeit von Fahrrad, Mofa und Fussgänger auf gemeinsamen Verkehrsflächen ***
(Weber Angehm Meyer)
- 1986 **Transyt 8 / Pretrans; Modell Programmsystem für die Optimierung von Signalplänen von städtischen Strassennetzen**
(...)
- 1987 **Verminderung der Umweltbelastungen durch verkehrsorganisatorische und –technische Massnahmen ***
(Metron AG)
- 1987 **Provisorischer Behef für die Umweltverträglichkeits-Prüfung von Verkehrsanlagen ***
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)
- 1988 **Bestimmungsgrössen der Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr ***
(Rapp AG)
- 1988 **EDV-Anwendungen im Verkehrswesen**
(IVT, ETH Zürich)
- 1988 **Forschungsvorschläge Umweltverträglichkeitsprüfung von Verkehrsanlagen**
(Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer)
- 1989 **Vereinfachte Methode zur raschen Schätzung von Verkehrsbeziehungen ***
(P. Widmer)
- 1990 **Planungsverfahren bei Ortsumfahrungen**
(Toscano-Bernardi-Frey AG)
- 1990 **Anteil der Fahrzeugkategorien in Abhängigkeit vom Strassentyp**
(Abay & Meyer)
- 1991 **Busbuchten, ja oder nein?***
(Zwicker und Schmid)
- 1991 **EDV-Anwendung im Verkehrswesen, Katalog 1990**
(IVT, ETH Zürich)
- 1991 **Mofa zwischen Velo und Auto**
(Weber Angehm Meyer)
- 1991 **Erhebung zum Güterverkehr**
(Abay & Meier, Albrecht & Partner AG, Holinger AG, RAPP AG, Sigmaplan AG)

- 1991 **Mögliche Methoden zur Erstellung einer Gesamtbewertung bei Prüfverfahren***
(Basler & Partner AG)
- 1992 **Parkierungsbeschränkungen mit Blauer Zone und Anwohnerparkkarte**
(Jud AG)
- 1992 **Einsatzkonzepte und Integrationsprobleme der Elektromobile***
(U. Schwegler)
- 1992 **UVP bei Strassenverkehrsanlagen, Anleitung zur Erstellung von UVP-Berichten***
(Büro BC, Jenni & Gottardi AG, Scherrer)
erschieden auch als Mitteilungen zur UVP Nr. 7/Mai 1992 des BUWAL
- 1992 **Von Experten zu Beteiligten - Partizipation von Interessierten und Betroffenen beim Entscheiden über Verkehrsvorhaben***
(J. Dietiker)
- 1992 **Fehlerrechnung und Sensitivitätsanalyse für Fragen der Luftreinhaltung: Verkehr - Emissionen - Immissionen ***
(INFRAS)
- 1993 **Indikatoren im Fussgängerverkehr ***
(RAPP AG)1993
- 1993 **Velofahren in Fussgängerzonen***
(P. Ott)
- 1993 **Vernetztes bzw. ganzheitliches Denken bei Verkehrsvorhaben**
(Jauslin + Stebler, Rudolf Keller AG)
- 1993 **Untersuchung des Zusammenhanges von Verkehrs- und Wandermobilität**
(synergo, Jenni + Gottardi AG)
- 1993 **Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von flexiblen Nutzungen im Strassenraum**
(Sigmaphan AG)
- 1993 **EIE et infrastructures routières, Guide pour l'établissement de rapports d'impact ***
(Büro BC, Jenni + Gottardi AG, Scherrer)
erschieden als Mitteilungen zur UVP Nr. 7(93) / Juli 1993 des BUWAL/paru comme informations concernant l'étude de l'impact sur l'environnement EIE No. 7(93) / juillet 1993 de l'OFEFP
- 1993 **Handlungsanleitung für die Zweckmässigkeitsprüfung von Verkehrsinfrastrukturprojekten, Vorstudie**
(Jenni + Gottardi AG)
- 1994 **Leistungsfähigkeit beim Fahrstreifenabbau auf Hochleistungsstrassen**
(Rutishauser, Mögerle, Keller)
- 1994 **Perspektiven des Freizeitverkehrs, Teil 1: Determinanten und Entwicklungen***
(R + R Burger AG, Büro Z)
- 1995 **Verkehrsentwicklungen in Europa, Vergleich mit den schweizerischen Verkehrsperspektiven**
(Prognos AG / Rudolf Keller AG)
erschieden als GVF-Auftrag Nr. 267 des GS EVED Dienst für Gesamtverkehrsfagen / paru au SG DFTCE Service d'étude des transports No. 267
- 1996 **Einfluss von Strassenkapazitätsänderungen auf das Verkehrsgeschehen**
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1997 **Zweckmässigkeitsbeurteilung von Strassenverkehrsanlagen ***
(Jenni + Gottardi AG)
- 1997 **Verkehrsgrundlagen für Umwelt- und Verkehrsuntersuchungen**
(Ernst Basler + Partner AG)
- 1998 **Entwicklungsindices des Schweizerischen Strassenverkehrs ***
(Abay + Meier)
- 1998 **Kennzahlen des Strassengüterverkehrs in Anlehnung an die Gütertransportstatistik 1993**
(Albrecht & Partner AG / Symplan Map AG)
- 1998 **Was Menschen bewegt. Motive und Fahrzwecke der Verkehrsteilnahme**
(J. Dietiker)
- 1998 **Das spezifische Verkehrspotential bei beschränktem Parkplatzangebot ***
(SNZ Ingenieurbüro AG)
- 1998 **La banque de données routières STRADA-DB somme base de modèles de trafic**
(Robert-Grandpierre et Rapp SA / INSER SA / Rosenthaler & Partner AG)
- 1998 **Perspektiven des Freizeitverkehrs. Teil 2: Strategien zur Problemlösung**
(R + R Burger und Partner, Büro Z)
- 1998 **Kombinierte Unter- und Überführung für FussgängerInnen und VelofahrerInnen**
(Büro BC / Pestalozzi & Stäheli)
- 1998 **Kostenwirksamkeit von Umweltschutzmassnahmen**
(INFRAS)
- 1998 **Abgrenzung zwischen Personen- und Güterverkehr**
(Prognos AG)
- 1999 **Gesetzmässigkeiten im Strassengüterverkehr und seine modellmässige Behandlung**
(Abay & Meier / Ernst Basler + Partner AG)

- 1999 **Aktualisierung der Modal Split-Ansätze**
(P. Widmer)
- 1999 **Management du trafic dans les grands ensembles**
(Transportplan SA)
- 1999 **Technology Assessment im Verkehrswesen : Vorstudie**
(RAPP AG Ing. + Planer Zürich)
- 1999 **Verkehrstelematik im Management des Verkehrs in Tourismusgebieten**
(ASIT / IC Infraconsult AG)
- 1999 **„Kernfahrbahnen“ Optimierte Führung des Veloverkehrs an engen Strassenquerschnitten ***
(Metron Verkehrsplanung und Ingenieurbüro AG)
- 2000 **Sensitivitäten von Angebots- und Preisänderungen im Personenverkehr**
(Prognos AG)
- 2000 **Dephi-Umfrage Zukunft des Verkehrs in der Schweiz**
(P. Widmer / IPSO Sozial-, Marketing- und Personalforschung)
- 2000 **Der Wert der Zeit im Güterverkehr**
(Jenni + Gottardi AG)
- 2000 **Floating Car Data in der Verkehrsplanung**
(Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG + Rosenthaler + Partner AG)
- 2000 **Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable: Experimente mit verschiedenen Befragungssätzen**
(IVT - ETHZ)
- 2001 **Aktivitätenorientierte Personenverkehrsmodelle, Vorstudie**
(P. Widmer und K.W. Axhausen)
- 2001 **Zeitkostenansätze im Personenverkehr**
(G. Abay und K.W. Axhausen)
- 2001 **Véhicules électriques et nouvelles formes de mobilité**
(Transitec Ingénieurs-Conseils SA)
- 2001 **Besetzungsgrad von Personenwagen: Analyse von Bestimmungsgrössen und Beurteilung von Massnahmen zu dessen Erhöhung**
(RAPP AG Ingenieure + Planer)
- 2001 **Grobkonzept zum Aufbau einer multimodalen Verkehrsdatenbank**
(INFRAS)
- 2001 **Ermittlung der Gesamtleistungsfähigkeit (MIV + ÖEV) bei lichtsignalgeregelten Knoten**
(büro S-ce Simon-consulting-engineering)
- 2001 **Besteuerung von Autos mit einem Bonus/Malus-System im Kanton Tessin**
(U. Schwegler Büro für Verkehrsplanung)
- 2001 **GIS als Hilfsmittel in der Verkehrsplanung**
(büro widmer)
- 2001 **Umgestaltung von Strassen im Zuge von Erneuerungen**
(Infraconsult AG + Zellner + Maurer AG)
- 2001 **Piloterhebung zum Dienstleistungsverkehr und zum Gütertransport mit Personenwagen**
(Prognos AG, Emch+Berger AG, IVU Traffic Technologies AG)
- 2002 **Parkplatzbewirtschaftung bei publikumsintensiven Einrichtungen - Auswirkungenanalyse**
(Metron AG, Neosys AG, Hochschule Rapperswil)
- 2002 **Probleme bei der Einführung und Durchsetzung der im Transportwesen geltenden Umweltschutzbestimmungen; unter besonderer Berücksichtigung des Vollzugs beim Strassenverkehrslärm**
(B+S Ingenieur AG)
- 2002 **Nachhaltigkeit und Koexistenz in der Strassenraumplanung**
(Berz Hafner + Partner AG)
- 2002 **Warum steht P. Müller lieber im Stau als im Tram?**
(Planungsbüro Jürg Dietiker / MOVE RAUM P. Regli / Landert Farago Davatz & Partner / Dr. A. Zeyer)
- 2002 **Nachhaltigkeit im Verkehr**
(Jenni + Gottardi AG)
- 2002 **Massnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz längerer Fuss- und Velostrecken**
(Arbeitsgemeinschaft Büro für Mobilität / V. Häberli / A. Blumenstein / M. Wältli)
- 2002 **Carreiseverkehr: Grundlagen und Perspektiven**
(B+S Ingenieur AG / Gare Routière de Genève)
- 2002 **Potentielle Gefahrenstellen**
(Basler & Hofmann / Psychologisches Institut der Universität Zürich)
- 2003 **Evaluation kurzfristiger Benzinpreiserhöhungen**
(Infras / M. Peter / N. Schmidt / M. Maibach)
- 2002 **Verlässlichkeit als Entscheidungsvariable, Vorstudie**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2002 **Mischverkehr MIV / ÖV auf stark befahrenen Strassen**
(Verkehrsingenieurbüro TEAMverkehr)

- 2003 **Vorstudie zu den Wechselwirkungen Individualverkehr – öffentlicher Verkehr infolge von Verkehrstelematik-Systemen**
(Abay & Meier, Zürich)
- 2003 **Strassen mit Gemischtverkehr: Anforderungen aus der Sicht der Zweiradfahrer**
(WAM Partner, Planer und Ingenieure, Solothurn)
- 2003 **Erfolgskontrolle von Umweltschutzmassnahmen bei Verkehrsvorhaben**
(Metron Landschaft AG, Brugg / Quadra GmbH, Zürich / Metron Verkehrsplanung AG, Brugg)
- 2004 **Perspektiven für kurze Autos**
(Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann, Zollikon)
- 2004 **Lange Planungsprozesse im Verkehr**
(BINARIO TRE, Windisch)
- 2004 **Auswirkungen von Personal Travel Assistance (PTA) auf das Verkehrsverhalten**
(Ernst Basler und Partner AG, Zürich)
- 2004 **Methoden zum Erstellen und Aktualisieren von Wunschlinienmatrizen im motorisierten Individualverkehr**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2004 **Zeitkostenansätze im Personenverkehr**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT / Rapp Trans AG, Zürich)
- 2004 **Determinanten des Freizeitverkehrs: Modellierung und empirische Befunde**
(ETH Zürich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT)
- 2004 **Verfahren von Technology Assessment im Verkehrswesen**
(Rapp Trans AG, Zürich / IKAÖ, Bern / Interface, Luzern)
- 2004 **Mobilitätsdatenmanagement für lokale Bedürfnisse**
(SNZ, Zürich / TEAMverkehr, Cham / Büro für Verkehrsplanung, Fischingen)
- 2004 **Auswirkungen neuer Arbeitsformen auf den Verkehr - Vorstudie**
(INFRAS, Bern)
- 2004 **Standards für intermodale Schnittstellen im Verkehr**
(synergo, Zürich / ILS NRW, Dortmund)
- 2005 **Verkehrsumlegungs-Modelle für stark belastete Strassennetze**
(büro widmer, Frauenfeld)
- 2005 **Wirksamkeit und Nutzen der Verkehrsinformation**
(B+S Ingenieure AG, Bern / Ernst Basler + Partner AG, Zürich / Landert Farago Partner, Zürich)
- 2005 **Spezialisierung und Vernetzung: Verkehrsangebot und Nachfrageentwicklung zwischen den Metropolitanräumen des Städtesystems Schweiz**
(synergo, Zürich)
- 2005 **Wirkungsketten Verkehr - Wirtschaft**
(ECOPLAN, Altdorf und Bern / büro widmer, Frauenfeld)
- 2005 **Cleaner Drive**
Hindernisse für die Markteinführung von neuen Fahrzeug-Generationen
(E'mobile, der Schweizerische Verband für elektrische und effiziente Strassenfahrzeuge, Urs Schwegler)
- 2005 **Spezifische Anforderungen an Autobahnen in städtischen Agglomerationen**
(Ingenieur- und Planungsbüro Dr. Walter Berg, Zürich)
- 2005 **Instrumente für die Planung und Evaluation von Verkehrssystem-Management-Massnahmen**
(Jenni + Gottardi AG, Zürich / Universität Karlsruhe)
- 2005 **Trafic de support logistique de grandes manifestations (Betriebsverkehr von Grossanlässen)**
(Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL)
- 2005 **Verkehrsdosierungsanlagen, Strategien und Dimensionierungsgrundsätze**
(Ingenieurbüro Walter Berg, Zürich)
- 2005 **Angebote und Erfolgskriterien im nächtlichen Freizeitverkehr**
(Planungsbüro Jud, Zürich)
- 2005 **Vor- und Nachlauf im kombinierten Ladungsverkehr**
(Rapp Trans AG, Zürich)
- 2005 **Finanzielle Anreize für effiziente Fahrzeuge - Eine Wirkungsanalyse der Projekte VEL2 (Tessin) und NewRide in Basel und Zürich**
(Rapp Trans AG, Zürich / Interface, Luzern)
- 2006 **Reduktionsmöglichkeiten externer Kosten des MIV am Beispiel des Förderprogramms VEL2 im Kanton Tessin**
(Università della Svizzera Italiana, Lugano / Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich)
- 2006 **Nachhaltigkeit im Verkehr**
Indikatoren im Bereich Gesellschaft
(Ernst Basler + Partner AG, Zollikon / Landert Farago Partner, Zürich)
- 2006 **Früherkennung von Entwicklungstrends zum Verkehrsangebot**
(Interface - Institut für Politikstudien, Luzern)
- 2006 **Publikumsintensive Einrichtungen PE: Planungsgrundlagen und Gesetzmässigkeiten**
(Metron Verkehrsplanung AG, Brugg / Transitec Ingenieurs-Conseils SA, Lausanne / Fussverkehr Schweiz, Zürich)

- 2006 **Erhebung des Fuss- und Veloverkehrs**
(IRAP, Hochschule für Technik, Rapperswil / Fussverkehr Schweiz, Zürich / Pestalozzi & Stäheli, Basel / Daniel Sauter, Urban Mobility Research, Zürich)
- 2006 **Verkehrstechnische Beurteilung multimodaler Betriebskonzepte auf Strassen innerorts**
(S-ce Simon consulting experts, Zürich)
- 2006 **Beurteilung von Busbevorzugungsmassnahmen**
(Metron Verkehrsplanung AG, Brugg)
- 2006 **Error Propagation in Macro Transport Models**
(Systems Consult, Monaco / B+S Ingenieur AG, Bern)
- 2007 **Fussgängerstreifenlose Ortszentren**
(Ingenieurbüro Ghielmetti, Winterthur / IAP, Zürich)
- 2007 **Kernfahrbahnen auf Ausserortsstrecken**
(Frossard GmbH, Zürich)
- 2007 **Road Pricing Modelle auf Autobahnen und in Stadtregionen**
(INFRAS, Zürich / Rapp Trans AG, Basel)
- 2007 **Verkopplung zwischen Verkehrs- und Wirtschaftswachstum**
(INFRAS, Zürich / Università della Svizzera Italiana, Lugano)
- 2007 **Genderfragen in der Verkehrsplanung Vorstudie**
(SNZ Ingenieure und Planer AG, Zürich)
- 2007 **Konfliktanalyse beim Mischverkehr**
(Sigmaplan AG, Bern)
- 2007 **Verfahren zur Berücksichtigung der Zuverlässigkeit in Evaluationen**
(Ernst Basler + Partner AG, Zürich / Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich)
- 2007 **Überlegungen zu einem Marketingansatz im Fuss- und Veloverkehr**
(Büro für Mobilität AG, Bern/Burgdorf / büro für utopien, Burgdorf/Berlin / LP Ingenieure AG, Bern / Masciardi communication & design AG, Bern)
- 2008 **Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhaltens**
(Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT) ETH, Zürich / TRANSP-OR EPF Lausanne, Lausanne / IRE USI, Lugano)
- 2008 **Ausgestaltung von multimodalen Umsteigepunkten**
(Metron AG, Brugg / Universität Zürich Sozialforschungsstelle, Zürich)
- 2008 **Überbreite Fahrstreifen und zweistreifige Schmalfahrbahnen**
(IRAP HSR Hochschule für Technik, Rapperswil)
- 2008 **Fahrten- und Fahrleistungsmodelle: Erste Erfahrungen**
(Hesse+Schwarze+Partner, Zürich / büro widmer, Frauenfeld)
- 2008 **Quantitative Auswirkungen von Mobility Pricing Szenarien auf das Mobilitätsverhalten und auf die Raumplanung**
(Verkehrsconsulting Fröhlich, Zürich / TransOptima GmbH, Olten / Ernst Basler + Partner AG, Zürich)
- 2008 **Organisatorische und rechtliche Aspekte des Mobility Pricing**
(Ernst Basler + Partner AG)
- 2008 **Forschungspaket "Güterverkehr", Initialprojekt "Bestandesaufnahme und Konkretisierung des Forschungspakets"**
(Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich - ETH / Università della Svizzera Italiana / Universität St. Gallen)
- 2008 **Freizeitverkehr innerhalb von Agglomerationen**
(Hochschule Luzern - Wirtschaft, Luzern / ISOE, Frankfurt am Main / Interface Politikstudien, Luzern)
- 2008 **Gesetzmässigkeiten des Anlieferverkehrs**
(Sigmaplan AG / Rudolf Keller & Partner Verkehrsingenieure AG)
- 2009 **Modal Split Funktionen im Güterverkehr**
(Rapp Trans AG, Zürich / IVT ETH, Zürich)
- 2009 **Mobilitätsmuster zukünftiger Rentnerinnen und Rentner: eine Herausforderung für das Verkehrssystem 2030?**
(büro widmer Frauenfeld / Institut für Psychologie, Universität Bern)
- 2008 **Mobilitätsmanagement in Berieben - Motive und Wirksamkeit**
(synergo, Zürich / Tensor Consulting AG, Bern)
- 2009 **Monitoring und Controlling des Gesamtverkehrs in Agglomerationen**
(Ecoplan, Altdorf und Bern / Ernst Basler + Partner, Zürich)
- 2009 **Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen**
(Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften zhaw, Winterthur / Jenni + Gottardi AG, Thalwil)
- 2009 **Nettoverkehr von verkehrsintensiven Einrichtungen (VE)**
(Berz Hafner + Partner AG, Bern / Hornung Wirtschafts- und Sozialstudien, Bern / Künzler Bossert + Partner GmbH, Bern / Roduner BSB + Partner AG, Schliern)
- 2009 **Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung**
(synergo, Mobilität - Politik - Raum, Zürich / Institut für Politikwissenschaft/Uni Bern, Bern / Büro Vatter, Bern / Büro für Mobilität AG, Bern)

- 2009 **Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung**
(Rapp Trans AG, Zürich / ZHAW, Wädenswil, IAS Institut für Angewandte Simulation)
- 2009 **Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie**
(Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich)
- 2010 **Optimierung der Stassenverkehrsfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen**
(Rapp Trans AG, Zürich)
- 2010 **Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben**
(B. S. S. Volkswirtschaftliche Beratung AG, Basel / Basler & Hofmann AG, Zürich)
- 2011 **Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit**
(Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich)
- 2011 **Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung**
(Pestalozzi & Stäheli, Basel / Schweiz. Fachstelle für behindertengerechtes Bauen, Zürich)
- 2011 **Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz**
(Interfakultäre Koordinationsstelle für Allgemeine Ökologie (IKAÖ), Bern / Interface Politikstudien Forschung und Beratung, Luzern / verkehrsteiner, Bern)
- 2011 **Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen**
(Ingenieurbüro Ghilmetti, Chur / Pestalozzi & Stäheli, Basel / verkehrsteiner, Bern)
- 2011 **Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum**
(Ecoplan, Bern / Metron, Brugg)
- 2011 **Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten**
(büro widmer ag, Frauenfeld / Rudolf Keller & Partner AG, Muttlenz)
- 2011 **Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes**
(ROLAND RIBI & ASSOCIES SA, Genève)
- 2011 **Aggressionen im Verkehr**
(Basler & Hofmann AG, Zürich / Psychologischer Dienst der Psychiatrischen Universitätsklinik PUK, Basel)
- 2011 **Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen**
(IVT, ETH Zürich)
- 2012 **Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen**
(Ernst Basler + Partner AG, Zürich / Innovationszentrum für Mobilität und gesellschaftlichen Wandel (Inno2) GmbH, Berlin / ETH Zürich - Institut für Umweltentscheidungen, Zürich)
- 2012 **Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?**
(Universität Zürich, Zürich / Planungsbüro Jud AG, Zürich / Boss et Partenaires SA, Neuchâtel)
- 2012 **Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs**
(IVT, ETH Zürich)
- 2012 **Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung**
(Rapp Trans AG)
- 2012 **Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?**
(Büro Widmer AG, Frauenfeld / Institut für Datenanalyse und Prozessdesign (idp) Zürcher Hochschule, Winterthur)
- 2012 **Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen**
(Hochschule Luzern - Wirtschaft (HSLU), Luzern / Hochschule für Technik (HSR), Rapperswil)
- 2012 **Wissens- und Technologietransfer im Verkehrsbereich**
(Hochschule Luzern, Luzern / Planungsbüro Jud, Zürich)
- 2012 **Regulierung des Güterverkehrs**
(INFRAS, Zürich / Rapp Trans AG, Zürich / Moll Advokatur, Bern)
- 2012 **Auswirkungen auf die Transportwirtschaft**
(INFRAS, Zürich / Rapp Trans AG, Zürich / Moll Advokatur, Bern)
- 2012 **Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen**
(regioConcept AG, Herisau)
- 2013 **Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr**
(Metron Verkehrsplanung AG / Sozialforschungsstelle Universität Zürich)
- 2013 **Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?**
(ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, IAP Institut für Angewandte Psychologie, Winterthur / Frossard GmbH, Zürich / verkehrsteiner AG, Bern)
- 2013 **Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen**
(B+S AG, Bern)
- 2013 **Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen – Vorstudie**
(Zentrum für integrierte Verkehrssysteme GmbH / SNZ Ingenieure und Partner AG / Institut für Verkehrspsychologie Aachen)
- 2013 **Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz**
(Lehrstuhl für Logistikmanagement – Universität St Gallen / Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme – ETH Zürich)

- 2013 **Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren**
(Rapp Trans AG, Basel)
- 2013 **Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen**
(ewp AG, Effretikon / Planungsbüro Jürg Dietiker)
- 2013 **Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends**
(ProgTrans AG, Basel)
- 2013 **Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs**
(ProgTrans AG, Basel / Neiger GmbH, Basel)
- 2014 **Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs – Teil 1**
(Infras AG, Zürich / SBB AG, Bern / PTV, Karlsruhe / Heinz Steven, Heinsberg)
- 2014 **Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs – Teil 2**
(Infras AG, Zürich / SBB AG, Bern / PTV, Karlsruhe / Heinz Steven, Heinsberg)
- 2014 **Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten**
(Rapp Trans AG, Zürich / Lehrstuhl für Logistikmanagement, Universität St. Gallen / Prog Trans AG, Basel)
- 2014 **Begegnungszonen – eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung**
(verkehrsteiner AG, Bern)

* vergriffen: Diese Exemplare können auf Wunsch nachkopiert werden
*épuisé: Selon désir, ces rapports peuvent être copiés

Die Berichte können bezogen werden bei / Les rapports peuvent être commandés au:
VSS, Sihlquai 255, 8005 Zürich,
Tel. 044 / 269 40 20, Fax. 044 / 252 31 30, info@vss.ch