



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

Statistische Analyse von Unfallzahlen

Analyse statistique du nombre des accidents

Statistical Analysis of Accident Occurrences

EBP Schweiz AG
Markus Deublein, Dr. sc. ETH
Helgi Hafsteinsson, dipl. Ing. ETH

Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, ZHAW
Martin Frey, Dr. sc. ETH
Marcel Dettling, Dr. sc. ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, ETHZ
Lukas Meier, Dr. sc. ETH
Markus Kalisch, Dr. sc. ETH

**Forschungsprojekt VSS 2016/511/ auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Juli 2018

1634

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

Statistische Analyse von Unfallzahlen

Analyse statistique du nombre des accidents

Statistical Analysis of Accident Occurrences

EBP Schweiz AG
Markus Deublein, Dr. sc. ETH
Helgi Hafsteinsson, dipl. Ing. ETH

Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, ZHAW
Martin Frey, Dr. sc. ETH
Marcel Dettling, Dr. sc. ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, ETHZ
Lukas Meier, Dr. sc. ETH
Markus Kalisch, Dr. sc. ETH

**Forschungsprojekt VSS 2016/511/ auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Juli 2018

1634

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Markus Deublein

Mitglieder

Helgi Hafsteinsson

Martin Frey

Marcel Dettling

Lukas Meier

Markus Kalisch

Federführende Fachkommission

Fachkommission 5: Betrieb

Begleitkommission

Präsident

Wernher Brucks

Mitglieder

Anja Simma

Lukas Bähler

Daniel Baumann

Benedikt Eberle

Patrick Eberling

Steffen Niemann

Stevan Skeledzic

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

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

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	7
	Résumé	11
	Summary	15
1	Einleitung	19
1.1	Ausgangslage.....	19
1.2	Zielsetzung	20
1.3	Abgrenzung	20
1.4	Vorgehen.....	21
2	Situationsanalyse	25
2.1	Evaluation Norm VSS SN 640 008	25
2.1.1	Allgemein.....	25
2.1.2	Analyse von Unfallzahlen	25
2.1.3	Analyse von Entwicklungen	25
2.2	Bedürfnisse aus der Praxis	26
2.3	Konzeption und Anwendungsfälle.....	27
2.3.1	Konzeption	27
2.3.2	Anwendungsfall 1: Zeitreihen-Monitoring.....	29
2.3.3	Anwendungsfall 2: Wirkungsanalyse	30
3	Auswahl statistischer Methoden	31
3.1	Vorgehen.....	31
3.2	Literaturrecherche	31
3.2.1	Allgemein.....	31
3.2.2	Zeitreihen-Monitoring	32
3.2.3	Wirkungsanalyse	34
3.3	Zeitreihen-Monitoring	36
3.3.1	Auslegeordnung und Wahl der statistischen Methode	36
3.3.2	Methodik für das Zeitreihen-Monitoring	37
3.3.3	Darstellung der Resultate Zeitreihen-Monitoring	40
3.4	Massnahmenwirksamkeit.....	44
3.4.1	Auslegeordnung und Wahl statistischer Methode.....	44
3.4.2	Methodik für die Wirkungsanalysen	45
3.4.3	Darstellung der Resultate aus der Wirkungsanalyse	53
4	Umsetzung in die Praxis	55
4.1	Praktische Anwendung	55
4.2	Neue Norm VSS SN 640 712.....	55
4.2.1	Inhalt.....	55
4.2.2	Struktur.....	57
4.3	Praktische Implementierung.....	58
5	Schlussfolgerungen und Ausblick	59
5.1	Diskussion	59
5.2	Ausblick und Empfehlungen.....	60
	Anhänge	63
	Glossar	109
	Literaturverzeichnis	111
	Projektabschluss	113
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	117

Zusammenfassung

Die Untersuchung und Auswertung des Unfallgeschehens im Strassenverkehr stellt eine zentrale Aufgabe von Sicherheitsverantwortlichen dar. Die systematische Analyse der daraus gewonnenen Informationen anhand von statistischen Methoden ermöglicht es, eine fundierte Aussage über das beobachtete Unfallgeschehen zu machen und – wenn nötig – zielgerichtete Massnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit einzuleiten.

In der Schweiz werden heute sehr unterschiedliche Methoden zur statistischen Analyse von Unfallzahlen angewandt. Diese weisen zum Teil Unzulänglichkeiten auf und sind aufgrund der hohen Komplexität ohne vertiefte statistische Vorkenntnisse für die Gruppe potenzieller Anwender nur bedingt hilfreich. Eine geeignete Hilfestellung für die statistische Analyse von Unfallzahlen ist zurzeit nicht vorhanden. Im Rahmen dieser Forschungsarbeit werden mit der Entwicklung standardisierter, praxistauglicher Methoden zur Beurteilung der zeitlichen Entwicklung von Unfallzahlen und zur Wirkungskontrolle von Massnahmen die entsprechenden Grundlagen geschaffen, um diese Lücke zu schliessen.

Anhand einer umfangreichen Situationsanalyse wurde die Ausgangslage untersucht. Dabei wurden die bestehende Norm VSS SN 640 008 systematisch evaluiert und mögliche Verbesserungspotenziale identifiziert. Mit Hilfe von Expertenbefragungen konnten die Anliegen und Bedürfnisse potenzieller Anwender der zu erarbeiteten Methoden ermittelt werden. Dabei zeigte sich zum einen, dass die bestehende Norm nahezu keine Anwendung findet. Zum anderen betonten die Interviewpartner den grossen Stellenwert pragmatischer, alltagstauglicher Methoden. Häufig wurde der Wunsch geäussert, neue Hilfsmittel in bestehende IT Tools zu integrieren.

Im Rahmen einer umfassenden Literaturrecherche wurde der aktuelle Stand der Forschung dargestellt. Anhand einer Auslegeordnung wurden die gängigsten Methoden und Verfahren beschrieben und ihre Anwendbarkeit für die Fragestellungen des vorliegenden Projekts geprüft.

Einbettung in ein integrales Sicherheitsmanagement

Aus den Befragungen und den bestehenden Rahmenbedingungen für ein integrales (Strassenverkehrs-)Sicherheitsmanagement in der Schweiz leitet sich die in Abb. 1 dargestellte Konzeption des Lösungsansatzes im Forschungsprojekt ab.

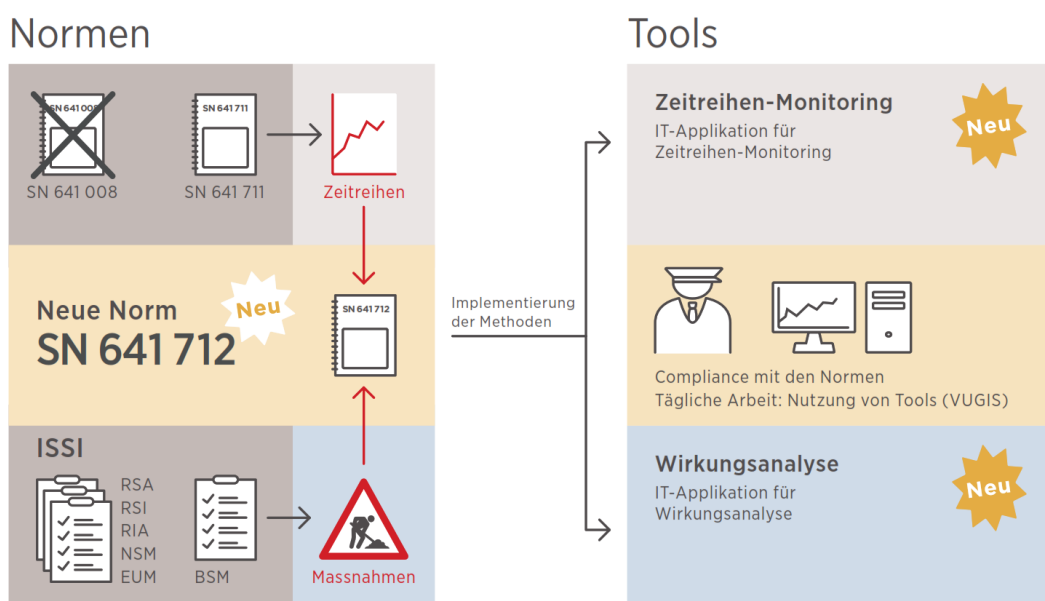


Abb. 1 Konzeption des Lösungsansatzes und der praktischen Implementierung in den Kontext eines schweizerischen integralen (Strassenverkehrs-) Sicherheitsmanagements

Die Konzeption des Lösungsansatzes besteht im Wesentlichen aus einer auf die Fragestellungen und Anwendungsfälle des Forschungsprojekts zugeschnittenen Norm in Kombination mit einer praxistauglichen Implementierung der statistischen Methoden in diejenigen IT-Applikationen, die den Sicherheitsverantwortlichen bereits heute zur Verfügung stehen. Durch diese Kombination wird sichergestellt, dass die wichtigsten methodischen Elemente und Verfahren für eine rechtliche Absicherung in der Norm verankert sind. Damit diese letztendlich aber auch in der täglichen Arbeit der Sicherheitsverantwortlichen zur breiten Anwendung kommt, werden die statistischen Analyseschritte in nutzerfreundlichen IT-Applikationen automatisiert.

Auf dieser konzeptionellen Grundlage wurde eine inhaltliche Ausrichtung des vorliegenden Forschungsprojekts vorgenommen. Die zentralen Forschungsfragen lassen sich demnach anhand der folgenden zwei Anwendungsfälle beschreiben, für die geeignete Methoden entwickelt wurden:

Zeitreihen-Monitoring

Mit dem Zeitreihen-Monitoring wird dem Sicherheitsverantwortlichen ein Instrument zur Verfügung gestellt, mit dessen Hilfe er allgemeine Entwicklungen im Unfallgeschehen untersuchen kann (z. B. Unfälle mit Fussgängerbeteiligung innerhalb einer Gemeinde oder eines Kantons). Die Methodik basiert auf der Negativ-Binomialregression und erlaubt dem Anwender, beobachtete Trends zu quantifizieren und auf ihre statistische Signifikanz (Verlässlichkeit der Resultate) hin zu beurteilen. Neben der allgemeinen Trendanalyse beinhaltet die Methode ein Frühwarnsystem. Dieses meldet dem Anwender, ob das aktuelle jährliche Unfallgeschehen im Vergleich zu früheren Jahren auffällig hoch ist, und ermöglicht ihm damit zu erkennen, wann und wie dringend er durch geeignete Massnahmen Einfluss nehmen sollte.

Wirkungsanalysen für Massnahmen

Die Methodik für die Wirkungsanalyse basiert ebenfalls auf der Negativ-Binomialregression. Bei der Wirkungsanalyse geht es darum, durchgeführte Massnahmen im Strassenverkehr auf ihre (Sicherheits-)Wirkung zu überprüfen. Mittels einer automatischen Modellselektion können unterschiedliche Ausgangssituationen, die in der Praxis anzutreffen sind, analysiert werden. Das Verfahren ermöglicht dem Anwender, die Wirkung der untersuchten Massnahme zu quantifizieren (z. B. Reduktion des mittleren Unfallgeschehens um X Unfälle pro Jahr), und liefert Hinweise zur statistischen Signifikanz (Verlässlichkeit) der Resultate.

Ein zentraler Bestandteil der beiden Methoden ist die anschauliche Darstellung der Analyseergebnisse. Im Rahmen der automatischen Auswertung werden Unfallzeitreihen, Unsicherheitsbereiche und Trends sowie numerische Kennzahlen zur Trendentwicklung und Veränderung des Unfallgeschehens visualisiert. Dies erleichtert die Interpretation der Ergebnisse erheblich und trägt zu einer höheren Anwenderfreundlichkeit bei.

Ergänzend zu den entwickelten statistischen Methoden wurden Checklisten erstellt. Ein hoher Automatisierungsgrad der Auswertung birgt das Risiko, dass ungeeignete Daten oder unpassende Situationen analysiert werden beziehungsweise, dass dem aktiven Mitdenken des Nutzers zu wenig Beachtung zukommt. Eine solche Gefahr wird durch die Checklisten entschärft. Denn diese enthalten Hinweise zur korrekten Anwendung der Methoden und unterstützen insbesondere die richtige Interpretation der Analyseergebnisse. Im Rahmen von Rechenbeispielen wurde die Anwendbarkeit der erarbeiteten Methoden durch die Verwendung von Unfall- und Massnahmendaten aus der Praxis aufgezeigt. Der zukünftige Nutzer wird dabei durch die Anwendung der Methoden geführt und mit der visuellen Darstellung der Resultate und der entsprechenden Ergebnisinterpretation vertraut gemacht.

Das vorliegende Forschungsprojekt soll als Grundlage für die Erarbeitung einer neuen Norm «Statistische Analyse von Unfallzahlen» mit der geplanten Nummer VSS SN 641 712 dienen. Die Norm wird von der VSS Normierungs- und Forschungskommission NFK 5.3 erarbeitet. Das ist ein wichtiger Schritt, denn erst mit der Verankerung der Methoden in einer Norm wird die Basis für deren breite, einheitliche Anwendung geschaffen. Ein

Vorschlag für die Struktur sowie Hinweise zu inhaltlichen Aspekten der neuen Norm wurden erarbeitet. In diesem Zusammenhang wurde die Implementierung in IT-Tools als Schlüsselfaktor für die praxistaugliche Anwendung der Methoden identifiziert und deren Einbettung in die bestehenden MISTRA-Fachapplikationen DWH-VU beziehungsweise VUGIS vorgeschlagen. Die notwendigen Softwarelösungen – einschliesslich einer ansprechenden Benutzeroberfläche – sind noch zu programmieren. Die im Rahmen dieses Forschungsprojekts erarbeiteten R-Codes können dafür bereits als Grundlage dienen. Die korrekte Anwendung der Methoden und Interpretation der Resultate dürfte, je nach untersuchter Situation, auch mit Hilfe der Checklisten für den ungeübten Anwender anspruchsvoll sein. Aus diesem Grund sollten Anwendern Schulungsangebote zur Verfügung gestellt werden. Diese tragen zu einer qualitativ besseren Analyse bei und bieten eine Plattform für den gezielten Erfahrungsaustausch.

Mit Hilfe der in diesem Forschungsprojekt entwickelten Methoden für das Zeitreihen-Monitoring und die Wirkungsanalyse von Massnahmen wird den Sicherheitsverantwortlichen in der Schweiz eine nützliche Hilfestellung an die Hand gegeben. Im Rahmen der täglichen Sicherheitsarbeit sind diese Methoden jedoch nur ein Teil der Grundlagen für eine möglichst breit abgestützte und im Sinne der Verkehrssicherheit optimale Entscheidungsfindung. Es bleibt eine zentrale Aufgabe der Sicherheitsverantwortlichen, die zur Verfügung gestellten Hilfsmittel und Informationen kritisch zu hinterfragen und zielführend sowie verantwortungsvoll zu nutzen.

Der weitere Forschungsbedarf liegt vor allem in einer Weiterentwicklung der MISTRA-Fachapplikationen, um die hier entwickelten Methoden für die breite Anwendung unter den Sicherheitsverantwortlichen möglichst einfach zugänglich zu machen. Eine methodische Vertiefung der Wirkungsanalyse beispielsweise anhand von Safety Performance Functions auf Grundlage der Empirical Bayes Methodik und eine Überprüfung ihrer praktischen Anwendbarkeit stellt weiteren Forschungsbedarf dar.

Résumé

L'examen et l'analyse des accidents de la route constituent l'une des tâches principales des responsables de la sécurité. Une analyse systématique des informations obtenues, qui s'appuie sur des méthodes statistiques, permet une affirmation fondée sur l'accidentalité constatée et, si nécessaire, la prise de mesures ciblées destinées à l'amélioration de la sécurité routière.

De nos jours, des méthodes très diverses d'analyse statistique des accidents sont utilisées en Suisse. En partie, celles-ci présentent des lacunes et ne sont que d'une utilité limitée pour le groupe d'utilisateurs potentiels, en raison de leur grande complexité et en l'absence de connaissances statistiques approfondies. Aucune aide adéquate à l'analyse statistique des accidents n'est disponible à l'heure actuelle. Dans le cadre de ce travail de recherche, le développement de méthodes standardisées et praticables d'appréciation pour l'évolution chronologique du nombre d'accidents et de contrôle de l'effet des mesures fournit la base permettant de combler cette lacune.

L'état initial a été examiné moyennant une analyse complète de la situation. Dans ce cadre, la norme en vigueur VSS SN 640 008 a été évaluée de manière systématique et des améliorations potentielles ont été identifiées. Des enquêtes menées auprès d'experts ont permis de connaître les préoccupations et les besoins des utilisateurs potentiels des méthodes élaborées. Il a été constaté, d'une part, que la norme en vigueur n'était que rarement appliquée. D'autre part, les personnes interrogées ont souligné l'importance considérable de méthodes pratiques et utilisables au quotidien. L'intégration de nouveaux outils dans des applications informatiques était un souhait souvent exprimé.

L'état actuel de la recherche a été présenté dans le cadre d'une recherche bibliographique complète. Un état des lieux a permis de décrire les méthodes et les procédures les plus répandues et de contrôler leur applicabilité aux questions du présent projet.

Intégration dans une gestion globale de la sécurité

Le concept d'approche du projet de recherche illustré à la Fig. 1 résulte des enquêtes menées et des conditions-cadres actuelles pour une gestion intégrale de la sécurité (routière) en Suisse.

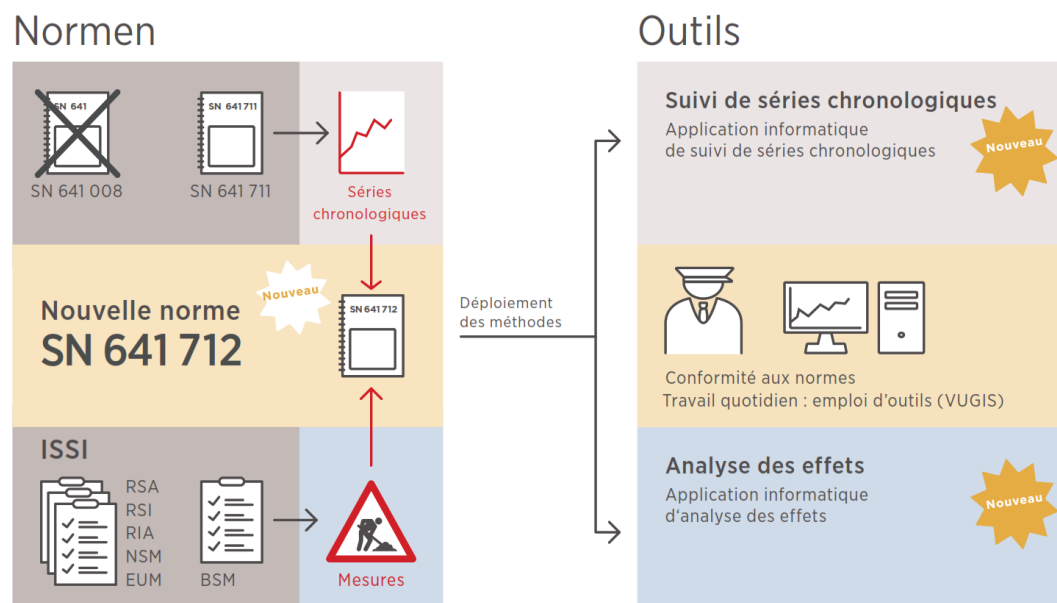


Fig. 1 Concept d'approche et de déploiement pratique dans le contexte de la gestion intégrale de la sécurité (routière) suisse

Ce concept d'approche comprend essentiellement une norme adaptée aux questions et aux cas d'application du projet de recherche, associée au déploiement pragmatique des méthodes statistiques dans les outils informatiques déjà à la disposition des responsables de la sécurité. Cette combinaison permet d'assurer que les principaux éléments et procédures méthodologiques soient ancrés dans la norme, ce qui garantit leur protection juridique. Dans le but d'obtenir ensuite une mise en œuvre généralisée de la norme dans le travail quotidien des responsables de la sécurité, les étapes d'analyse statistique sont automatisées dans des applications informatiques conviviales.

La teneur du présent projet de recherche a été définie sur cette base conceptuelle. Les principales questions de recherche peuvent donc être formulées en se fondant sur les deux cas d'application suivants, pour lesquels les méthodologies appropriées ont été élaborées:

Suivi de séries chronologiques

Le suivi de séries chronologiques met à la disposition du responsable de la sécurité un instrument lui permettant d'examiner les évolutions générales en matière d'accidentalité (par ex. accidents de piétons dans une commune ou un canton). Cette méthodologie est axée sur la régression binomiale négative et permet à l'utilisateur de quantifier les tendances observées et d'apprécier leur signification statistique (fiabilité des résultats). En plus de l'analyse générale des tendances, cette méthode comporte aussi un système d'alerte rapide. Celui-ci signale à l'utilisateur si les accidents de l'année en cours sont nettement plus nombreux que les années passées, ce qui lui permet de détecter à quel moment et degré d'urgence il lui faut prendre des mesures adéquates.

Analyse des effets de mesures

La méthodologie de l'analyse des effets est aussi basée sur la régression binomiale négative. L'analyse des effets a pour objectif de vérifier l'incidence (sur la sécurité) des mesures prises sur le réseau routier. Une sélection automatique de modèle permet d'analyser différentes situations de départ survenant dans la pratique. Grâce à cette procédure, l'utilisateur peut quantifier l'effet de la mesure examinée (par ex. réduction du nombre moyen d'accidents de x accidents par an) et obtient des informations sur la signification statistique (fiabilité) des résultats.

La présentation claire des résultats d'analyse constitue un élément essentiel des deux méthodes. Des séries chronologiques d'accidents, des plages d'incertitudes statistiques et des tendances ainsi que des indicateurs numériques de tendance et de changement de l'accidentalité sont visualisés dans le cadre de l'analyse automatique. Ceci facilite nettement l'interprétation des résultats et contribue à une convivialité accrue.

Des listes de contrôle ont été établies en complément des méthodes statistiques développées. Un degré d'automatisation élevé de l'analyse comporte le risque que des données inadéquates ou des situations inappropriées soient analysées ou encore que la participation active de l'utilisateur n'entre pas assez en considération. Les listes de contrôle permettent de réduire ce risque. Elles contiennent des informations sur l'application correcte de la méthode et facilitent notamment l'interprétation correcte des résultats d'analyse. Dans le cadre d'exemples de calcul, l'utilisation de données d'accidents et de mesures issues de la pratique a permis de démontrer l'applicabilité des méthodes élaborées. L'utilisateur futur est guidé dans l'utilisation des méthodes et se familiarise avec la visualisation des résultats et une interprétation correspondante de ces derniers.

Il est prévu que le présent projet serve de base à l'élaboration d'une nouvelle norme « Analyse statistique des accidents » qui devrait porter le numéro VSS SN 641 712. Cette norme est élaborée par la Commission de normalisation et de recherche CNR 5.3 de la VSS. Ceci constitue une étape importante, car ce n'est que lorsque les méthodes sont ancrées dans une norme que la base est créée pour leur application uniforme. Une proposition de structure ainsi que des informations concernant le contenu d'une nouvelle norme ont été élaborées. Dans ce contexte, le déploiement dans des outils informatiques a été identifié comme étant un facteur clé pour la mise en pratique des méthodes, et leur intégration aux applications spécialisées existantes MISTRA DWH-VU ou VUGIS a été suggérée. Les solutions logicielles nécessaires, y compris une interface utilisateur conviviale, doivent encore être programmées. Les codes R élaborés dans le cadre de ce projet de recherche peuvent déjà servir de base. Même avec des listes de contrôle, l'application correcte des méthodes et l'interprétation des résultats risquent de présenter une certaine complexité pour l'utilisateur débutant. C'est pourquoi des offres de formation

devraient être mises à la disposition des utilisateurs. Elles contribuent à améliorer la qualité de l'analyse et offrent une plate-forme pour l'échange ciblé d'expériences.

Les méthodes de suivi de séries chronologiques et d'analyse des effets de mesures développées dans le cadre de ce projet de recherche fournissent une aide utile aux responsables de la sécurité en Suisse. Cependant, dans le cadre du travail quotidien en faveur de la sécurité, elles constituent un instrument parmi tant d'autres, dont l'utilisation professionnelle et ciblée, ainsi que l'interprétation combinée visant la prise de décisions optimales, continuent d'incomber au responsable de la sécurité.

Le développement des applications spécialisées MISTRA nécessite avant tout des recherches plus poussées afin de rendre les méthodes développées ici aussi facilement accessibles que possible pour une large application parmi les responsables de la sécurité. Un approfondissement méthodique de l'analyse d'impact, par exemple au moyen de fonctions de performance de sécurité sur la base de la méthodologie Empirical Bayes et d'un examen de son applicabilité pratique, représente un autre besoin de recherche.

Summary

Investigating and evaluating traffic accidents is one of the key tasks faced by decision-makers who are involved in traffic safety. Systematic analysis of the resulting information using statistical methods allows users to draw reliable conclusions about the accident trends and figures observed and to adopt targeted measures to increase road traffic safety (RTS), where needed.

A wide range of different statistical methods are used to analyze accident figures in Switzerland today. Some of these methods have proven inadequate and of limited help to potential user groups due to their high level of complexity and the users' lack of in-depth statistical knowledge. No suitable tool for the statistical analysis of accident figures currently exists. The foundation established by this research work aims to close this gap by developing standardized, practically-applicable methods for assessing the trends in accident figures over time, and monitoring the impact of the adopted measures.

The current situation was assessed using a comprehensive situation analysis. The existing VSS SN 640 008 standard was systematically evaluated and potential improvements identified. The concerns and needs of potential users of the methods to be developed were collected via surveys of specialists in the field. These surveys showed, on the one hand, that the existing standard is hardly ever used. On the other hand, those interviewed underscored the need to find pragmatic methods suitable for everyday use. Interviewees often expressed the need to be able to integrate new tools into existing IT systems and applications.

A comprehensive literature review presented a synthesis of the latest research in this field, providing an overview of the most common methods and procedures, and an evaluation of their applicability to the issues addressed in this project.

Use within an integrated safety management system

The survey results and the existing contextual conditions for an integrated (road traffic) safety management system in Switzerland served as the basis for designing the solution that the research project culminated in, as shown in Fig. 1.

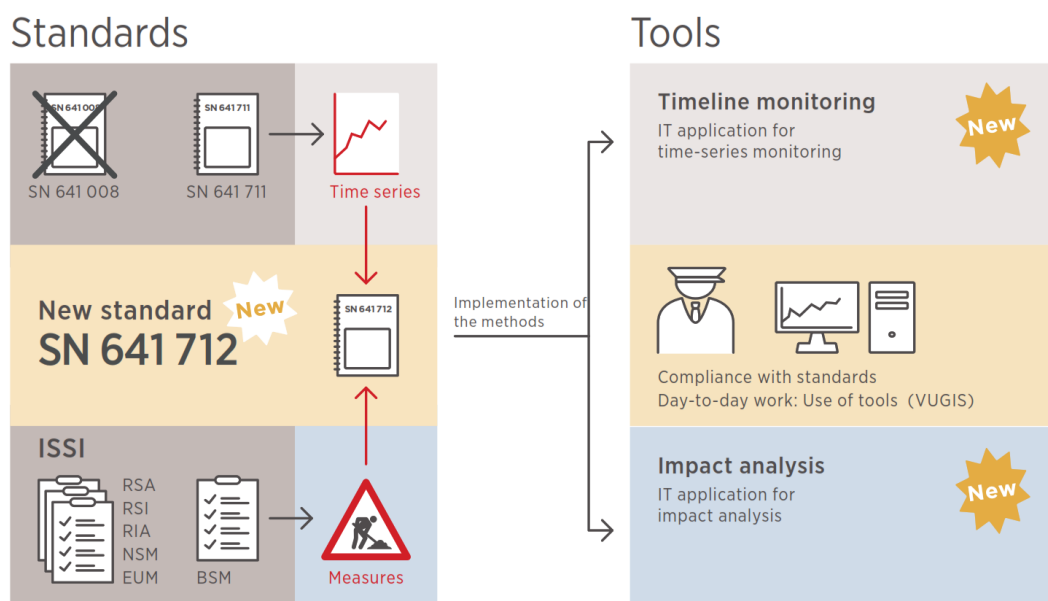


Fig. 1 The solution design and its practical implementation in the context of an integrated (road traffic) safety management system in Switzerland

The solution was ultimately arrived at through the development of a standard that was tailored to the issues and specific applications addressed in the research project, in

combination with the practical deployment of statistical methods in existing IT applications that are already available to the relevant RTS decision-makers. This combination ensures that the most important methodological elements and procedures for a sound legal basis are embedded in the standard. The statistical analysis steps are automated in user-friendly IT applications to ensure that the standard is also widely applied by decision-makers in the workplace.

This was the concept that underpinned and dictated the content of the research project. The central research questions can therefore be described using the following two specific applications for which suitable methodologies have been developed:

Time-series monitoring

Time-series monitoring provides the decision-maker with a tool that can be used to analyze general trends for a particular category of accident (e.g. accidents involving pedestrians within a municipality or canton). The methodology is based on negative binomial regression and enables the user to quantify observed trends and assess their statistical significance (reliability of results). In addition to a general analysis of trends, the method includes an early warning system, which indicates to the user whether the current annual accident incidence is notably higher than in previous years, thus making it possible to identify when and how urgently appropriate measures should be taken to manage the situation.

Impact analysis for adopted measures

The methodology for impact analysis is also based on negative binomial regression. The aim of the impact analysis is to assess the impact on safety of the various road traffic measures adopted. Using automatic model selection, various existing situations can be analyzed. The method then allows the user to quantify the impact of the measure being evaluated (e.g. reduction in the average accident rate by X no. of accidents per year) and provides information on the statistical significance (reliability) of the results.

A central component of both methods is a clear presentation of the results of the analysis. As part of the automatic evaluation, accident timelines, areas of uncertainty and trends are presented visually, along with numerical KPIs for trend development and changes in accident figures. This greatly facilitates interpretation of the results and makes for a more user-friendly application.

Checklists have been created to supplement the statistical methods developed. A high degree of automation in the evaluation poses the risk that unsuitable data or inappropriate situations are analyzed, or that too little attention is paid to the active input of the user. The checklists are designed to minimize this risk. They contain rules on the correct application of the methods, and aid, in particular, in the correct interpretation of the results. Example calculations demonstrate how these innovative methods can be applied, with the help of real-life accident data along with various measures that have been adopted in practice. The user learns how the methods are applied and is familiarized with how the results are visually presented and interpreted.

This research project aims to lay the foundation for the development of a new standard for the "Statistical analysis of accident figures". The standard is being developed by the VSS Standardization and Research Commission NFK 5.3, under the proposed reference number VSS SN 641 712. This is an important step, as widespread and standardized application of the methods is only possible when the methods are embedded in a standard. A proposal for the structure as well as information on the content-specific aspects of a new standard have been drawn up. In this context, the realization in the form of IT tools was identified as a key factor for the practical application of the methods, and it was proposed that they be incorporated into the existing DWH-VU (data warehouse for road traffic accidents) and VUGIS (analysis of traffic accidents using GIS) MISTRA applications. The requisite software solutions, along with an appealing user interface, have yet to be developed. However, the R-codes developed in the course of this research project will serve as a basis for this. Depending on the situation being analyzed, the correct application of the methods and interpretation of the results may be complex for the inexperienced user, even with the help of the checklists. It is therefore recommended that training courses be provided for users. These contribute to qualitatively better analysis as well as offering a forum for sharing experiences.

The methods developed in this research project for timeline monitoring and impact analysis for adopted measures are a useful resource for those working in the field of road traffic safety in Switzerland. Within the scope of everyday road traffic safety management, however, they are just one of a number of tools which the relevant RTS specialists will need to be able to deploy correctly and appropriately, as well as interpret holistically, for the purpose of optimal decision-making.

Further research is required above all in the further development of MISTRA specialist applications in order to make the methods developed here as easily accessible as possible for broad application among those responsible for road safety in Switzerland. A methodical deepening of the impact analysis, for example by means of Safety Performance Functions on the basis of the Empirical Bayes Methodology and a review of its practical applicability, represents a further research requirement.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Das Unfallgeschehen im Strassenverkehr wird durch ein komplexes Zusammenspiel vieler unterschiedlicher Einflussparameter aus verschiedenen Bereichen bestimmt. Nicht alle dieser Parameter sind beobachtbar oder kontrollierbar, so dass das Eintreten von Unfallereignissen zu einem bedeutsamen, aber nicht zwingend dominierenden Teil durch Zufälligkeiten mitbestimmt wird. Mit dem Ziel, die Risiken im Strassenverkehr künftig weiter mindern zu können, bildet die Analyse und Auswertung des Unfallgeschehens eine wichtige Grundlage. Dadurch wird ein wichtiger Beitrag geleistet, um das Verständnis und Wissen von den Wechselwirkungen verschiedener Einflussparameter mit dem Unfallgeschehen stetig zu verbessern. Methodisch geht es vor allem darum, das Unfallgeschehen zielgerichtet und hinreichend genau zu beobachten, die für die Entscheidungsfindung relevanten Informationen über das Unfallgeschehen zu erkennen, zu sammeln, zu analysieren und richtig zu interpretieren. Die Analyse und Auswertung dieser Informationen anhand von statistischen Methoden und der daraus resultierende Wissensgewinn trägt dazu bei, den Anteil der nicht erklärbaren Zufälligkeiten zu reduzieren und Aussagen auf einer statistisch abgesicherten Grundlage treffen zu können.

Gerade vor dem Hintergrund knapper öffentlicher Gelder und der wachsenden Bedeutung einer möglichst effektiven und effizienten Verwendung dieser Mittel ist die Entscheidung, wann eine Massnahme durchgeführt und welche Massnahmen zur Reduktion von Unfallhäufungen umgesetzt werden soll, von sehr grosser Bedeutung. Im Anschluss an die Realisierung von infrastrukturellen oder regulativen Massnahmen stellt sich zudem die Frage, wie wirksam im Sinne der Reduktion des Unfallgeschehens die durchgeführten Massnahmen tatsächlich waren.

Aktuell werden in der Schweiz sehr unterschiedliche Methoden angewandt, anhand derer das über einen bestimmten Zeitraum beobachtete Unfallgeschehen analysiert wird. Darauf aufbauend werden die massgeblichen Entwicklungen oder identifizierte Auffälligkeiten zuhanden von Entscheidungsträgern, Expertengruppen oder auch Medien aufbereitet. Durch die unterschiedlichen Methoden sind die Resultate verschiedener Kantone oder Gemeinden nur schwer miteinander vergleichbar und unterliegen in ihrer Interpretation in hohem Masse den subjektiven statistischen Kenntnissen des Anwenders. Gerade in der sinnvollen Auswahl der statistischen Methoden und der Fähigkeit zur korrekten Interpretation der daraus resultierenden Kennwerte liegt erfahrungsgemäss eine grosse Herausforderung.

Um die dargelegten Herausforderungen aufzugreifen und geeignete, methodische Ansätze für die praktische Umsetzung anzubieten, wurde im Jahr 2000 die Norm „Strassenverkehrsunfälle“ VSS SN 640 008 [1] in Kraft gesetzt. Deren Inhalte basieren auf dem VSS Report „Unfallauswertung: Statistik, Auswertung und Analyse von Strassenverkehrsunfällen“ aus dem Jahr 1997. Die Norm wurde als Hilfestellung und schweizweit einheitliche Vorgehensempfehlung für die Analyse von Unfallzahlen und für eine Massnahmen-Wirksamkeitsbeurteilung konzipiert. Zur Analyse der Unfallzahlen werden die Verwendung von Chi-Quadrat-Tests, Vierfeldertests und Kontingenztafeln erläutert. Zudem sind Trend- bzw. Zeitreihenanalysen mittels Regressionsmethoden (Parameterschätzung anhand der Methode der kleinsten Quadrate) und Trapezmethoden enthalten. Kosten allgemein sowie Kosten-Wirksamkeiten von Massnahmen werden in der bestehenden Norm nicht berücksichtigt. Aktuelle Erkenntnisse zeigen jedoch, dass die bestehende Norm in der Praxis keine Anwendung findet und dementsprechend auch keine Wirkung im Sinne des Verkehrssicherheitsmanagements erzielen kann.

Aufgrund der erkannten Verbesserungsmöglichkeiten betreffend Inhalt, Struktur und Formulierung der bestehenden Norm VSS SN 640 008, wurde in der Normierungs- und Forschungskommission des VSS NFK 5.3 beschlossen, eine grundlegend neue Norm unter der Nummer VSS SN 641 712 und Bezeichnung „Strassenverkehrssicherheit: Analyse von Unfallzahlen“ zu erarbeiten. Die Grundlage dieser neuen Norm wurde im

Rahmen des vorliegenden VSS-Forschungsprojekts 2016/511 erarbeitet. Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse des Forschungsprojekts und erläutert die Möglichkeiten der praktischen Umsetzung.

1.2 Zielsetzung

Das übergeordnete Anliegen des Forschungsprojekts ist es – durch die Entwicklung von standardisierten und praxistauglichen Methoden zur Beurteilung der zeitlichen Entwicklung von Unfallzahlen und zur Wirkungskontrolle von Massnahmen – einen Beitrag zur Erhöhung der Strassenverkehrssicherheit zu leisten. Die ausgewählten Methoden sollen Einzug in die alltäglichen Arbeitsprozesse der Sicherheitsverantwortlichen aus Behörden und privaten Firmen erhalten. Durch eine möglichst breit gefächerte Anwendung eines möglichst weitreichenden Nutzerkreises können schweizweit vergleichbare Resultate gewonnen und gewinnbringend genutzt werden.

Die wesentlichen Ziele des Forschungsprojekts sind:

- Identifikation der Bedürfnisse aus der Praxis für Hilfestellungen zur statistischen Analyse von Unfallzahlen.
- Identifikation der Hauptanwendergruppen.
- Identifikation der wesentlichen Fragestellungen im beruflichen Alltag der Sicherheitsverantwortlichen.
- Literaturrecherche zum aktuellen Stand der Forschung bezüglich statistischer Methoden zur Bearbeitung der wesentlichen Fragestellungen.
- Auswahl und Beschreibung von praxistauglichen statistischen Methoden zur Bearbeitung der wesentlichen Fragestellungen.
- Identifikation und Erarbeitung geeigneter Produkte, um den Bedürfnissen aus der Praxis möglichst gerecht zu werden.
- Durchführen von Rechenbeispielen mit Interpretationshilfen für die Resultate der statistischen Analysen.
- Formulierung von Empfehlungen für die praktische Implementierung der Forschungsergebnisse.

Durch das Erreichen der genannten Ziele soll auf übergeordneter Ebene eine zwar wissenschaftlich fundierte, aber gleichzeitig möglichst pragmatische und anwendungsfreundliche Grundlage geschaffen werden, damit die selektierten Vorgehensweisen in eine Norm mit häufiger Anwendung und zahlreichen Nutzern münden können.

1.3 Abgrenzung

Bei dem vorliegenden Projekt stehen die Praxistauglichkeit und die Anwenderfreundlichkeit im Vordergrund. In diesem Zusammenhang ist der Handlungsspielraum bei den zu erarbeiteten Methoden bestimmten Rahmenbedingungen unterworfen:

- In die engere Auswahl der vorgeschlagenen Methoden gehören nur diejenigen, die im vorgesehenen Anwenderkreis praktisch umsetzbar sind und somit auf die notwendige Akzeptanz treffen.
- Das heisst, dass die maximale Komplexität der Methoden, durch den «vertretbaren» Analyse- und Interpretationsaufwand des Nutzers (z.B. Anforderungen an die erforderliche Datengrundlage bzw. Ressourcenbedarf für die Durchführung der Analyse) beschränkt ist.
- Dies bedeutet nicht, dass anspruchsvolle und komplexe statistische Methoden ausgeschlossen werden. Allerdings bilden in diesem Fall Vorschläge und Empfehlungen für eine spätere Anwendungsumgebung (z.B. IT-Tools) eine Voraussetzung für die Anwendbarkeit.

Im Sinne eines ausgewogenen Pragmatismus und als Kompromiss zwischen Wissenschaft und Alltagspraxis werden geringfügige Abweichungen von der absoluten «statistischen Genauigkeit» akzeptiert, vorausgesetzt, dass diese deutlich benannt und diskutiert werden,

in einem bedeutsamen Mehrwert für den Nutzer (z.B. in Form von einfacheren Ergebnisdarstellung) resultieren und gleichzeitig trotzdem ausreichend belastbare Ergebnisse liefern.

Bei der Methodenentwicklung wird für Testberechnungen mit simulierten Daten gearbeitet. Dadurch können Anwendungsgrenzen und das Aussagevermögen der entwickelten Methoden gezielter eruiert werden. Im Rahmen von Berechnungsbeispielen werden ergänzend zu den simulierten Datenreihen auch reale Daten herangezogen, um die praktische Anwendbarkeit der Methoden zu verdeutlichen.

Die Wirkungsanalyse bezieht sich ausschliesslich auf Veränderungen in den Unfallhäufigkeiten durch einen (meist baulichen) Eingriff in die betroffene Infrastruktur. Es werden keine Aussagen dazu getroffen, ob die Massnahmen im Sinne einer Kosten-Nutzen-Analyse verhältnismässig sind.

Weitere, teilweise zeitgleich laufende Forschungsaktivitäten im Bereich Unfallanalyse und Wirksamkeitsbeurteilung von Massnahmen in der Schweiz (z.B. das Projekt MEVASI¹) werden in der Projektbearbeitung berücksichtigt. Der Bezug zu anderen themenverwandten Projekten stellt keine Abhängigkeiten auf – die Erkenntnisse des vorliegenden Projekts sollen eigenständig betrachtet und verwendet werden können. Allerdings werden Ergebnisse und Schnittstellen, mit anderen Projekten identifiziert und hinsichtlich ihrer Relevanz für das vorliegende Forschungsprojekt analysiert. Dies ermöglicht die Verknüpfbarkeit verschiedener Resultate für einen gemeinsamen Mehrwert.

Der hier vorgestellte Lösungsansatz verfolgt nicht das Ziel, die Sicherheitsverantwortlichen durch ein Angebot von Hilfsmitteln aus ihrer Verantwortung zu entbinden. Die hier vorgestellten Methoden und Hilfsmittel sollen lediglich als Unterstützung in der Entscheidungsfindung und als Vereinfachung des täglichen Aufgabenspektrums dienen. Den Sicherheitsverantwortlichen obliegt nach wie vor die Pflicht, die Nutzung der angebotenen Hilfsmittel sorgfältig durchzuführen und die Resultate jeweils kritisch hinsichtlich ihrer Plausibilität zu hinterfragen. Sie werden bei der Durchführung und Interpretation der Resultate durch Checklisten unterstützt.

1.4 Vorgehen

Zur inhaltlichen Bearbeitung des Forschungsprojekts wird ein mehrstufiges Vorgehen gewählt. Eine Übersicht des Vorgehens ist in Abb. 2 schematisch dargestellt und im Folgenden kurz beschrieben. Weitere Erläuterungen zu einzelnen Arbeitsschritten befinden sich in den entsprechenden Hauptkapiteln.

¹ MEVASI ist eine georeferenzierte Plattform zur Erfassung von Massnahmen der Verkehrsinfrastruktur und deren Wirksamkeitsabschätzung für die gesamte Schweiz. MEVASI wird derzeit von der schweizerischen Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu entwickelt. Ziel des Projekts ist es, den Behörden und Planern eine Auswahl geeigneter Massnahmen als Best Practice-Beispiele für die Sanierung von Gefahrenstellen, Unfallstellen oder Unfallschwerpunkten anzubieten (<http://bfumevasi.bfu.ch>).

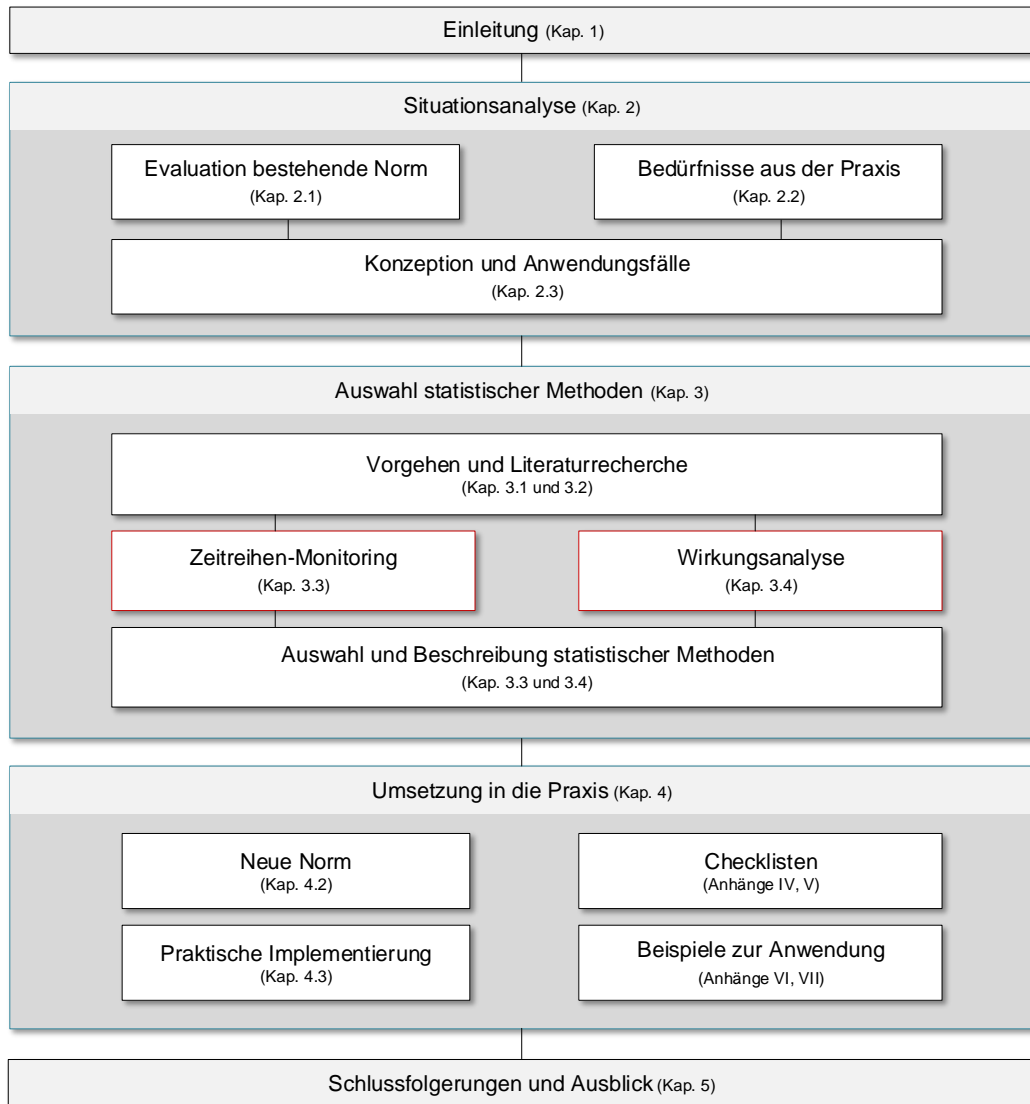


Abb. 2 Übersicht des Vorgehens und Gliederung der Berichtsstruktur

Die Situationsanalyse (Kap. 2) bildet die Basis für die Auswahl geeigneter statistischer Methoden und die Anforderungen an den Inhalt und Format der Projektprodukte. In diesem Arbeitsschritt wird die bestehende Norm VSS SN 640 008 systematisch analysiert, um die Verbesserungspotenziale objektiv und wissenschaftlich fundiert zu aufzuzeigen. Anhand von Interviews mit Sicherheitsverantwortlichen und weiteren Adressaten der Projektprodukte wird zudem der aktuelle Wissens- und Bedarfsstand erhoben. Wünsche der Interviewpartner werden aufgenommen, um darauf aufbauend die inhaltliche Ausrichtung des Projekts zu justieren und die Produkte des Projekts (und darüber hinaus) abzustimmen. Ausgehend von der Bedürfnisanalyse wird die Einbettung des Projekts in den übergeordneten Kontext des integralen Strassenverkehrs-Sicherheitsmanagements in der Schweiz vorgestellt. Dies dient als elementare Grundlage zur Ausrichtung der Projektbearbeitung und -resultate.

Durch eine umfassende Literaturrecherche wird der aktuelle Stand der Forschung in Bezug auf die Analyse von Entwicklungen von Unfallzahlen und die Beurteilung von Massnahmenwirkungen dargestellt (Kap. 3). Anhand einer Auslegeordnung wird eine Übersicht über aktuell akzeptierte nationale und internationale statistische Methoden erstellt und jeweils die Vorgehensweisen, Vor- und Nachteile kurz erläutert. Auf Grundlage der Situationsanalyse und der Auslegeordnung wird eine Auswahl an sinnvollen Methoden getroffen. Diese gelten als repräsentativ für den aktuellen Stand der Unfallforschung und gleichzeitig für die Frage- und Zielstellungen des vorliegenden Projekts (und somit für eine praxisorientierte und pragmatische Anwendung) besonders geeignet. Die Methoden

werden detailliert beschrieben und für den Anwender auf ein praktisch anwendbares bzw. in einer Norm darstellbares Format vereinfacht dargestellt.

Aus den Erkenntnissen des Projekts wird ein Vorschlag für eine Struktur der neuen Norm SN 641 712 erarbeitet. Empfehlungen für die praktische Umsetzung sollen eine möglichst praxistaugliche, akzeptierte und breite Anwendung der Methoden ermöglichen (Kap. 4). Hinweise zu der korrekten Anwendung der ausgewählten statistischen Methoden werden in Form von Checklisten dokumentiert. In einer Beispielsammlung werden die Einsatzmöglichkeiten der Methoden im täglichen Aufgabenbereich von Sicherheitsverantwortlichen dargestellt. Diese dienen als eine Art Kurzanleitung und unterstützen den Nutzer bei der Interpretation der Ergebnisse. Die Rechenbeispiele decken zwar nicht jede denkbare Situation ab, sind aber ausreichend umfassend, damit der Nutzer die Methoden nachvollziehen und eigenständig anwenden kann.

Die Resultate des Projekts werden abschliessend zusammengefasst (Kap. 5). Die Möglichkeiten und Grenzen der vorgestellten Methoden werden aufgezeigt und im Kontext der erforderlichen Randbedingungen diskutiert. Im Rahmen eines Ausblicks wird der Einfluss möglicher zukünftigen Entwicklungen kurz erläutert und Empfehlungen für die Einbettung in die schweizerische Sicherheitsarbeit im Strassenverkehrswesen ausgesprochen.

2 Situationsanalyse

2.1 Evaluation Norm VSS SN 640 008

2.1.1 Allgemein

Es wird geprüft, ob die in der Norm verwendeten Methoden adäquat für die gegebenen Fragestellungen sind und ob die Methoden aus statistischer Sicht korrekt wiedergegeben bzw. durchgeführt werden. Zudem wird die Anwendbarkeit in der Praxis beurteilt.

Die Norm VSS SN 640 008 gibt eine Anleitung, wie Unterschiede und Veränderungen von Unfallzahlen bewertet und dargestellt werden sollen. Die verwendeten Methoden lassen sich in zwei Gruppen aufteilen:

- a) Analyse von Unfallzahlen (verschiedene Anwendungen des Chi-Quadrat Tests für Kontingenztafeln) und
- b) Analyse von Entwicklungen (Regression, Zeitreihenanalyse, Trapezmethode).

Die Norm ist grundsätzlich sehr technisch formuliert und in weiten Teilen unübersichtlich bzw. unvollständig. Ohne detailliertes Hintergrundwissen aus der Statistik können viele der genannten Methoden (z.B. lineare Regression, Zeitreihenanalyse, Trapezmethode) kaum adäquat angewendet werden. Zudem sind teilweise mehrere der genannten Methoden in einem gegebenen Sachverhalt anwendbar. Der Anwender hat hier nur eine sehr geringe Hilfestellung, welche Methode die beste Wahl ist, bzw. wo Unterschiede zwischen den möglichen Methoden sind. Schliesslich wird kein Gewicht auf eine richtige Interpretation der Resultate von einem Design-Standpunkt aus gelegt. Es wird insbesondere nicht erwähnt, dass viele der Daten nur von Beobachtungsstudien stammen. So könnte bei einem Vorher-/Nachher-Vergleich (z.B. Kreiselbau) der Eindruck entstehen, man könnte mit dem statistischen Test nachweisen, dass der Kreiselbau die Ursache für eine Abnahme der Unfallzahlen war. Das wäre aber ein Fehlschluss, denn es kann im gegebenen Setting lediglich eine Assoziation, aber kein kausaler Zusammenhang nachgewiesen werden.

2.1.2 Analyse von Unfallzahlen

Für die Analyse von Unfallzahlen werden Kontingenztafeln verwendet. Kontingenztafeln erlauben zwar eine gewisse Flexibilität, bringen aber auch entscheidende Nachteile mit sich: Wenn nur zwei Variablen miteinander verglichen werden, besteht die Gefahr, eine wichtige dritte Variable zu übersehen, die den gefundenen Zusammenhang sogar wieder umkehren könnte. Dieser Effekt ist unter dem Namen «Simpson's Paradoxon» bekannt [2]. Bei 2×2 -Tabellen kann die Stärke des Zusammenhangs mit dem Odds-Ratio quantifiziert werden. Hat die Tabelle aber mehr als zwei Spalten oder Zeilen, kann die Stärke des Zusammenhangs zwischen Zeilen und Spalten nicht mehr einfach (global) quantifiziert werden. Für 2×2 -Tabellen würde sich zudem der exakte Fisher-Test (anstelle des Chi-Quadrat Tests) anbieten. Die Auswertung einer Kontingenztafel basiert auf dem Chi-Quadrat Test. Es ist lange bekannt, dass es hier sehr viele Möglichkeiten von falschen Anwendungen gibt [3], [4].

2.1.3 Analyse von Entwicklungen

Für die Analyse von Entwicklungen werden verschiedene Methoden verwendet. Bei den verwendeten Methoden (Lineare Regression, Zeitreihenanalyse, Trapezmethode) wird keinerlei statistische Inferenz verwendet (lediglich Parameterschätzung). Es kann also nicht entschieden werden, ob ein gewisser Trend noch durch Zufall erklärbar ist oder nicht. Teilweise werden die einzelnen Berechnungsschritte sehr detailliert angegeben. Dies suggeriert dem Anwender, dass er in der Praxis alle Schritte «von Hand» ausrechnen sollte. Dieses Vorgehen ist aber nicht nur sehr zeitraubend, es ist auch äusserst fehleranfällig. Es sollte moderne Software verwendet werden. Bei anderen Methoden wird

hingegen ganz auf eine Erwähnung der Berechnungsschritte verzichtet (siehe auch Kommentare zu Abschnitt 10.b).

Man sollte hierbei allerdings berücksichtigen, dass die Norm im Jahr 2000 genehmigt wurde. Zu der Zeit war Statistik-Software wesentlich weniger verbreitet als heute. Daher ist es nachvollziehbar, dass Berechnungsschritte von Hand ausgeführt werden sollten, obwohl dies zu einer klaren Überforderung der Anwender führen würde.

Weitere Details der Evaluation sind im Anhang I ersichtlich.

2.2 Bedürfnisse aus der Praxis

Das Bedürfnis nach Hilfestellungen zur Analyse von Unfallzahlen und Massnahmenwirkungen wurde anhand von Experten- und Anwenderbefragungen ermittelt. Neben den persönlichen Erfahrungen bei der Analyse von Unfallzahlen und mit der Anwendung der bestehenden Norm VSS SN 640 008 wurden insbesondere die Anliegen der Befragten hinsichtlich Inhalte und Form zukünftiger Hilfestellungen entgegengenommen. Die Produkte des vorliegenden Forschungsprojekts wurden entsprechend ausgerichtet. Die ausgewählte Experten- und Anwendergruppe ist repräsentativ für den potenziellen Anwenderkreis der erarbeiteten statistischen Methoden. Sie setzte sich aus Sicherheitsbeauftragten (nach Art. 6a SVG) sowie weiteren Fachleuten und Sicherheitsverantwortlichen von Tiefbauämtern, Polizei und dem ASTRA im Bereich der Strassenverkehrssicherheit zusammen.

Die schriftlichen Interviews wurden im Mai und Juni 2017 durchgeführt. Den insgesamt elf Interviewpartnern wurde ein Fragebogen mit 23 Fragen (vgl. Anhang II) zugestellt. Mit fünf Interviewpartnern wurden einzelne Antworten zusätzlich telefonisch vertieft besprochen.

Zu jeder Frage wurden Thesen formuliert. Die Antworten wurden in Bezug auf die Thesen auf einer 5-Punkte-Skala von «trifft nicht zu» bis «trifft voll zu» beurteilt. Die wichtigsten Erkenntnisse werden wie folgt zusammengefasst:

- Alle Interviewpartner führen im Alltag regelmässig Analysen von Unfallzahlen durch.
- Die meisten Interviewpartner haben Berührungspunkte mit der Initiierung und Planung von Verkehrssicherheitsmassnahmen und sind gleichzeitig auch für die Beurteilung der Wirksamkeit der umgesetzten Massnahmen zuständig.
- Der grösste Teil verwendet dabei bestehende automatisierte Analysehilfen wie das DWH VU² oder VUGIS³. Beide werden den Sicherheitsverantwortlichen durch das ASTRA zur Verfügung gestellt.
- In einzelnen Fällen werden einfache, deskriptive statistische Methoden eigenständig durchgeführt.
- Die Norm VSS SN 640 008 findet bei den Befragten für die Analyse der Unfallzahlen im Berufsalltag nahezu keine Anwendung. Als Gründe dafür wurden insbesondere die zu hohe Komplexität und eine dadurch hervorgerufene Praxisuntauglichkeit (z.B. Durchführung von fehleranfälligen Berechnungen von Hand, Aufwand und Ertrag passen nicht zusammen) genannt.
- Einigen Befragten war die bestehende Norm VSS SN 640 008 gar nicht bekannt.
- Aus Sicht der Befragten ist eine neue Norm nur dann ein «geeignetes Hilfsmittel», wenn eine grosse Bandbreite möglicher Anwendungen verschiedener Nutzer mit unterschiedlichen Ansprüchen abgedeckt werden kann.

² Beim DWH-VU handelt es sich um eine MISTRA-Fachapplikation des ASTRA in Form eines Datawarehouse. In diesem Datawarehouse werden die gesamtschweizerischen Daten aus dem Strassenverkehrsunfall-Register gespeichert und können dort von den Sicherheitsverantwortlichen bezogen werden.

³ Bei VUGIS handelt es sich um eine MISTRA-Fachapplikation des ASTRA zur geo-referenzierten Beobachtung, Analyse und Auswertung des Unfallgeschehens in der Schweiz. Sicherheitsverantwortliche nutzen bereits heute diese IT-gestützte Fachapplikation in der täglichen Sicherheitsarbeit.

- Alle Interviewpartner benutzen im Alltag VUGIS und nennen die ISSI (insbesondere BSM) als wichtige Hilfsmittel.
- Die korrekte Interpretation der Analyseergebnisse stellt für die Befragten häufig eine grosse Herausforderung dar. Sie verzichten dann lieber auf solche Analysen, statt etwas Falsches abzuleiten.
- Bereits etablierte Verfahren zum Auslösen von Massnahmen sind in den Normen zum Unfallschwerpunkt-Management (VSS SN 641 724 [5]), zur sicherheitstechnischen Inspektion von Strassen (VSS SN 641 723 [6]) sowie zur sicherheitstechnischen Netzeinstufung (VSS SN 641 725 [7]) festgehalten und werden angewandt. Häufig spielt im Anschluss die eigene Erfahrung bzw. Einschätzung eine massgebliche Rolle bei der Entscheidungsfindung.
- Die Beurteilung der Massnahmenwirksamkeit basiert meistens auf einem Vorher/Nachher-Vergleich, wobei häufig keine Signifikanzprüfung stattfindet.
- Einige Interviewpartner erwähnen, dass der Aspekt der Massnahmenwirksamkeit zu wenig systematisch bzw. ohne Kosten/Nutzen Überlegungen durchgeführt wird.
- Es besteht ein Wunsch nach zusätzlicher Hilfestellung für die Analyse von Unfallzahlen/Zeitreihen und Massnahmenwirkungen, damit Analysen automatisiert z.B. mit Hilfe von IT-Tools durchgeführt werden können.
- Die Hilfestellung soll den «richtigen» Tiefgang haben und soll nicht zu kompliziert sein (soll keine vertieften statistischen Kenntnisse voraussetzen).
- Die Hilfestellung soll möglichst breite Anforderungen abdecken und soll in bestehende Hilfsmittel integriert werden, so z.B. in die bestehende MISTRA Applikation VUGIS.

2.3 Konzeption und Anwendungsfälle

2.3.1 Konzeption

Die Erkenntnisse der Bedürfnisanalyse wurden bei der Auswahl geeigneter statistischer Methoden (Kap. 3) berücksichtigt.

Aus den Befragungen und den bestehenden Rahmenbedingungen für ein integrales (Strassenverkehrs-) Sicherheitsmanagement in der Schweiz leitet sich die in Abb. 3 dargestellte Konzeption des Lösungsansatzes im Forschungsprojekt ab.

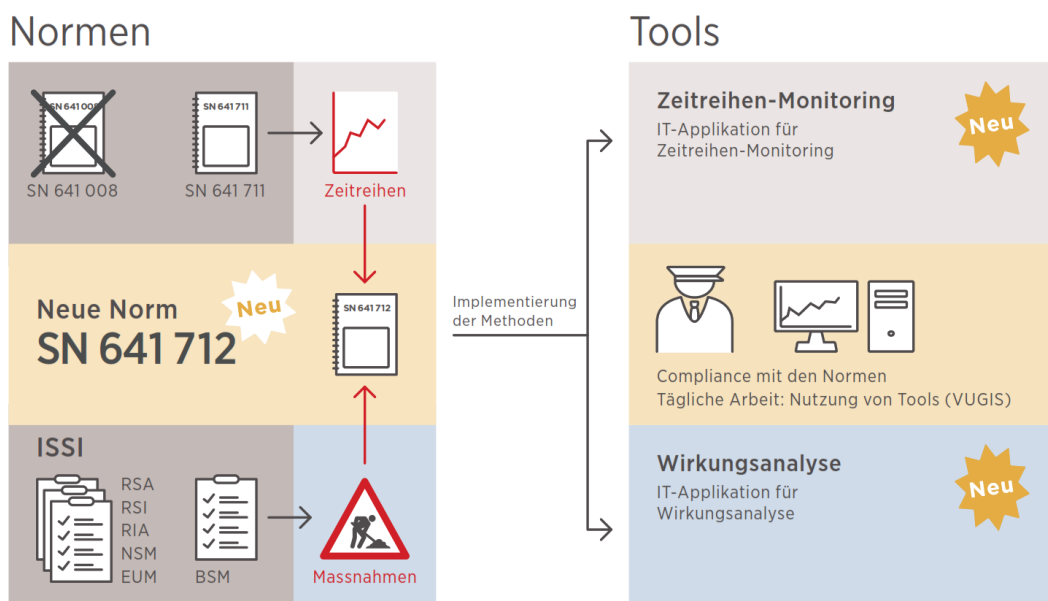


Abb. 3 Konzeption des Lösungsansatzes und der praktischen Implementierung in den Kontext der schweizerischen Sicherheitsarbeit

Die Konzeption des Lösungsansatzes besteht im Wesentlichen aus der Kombination einer auf die Fragestellungen und Anwendungsfälle des Forschungsprojekts zugeschnittenen Norm (Abb. 1, linke Hälfte) plus einer praxistauglichen Implementierung der statistischen Methoden aus dieser Norm in (bestehende) IT-Applikationen der Sicherheitsverantwortlichen (Abb. 1, rechte Hälfte). Durch diese Kombination wird sichergestellt, dass die wichtigsten methodischen Elemente und Verfahren für eine rechtliche Absicherung in der Norm verankert sind. Damit die Norm letztendlich aber auch in der täglichen Arbeit der Sicherheitsverantwortlichen zu einer breiten Anwendung kommt, werden die statistischen Analyseschritte in nutzerfreundlichen IT-Applikationen automatisiert.

Warum eine neue Norm?

Die Sicherheitsverantwortlichen der Kantone, Gemeinden, Polizeien, etc. stellen mit einem ähnlichen Aufgaben- und Verantwortungsspektrum die Hauptzielgruppe für die Anwendung der entwickelten statistischen Methoden und Hilfsmittel zur Analyse von Unfallzahlen dar. Sie sichern ihren Verantwortungsbereich rechtlich durch eine normenkonforme Arbeitsweise ab; ihr Tun und Handeln entspricht somit dem besten Stand der Technik und sie erfüllen die Compliance mit den geltenden Regelwerken. Für eine möglichst verbreitete Anwendung und hohe Wirkung für die Verkehrssicherheit folgt daraus, dass der vorliegende Forschungsbericht als Grundlagenuntersuchung und Basis einer (neuen) Norm dienen soll.

Durch die Einführung der Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente sowie der Verankerung dieser Instrumente in den entsprechenden Normenwerken des VSS werden insbesondere durch das Unfallschwerpunkt-Management (VSS SN 641 724 [5]) sowie durch die Inspektion von Strassenanlagen (VSS SN 641 723 [6]) konkrete Massnahmen zur Erhöhung der Strassenverkehrssicherheit gefordert. Die neue Norm dient in diesem Zusammenhang dem Entscheidungsträger oder Sicherheitsverantwortlichen als Hilfsmittel zur Wirkungsanalyse durchgeführter Massnahmen. Durch die hier entwickelte Methodik erhält der Sicherheitsverantwortliche ein Instrument, das ihm Hinweise darauf gibt, ob aus einer rein objektiven statistischen Sicht seine durchgeführten Massnahmen die im Sinne der Strassenverkehrssicherheit erwünschten Wirkungen erzielt haben.

In Abb. 1 ist auf der linken Seite illustriert, dass die bestehende Norm VSS SN 640 008 [1] in Abstimmung mit der VSS- Normierungs- und Forschungskommission NFK 5.3 aufgelöst und durch eine neue Norm mit der Bezeichnung VSS SN 641 712 ersetzt werden soll. Auf diese Weise wird die neue Norm zur statistischen Analyse von Unfallzahlen in die bereits für die kommenden Jahre geplante Normierungstätigkeit der Kommission NFK 5.3 eingebettet. Ihr Aufbau und Inhalt, die Terminologie und Anwendungsbereiche werden mit den bestehenden Normen der NFK 5.3 abgestimmt. Die neue Norm soll die beiden in diesem Forschungsprojekt untersuchten wesentlichen Anwendungsfälle bei der statistischen Analyse von Unfallzahlen unterstützen:

- a) Weist die Entwicklung von Unfall-Zeitreihen Auffälligkeiten im Trend oder durch Ausreisser auf?
- b) Zeigen die durchgeführten Massnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit die erhoffte Wirkung?

Warum IT-Applikationen?

Die neue Norm SN 641 712 bildet letztendlich eine zwar theoretische, aber dennoch verständliche Grundlage für den Umgang mit Unfallzahlen im Arbeitsalltag des Sicherheitsverantwortlichen. Seine eigentliche Arbeit vollzieht er jedoch mit Hilfe von automatisierten IT-Applikationen, die sich in bestehende IT-Systeme (z.B. VUGIS) integrieren lassen. Durch die Nutzung von IT-Applikationen soll der erforderliche Spielraum geschaffen werden, um bei der gewünschten Anwenderfreundlichkeit dennoch auch komplexere statistische Verfahren zur Anwendung zu bringen. Aus der Bedürfnisanalyse geht hervor, dass die MISTRA Applikation VUGIS und der Zugriff auf das DWH VU des ASTRA einen elementaren Teil der täglichen Sicherheitsarbeit für viele Sicherheitsbeauftragte darstellt. Als Plattform für die Anwendungstools wird daher die

bestehende Benutzeroberfläche rund um diese Applikationen vorgeschlagen. Dies entspricht dem Wunsch der Interviewpartner aus der Situationsanalyse, wenn möglich, neue Hilfestellungen in bestehende zu integrieren. Die Beispielsammlungen (vgl. Anhang VI und VII) vereinfachen die Anwendung der statistischen Methoden und stellen, trotz des hohen Automatisierungsgrades der Analyse bzw. beschränkten statistischen Vorkenntnissen des Anwenders, eine korrekte Interpretation der Resultate sicher.

Zusätzlich zum oben gezeigten Konzept (Norm + IT-Tools) dienen auch die Forschungsergebnisse sowie die online Plattform des Projekts MEVASI der bfu als sinnvolle Ergänzung im Arbeitsalltag eines Sicherheitsverantwortlichen. Auf Grundlage der Metaanalysen von MEVASI werden hilfreiche Informationen zu verschiedenen Massnahmenarten zur Verfügung gestellt, die den Sicherheitsverantwortlichen bei der Auswahl der mutmasslich wirksamsten Massnahme für seine Strassen-Unfall-Situation unterstützen (auch im Sinne einer Nutzen-Kosten-Abwägung).

2.3.2 Anwendungsfall 1: Zeitreihen-Monitoring

Heute werden auf Grundlage der Norm VSS SN 641 711 [8] Standardstatistiken für das Unfallgeschehen berechnet. Diese beschränken sich allerdings auf eine rein deskriptive Repräsentation und Darstellung der letztjährigen Unfallzahlen im Vergleich mit den vorhergehenden Jahren. Diese Norm ist bereits vollständig automatisiert im DWH VU des ASTRA hinterlegt und die Sicherheitsverantwortlichen können sich «per Knopfdruck» Zeitreihen des Unfallgeschehens für verschiedene Verkehrsteilnehmer-Fahrzeug-Streckentyp-Zeitraum-Konstellationen erstellen lassen. Auf diesen Informationen basiert ein Grossteil der jährlichen Medienmitteilungen zur aktuellen Unfallstatistik von Bund, Kantonen und Gemeinden.

Die neue Norm VSS SN 641 712 ist als Ergänzung zur Norm der Standardstatistiken zu verstehen. Denn in ihr wird ein weiterführender Analyseschritt enthalten sein – nämlich die automatisierte Untersuchung der Zeitreihen aus der VSS SN 641 711 hinsichtlich einer Quantifizierung der Trends mit Aussagen zur Signifikanz und auffälligen Trendänderungen im Unfallgeschehen.

Der einfachste Anwendungsfall für den Sicherheitsverantwortlichen wäre eine ergänzende Analyse zu den Zeitreihen, die er bereits auf Grundlage der VSS SN 641 711 erstellt hat. Neu können folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- a) Wie lässt sich der allgemeine Trend im Unfallgeschehen über die letzten Jahre beschreiben und wie hoch ist die statistische Signifikanz dieser Aussagen.
- b) Befindet sich das aktuelle jährliche Unfallgeschehen (meist auf Grundlage der Unfalldaten des Vorjahres) auf einem im Vergleich mit dem früheren Unfallgeschehen akzeptierbaren Niveau oder sollten Massnahmen zur Reduktion des Unfallgeschehens eingeleitet werden?

Die Idee besteht darin, dass dem Sicherheitsverantwortlichen durch das Zeitreihen-Monitoring ein statistisches, objektives Instrument an die Hand gegeben wird, mit dessen Hilfe er – ähnlich einem Frühwarnsystem – auffällige, aktuelle Veränderungen in der zeitlichen Abfolge des Unfallgeschehens möglichst schnell erkennen und angemessen darauf reagieren kann. Durch den Vergleich des aktuellen Unfallgeschehens mit einer zeitlichen Abfolge des früheren Unfallgeschehens wird ihm signalisiert, ob für die untersuchte Unfallkategorie (z.B. Velo-Unfälle im Perimeter der Stadt Zürich) akuter Handlungsbedarf angezeigt ist. In solch einem Fall ist der Sicherheitsverantwortliche angehalten, den Ursachen für die Auffälligkeit im aktuellen Unfallgeschehen angemessen nachzugehen und entsprechende Massnahmen zur Reduktion des Unfallgeschehens einzuleiten.

Das Zeitreihen-Monitoring stützt sich dabei auf die jährlich erhobenen, absoluten Unfallzahlen als Input-Grössen. Es können dabei auch die verschiedenen Verletzungsgrade, verschiedene Verkehrsteilnehmergruppen, Ortslagen, Strassen- oder Fahrzeugtypen etc. nach Fragestellungen und Themen des Unfallgeschehens wie in der SN 641 711 unterschieden werden.

2.3.3 Anwendungsfall 2: Wirkungsanalyse

Beim zweiten Anwendungsfall geht es darum, den Sicherheitsverantwortlichen ein Werkzeug zur Verfügung zu stellen, mit dem sie objektiv die (Sicherheits-) Wirkung von durchgeführten Massnahmen überprüfen und quantifizieren können.

Insbesondere durch die Ausweisung von Unfallschwerpunkten nach VSS SN 641 724 (BSM) oder bei der Feststellung von Sicherheitsdefiziten nach einer Inspektion gemäss VSS SN 641 723 (RSI) sind Bund und Kantone verpflichtet, die betroffenen Streckenabschnitte oder Kreuzungsbereiche durch geeignete Massnahmen so zu sanieren, dass die Verkehrssicherheit wieder angemessen erhöht wird (Art. 6a SVG).

Der Sicherheitsverantwortliche steht dann oftmals vor der Herausforderung, für welche Art von Massnahme er sich entscheiden sollte, damit die gewünschte Wirkung erzielt wird. Für diese Fragestellung entwickelt die Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) derzeit im Rahmen des MEVASI-Projekts eine Effizienz- und Effektivitätsbeurteilung von spezifischen Infrastrukturmassnahmen. Die Effizienz- und Effektivitätsbeurteilung stützt sich auf eine Metaanalyse von schweizweit gesammelten Informationen von durchgeführten Infrastrukturmassnahmen und den damit verbundenen Veränderungen im Unfallgeschehen.

Infrastrukturelle Massnahmen sind meist teuer, werden schnell durch die Öffentlichkeit wahrgenommen und nicht selten auch hinterfragt. Der Sicherheitsverantwortliche muss sich somit auch noch im Nachhinein für die Wahl einer bestimmten Massnahme auf einem Streckenabschnitt oder Kreuzungsbereich rechtfertigen können. Am besten gelingt dies durch einen objektiven Nachweis der Massnahmenwirkung.

Mit der im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts entwickelten Wirkungsanalyse wird dem Sicherheitsverantwortlichen ein statistisches Werkzeug zur Verfügung gestellt, das es ihm ermöglicht, Änderungen im Unfallgeschehen nach der Durchführung einer Massnahme zu beurteilen. Anders als bei den Meta-Analysen in MEVASI wird hier der einzelne Strassenabschnitt oder Kreuzungsbereich betrachtet und die Entwicklung des Unfallgeschehens vor und nach Umsetzung der Massnahme statistisch verglichen.

Im Arbeitsalltag des Sicherheitsverantwortlichen liefert die Wirkungsanalyse von infrastrukturellen Massnahmen somit Antworten auf die folgenden Fragenstellungen:

- a) Wie hat sich das Unfallgeschehen vor und nach Massnahmenumsetzung entwickelt? Gibt es Veränderungen im Trend des Unfallgeschehens und/oder eine sprunghafte Reduktion des Unfallgeschehens nach der Massnahme?
- b) Mit welcher Zuversichtlichkeit (Signifikanz) sind positive Effekte auf die Massnahme zurückzuführen?
- c) Welche ortsspezifischen Ausprägungen können das Analyseresultat beeinflussen?

3 Auswahl statistischer Methoden

3.1 Vorgehen

Für die automatisierte Auswertung werden geeignete Methoden für die zwei folgenden Anwendungen gesucht:

- Automatisierte Analyse für 5- bis 10-jährige Zeitreihen mit jährlichen Unfallzahlen wie sie die Sicherheitsbeauftragten im Rahmen der DWH-VU- und VUGIS-Auswertungen erhalten. Das Ziel ist es, in diesen Zeitreihen Trends zu bestimmen, deren Signifikanz anzugeben und Ausreisser im Unfallgeschehen zu detektieren. Die Methode kann auch erweitert werden, so dass zum Beispiel Analysen für unterschiedliche Unfallschweren oder zusätzliche Aspekte wie die Exposition (z.B. ausgedrückt über den DTV) optional in die Analyse integriert werden können.
- Evaluierung der Wirksamkeit von Massnahmen für Zeitreihen mit jährlichen Unfallzahlen vor und nach der Massnahme. Gewünscht ist eine Aussage bezüglich Wirksamkeit einer Massnahme. Bei diesen Zeitreihen wird standardmässig von einer Datenverfügbarkeit von mindestens 5 Jahren vor und 3 Jahren nach der Massnahme ausgegangen.

Bei der Analyse der Unfallzahlen wird vorausgesetzt, dass die Unfallzahlen nach Trendbereinigung stochastisch unabhängig sind. Eine Verletzung dieser Annahme könnte sich zum Beispiel ergeben, wenn sich die Verkehrsteilnehmer aufgrund eines gravierenden, allenfalls in den Medien prominent diskutierten Unfalls, an der entsprechenden Stelle in den folgenden Jahren viel vorsichtiger verhalten würden, so dass die Unfallzahl deutlich zurückgeht. In der Praxis dürften solche Effekte jedoch von stark untergeordneter Bedeutung sein. Bei den im Rahmen dieses Projekts bearbeiteten Fallbeispielen konnte die Hypothese der statistischen Unabhängigkeit in keinem Fall widerlegt werden.

Aufgrund der Evaluation der bestehenden Norm und der Bedürfnisanalyse wurde ersichtlich, dass eine Einschränkung bei der Methodenwahl auf statistische Ansätze welche die Benutzer manuell durchführen können nicht zielführend ist. Es wird davon ausgegangen, dass mit der heutigen Informatikinfrastruktur den potenziellen Nutzern Tools für „komplexere“ Ansätze zur Verfügung stehen (siehe Konzeption in Kap. 2.3.1). Diese sind auch für Anwender ohne statistische Grundkenntnisse zu bedienen und die Resultate werden nachvollziehbar aufbereitet. Wichtig ist, dass die Benutzer bei der Anwendung unterstützt werden und verständliche Hilfsmittel zur Interpretation der Analyseergebnisse bereitstehen.

3.2 Literaturrecherche

3.2.1 Allgemein

Um einen Überblick über den internationalen Forschungsstand und die „Best-Practice“-Methoden zu erhalten, wurde zuerst eine Literaturrecherche durchgeführt. Durch die vorgesehene Implementierung der statistischen Methoden in IT-Applikationen wurde der Blickwinkel der Literaturrecherche komplett geöffnet und auch komplexere Methoden wurden in die Auslegeordnung der infrage kommenden Ansätze aufgenommen. Auf diese Weise konnte der aktuelle Stand der Forschung mit modernen und international bereits angewandten statistischen Methoden berücksichtigt werden.

Anschliessend an den Literaturüberblick wurde die Wahl der Methoden begründet, die entsprechenden Ansätze wurden im Detail beschrieben und anhand der von der Begleitgruppe zur Verfügung gestellten Daten evaluiert.

3.2.2 Zeitreihen-Monitoring

Zur Auswertung von Unfallzahlen werden in Praxis und Literatur verschiedenste statistische Methoden verwendet. Eine Übersicht über die Vielzahl der methodischen Ansätze, sowie die jeweils damit verbundenen Schwierigkeiten bei der Analyse von Verkehrsunfällen sind im Review-Artikel von Lord und Mannering, 2010 [9] zu finden.

Die absolute Anzahl an Unfällen über einen bestimmten Zeitraum wird aus statistischer Sicht als Zufallsgrösse bezeichnet. Dies, weil man nicht erwarten kann, dass auf dem gleichen Strassenabschnitt über die gleichlang folgenden Zeiträume immer die genau gleiche Anzahl an Unfällen zu beobachten ist. Die Anzahl an Unfällen variiert auch dann (zufällig), wenn sich auf dem entsprechenden Strassenabschnitt von einer zur nächsten Untersuchungsperiode (meistens ein Jahr) nichts verändert hat. In der Unfallanalyse wird versucht, diese Zufälligkeit in den Unfalldaten anhand von probabilistischen Modellen zu repräsentieren. Als geläufigstes und gleichzeitig auch einfachstes Modell dient hierfür die Poisson-Verteilung. Bei der Analyse von Zeitreihen mit Verkehrsunfällen geht es nun darum, zu überprüfen, ob sich der Erwartungswert⁴ des Unfallgeschehens im Verlauf der Zeit ändert und ob es allenfalls Beobachtungen gibt, welche auf eine übermässige Streuung hinweisen.

Diese Art der Prozessüberwachung ist typisch für die statistische Qualitätskontrolle, insbesondere im Rahmen von industriellen Produktionsprozessen. Häufig werden dort sogenannte Qualitätsregelkarten verwendet [10]. Eine Qualitätsregelkarte ist eine Art Schaubild des Prozesses, womit Auffälligkeiten im Prozessablauf detektiert werden. Dazu werden mit einem statistischen Modell (hier das Poisson-Modell) die Grenzen für auffällige Messwerte mit Hilfe einer Quantilfunktion⁵ bestimmt. Anschliessend werden die beobachteten Anzahlen der zeitlich aufeinanderfolgenden Unfalldaten aufgetragen. Überbeschreitet eine Beobachtung den Warn- (95%-Quantil) oder sogar den Eingriffswert (99%-Quantil), so kann mit Gegenmassnahmen reagiert werden (siehe Abb. 4).

⁴ Der Erwartungswert der Zufallsvariable Unfallgeschehen entspricht der aufgrund des statistischen Modells ermittelten mittleren Anzahl an Unfällen im Untersuchungsraum.

⁵ Allgemein werden Quantilfunktionen so definiert, dass ein bestimmter Anteil der Werte einer statistischen Verteilung kleiner als der Quantilwert ist. Spricht man beispielsweise von einem 95%-Quantil, dann heisst das, dass der Wert des Quantils so bestimmt wird, dass 95% der Werte der zugrunde gelegten Verteilungsfunktion (z.B. Poisson-Verteilung) kleiner sind als der Wert des Quantils. Der Rest der Werte ist grösser. So können Grenzen des zulässigen Streubereichs bei der Qualitätskontrolle oder Kontrolle von fortlaufenden Unfallzahlen festgelegt werden.

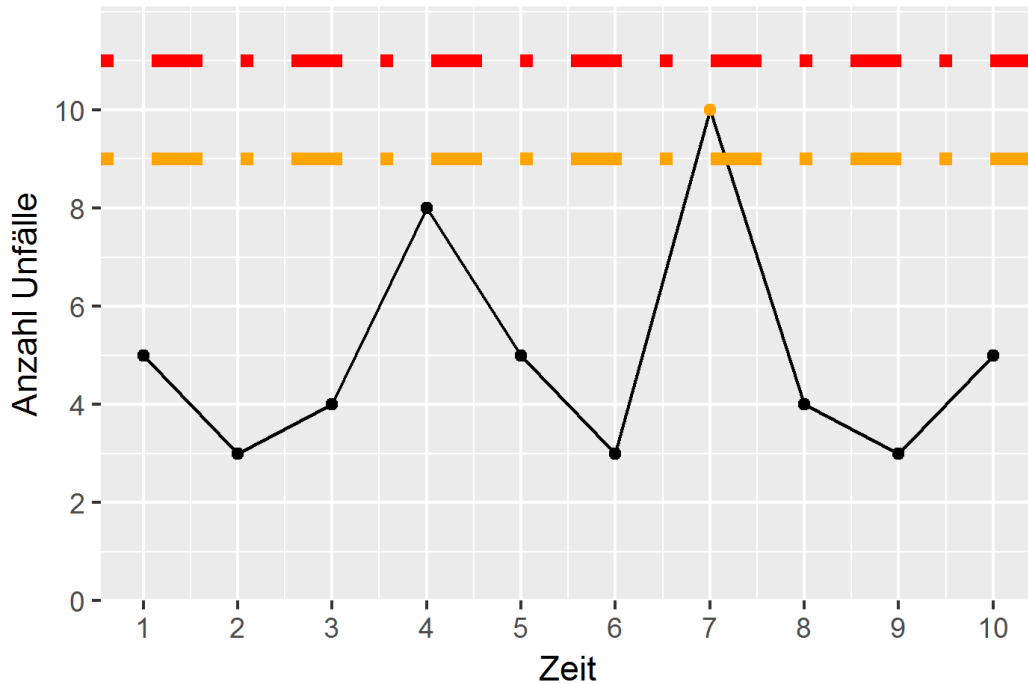


Abb. 4 Beispiel für eine mögliche Regelkarte für die Kontrolle von zeitlich aufeinanderfolgenden Unfallzahlen. Die Abbildung zeigt eine hypothetische Zeitreihe, sowie die Warn- (Orange) und die Eingriffslinie (Rot). Die Beobachtung zum Zeitpunkt $t=7$ würde hier als Warnpunkt ausgewiesen

Standardmässig werden die einzelnen Werte als stochastisch unabhängig voneinander betrachtet. Um sensibler gegenüber kleineren, aber sich kontinuierlich abzeichnenden Abweichungen zu sein, können Qualitätsregelkarten auch auf den kumulierten Summen basieren. Weitere Optionen, welche die zeitliche Entwicklung mitberücksichtigen, sind (Exponentially Weighted) Moving-Average-Karten. Der Vorteil von Regelkarten ist, dass sie relativ einfach verständlich und umsetzbar sind. Sie eignen sich insbesondere zur Detektion von einzelnen, auffälligen Messungen. Bei der Nutzung dieser Methoden bestehen allerdings Einschränkungen für die Berücksichtigung von Trends (z.B. Zunahme der Verkehrsbelastung über den gleichen Untersuchungszeitraum). Zudem ist auch die Integration weiterer Information (z.B. der Exposition) schwierig. Für eine automatisierte Auswertung können die Parameter für das Modell (z.B. Erwartungswert der Poisson-Verteilung) auch nicht, wie in der Qualitätssicherung üblich, unabhängig geschätzt werden. Ähnliche Ansätze aus der Qualitätssicherung wurden früher auch zur Analyse von Verkehrsunfällen verwendet [11].

Die Grundideen der Qualitätsregelkarte können, ohne ihre Limitierungen, auch auf den flexibleren Poisson-Regressionsansatz übertragen werden. Der zeitliche Verlauf der erwarteten Anzahl Unfälle für die Poisson-Verteilung ($U_t \sim \text{Poisson}(\lambda_t)$) mit der sogenannten Poisson-Regression beschrieben. Der Erwartungswert des Unfallgeschehens (Parameter λ_t) wird als Funktion der Zeit und gegebenenfalls weiteren Einflussvariablen (z.B. verändertes Verkehrsaufkommen) modelliert. Da der Erwartungswert des Unfallgeschehens nicht negativ sein darf, wird der Logarithmus als sogenannte Linkfunktion verwendet. Der transformierte Erwartungswert kann somit – wie bei einer multiplen Regression – vereinfachend mit einem linearen Modell beschrieben werden: $\log(\lambda_t) = B_0 + B_1 \cdot \text{Zeit}$ (z.B. [12], [13]). Für Unfälle werden entsprechende Modelle zum Beispiel in [14] oder [15] verwendet.

Eine limitierende Einschränkung beim Poisson-Ansatz ist, dass die Verteilungsfunktion nur durch einen Parameter bestimmt wird (vgl. Normverteilung wird durch zwei Parameter bestimmt: Mittelwert und Streuung). Für die Poisson-Verteilung wird angenommen, dass die Varianz (Streuung) der Beobachtungen dem Erwartungswert entspricht. Unfalldaten zeigen jedoch insbesondere bei kleineren Unfallzahlen häufig eine sogenannte

Overdispersion. Dies bedeutet, dass die Streuung der Beobachtungen deutlich grösser als der Erwartungswert ist. Geschätzte Standardfehler des Poisson-Modells werden dadurch nicht richtig ermittelt und fehlerhafte Rückschlüsse können entstehen. Um dieses Problem zu umgehen, werden alternative Modelle wie das Quasi-Poisson-Modell (Varianz entspricht einer linearen Funktion des Erwartungswertes) oder das Negativ-Binomialmodell (Varianz entspricht einer quadratischen Funktion des Erwartungswertes) eingesetzt (z.B. [16], [17], [18] oder [14]).

In der Literatur wird teilweise auch von Datensätzen mit einer hohen Anzahl an Nullwerten berichtet, welche man unter einem Poisson/Negativ-Binomial-Modell so nicht erwarten würde. Der Grund dafür liegt darin, dass bei der Unfallanalyse eines ganzen Strassennetzes sehr viele Strassenabschnitte vorhanden sind, auf denen sich im Untersuchungszeitraum kein Unfall ereignet hat und man dadurch mit überproportional vielen 0-Werten im Analysedatensatz umgehen muss. Eine Möglichkeit, diesem Phänomen zu begegnen, ist die Verwendung von sogenannten „Zero-Inflated-Modellen“. Diese erlauben eine Modellierung von zwei Zuständen: den Null-Unfall-Zustand und den nicht-Null-Unfall-Zustand, welcher weiterhin mit einem herkömmlichen Modell (z.B. Poisson-Verteilung) abgeschätzt wird (z.B. [19]). Diese Art von Zero-Inflated-Modellen erhalten insbesondere bei kurzen Untersuchungszeiträumen und/oder kleinen Expositionswerten (z.B. geringer DTV) besondere Relevanz, denn dann liegen besonders viele Strassenabschnitte ohne Unfallbeobachtungen vor.

In den Modell-Übersichten von Lord und Mannering 2010 [9] werden noch weitere komplexere Modellierungsansätze wie Generalized Additive Models, Random-Parameter-Modelle, Multilevel-Modelle oder Bayesian Network Models (z.B. [18], [20]) beschrieben. Für die automatisierte Auswertung von relativ kurzen Zeitreihen basierend auf Jahresdaten eignen sich diese Modelle jedoch nur bedingt. Das liegt daran, dass für die flexibleren Modelle oftmals a) die Datenanlage nicht ausreichend und dadurch die automatisierte Adaption auf verschiedene Datensätze schwierig ist, b) die Modellparameter nicht eindeutig interpretierbar sind und/oder c) der Schätzprozess sehr komplex ist. Für vertiefte Analysen können entsprechende Modelle jedoch durchaus interessante, wertvolle und hilfreiche Schlüsse liefern.

3.2.3 Wirkungsanalyse

Die Grundidee bei der Massnahmenwirksamkeit ist ein Vergleich zwischen der Anzahl Unfälle nach der Massnahme mit der hypothetischen Anzahl Unfälle im selben Zeitrahmen, wenn die Massnahme nicht durchgeführt worden wäre [21]. Die hypothetischen Unfallzahlen werden dabei in der Regel aus der Anzahl Unfälle vor der Massnahme geschätzt. Standardmässig können bei entsprechenden Vergleichen Poisson-Tests oder – wenn eine Kontrollgruppe mitberücksichtigt ist – Fisher-Tests (4-Feldertafel) verwendet werden [22].

Die Konsultation der spezifischen Fachliteratur zeigt, dass die Validierung der Wirksamkeit von Massnahmen bei der Analyse von Verkehrsunfällen oftmals nicht einfach ist. Zu dieser Fragestellung werden ganze Bücher verfasst: „Observational Before-After Studies in Road Safety“ von Hauer (1997, 2001) [21], [23] oder „Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks - Best Practice Guidelines and Implementation Steps“ von Sørensen und Elvik (2007) [24]. Das Hauptproblem beim Massnahmenvergleich ist, dass es sich hierbei nicht um ein geplantes Experiment handelt. Massnahmen werden nicht an zufälligen Orten, sondern häufig dort umgesetzt, wo etwas Auffälliges passiert ist (Auswahl durch Black Spot Management). Nur teilweise werden Massnahmen unabhängig von den vorangehenden Unfallzahlen im Rahmen allgemeiner (z.B. Bau-) Massnahmen umgesetzt. Das ist problematisch, da die Unfallzahlen wie bereits in Kap. 3.2.2 beschrieben Zufallsgrössen sind. Wenn man viele Standorte betrachtet, so muss man damit rechnen, dass an einigen Standorten die Unfallzahlen zufälligerweise hoch sein werden. Werden nun Massnahmen dort implementiert und evaluiert, ist häufig zu beobachten, dass die Unfallzahlen wieder zurückgehen. Der Rückgang kann nun aber nicht zwingend auf die Massnahmen zurückgeführt werden, denn auch ohne Massnahme wäre zu erwarten gewesen, dass nach einem oder auch mehreren Jahren mit hohen Unfallzahlen, diese

wieder zurückgehen und sich beim Erwartungswert (Mittelwert) einpendeln. Das hat zur Folge, dass häufig die Massnahmenwirkung überschätzt wird. Dieses Phänomen wird als Regression-to-the-mean bezeichnet und auch in der Literatur intensiv diskutiert; neben den bereits erwähnten Publikationen nicht abschliessend auch in Barnett et al. (2005) [25], in Park und Saccomanno (2007) [26], in Park und Lord (2010) [27] oder in Elvik (2002) [28].

Es gibt verschiedene Vorschläge, dem Problem der Regression-to-the-Mean zu begegnen. Barnett et al. (2005) [25] empfehlen, grundsätzlich das Studiendesign zu optimieren. Im statistischen Sinn wäre es optimal, die Massnahmen zufällig den Standorten zuzuordnen. Es leuchtet allerdings ein, dass dieser Ansatz im Zusammenhang mit Verkehrsunfällen nur wenig praktikabel erscheint, denn das primäre Ziel ist die Reduktion der Verkehrsunfälle, vor allem eben auf jenen Strassenabschnitten mit einem erhöhten Unfallgeschehen. Es ist nicht vertretbar, Standorte mit hohen Unfallzahlen und damit einem scheinbar hohen Sicherheitsrisiko nicht zu behandeln, nur um statistisch zuverlässigere Aussagen zur Massnahmenwirksamkeit zu erhalten.

Weitere Ansätze beruhen auf dem Vergleich mit Referenzstandorten. Park und Saccomanno (2007) [26] verwenden ein sogenanntes «Propensity Score Model», um die Effektivität von Massnahmen zu evaluieren. Dazu werden Standorte mit und ohne Massnahmen betrachtet und verglichen. Die Ähnlichkeit der Standorte ist dabei durch das Score-Modell bestimmt. Das Modell beruht auf den Unfallzahlen vor der Massnahme und weiteren Attributen der Standorte. Voraussetzung für diesen Ansatz ist das Vorhandensein möglichst vieler Standorte mit und ohne Massnahmen. Da viele Massnahmen sehr standortspezifisch sind ist diese Voraussetzung in der Realität aufgrund begrenzter Zuständigkeitsperimeter nur sehr schwer auffindbar.

Als State-of-the-art zur Evaluation der Massnahmenwirksamkeit wird der Empirical Bayes-Ansatz betrachtet (z.B. Sørensen und Elvik 2007 [24] oder Persaud und Lyon, 2007 [29], Deublein et al. 2013 [30]). Empirical Bayes Methoden nutzen Ähnlichkeiten zwischen verschiedenen Situationen (z.B. Unfallstandorte). Entscheidend ist dabei, dass keine Informationen über den Prior (A-priori-Wahrscheinlichkeiten) vorliegen. Beim Empirical Bayes-Ansatz wird die erwartete Anzahl Unfälle (Prior) aus einer gewichtete Summe der beobachteten Anzahl Unfälle und der allgemein erwarteten Anzahl Unfälle für ähnliche Standorte geschätzt. Die allgemeine, erwartete Anzahl Unfälle wird dabei mit einem generellen multivariaten Unfallvorhersagemodell oder anhand der marginalen Wahrscheinlichkeitsverteilung geschätzt [31]. Als Unfallvorhersagemodelle kommen zum Beispiel Safety Performance Functions in Frage (siehe SVI VeSPA-Forschungspaket⁶, [32]). Das sind Funktionen, welche die durchschnittlich erwartete Anzahl Unfälle an einem Standort anhand der Exposition und Standorteigenschaften vorhersagen. Für die Schätzung anhand der marginalen Verteilung ist eine Vielzahl von Referenzstandorten notwendig. Es kann bei den Analysen nicht davon ausgegangen werden, dass genügend Referenzstandorte zur Verfügung stehen. Auch ist eine Automatisierung nur schwer möglich. Für eine vertiefte, manuelle Analyse der Massnahmenwirksamkeit wie zum Beispiel im MEVASI-Projekt, wären entsprechende Ansätze aber sicherlich prüfenswert. Entsprechenden Unfallprädiktionsmodelle sind aber noch zu wenig spezifisch, um für unterschiedliche Standorte wirklich differenzierende und verwertbare Unfallvorhersagen zu erhalten.

Idealer Weise sollte der Empirical Bayes Ansatz bereits in das Black Spot Management integriert sein [24], um sicher zu stellen, dass Massnahmen auch an echt kritischen Orten implementiert werden und nicht einfach nur an Orten mit zufällig hohen Unfallzahlen. Dadurch könnte auch das Regression-to-the-mean Problem reduziert werden. Als best practice Ansatz wird in [24] eine Formel gemäss Madsen (2005) [33] propagiert, welche für

⁶ Das Forschungspaket «Verkehrssicherheitsgewinne durch Datapooling und strukturierte Datenanalysen» (VeSPA) besteht aus fünf inhaltlichen Teilprojekten. Diese behandeln über zwei Phasen Datenanalysen zu den Themen Mensch/Gesellschaft, Situaition/Infrastruktur, Fahrzeug, Wetter und medizinische Folgen. Safety Performance Funktions wurden im Teilprojekt «Massnahmen und Potentiale im Bereich Infrastruktur» aus den Daten abgeleitet [32].

den zeitlichen Trend (C_{Trend}), Veränderungen in der Exposition ($C_{Verkehr}$) und auch für den Regression-to-the-mean Effekt (C_{RTM}) korrigiert:

$$\text{Massnahmeneffekt} = \frac{\text{durchschnittliche Anzahl Unfälle nachher}}{\text{durchschnittliche Anzahl Unfälle vorher} * C_{Trend} * C_{Verkehr} * C_{RTM}}$$

Der Trendfaktor wird dabei aus dem Langzeittrend der Verkehrsunfälle von vergleichbaren Standorten geschätzt. Der Verkehrseinfluss wird über die lokale Änderung des Verkehrsaufkommens abgebildet. Wie der Regression-to-the-mean Effekt abgeschätzt werden soll ist hingegen unklar. Aus Experimenten in Dänemark wird mit einem Faktor zwischen 0.7-0.8 gerechnet [34].

Ein wirksamer und gleichermassen pragmatischer Ansatz zur Berücksichtigung des Regression-to-the-Mean-Effekts umfasst, nur jene Unfälle zu berücksichtigen, die zwischen der Entscheidung für die Umsetzung einer Massnahme und der eigentlichen Massnahmenumsetzung erfasst wurden. Da es sich im vorliegenden Forschungsprojekt in erster Linie um bauliche Infrastrukturmassnahmen handelt, erstreckt sich der Zeitraum zwischen Auslösen und Umsetzen einer Massnahme häufig über mehrere Jahre. Heute scheitert dieser Ansatz häufig noch daran, dass die Auslösezeitpunkte für die Massnahmen nicht mehr bekannt sind bzw. nicht dokumentiert wurden.

3.3 Zeitreihen-Monitoring

3.3.1 Auslegeordnung und Wahl der statistischen Methode

Aus der Bedürfnisanalyse, der Literaturrecherche und dem Fachwissen des Projektteams kristallisiert sich heraus, dass sich die Zählraten für die Zeitreihenanalyse am besten anhand von Regressionsmodellen repräsentieren lassen. Startpunkt sind die entsprechenden Zeitreihenanalysen auf Grundlage einer Poisson-Regression. Es muss jedoch geprüft werden, ob die Annahme, dass die Streuung dem Erwartungswert entspricht, auch erfüllt ist. Um dies an realen Daten zu überprüfen, standen Unfalldaten von 144 Kreiseln im Kanton Aargau zur Verfügung. Eine Analyse dieser Daten deutet auf eine Overdispersion (ungewünscht grosse Streuung in den Daten) hin, was für Verkehrsunfälle allgemein häufig der Fall ist. Wird das Auftreten von Overdispersion ignoriert, führt dies zu nicht-repräsentativ kleinen Konfidenzintervallen für die Erwartungswerte. Das bedeutet in der Praxis, dass die Resultate der Zeitreihenanalyse fälschlicherweise zu stark ausgeprägte Effekte (z.B. zeitliche Trends) anzeigen – stärker, als es eigentlich der Fall ist.

Für eine automatisierte Auswertung ist es daher wichtig, ein Modell zu verwenden, welches die Möglichkeit von Overdispersion berücksichtigt. Als Alternativmodelle stehen die Quasi-Poisson-Regression sowie die Negativ-Binomial-Regression zur Verfügung. Bei diesen Modellen wird die Wahrscheinlichkeitsverteilung mit einem zusätzlichen Parameter beschrieben und somit auch das Ausmass der Streuung explizit berücksichtigt. Man verliert dabei zwar durch die Schätzung eines zusätzlichen Parameters etwas an Macht⁷ (d.h. man kann allenfalls kleinere Trends schlechter nachweisen), befindet sich aber für alle Situationen auf der aus statistischer Sicht sicheren Seite. In der Regel führen die beiden Ansätze (Quasi-Poisson oder Negativ-Binomial) zu ähnlichen Resultaten. Der Unterschied zwischen den Ansätzen liegt darin, dass beim Quasi-Poisson-Modell die Varianz eine lineare und beim Negativ-Binomial-Modell eine quadratische Funktion des Mittelwerts ist. Eine Analyse gemäss dem Ansatz von Ver Hoef und Boveng (2007) [35] liefert keine eindeutige Antwort, welches Modell zu bevorzugen ist.

Im Unterschied zu den anderen Ansätzen basiert das Quasi-Poisson Modell nicht auf einer Verteilungsannahme, sondern ist nur durch den Mittelwert und die Varianz definiert. Darum können beim Vergleich und der Selektion von verschiedenen Modellen gewisse

⁷ Unter dem Begriff Macht wird in der Statistik verstanden, wie wahrscheinlich ein statistischer Test einen effektiv vorhandenen Trend in den analysierten Daten von Zeitreihen nachweisen kann.

Gütekriterien wie das AIC-Kriterium nicht verwendet werden. Es gibt Ansätze wie das Quasi-AIC, die jedoch theoretisch weniger fundiert sind. Bei der Zeitreihenanalyse spielt die Modellwahl noch keine Rolle, wird aber für die Evaluation der Massnahmenwirksamkeit wichtig (vergleiche Kapitel 3.4). Um mit der späteren Modellwahl bei der Massnahmenwirksamkeit konsistent zu sein, wird auch bei der Zeitreihenanalyse die Negativ-Binomial-Regression verwendet.

3.3.2 Methodik für das Zeitreihen-Monitoring

Im Unterschied zur Poisson-Verteilung hat die Negativ-Binomial-Verteilung einen zusätzlichen Parameter, so dass die Varianz (σ^2) grösser als der Erwartungswert (μ) sein kann. Für die Varianz gilt: $\sigma^2 = \mu + D\mu^2$. D ist dabei der sogenannte Dispersionsparameter. Wie bei der Poisson-Regression wird bei der Negativ-Binomial-Regression der transformierte Erwartungswert mit einem linearen Modell beschrieben. Die Linkfunktion ist der Logarithmus. Als erklärende Variable interessiert die Zeit. $\log(\mu_t) = B_0 + B_1 \cdot \text{Zeit}$. Details zur Methode sind zum Beispiel in Agresti (2007) [13] zu finden.

Umgesetzt wird der Ansatz mit der Statistiksoftware R (R Core Team, 2017). Für die Modellschätzung wird die Funktion `glm.nb` aus dem Paket MASS [36] verwendet (siehe R-Code im Anhang III).

Als Input für das Modell wird nur die Zeitreihe mit den Unfallzahlen benötigt. Ein entsprechendes Modell für eine Zeitreihe mit einer zeitlichen Abfolge von fiktiven Unfallzahlen ist in der Abb. 5 graphisch visualisiert.

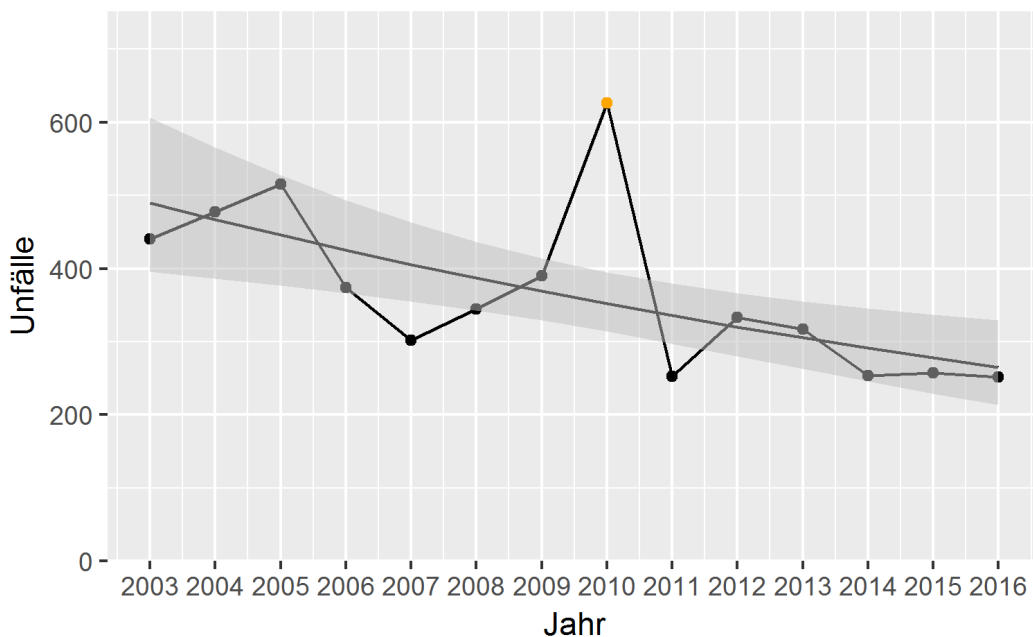


Abb. 5 Schematische Darstellung einer Zeitreihenanalyse basierend auf einer Negativ-Binomial-Regression. Ermittelte Trendfunktion als schwarze durchgängige Linie, ermitteltes 95%-Konfidenzintervall für den Trend als grauer Bereich

Neben der Trendfunktion wird dabei auch das 95%-Konfidenzintervall für den Trend dargestellt. Im fiktiven Beispiel ist der abnehmende Trend klar ersichtlich, die absolute Unfallhäufigkeit sinkt von einem Erwartungswert von knapp 500 Unfällen pro Jahr im Jahr 2003 auf einen Erwartungswert von gut 260 Unfällen pro Jahr im Jahr 2016. Numerisch wird der zeitliche Trend über entsprechende Modellkoeffizienten quantifiziert. Beispielhaft sieht der numerische Modell-Output dabei wie folgt aus:

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	100.70372	28.83586	3.492	0.000479	***
Jahr	-0.04718	0.01435	-3.288	0.001009	**

Neben dem Schätzwert für die Modellparameter (*Estimate*) werden auch die Standardfehler (*Std. Error*) sowie Signifikanzwerte (*z value und Pr(>|z|)*) für jeden Modellparameter angegeben. Die numerischen Werte dienen sowohl für die Quantifizierung der Trendrichtung und –stärke, als auch für eine Beurteilung der statistischen Signifikanz und Aussagekraft der Resultate (In anderen Worten: Wie wahrscheinlich ist es, dass das Resultat auch zufällig so hätte eintreffen können?).

Aus dem Beispiel in Abb. 5 ist ersichtlich, dass der Trend negativ und in diesem Fall entsprechend den numerischen Werten auch hochsignifikant ist (p-Wert von 0.001). Den geschätzten jährlichen Trend kann man über den Exponentialwert des Regressionskoeffizienten bestimmen. Im Beispiel $\exp(-0.04718)=0.95$. Das heisst der Erwartungswert der Zeitreihe beträgt jeweils 95% des Erwartungswerts des Vorjahrs. Die Unfallzahlen reduzieren sich in der gezeigten Zeitreihe jedes Jahr um 5%.

Inwiefern ein Trend als signifikant ausgewiesen wird, ist von der Länge der Zeitreihe, der Stärke des Trends und dem Ausmass der Overdispersion abhängig. Würde man die oben gezeigte Zeitreihe auf 10 Jahre verkürzen, wäre der negative Trend bereits knapp nicht mehr signifikant (p-Wert von 0.054). Verkürzt man die Zeitreihe weiter auf die letzten 5 Jahre, kann der negative Trend klar nicht mehr als signifikant eingestuft werden (p-Wert von 0.22). Nicht signifikant bedeutet in diesem Fall, dass die Entwicklung des Unfallgeschehens innerhalb des (zu) kleinen Untersuchungszeitraums auch zufällig zustande gekommen sein kann.

Eine Simulationsstudie mit Poisson-verteilten Unfallzahlen mit variablem Trend hat gezeigt, dass bei 5-jährigen Zeitreihen ein Trend statistisch nur selten als signifikant nachgewiesen werden kann (p-Wert unter 0.05). Ein negativer jährlicher Trend von 0.2 (d.h. der Erwartungswert der Unfallzahl nimmt jährlich um 20% ab) kann in weniger als 10% der Fälle nachgewiesen werden und selbst bei einem Trend von 0.6 wird dieser nur in 20% der Fälle als statistisch signifikant ausgewiesen. Bei Zeitreihen mit 10 Jahren zeigt sich ein anderes Bild: Ein Trend von 0.2 wird in 30% der Fälle nachgewiesen ein Trend von 0.6 praktisch in 100% der Fälle. Umgekehrt kann sich auch in Zeitreihen mit konstantem Erwartungswert rein zufällig ein signifikanter Trend ergeben. Bei konstanten Zeitreihen wird dieser Fehler über das Signifikanzniveau kontrolliert. Ist der effektive Trend negativ wird die Gefahr für einen falschen signifikanten positiven Trend, bzw. vice versa, noch kleiner.

p-Werte können darum auch nur als zusätzliches Hilfsmittel dienen; wichtiger ist die graphische Veranschaulichung der Zeitreihe inklusive der Konfidenzintervalle der Trendlinie. Der p-Wert als absolute Zahl allein sollte auch keine Scheingenauigkeit vermitteln. Denn dadurch, dass im gewählten Vorgehen zur Modellselektion nicht abschliessend geprüft werden kann, ob das gewählte Modell wirklich zu den Daten passt, wird eine geringe Grundungenauigkeit verursacht. Für eine interpretierbare Anwendung der Sicherheitsverantwortlichen z.B. anhand einer IT-Applikation sollte deshalb die Signifikanz des Trends nur über ein vereinfachtes Farbstufensystem visualisiert und kommuniziert werden (vgl. Kapitel 3.3.3). Trends können dabei positive oder negative Vorzeichen haben, wobei ein zeitlich negativer Trend als positiv, d.h. als günstiger Verlauf im Sinne des Unfallgeschehens und ein zeitlich positiver Trend als negativ, d.h. ungünstiger Verlauf des Unfallgeschehens, zu bewerten sind.

Die Zeitreihenanalyse soll zudem dazu dienen, einzelne Ausreisser im Unfallgeschehen zu detektieren und das aktuelle Unfallgeschehen in den Kontext des vorhergehenden Beobachtungszeitraums setzen. Eine wichtige Frage in diesem Analyseverfahren lautet: Weicht das aktuelle Unfallgeschehen vom früheren Unfallgeschehen so stark ab, dass ein negativer Einfluss angenommen werden muss und Massnahmen zur Reduktion des Unfallgeschehens zu ergreifen sind?

Da die Zeitreihenanalyse insbesondere als Frühwarnsystem dienen soll, kommt dem letzten Datenpunkt (d.h. der neusten Beobachtung) eine spezielle Bedeutung zu. Für den Nutzer ist es besonders interessant zu wissen, ob der entsprechende Punkt im erwarteten Bereich liegt oder vom langjährigen Trend abweicht. Da ein allfälliger Ausreisser selbst Bestandteil der Datenreihe ist, beeinflusst er die Modellschätzung. Das macht es schwierig, allfällige Änderungen frühzeitig zu erkennen. Ergänzend wird deshalb das Modell ohne den letzten Datenpunkt geschätzt. Parametrisch ist es nicht möglich, ein entsprechendes Vorhersageintervall direkt zu bestimmen. Deshalb wird ein 95%-Vorhersagebereich für den letzten Datenpunkt mittels eines Bootstrapverfahrens (siehe z.B. Junghard, 1990 [37]) konstruiert (blaue vertikale Linie in Abb. 6). Anschliessend kann analysiert werden, ob der letzte Datenpunkt im Vorhersagebereich liegt oder nicht, das heisst innerhalb der vertikalen Ausdehnung der blauen Linie oder ausserhalb. Im gezeigten Beispiel liegt der Datenpunkt ausserhalb der Ausdehnung der blauen Linie und wird durch das Frühwarnsystem deshalb als Ausreisser detektiert.

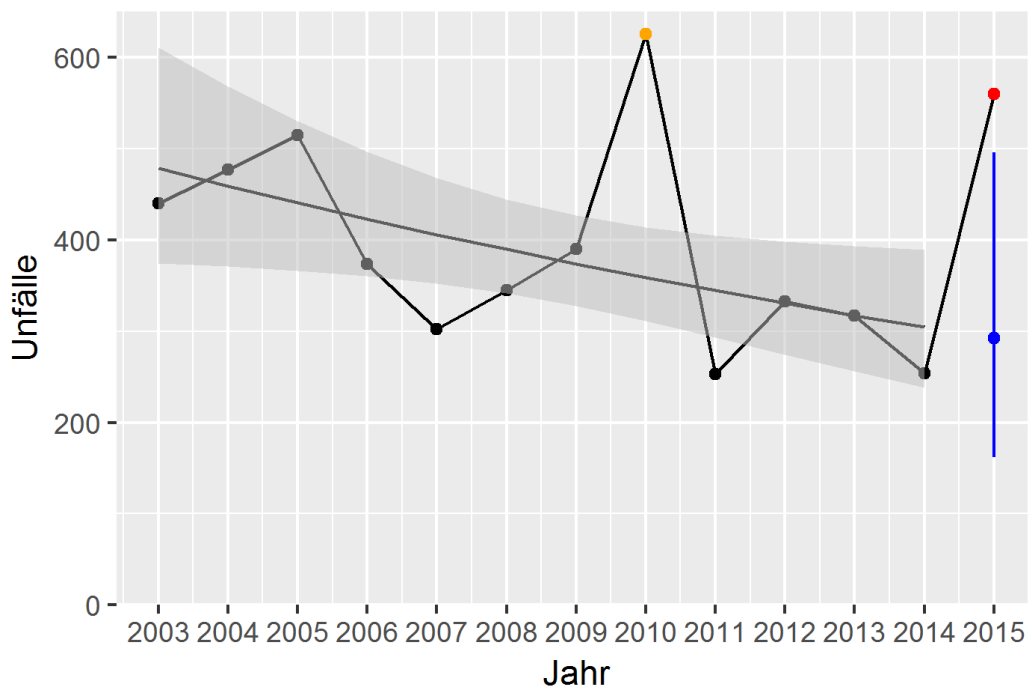


Abb. 6 Resultat eines Zeitreihen-Frühwarnsystems basierend auf der Negativ-Binomial-Regression für fiktive Unfalldaten in einem Untersuchungszeitraum von 13 Jahren. Für das letzte Jahr wird ein 95%-Vorhersageintervall konstruiert (vertikale blaue Linie).

Aus Abb. 6 ist zu sehen, dass in diesem konstruierten Beispiel die aktuelle Unfallzahl im Jahr 2015 ausserhalb des Vorhersageintervalls liegt. Das bedeutet, dass eine statistisch signifikante Änderung in der Zeitreihe stattgefunden hat. Entsprechend würde ein Warnhinweis an den Anwender kommuniziert.

Zusätzlich wurde von der Begleitgruppe gewünscht, dass auch die Option besteht, frühere Ausreisser einer Datenreihe in begründeten Fällen aus der Analyse auszuschliessen. D.h., das Modell wird ohne diesen Datenpunkt berechnet. In der Visualisierung soll der Datenpunkt aber, speziell gekennzeichnet, trotzdem noch sichtbar bleiben, um keine Datenmanipulationen zu fördern. Durch dieses Vorgehen wird die Sensitivität der Methode vergrössert, d.h. Ausreisser oder eine sich abzeichnende Trendwende werden zuverlässiger und schneller erkannt.

Auffälligkeiten können über Pearson-Residuen ($(\text{beobachteter Wert} - \text{Modellwert}) / \sqrt{\text{Modellwert} + \text{Dispersionsparameter} * (\text{Modellwert}^2)}$) identifiziert werden. Beobachtungen mit Pearson-Residuen grösser als 2 werden als Ausreisser klassifiziert. Im Beispiel von Abb. 6 wird der Wert im 8. Beobachtungsjahr als Ausreisser ausgewiesen. Die Gründe für die Ausreisser müssen dann von den Anwendern evaluiert werden. Dabei muss überprüft werden, ob der Ausreisser durch echte kausale Einflüsse (z.B. besonders heisser

Sommer mit vielen Velo-Stürzen) oder durch Modell-exogene Einflüsse (z.B. verändertes Dokumentationsverfahren von Unfällen) entstanden ist.

Diskussion

- Falls spezifische Daten zur Exposition vorhanden sind, kann das Modell einfach erweitert werden. Die Exposition wird dann als «Offset» in das Modell integriert und entsprechende Änderungen zum Beispiel in der Verkehrsbelastung über den Untersuchungszeitraum werden mitberücksichtigt. Die vorher gezeigten Abbildungen enthielten auf der Vertikalachse dann Unfallraten statt absolute Unfallzahlen. Die Integration der Exposition macht jedoch nur Sinn, wenn jährliche Daten zur Variation der Exposition vorliegen. Gibt es keine Veränderung der Exposition, wird durch die Integration kein Mehrwert erzeugt, weil sich keine Änderungen an den Resultaten ergeben würden.
- Trotz der Flexibilität des Modelles gibt es Limitierungen: Der Ansatz beschränkt sich auf log-lineare Trends, d.h. um eine prozentual konstante Zu- oder Abnahme pro Jahr. Dadurch besteht ein gewisser Mangel an Flexibilität in der Modellierung. In den vorhandenen, relativ kurzen Datenreihen wäre es jedoch sehr schwierig, andersartige Trendfunktionen mit statistischer Signifikanz zu detektieren. Auch eine allfällige Unterdispersion (d.h. verminderte Streuung der Beobachtungen) wird durch die aktuelle Modellwahl nicht abgedeckt.
- Die automatisierte Auswertung birgt die Gefahr, dass das Modell von Nutzern auch in Fällen verwendet wird, wo dieses schlecht zu den Beobachtungen passt und die daraus gezogenen Folgerungen nur bedingt zutreffend sind. Für den ungeübten Nutzer kann es schwierig sein, zu erkennen, ob alle Modellannahmen hinreichend erfüllt sind. Alle Eventualitäten automatisiert abzufangen ist jedoch nicht möglich. Durch ergänzende Checklisten muss deshalb zwingend sichergestellt werden, dass die (automatisierte) Analyse zuverlässige Ergebnisse und korrekte Interpretationen liefert. Ein erster Entwurf für eine Checkliste zur Durchführung von Zeitreihenanalysen ist in Anhang IV zu finden. Allenfalls werden durch erste Erfahrungswerte bei der praktischen Umsetzung der hier entwickelten Methoden noch Ergänzungen und Anpassungen in den Checklisten erforderlich sein. Zusätzlich soll dem Nutzer auch eine ausführliche Interpretationshilfe bereitgestellt werden.

3.3.3 Darstellung der Resultate Zeitreihen-Monitoring

Durch das Zeitreihen-Monitoring kann der Anwender allgemeine Trends im Unfallgeschehen erkennen und beschreiben. Einerseits durch den ausgewiesenen Regressionskoeffizienten bzw. dessen Vorzeichen, andererseits durch die visuelle Prüfung der automatisch erzeugten Abbildungen. Zusätzlich wird erkannt, ob das aktuelle Unfallgeschehen im Streubereich der Trendanalyse liegt oder eine Veränderung des Trends stattgefunden hat.

Für beide Fälle gilt, dass der Anwender für die Durchführung des Zeitreihen-Monitorings entsprechend geschult und in die Pflicht genommen werden muss, optisch erkannte Entwicklungen mit weiteren Einflussgrößen (anhand von Checklisten) zu kombinieren und die richtigen Rückschlüsse zu ziehen.

Um zu beurteilen, ob die einzelnen Modellresultate als belastbare Aussagen über Trends verwendet werden können, werden die Unsicherheiten bei der Analyse anhand von Signifikanzaussagen quantifiziert und für den Anwender anhand eines vereinfachten Farbstufensystems dargestellt. Dabei werden die Resultate p-Werte des Regressionskoeffizienten aus dem statistischen Regressionsmodell in vier Signifikanzniveaus unterteilt. Jedem Signifikanzniveau wird eine Farbstufe zugewiesen (siehe Tab. 1).

Tab. 1 Farbstufensystem zur Repräsentierung der Verlässlichkeit der Resultate beim Zeitreihen-Monitoring

Signifikanz (p-Wert)	Verlässlichkeit des Resultats	Bedeutung
p-Wert \leq 0.01	stark verlässlich	Der p-Wert der ersten Kategorie entspricht dem in wissenschaftlichen Kreisen verbreiteten Signifikanzniveau von 1% zur Verwerfung der 0-Hypothese. Wird eine Zeitreihe dieser Kategorie zugeordnet, existiert der festgestellte Trend höchst wahrscheinlich und ist nicht nur ein zufälliger Effekt. (Farbe RGB: 49, 130, 189)
p-Wert \leq 0.05	gut verlässlich	Ein Signifikanzniveau von 5% ist ebenfalls eine häufig anzutreffende Beurteilungsgrenze. Werte in dieser Grössenordnung deuten auf einen sehr wahrscheinlich existierenden Trend hin. (Farbe RGB: 158, 202, 225)
p-Wert \leq 0.10	schwach verlässlich	Im Vergleich zu den ersten beiden Kategorien, erschweren die Unsicherheiten eine eindeutige Aussage. Dennoch kann einiges auf eine schwache Signifikanz hindeuten. Insbesondere ist hier eine gesamtheitliche Beurteilung mit Hilfe der erzeugten Abbildungen und den Checklisten von Bedeutung. (Farbe RGB: 222, 235, 247)
p-Wert $>$ 0.10	nicht verlässlich	p-Werte, die ausserhalb der bereits erwähnten Bandbreiten liegen, werden dieser Kategorie zugeordnet. Für Zeitreihen dieser Kategorie kann die 0-Hypothese nicht verworfen werden. Statistisch gesehen kann kein signifikanter Trend ausgewiesen werden. (Farbe RGB: 240, 240, 240)

Die Analyse wird ausgehend von der Nullhypothese: «Die Zeitreihe weist keinen Trend auf» durchgeführt. Die p-Werte in Tabelle 1 sind ein Mass dafür, wie deutlich die Nullhypothese verworfen/beibehalten wird. Die Signifikanzniveaus (p-Grenzwerte) der einzelnen Stufen werden so gewählt, dass für die Analyse von Unfallzahlen sinnvolle Aussagen getroffen werden können.

Die gewählten Farbstufen liefern lediglich Hinweise über die statistische Signifikanz der erkannten Trends. Bei dem Zeitreihen-Monitoring ist das Erkennen von positiven und negativen Entwicklungen von Bedeutung. Es müssen immer beide Teile der Ergebnisse zusammen betrachtet werden: In welche Richtung zeigt der Trend? Wie hoch ist die ermittelte Signifikanz der Trendaussage? In diesem Sinne geben die Farbstufen an, mit welcher Zuversichtlichkeit Aussagen über Unfallentwicklungen getroffen werden können. Sie liefern dem Anwender Informationen über seinen Interpretationsspielraum sowie Hinweise darüber, zu welchem Grad ergänzende Informationen für die vertiefte Evaluation notwendig sind.

Die Darstellung der Resultate aus dem Zeitreihen-Monitoring im Hinblick auf eine Analyse des allgemeinen Trends im Unfallgeschehen besteht entsprechend Abb. 7 aus den folgenden vier wesentlichen Elementen:

- A. Graphische Darstellung der zeitlichen Entwicklung des Unfallgeschehens über den Beobachtungszeitraum (Zeitreihe). Trendlinie des Unfallgeschehens (schwarze Linie = Erwartungswert des Trends) sowie Vertrauensintervall (dunkelgrau) zum Erkennen von Ausreissern;
- B. Darstellung der Trendrichtung anhand eines Pfeils:
Pfeil abwärts + grün = tendenziell abnehmendes Unfallgeschehen;
Pfeil aufwärts + rot = tendenzielle zunehmendes Unfallgeschehen;
Pfeil horizontal + weiss = konstantes Unfallgeschehen. Im gezeigten Beispiel deutet der grüne nach unten gerichtete Pfeil auf einen im Sinne des Unfallgeschehens erfreulichen Abwärtstrend hin.

- C. Jährliche prozentuale Veränderung des Unfallgeschehens. Im Beispiel: Die absolute Anzahl an Unfällen verändert sich jährlich um - 5%, das heisst, das Unfallgeschehen reduziert sich jedes Jahr um 5%.
- D. Farbstufensystem zur vereinfachten Repräsentierung der Verlässlichkeit der Resultate (Signifikanz). Die in A-C beschriebenen Resultate sind im dargestellten Beispiel stark verlässlich.

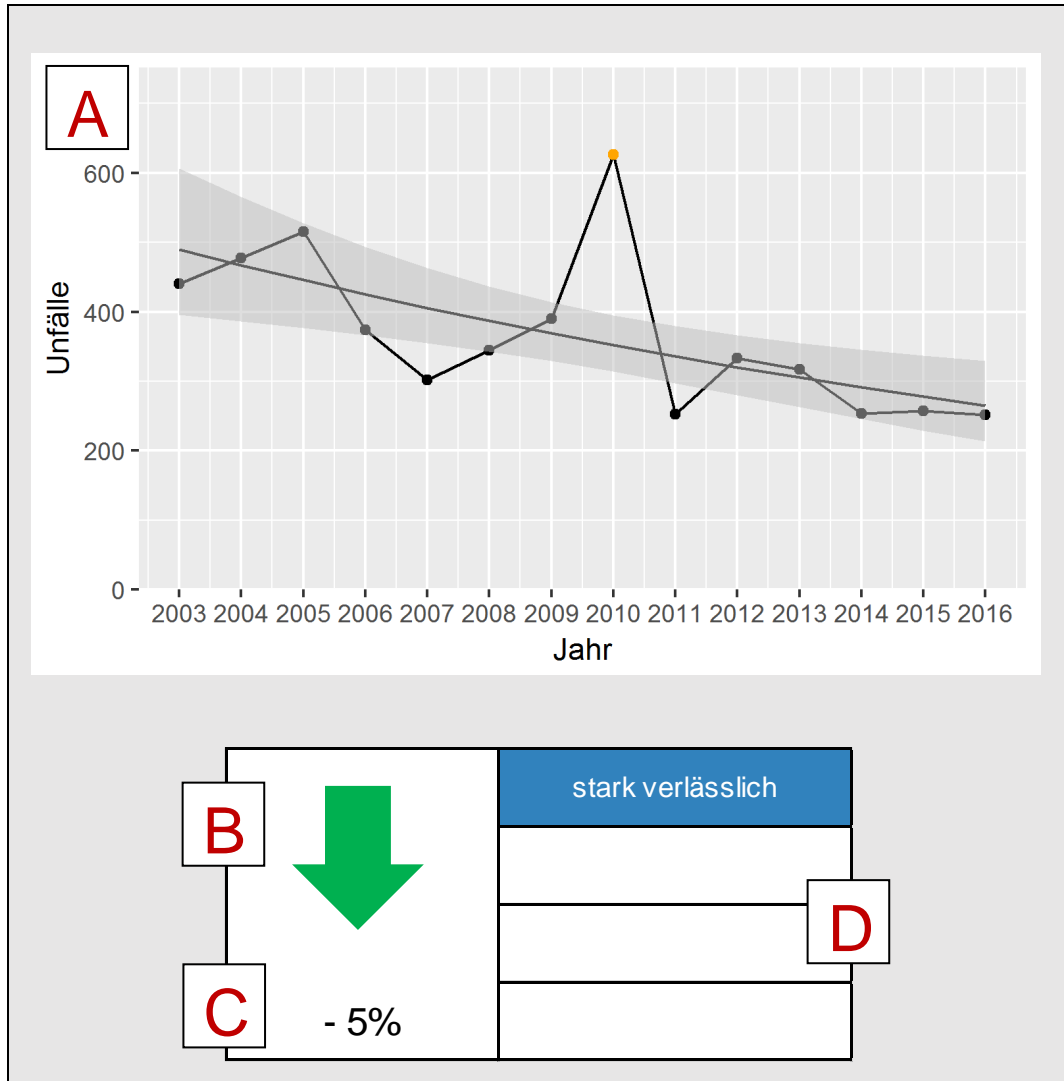


Abb. 7 Darstellung der Resultate des Zeitreihen-Monitorings; hier Analyse der allgemeinen Trendentwicklung. **A:** Visualisierung der Zeitreihe; **B:** Darstellung der Trendrichtung; **C:** jährliche prozentuale Veränderung des Unfallgeschehens; **D:** Verlässlichkeit der Resultate (Signifikanz)

Für das Frühwarnsystem zur Kontrolle des aktuellen Unfallgeschehens im Vergleich mit der Zeitreihe des früheren Unfallgeschehens bedarf es keiner Signifikanzprüfung bzw. keines Farbstufensystems. Aufgrund des binären Charakters der Aussagen und der leichteren Interpretierbarkeit (letzter Datenpunkt liegt innerhalb des vertikalen Wertebereiches des Bootstrap-Vorhersageintervalls oder eben nicht) werden diese nicht mit einem Farbenspektrum versehen, sondern entsprechend Abb. 8 anhand eines zweifarbigen Indikators für Auffälligkeiten differenziert.

Der Datenpunkt des aktuellen Unfallgeschehens liegt nicht ausserhalb des Erwartungsbereichs.	nicht auffällig
Der Datenpunkt des aktuellen Unfallgeschehens liegt ausserhalb des Erwartungsbereichs.	auffällig

Abb. 8 Indikatorsystem für den Hinweis auf ein auffälligen oder nicht auffälliges aktuelles Unfallgeschehen als Element des Frühwarnsystems

In Abb. 9 ist ein Vorschlag für die Darstellung der Resultate aus dem Frühwarnsystem zu sehen. Neben der tatsächlichen Lage des Datenpunktes des aktuellen Unfallgeschehens im Vergleich mit der erwarteten Bandbreite wird anhand eines Ampelsystems auch noch veranschaulicht, ob das aktuelle Unfallgeschehen als auffällig (Rot) oder als nicht auffällig (Grün) zu interpretieren ist.

- Visualisierung der Zeitreihe inklusive Trendlinie und Vertrauensbereich sowie vergleichende Darstellung des tatsächlichen aktuellen Unfallgeschehens (letzter Punkt der Zeitreihe) mit dem Bereich des erwarteten Unfallgeschehens (blaue vertikale Linie).
- Farbindikator Frühwarnsystem: Rot = aktuelles Unfallgeschehen ist auffällig, Grün = aktuelles Unfallgeschehen ist nicht auffällig.

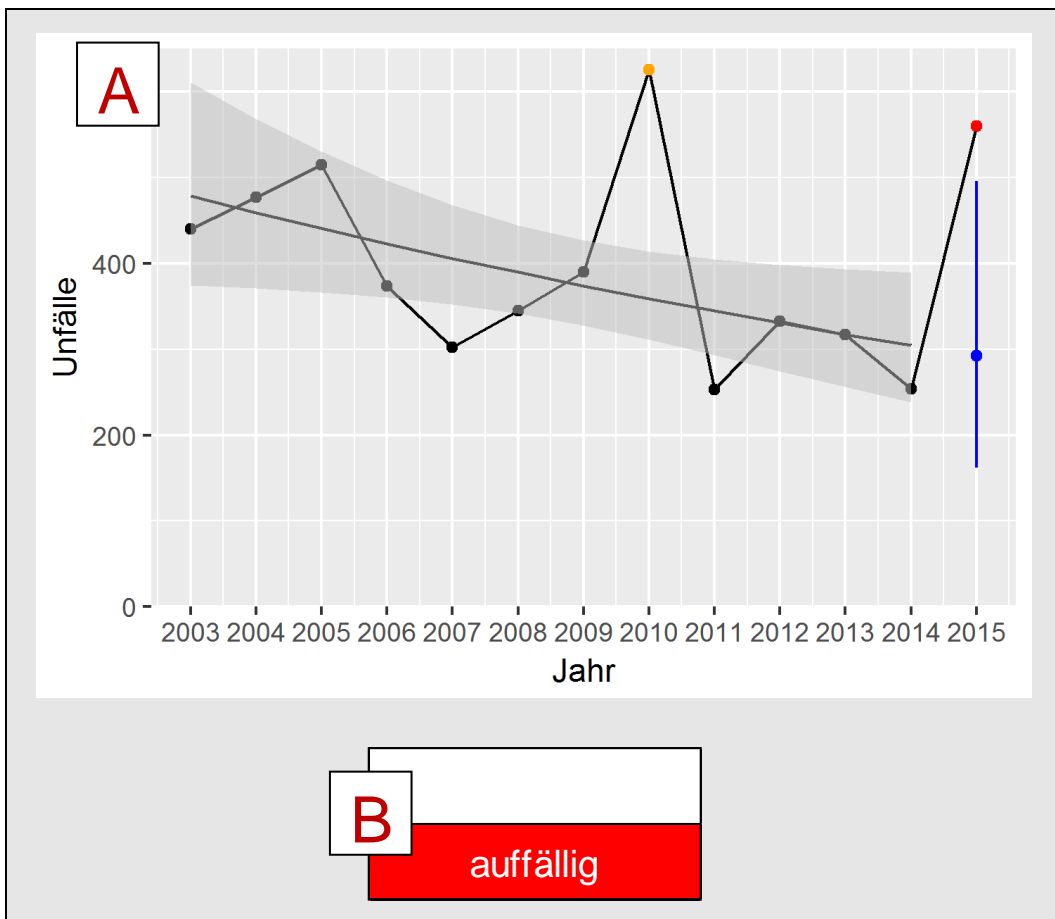


Abb. 9 Darstellung der Resultate des Zeitreihen-Monitorings; hier Frühwarnsystem. **A:** Visualisierung der Zeitreihe und Darstellung des tatsächlichen aktuellen Unfallgeschehens; **B:** Indikator für Frühwarnsystem (Rot = aktuelles Unfallgeschehen auffällig, Grün = aktuelles Unfallgeschehen nicht auffällig)

3.4 Massnahmenwirksamkeit

3.4.1 Auslegeordnung und Wahl statistischer Methode

In der Literatur wird die Empirical Bayes Methode als State-of-the-art Ansatz für die Massnahmenevaluation ausgewiesen. Für die automatisierte Auswertung eignet sich der Ansatz jedoch weniger, da die Daten die Anforderungen zum jetzigen Zeitpunkt nicht erfüllen. Dazu bräuchte es entweder eine hohe Anzahl Vergleichsstandorte oder ein etabliertes Unfallmodell, welches situationsspezifische Schätzungen zu den zu erwartenden Unfallzahlen macht.

Die von Sørensen und Elvik (2007) [24] propagierte best practice Formel kann auch nicht vollends überzeugen. Die Formel ist zwar rechnerisch relativ einfach (und daher anwenderfreundlich), die Herleitung beruht aber auf empirischen Abschätzungen ohne statistisches Fundament. Abschätzungen zur Unsicherheit des Wirkungsgrades sind nicht vorgesehen. Zur Berücksichtigung des Trends sind auch Referenzstandorte notwendig. Eine Korrektur für den Selektionsfehler durch den Regression-to-the-mean Effekt wird zwar gemacht; diese ist aber eher als willkürlich einzustufen. Der gleiche Korrekturfaktor, welcher zudem auch noch zuerst irgendwie hergeleitet werden müsste, wird unabhängig von der spezifischen Situation verwendet.

Es erscheint zielführender, den Selektionsfehler standortspezifisch zu berücksichtigen. Durch Checklisten sollen die Anwender für dieses Problem sensibilisiert werden. Es muss ihnen bewusstgemacht werden, dass durch das Black Spot Management identifizierte Massnahmenstandorte für Selektionsfehler kritisch sind. Falls möglich, sollen dort bei der Wirksamkeitsanalyse nur Beobachtungsdaten nach dem Massnahmenentscheid berücksichtigt werden.

Als alternativen Ansatz wird eine Erweiterung der Methodik für das Zeitreihen-Monitoring gewählt. Für die Analyse kann das entsprechende Negativ-Binomial-Regressionsmodell um eine Indikatorvariable für die Intervention erweitert werden. Diese unterscheidet, ob die Beobachtungswerte aus der Zeit vor oder nach der Massnahme stammen. Die beobachtete Unfallzahl aus dem Jahr der Massnahme wird dabei ausgeschlossen, da diese Unfälle nicht klar einer vor- oder nachher-Periode zugeordnet werden können. Zudem entsprechen die Strassenverhältnisse wegen der Baustelle zur Massnahmenumsetzung und allfälliger Signalisationsänderungen häufig nicht dem Normalzustand.

Mit dem Regressionskoeffizienten aus der Negativ-Binomial-Regression kann geprüft werden, ob durch eine Veränderung des Trends die Massnahme einen positiven oder einen negativen Einfluss auf die Unfallzahlen hatte. Erneut kann auf Grundlage dieser Methode vergleichbar mit den Aussagen aus dem Zeitreihen-Monitoring die Signifikanz des Effekts anhand eines Farbstufensystems ausgewiesen werden. Jedoch noch wichtiger als die Auswertung der Koeffizienten ist bei der Fragestellung der Wirkungsanalysen von Massnahmen die Visualisierung der Unfalldaten vor und nach Umsetzung der Massnahmen. Dabei werden die berechneten Trendlinien vor und nach der Massnahme zusammen mit den jeweiligen Konfidenzintervallen illustriert (Abb. 10).

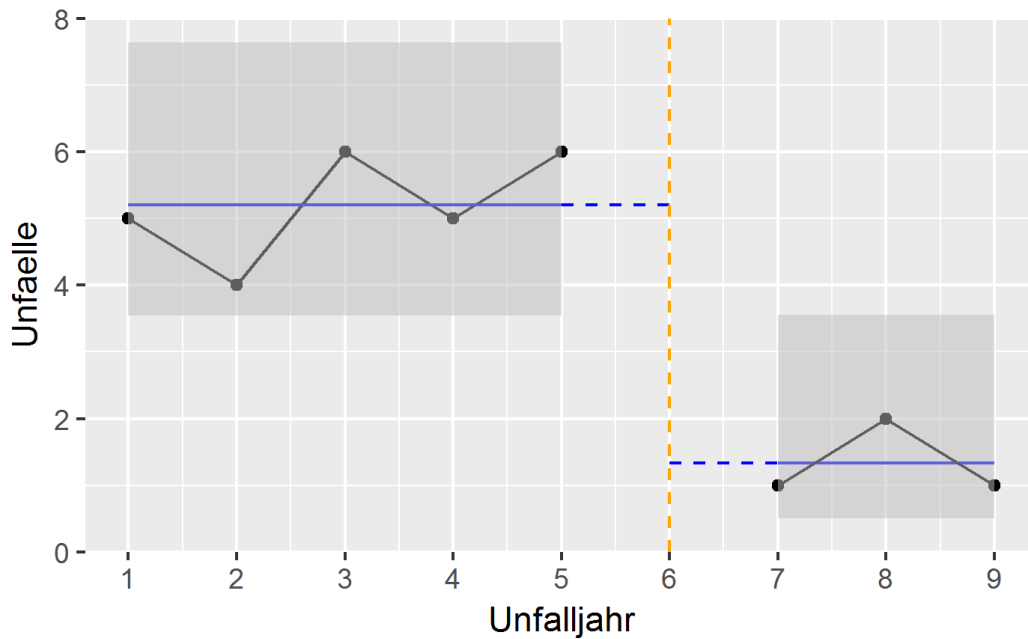


Abb. 10 Beispiel für die Visualisierung der Massnahmenwirksamkeit. Neben den Datenpunkten der jährlichen Unfallhäufigkeiten (schwarze Punkte) werden die Trendlinien (blaue Linien) vor und nach der Massnahme visualisiert. Das Massnahmenjahr ist durch einen vertikalen orangen Strich gekennzeichnet (Jahr 6). Zusätzlich zu den Trendlinien sind auch die entsprechenden 95%-Konfidenzintervallen dargestellt (dunkelgraue Flächen)

Anhand einer Visualisierung wie in Abb. 10 kann der Effekt der Massnahme direkt abgelesen werden. Je nach Situation kann der Massnahmeneffekt von einem zeitlichen Trend überlagert sein. Diesen kann man anhand des Zeiterms im Modell überprüfen. Bei diesem Modell geht man davon aus, dass der Trend vor und nach der Massnahme unverändert bleibt. Grundsätzlich kann dieser Trend auch ändern, wenn die Massnahme einen Effekt auf den Trend hat. Einen entsprechenden Effekt kann man durch eine Wechselwirkung zwischen dem Massnahmeneffekt und dem Trend ins Modell integrieren.

3.4.2 Methodik für die Wirkungsanalysen

Die zu analysierenden Zeitreihen des Unfallgeschehens werden vor und nach Umsetzung einer Massnahme anhand von Negativ-Binomial-Modellen analysiert. Auf dieser Grundlage lassen sich die Trendlinien und Konfidenzintervalle ermitteln. Die Trendlinie entspricht dem Erwartungswert für die Anzahl der Unfallereignisse pro Jahr. Die Konfidenzintervalle bilden den Unsicherheitsbereich dieses Erwartungswertes ab.

Mittels automatischer Modellselektion werden die in der Praxis anzutreffenden durch Massnahmen beeinflussten Entwicklungen einer geeigneten Standardsituation zugeordnet. Technisch werden dabei sechs verschiedene Negativ-Binomial-Modelle auf die Unfalldaten angewandt und anhand eines statistischen Auswahlkriteriums (AIC Kriterium) wird das beste Modell ausgewählt (vgl. Abb. 11). Aufgrund der Modellselektion ist die nachfolgende statistische Inferenz (bei der Ausweisung der Signifikanz der Massnahmenwirksamkeit) im klassischen Sinn nicht mehr zulässig. Dies wird gelöst indem stellvertretend für numerische Signifikanzwerte (p-Werte) ein Farbstufensystem eingeführt wird.

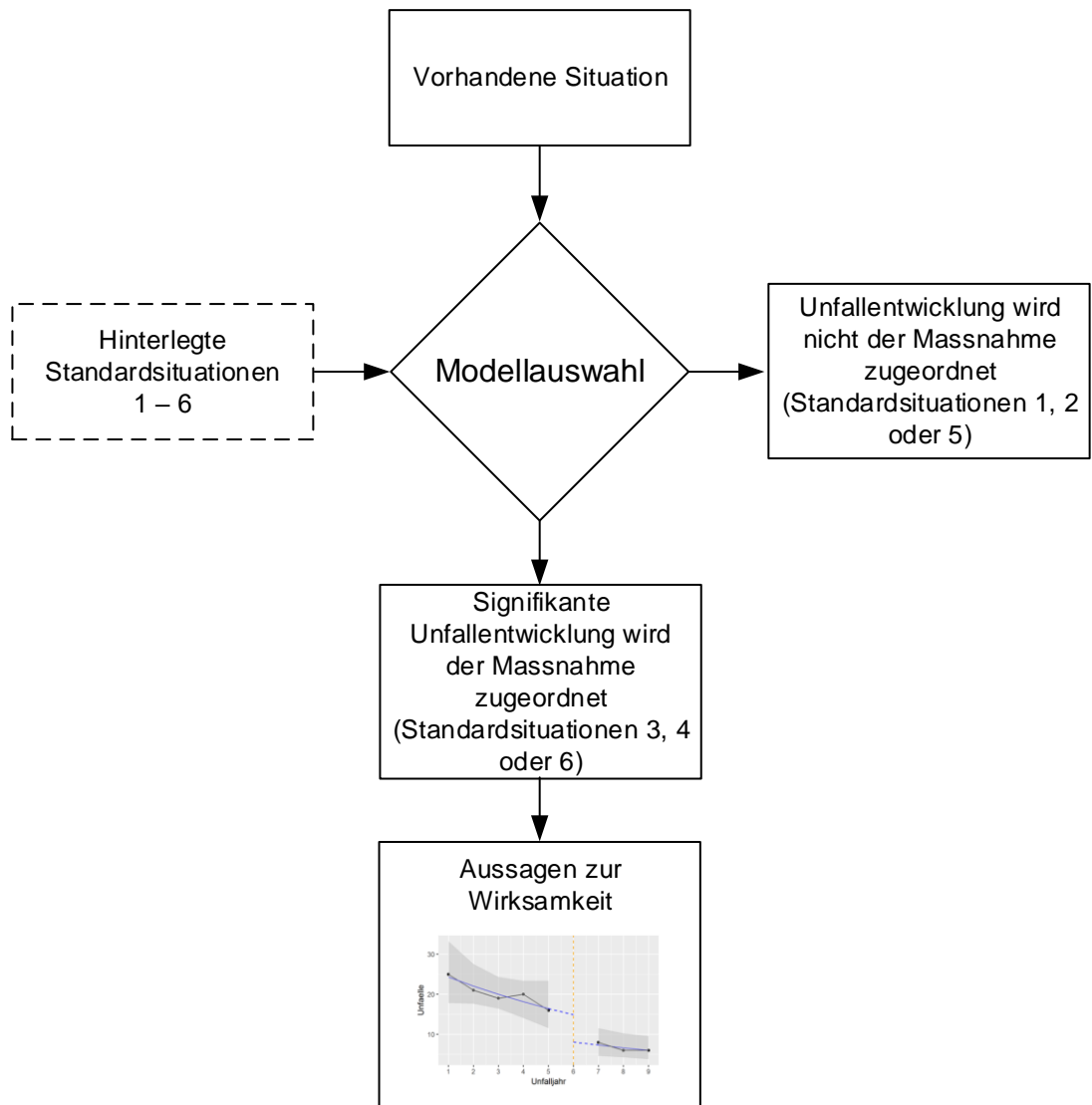


Abb. 11 Vorgehensskizze zur Modellauswahl im Rahmen der Wirkungsanalyse

Im Folgenden werden die Standardsituationen nach der automatischen Modellwahl beschrieben und anhand von Beispielen visualisiert.

Die Abbildungen sämtlicher Wirkungskonstellationen, die aufgrund durchgeführter Massnahmen das Unfallgeschehen beeinflussen (oder eben nicht), werden anhand folgender drei Schlüsselfragen definiert:

- Ist ein Trend im chronologischen Unfallgeschehen vorhanden?
Bezeichnung «**Trend = ja/nein**».
- Wird aufgrund der Umsetzung der Massnahme der Trend beeinflusst?
Beispielsweise Trendumkehr bei steigenden Unfallzahlen vor und fallenden Unfallzahlen nach Umsetzung der Massnahme.
Bezeichnung «**Trendeffekt = ja/nein**».
- Wird durch die umgesetzte Massnahme eine unmittelbare Massnahmenwirkung erzielt?
Das heisst, dass das Unfallgeschehen nach Umsetzung der Massnahme sich sprunghaft verändert hat.
Bezeichnung «**Massnahmeneffekt = ja/nein**».

Aus den Schlüsselfragen leiten sich sechs zu differenzierende Standardsituationen ab, die in nachfolgenden Grafiken (Abb. 12 bis Abb. 18) illustrativ dargestellt und mit Kurzbeschreibungen ergänzt werden. Die Standardsituationen werden beispielhaft für

einen Analysezeitraum von 5 Jahren vor und 3 Jahre nach Massnahmenumsetzung präsentiert. Je nachdem, wie lange die (bauliche) Realisierung einer Massnahme gedauert hat, kann eine entsprechende Zeitspanne aus der zu analysierenden Zeitreihe des Unfallgeschehens entfernt werden. Der Analysezeitraum liegt auf der x-Achse. Das Jahr der Massnahmenumsetzung wird mit einer gestrichelten orangen Linie gekennzeichnet. Auf der y-Achse werden die Anzahl Unfälle abgebildet. Das beobachtete jährliche Unfallgeschehen ist anhand absoluter Zahlen als schwarze Punkte in der Abbildung eingetragen. Diese werden durch Linien verbunden, um allfällige Entwicklungen optisch hervorzuheben. Unfälle im Jahr der Massnahmenumsetzung werden in der Analyse vernachlässigt. Die zu erwartende Anzahl Unfälle (pro Jahr) wird mittels Maximum-Likelihood-Schätzung auf Grundlage einer Negativ-Binomial-Regression ermittelt. Der Erwartungswert für den Trend wird mit einer blauen Linie visualisiert, d.h. je nach zeitlicher Entwicklung des Unfallgeschehens kann diese fallend, steigend oder horizontal sein. Eine Differenz der Schnittpunkte der Trendlinie vor und nach der Massnahmenumsetzung mit der orangen Linie repräsentiert einen Massnahmeneffekt. Die «Stärke» des Massnahmeneffekts kann durch die Grösse des Sprungs von der y-Achse abgelesen werden. Das Konfidenzintervall um den Erwartungswert wird ebenfalls auf Grundlage der Negativ-Binomial-Regression berechnet (als graue Fläche dargestellt). Die Konfidenzintervalle spiegeln die Unsicherheiten in den Aussagen wieder.

Standardsituation 1: Kein Effekt

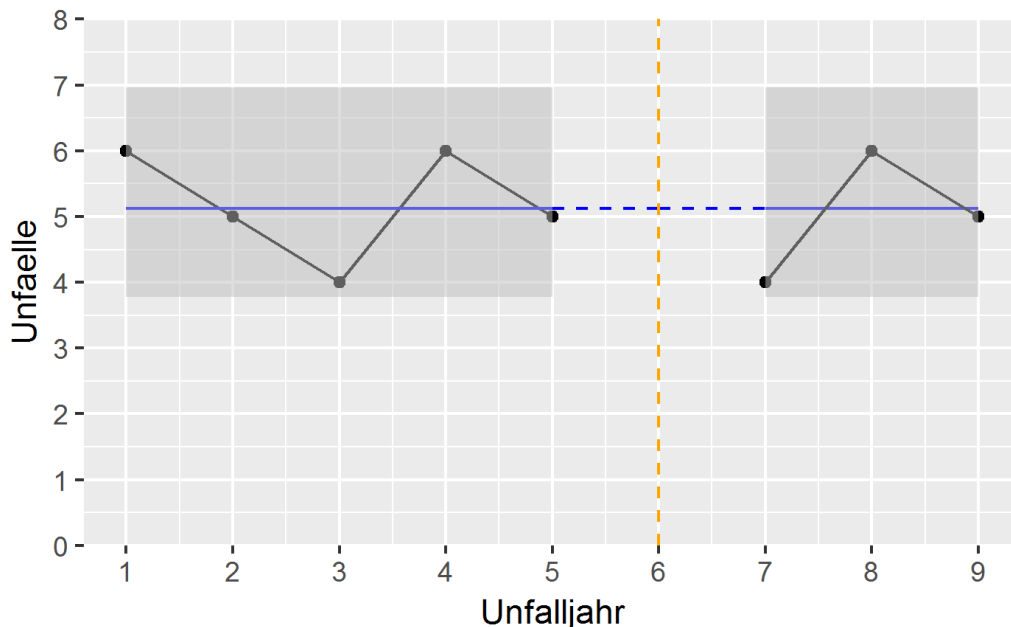


Abb. 12 Standardsituation 1 - Trend = nein, Trendeffekt = nein, Massnahmeneffekt = nein

Im Nullmodell gibt es keinen Massnahmeneffekt und keinen Trend. Im Beispiel werden in den 5 Jahren vor Massnahmenumsetzung zwischen 4 und 6 Unfälle pro Jahr beobachtet. In dem 3-jährigen Nachherzeitraum schwankt das Unfallgeschehen um den gleichen Wert. Das heisst im ganzen Untersuchungsbereich wird keine Entwicklungen im Unfallgeschehen beobachtet (horizontale Trendlinie). Die zu erwartende Anzahl Unfälle ist vor und nach der Massnahmenumsetzung unverändert geblieben. Das heisst, dass bei dem Schnittpunkt der Trendlinie mit der orangen Linie werden keine Sprünge zwischen den beiden Zeiträumen festgestellt. Die Massnahme hat keine Wirkung erzielt.

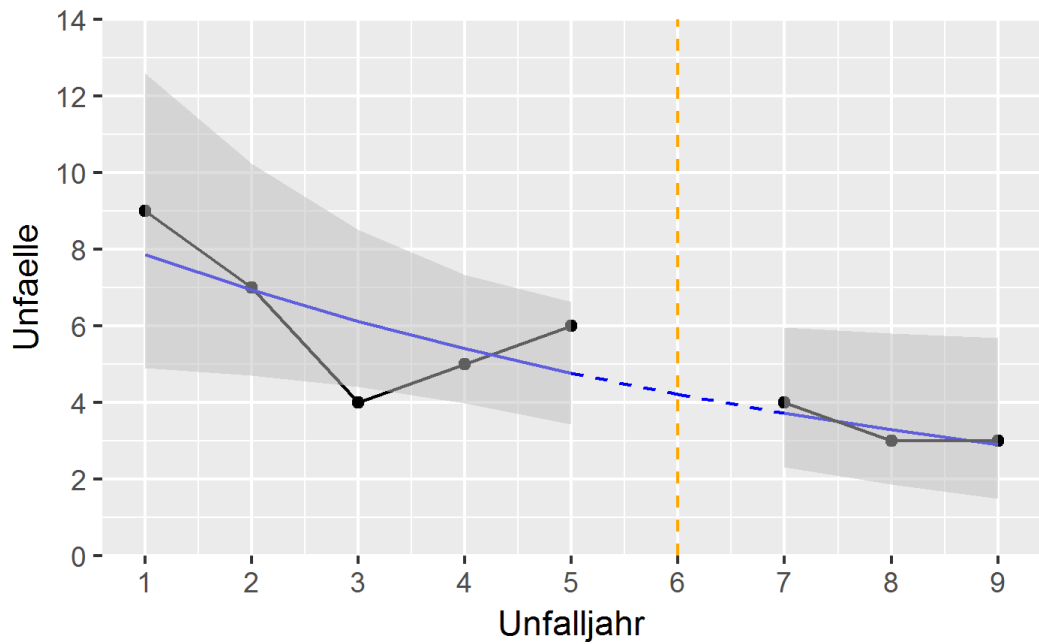
Standardsituation 2: Trendeffekt

Abb. 13 Standardsituation 2 - Trend = ja, Trendeffekt = nein, Massnahmeneffekt = nein

Im Trend-Modell gibt es nur einen über die Zeitreihe konstanten Trend. Im Beispiel wird in den 5 Jahren bis zur Durchführung der Massnahme eine Entwicklung von insgesamt abnehmenden Unfallzahlen wahrgenommen (absteigende Trendlinie). Nach Massnahmenumsetzung nimmt das Unfallgeschehen weiterhin ab. Beim Schnittpunkt der Trendlinie mit der orangen Linie findet ein stetiger Übergang statt. Das heisst, dass der im Vorherzeitraum festgestellte Trend in gleicher Ausprägung im Nachherzeitraum zu beobachten ist. Im Beispiel hätte, der aus Sicht Verkehrssicherheit positive, Trend in der Entwicklung der Unfallzahlen sich mutmasslich auch ohne Massnahme fortgesetzt. Es kann kein Massnahmeneffekt ausgewiesen werden.

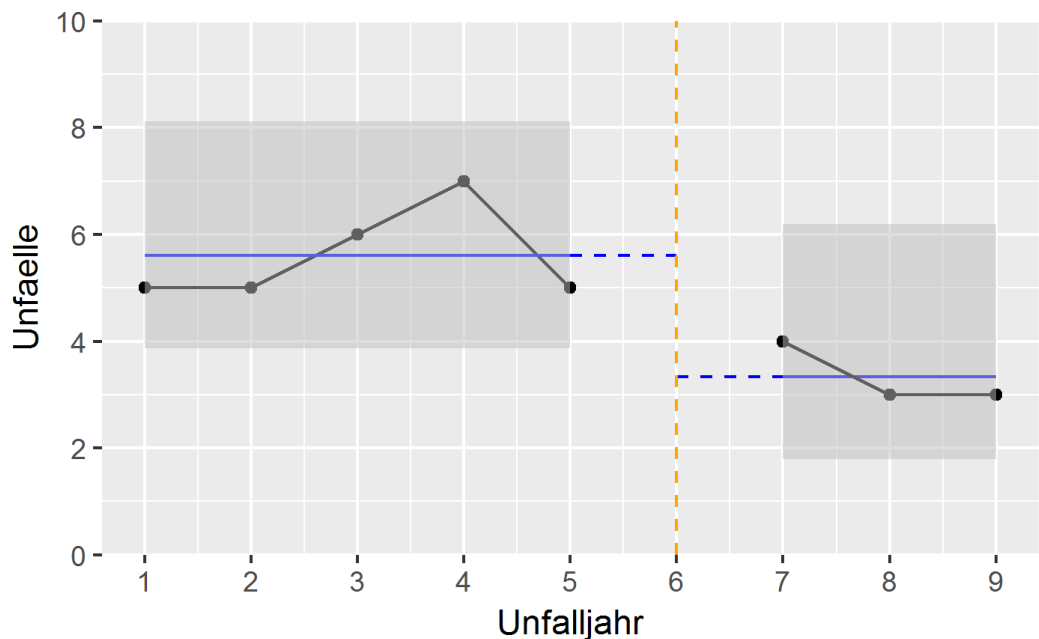
Standardsituation 3: Massnahmeneffekt

Abb. 14 Standardsituation 3 - Trend = nein, Trendeffekt = nein, Massnahmeneffekt = ja

Im Massnahmen-Modell gibt es nur einen Massnahmeneffekt. Der Effekt kann positiv oder negativ, signifikant oder nicht signifikant sein. Einen Trend haben die Daten nicht. Im Beispiel ist nach der Umsetzung der Massnahme das Unfallgeschehen zurückgegangen (Sprung bei der Trendlinie im Massnahmenjahr). Die Massnahme hat somit ihre Wirkung erzielt. Die Ausdehnung der Konfidenzintervalle weist jedoch auch auf die Unsicherheiten dieser Aussage hin. Sowohl im Vorher- als auch im Nachherzeitraum kann der Erwartungswert in einem grossen Bereich zu liegen kommen. Die beiden Konfidenzintervalle überschneiden sich. In dieser Hinsicht könnte rein statistische gesehen, auch wenn dies eher unwahrscheinlich scheint, die «wahre» Situation – nach Massnahmenumsetzung – sogar einer Verschlechterung der Verkehrssicherheit entsprechen.

Standardsituation 4: Massnahmeneffekt und Trend

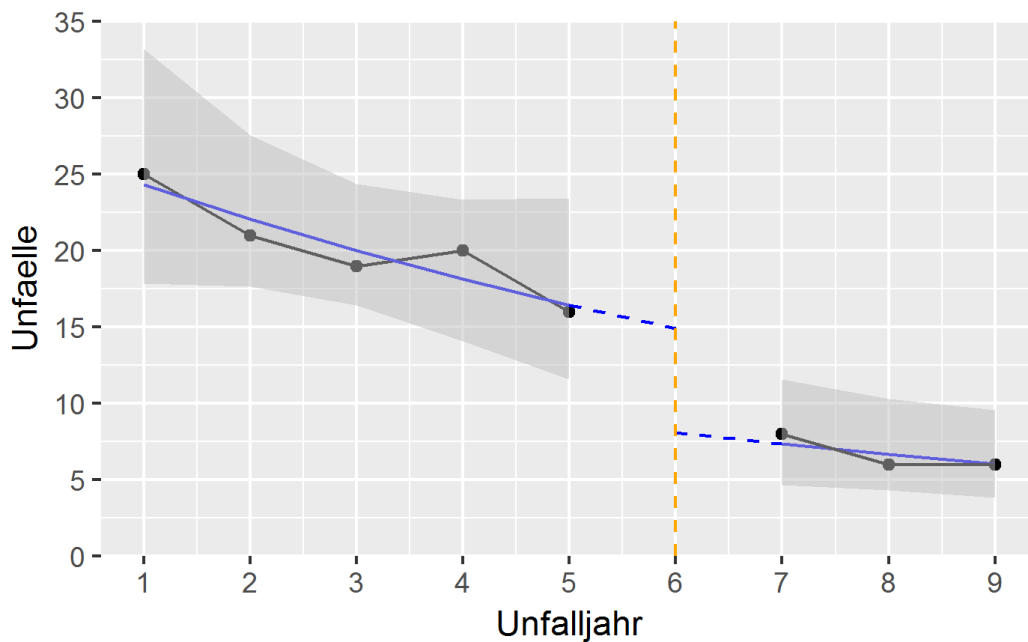


Abb. 15 Standardsituation 4 - Trend = ja, Trendeffekt = nein, Massnahmeneffekt = ja

Im Modell mit Massnahmen- und Trendeffekt gibt es entsprechend beides. Diese Situation stellt zu einem gewissen Grad die Kombination von Modell 2 und 3 dar. Im Beispiel zeigen die Unfalldaten in den Jahren vor der Umsetzung der Massnahme einen positiven Trend (absteigende Trendlinie). Nach der Durchführung der Massnahme, sinkt das Unfallgeschehen zusätzlich sprunghaft. Ebenfalls deutet die Entwicklung der Unfalldaten nach der Umsetzung der Massnahme auf einen Trend hin. Der Sprung (beim Schnittpunkt der orangenen Linie mit der Trendlinie) repräsentiert den Massnahmeneffekt. Relevant für die Massnahmenwirkung ist dieser Massnahmeneffekt. Dieser kann wiederum positiv oder negativ, signifikant oder nicht signifikant sein.

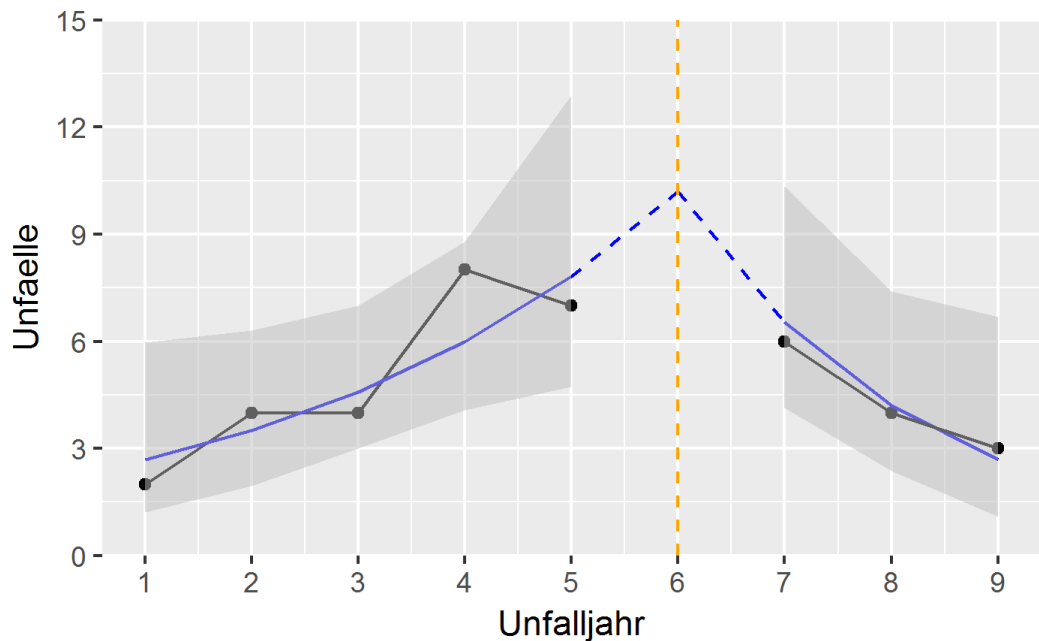
Standardsituation 5: Trendeffekt

Abb. 16 Standardsituation 5 - Trend = ja, Trendeffekt = ja, Massnahmeneffekt = nein

Im Modell mit einem Trendeffekt führt die Massnahme zu einer Änderung im Trend. Massnahmeneffekt ist keiner sichtbar, entsprechend wird auch kein Massnahmeneffekt ausgewiesen. Den Trendeffekt direkt der Massnahme zuzuschreiben ist schwieriger. Da könnten auch andere Einflüsse eine Rolle spielen. Eine entsprechende Einschätzung wird dem Nutzer überlassen.

Im Beispiel hat die Anzahl Unfälle bis zur Durchführung der Massnahme stetig zugenommen (aufsteigende Trendlinie). Unmittelbar nach der Umsetzung der Massnahme ist zwar keine wesentliche Abnahme im Unfallgeschehen festzustellen (im Unfalljahr weist die Trendlinie keine Differenz bzw. keinen Sprung auf) aber der negative Trend hat sich schlagartig umgekehrt. Somit hat sich die Verkehrssicherheit im Vergleich zum Vorherzeitraum verbessert. Angesichts der vielen Unsicherheiten (konfundierende Grössen) wird eine solche Durchbrechung eines Trends nicht der Umsetzung der Massnahme zugeordnet – auch wenn die Verbesserung der Verkehrssicherheit auf den Zeitpunkt der Massnahmenumsetzung zurückgeführt werden kann. Die zu erwartende Anzahl Unfälle im Nachherzeitraum ist alleine von dem neuen Trend abhängig und daher in engerem Sinne nicht von einer Massnahmenwirkung beeinflusst. Dies wird anhand eines Beispiels erläutert:

Beispiel:

Vor ein paar Jahren wurde beschlossen, die Passstrasse A für den Autoverkehr zu beschränken. Nach dem Beschluss sollen am Wochenende ausschliesslich Motorrad- und Velofahrer die Passstrasse verwenden dürfen. Die Passstrasse wird innerhalb einiger Jahre zu einer sehr beliebten Fahrstrecke für Motorradfahrer. Aufgrund der breiten Kurvenradien verspricht sie dieser Verkehrsteilnehmergruppe grossen Fahrspass. Dies spricht sich unter den Motorradfahrern herum. Die Verkehrsbelastung nimmt zu – das Unfallgeschehen nimmt ebenfalls zu. Im Rahmen von baulichen Massnahmen werden einige Kurven umgestaltet. Dies führt dazu, dass die Attraktivität der Strasse (aus Sicht der Motorradfahrer) abnimmt. Mit der Zeit führen sie ihre Vergnügungsfahrten vermehrt auf einer weiteren Passstrasse B im benachbarten Tal aus, die nun im Vergleich an Attraktivität gewonnen hat. Die zurückgegangene Verkehrsbelastung führt auch zu abnehmenden Unfallzahlen auf Passstrasse A. Dies ist aber alleine auf die Verkehrsverlagerung zurückzuführen. So ist durchaus vorstellbar, dass durch weitere Entwicklungen auf

Passstrasse B, die Passstrasse A wieder attraktiver wird und somit die alte Verkehrsbelastung (mit altem Unfallgeschehen) zurückkehrt.

Standardsituation 6: Massnahmen- und Trendeffekt

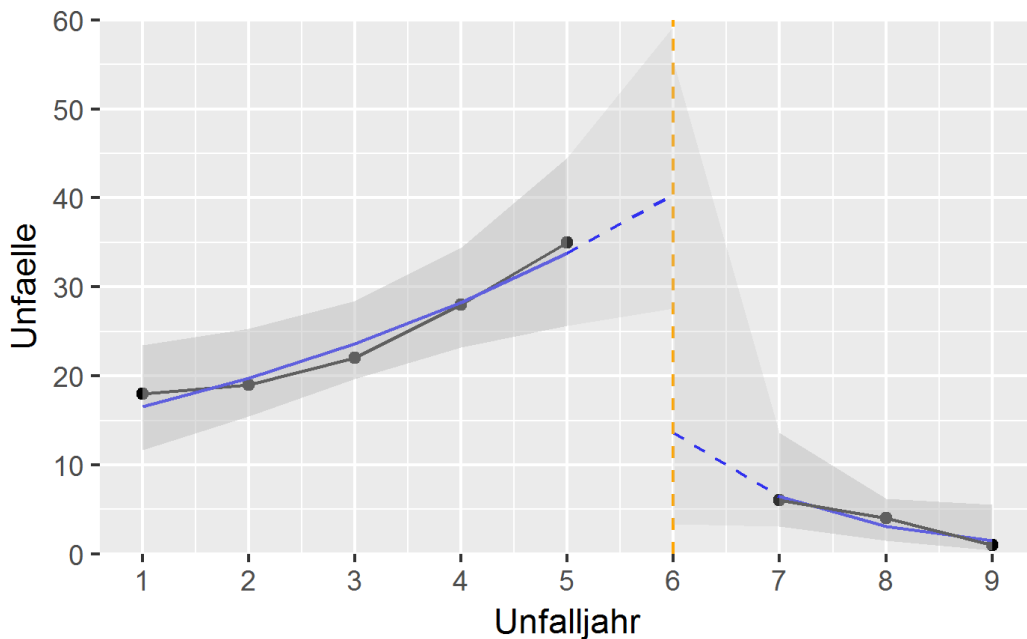


Abb. 17 Standardsituation 6 - Trend = ja, Trendeffekt = ja, Massnahmeneffekt = ja

Im Modell mit Wechselwirkungen gibt es einen Trend- und einen Massnahmeneffekt. Zudem kann der Trend auch noch durch die Massnahme beeinflusst werden. Diese stellt die komplexeste Wirkungskonstellation dar. Im Beispiel wird bis zur Durchführung der Massnahme eine Entwicklung von zunehmenden Unfallgeschehen festgestellt (aufsteigende Trendlinie). Die Beobachtungen im Nachherzeitraum deuten ebenfalls auf einen Trend hin – allerdings zeichnet sich dieser mit umgekehrten Vorzeichen aus (absteigende Trendlinie). Das heisst, dass im Massnahmenjahr eine Trendumkehr stattgefunden hat. Zusätzlich hat die Massnahme eine starke direkte Reduktion der zu erwartenden Anzahl Unfälle hervorgerufen. Dies wird anhand des Sprungs der Trendlinie bei der Kreuzung mit der orangen Linie erkannt.

Durch den Wechselwirkungs-Term kann die Signifikanz des Massnahmeneffekts nicht direkt aus dem Massnahmen-Koeffizient extrahiert werden. Eine Aussage zur Signifikanz der Massnahme wird darum in diesem Fall über die Überschneidung der Konfidenzintervalle im Jahr der Massnahme vorgenommen.

Grundsätzlich wird ein Massnahmeneffekt nur bestimmt, wenn der Trendeffekt auch in positive Richtung geht, d.h. der Trend wird entweder stärker positiv oder schwächer negativ. Ansonsten kann der ausgewiesene Massnahmeneffekt durch den Trend wieder umgekehrt werden. Eine visuelle Interpretation des Graphen ist für den Anwender aber immer noch möglich.

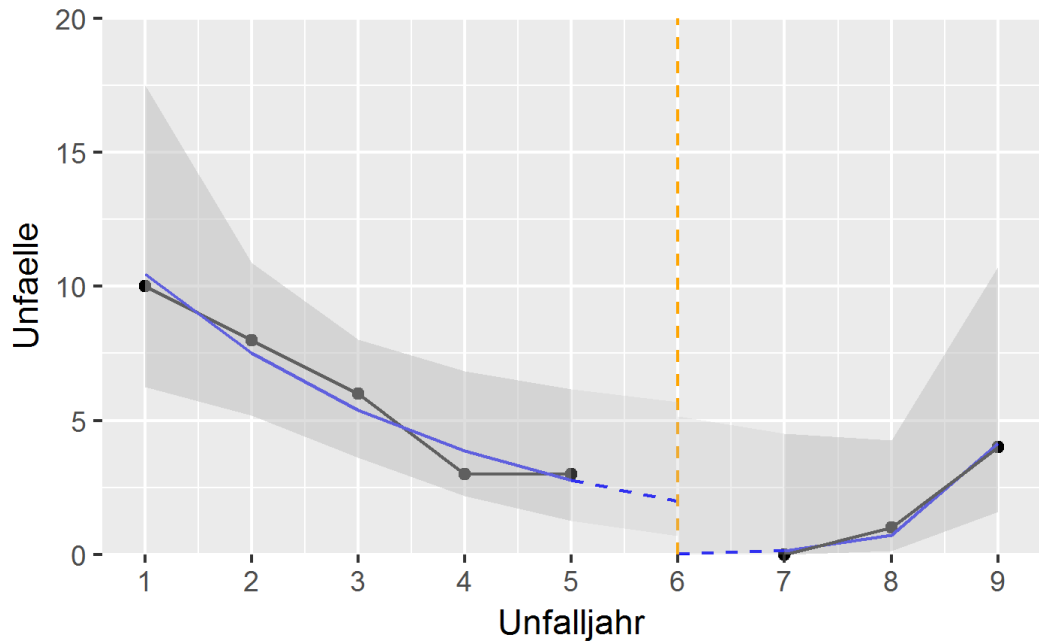


Abb. 18 Standardsituation 6 - Trend = ja, Trendeffekt = ja, Massnahmeneffekt = ja

Der Massnahmeneffekt ist in diesem Beispiel zwar positiv, durch einen negativen Effekt im Trend, wird dieser Verkehrssicherheitsgewinn aber wieder egalisiert.

Die hier vorgestellten Standardsituationen mit Abbildung der Wirkungskonstellationen anhand drei Schlüsselfragen stellen eine Idealisierung dar. Die Fähigkeit einen Massnahmeneffekt zuverlässig nachzuweisen, hängt von verschiedenen Faktoren ab. In einer Simulationsstudie wurden diese analysiert (siehe Anhang III). Folgende Rahmenbedingungen haben einen Einfluss:

- Länge der Zeitreihen vor und nach Umsetzung der Massnahme. Je mehr Beobachtungen der Analyse zugrunde liegen, desto eher können Massnahmeneffekte statistisch nachgewiesen werden. Vorausgesetzt, dass äussere Bedingungen (konfundierende Grössen) im Analysezeitraum annähernd gleichgeblieben sind. Bei sehr langen Zeitreihen (> 7 bis 10 Jahre) dürfte diese Bedingung schwierig zu erfüllen sein. Ebenfalls eignen sich kurze Zeitreihen von weniger als 3 Jahren vor und nach Massnahnumsetzung kaum für die Anwendung einer datenbasierten statistischen Methode.
- Stärke des Massnahmeneffekts. Je grösser der Effekt der Massnahme, desto eher kann ein entsprechender Effekt nachgewiesen werden. Kleine Effekte können in der Regel statistisch nicht nachgewiesen werden. In der Visualisierung können Sie aber trotzdem sichtbar sein. Im Anhang III Abb. 21 und Abb. 22 sind entsprechende Testergebnisse aufgrund von Simulationen dargestellt.
- Höhe der Werte für die absolute Anzahl der jährlichen Unfallereignisse. Je höher, der Erwartungswert ist, desto eher kann der Massnahmeneffekt nachgewiesen werden. Insbesondere bei kleinen Unfallzahlen sind, die Schwankungen zu klein, um einen signifikanten Effekt zu sehen.

Trotz der Flexibilität des Ansatzes, können auch hiermit nicht alle Eventualitäten abgedeckt werden. Weitere Aspekte müssen über eine Checkliste abgefragt/kontrolliert werden. Eine wichtige Einschränkung ist, dass das Problem Selektionsfehler mit diesem Ansatz nicht gelöst ist! Dieser Aspekt muss den Nutzern auch über Checklisten vermittelt werden.

Für die Umsetzung des Ansatzes gilt es hier auch noch gewisse numerische Aspekte aufzuarbeiten. Insbesondere die Kalkulation der Konfidenzintervalle ist nicht in allen Test-Fällen möglich.

3.4.3 Darstellung der Resultate aus der Wirkungsanalyse

Bei der Wirkungsanalyse steht eine positive Auswirkung durch die Massnahme im Vordergrund. Eine mögliche negative Auswirkung wird zwar im Rahmen der Analyse erkannt, muss aber hinsichtlich ihrer Signifikanz nicht weiter quantifiziert werden. Das heisst es wird ein einseitiger Test durchgeführt. Dadurch kann der p-Wert für den Massnahmenkoeffizienten in der Regressionsanalyse halbiert werden. Im Modell wird anstelle der p-Werte die Überschneidung der Konfidenzintervalle betrachtet. Zur Repräsentierung der Signifikanz werden in Tab. 2 Verlässlichkeit-Stufen dargestellt und erläutert.

Ausgehend von der Nullhypothese: «Die Massnahme erzielt keine positive Wirkung» wird die Analyse durchgeführt. In der klassischen Statistik spricht ein Analyseresultat umso weniger für die 0-Hypothese je kleiner der p-Wert ist. Die Modellselektion führt zu einer tendenziellen Unterschätzung der Unsicherheiten. Mit dem Farbstufensystem dienen die p-Werte daher nur als Richtgrössen. Die Grenzen der Kategorien orientieren sich an die Grenzen vom Kapitel 3.3.3.:

Tab. 2 Farbstufensystem zur Repräsentierung der Signifikanz bei Wirkungsanalysen

Signifikanz (p-Wert/2)	Verlässlichkeit des Resultats	Bedeutung
$p\text{-Wert}/2 \leq 0.01$	stark verlässlich	Wird eine Massnahme dieser Kategorie zugeordnet, kann der Massnahme höchst wahrscheinlich eine positive Wirkung zugeschrieben werden. (Farbe RGB: 49, 130, 189)
$p\text{-Wert}/2 \leq 0.05$	gut verlässlich	Ein Signifikanzniveau von 5% ist ebenfalls eine häufig anzutreffende Beurteilungsgrenze. Werte in dieser Grössenordnung deuten auf darauf hin, dass die Massnahme sehr wahrscheinlich wirksam ist. (Farbe RGB: 158, 202, 225)
$p\text{-Wert}/2 \leq 0.10$	schwach verlässlich	Im Vergleich zu den ersten beiden Kategorien, erschweren die Unsicherheiten eine eindeutige Aussage. Dennoch kann einiges auf eine positive Wirkung der Massnahme hindeuten. Insbesondere ist hier eine gesamtheitliche Beurteilung mit Hilfe der erzeugten Abbildungen und den Checklisten von Bedeutung. (Farbe RGB: 222, 235, 247)
$p\text{-Wert}/2 > 0.10$	nicht verlässlich keine Wirkung	p-Werte, die ausserhalb der bereits erwähnten Bandbreiten liegen, werden dieser Kategorie zugeordnet. Auch Massnahmen, die aus Sicht der Verkehrssicherheit keine Wirkung erzielen oder sogar eine Verschlechterung hervorrufen, werden dieser Gruppe zugewiesen. Für Massnahmen dieser Kategorie kann die Nullhypothese nicht verworfen werden. Statistisch gesehen kann keine signifikante Wirksamkeit nachgewiesen werden. (Farbe RGB: 240, 240, 240)

Das Farbstufensystem liefert lediglich Hinweise über die statistische Signifikanz einer Massnahmenwirkung. Es ist auch möglich, dass ein Massnahmeneffekt zufällig zustande kommt (falsche Ausweisung einer positiven Wirkung). Grundsätzlich ist diese Fehlerrate durch das Signifikanzniveau des p-Wertes kontrolliert (d.h. ein dunkelgrüner Fall sollte nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 1% rein zufällig sein). Durch die Modellselektion gelten diese Werte aber nur ungefähr. Eine gesamtheitliche Beurteilung findet unter Berücksichtigung der erzeugten Abbildungen statt und setzt ein sorgfältiges Abwiegen aller Indizien voraus.

Umgekehrt bedeutet ein fehlender signifikanter Massnahmeneffekt nicht zwingend, dass die Massnahme nichts genutzt hat. Der Effekt ist statistisch einfach noch nicht nachweisbar. Das kann daran liegen, dass der Effekt zu klein ist, von zufälligen Effekten

überlagert wird und/oder die Zeitreihe zu kurz ist. Das muss an den Anwender kommuniziert werden.

Die Darstellung der Resultate aus der Wirkungsanalyse gliedert sich entsprechend Abb. 19 in drei wesentliche Elemente, die dem Anwender als Interpretationsgrundlage bei der Beurteilung der Wirksamkeit von Massnahmen unterstützen sollen:

- A. Graphische Darstellung der Veränderung des Unfallgeschehens vor und nach Durchführung einer Massnahme. Dies beinhaltet den Trend des Unfallgeschehens im Zeitraum vor und nach der Massnahme (blaue Linie = Erwartungswert des Trends) sowie das Vertrauensintervall (dunkelgrau);
- B. Eindimensionaler Wirkungsbalken (ohne Y-Achse) zur Illustration der mittleren, absoluten Wirkung (rote Markierung) und des möglichen Wirkungsbereichs (schwarzer Balken) – beides bezogen auf die absolute Veränderung des Unfallgeschehens nach Umsetzung der Massnahme. Aufgrund des Streubereichs um die Trendlinie reicht im gezeigten Beispiel der Wirkungsbereich von -2 bis +7. Das heisst, das Unfallgeschehen wird durch die Massnahme maximal um 7 Unfälle pro Jahr reduziert. Im ungünstigsten Fall kann das Unfallgeschehen um 2 Unfälle pro Jahr zunehmen. Die erwartete Wirkung liegt im Mittel bei 3 Unfällen pro Jahr.
- C. Farbstufensystem zur vereinfachten Repräsentierung der Verlässlichkeit der Resultate (Signifikanz). Die in A und B beschriebenen Resultate sind im dargestellten Beispiel gut verlässlich.

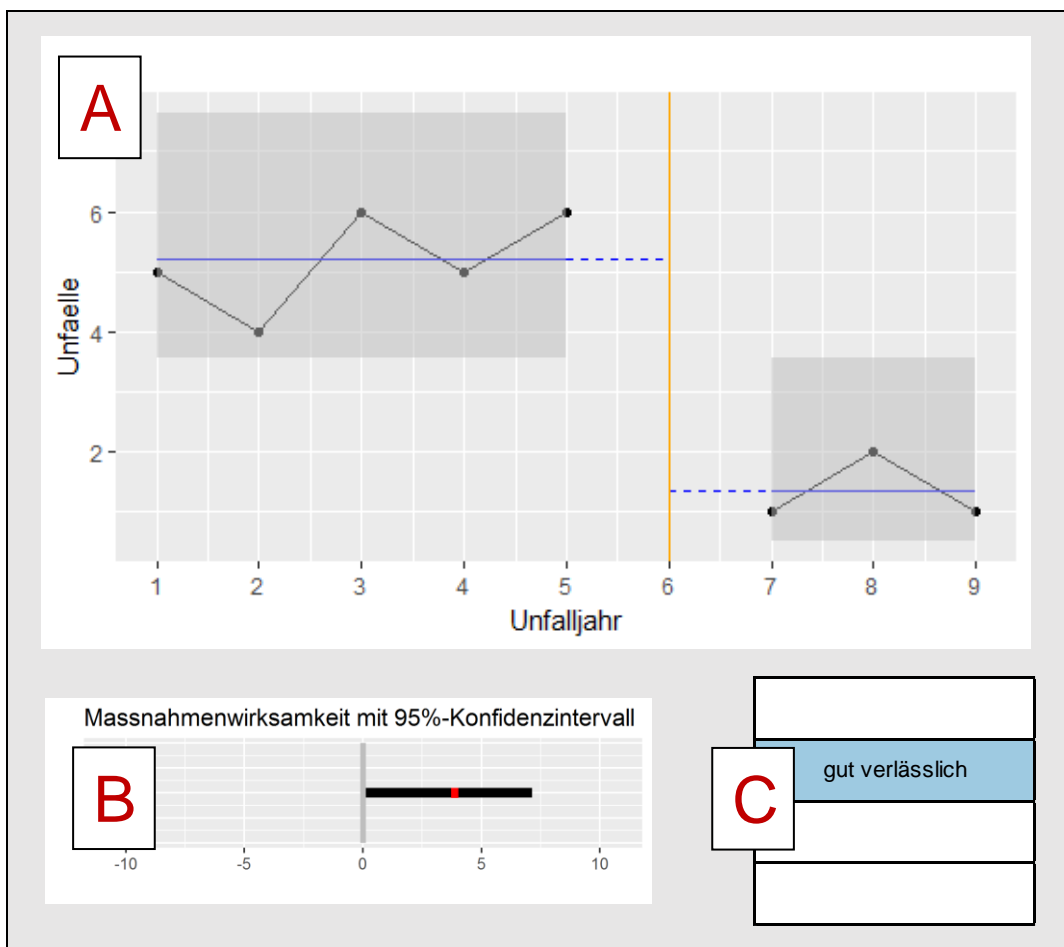


Abb. 19 Darstellung der Resultate aus der Wirkungsanalyse. **A:** Zeitreihe des Unfallgeschehens vor und nach Umsetzung der Massnahme. **B:** maximale, minimale und mittlere erwartete Wirkung; **C:** Grad der Verlässlichkeit der Resultate in A und B

4 Umsetzung in die Praxis

4.1 Praktische Anwendung

Die Methoden für das Zeitreihen-Monitoring sowie die Wirkungsanalysen von Massnahmen müssen für jeden Nutzer umsetz- und anwendbar sein, ohne gesonderte Anforderungen an statistische Vorkenntnisse zu stellen.

Um sicher zu stellen, dass die Methodiken eine möglichst breite Anwendergruppe erreichen und gleichzeitig auch als bester Stand der Praxis gelten können, ist es vorgesehen, die praktische Umsetzung entsprechend der Konzeption in Kap. 2.3 auf die folgenden Hauptsäulen abzustützen:

- a) Erarbeitung einer neuen Norm mit der Nummer VSS SN 640 712 als Ersatz für die bestehende Norm VSS SN 640 008 durch die VSS NFK 5.3.
- b) Implementierung der statistischen Rechenprozesse in bestehende IT-Applikationen. Hierfür bietet sich in erster Linie die MISTRA-Fachapplikation VUGIS an.
- c) Hilfestellung für die Interpretation der statistischen Resultate anhand von Praxisbeispielen (siehe Anhang VI und VII).
- d) Checklisten zur korrekten Anwendung der IT-Tools und richtigen Interpretation der Ergebnisse (siehe Anhang IV und V).

4.2 Neue Norm VSS SN 640 712

4.2.1 Inhalt

Die fortlaufende, statistische Analyse von Unfallzahlen ist eine zentrale Grundlage für die Entscheidungsfindung im Sicherheitsmanagement von Strassen-Infrastrukturbetreibern. Nur wenn die passenden statistischen Methoden in den dafür geeigneten Anwendungsfällen korrekt durchgeführt und die Resultate richtig interpretiert werden, kann der gewünschte Mehrwert im Sinne eines effizienten Sicherheitsmanagements erzielt werden. Dies wiederum leistet einen wichtigen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit in der Schweiz. Dieser gesellschaftliche Mehrwert wird allerdings nur dann erzielt, wenn schweizweit einheitliche Hilfsmittel zur Umsetzung der statistischen Methoden zur Verfügung gestellt werden. Zudem wird es für die Strassen-Infrastrukturbetreiber auch in Zukunft gleichbleibend wichtig sein, dass sie sich zur rechtlichen Absicherung ihrer Arbeit auf geeignete und praxistaugliche Regelwerke abstützen können. Aus diesen Gründen sollen die Konzepte, Methoden, Ergebnisse und Erkenntnisse des vorliegenden Forschungsprojekts in die normativen Regelwerke des VSS implementiert werden.

Die bestehende Norm VSS SN 640 008 soll aus bereits genannten Gründen (siehe Kap. 2.1 und 2.2) durch eine neue Norm mit der Nummer VSS SN 640 712 ersetzt werden. Die neue Norm soll entsprechend Anhang VIII in die Normenlandschaft der zuständigen Normierungs- und Forschungskommission VSS NFK 5.3 eingebettet werden. Die Umsetzung dieser neuen Norm soll nach dem Muster des Konzepts in Kap. 2.3 erfolgen. Nur so kann eine möglichst grosse Akzeptanz und Nutzung der Norm sowie eine maximale Durchschlagskraft im Sinne der Verkehrssicherheit erreicht werden.

Die eigentliche inhaltliche Erarbeitung und Formulierung der neuen Norm VSS SN 640 712 obliegt somit der NFK 5.3. Im folgenden Kapitel werden jedoch Empfehlungen für Struktur und Inhalt der neuen Norm VSS SN 640 712 ausgesprochen. Die inhaltlichen Schwerpunkte der neuen Norm stellen analog zum vorliegenden Forschungsbericht die beiden Hauptfragestellungen der Sicherheitsverantwortlichen dar:

- a) Zeitreihen-Monitoring: Ist der zeitliche Verlauf des Unfallgeschehens im Zuständigkeitsperimeter für eine bestimmte Gruppe an Verkehrsteilnehmern oder für bestimmte Unfalltypen auffällig? Gibt es Ausreisser in den jährlichen

- Unfallhäufigkeiten? Wann sollte eine Intervention in das Unfallgeschehen durch zielgerichtete Massnahmen erfolgen?
- b) Wirkungsanalyse: Jeder Infrastruktur-Betreiber ist durch Art. 6a SVG dazu verpflichtet, Unfallschwerpunkte nach VSS SN 641 724 zu beheben. Aber welche Massnahmen eignen sich, um möglichst kosteneffizient das Unfallrisiko auf jenen Strassenabschnitten zu reduzieren? Um diese Fragestellung beantworten zu können, braucht es das Wissen um die erzielte (Sicherheits-) Wirkung bereits durchgeführter Massnahmen. Im Rahmen der Wirkungsanalyse wird dies ermittelt und dient somit wiederum der Entscheidungsfindung bei der Massnahmenwahl oder –priorisierung.

Für beide Fragestellungen werden in der neuen Norm die statistischen Methoden des vorliegenden Forschungsprojekts so pragmatisch wie möglich, aber gleichzeitig auch so wissenschaftlich wie nötig beschrieben. Das heisst, dass formal bei der Ausarbeitung der neuen Norm auf eine ausführliche Beschreibung der mathematischen Grundlagen zur Herleitung der statistischen Methoden für das Zeitreihen-Monitoring und die Wirkungsanalysen von Massnahmen verzichtet wird. Die statistischen Kernelemente werden zwar dargelegt, dabei muss aber zwingend darauf geachtet werden, dass die Norm auch für Anwender ohne statistische Vorkenntnisse verständlich und im Alltag einfach nutzbar bleibt. Durch Verweise auf entsprechende Publikationen in der Referenzliste der Norm wird sichergestellt, dass die wissenschaftliche Transparenz der statistischen Methoden gewährleistet ist. Verweise auf den vorliegenden Forschungsbericht dienen dazu, die Nachvollziehbarkeit und Anwendbarkeit der statistischen Methoden und des Vorgehens zur Durchführung eines Zeitreihen-Monitorings und der Wirkungsanalysen auch für Anwender ohne Zugriff auf die konzipierten IT-Tools (z.B. VUGIS) zu gewährleisten.

Als Ergänzung zum eigentlichen Normentext, muss die Relevanz der Norm sowie die praktische Akzeptanz durch anschauliche Anwendungsbeispiele aus der Praxis in Form von einer Beispielsammlung ergänzt werden. Die Beispielsammlung dient auch als Interpretationshilfe der statistisch hergeleiteten Analyseergebnisse. Die Struktur einer möglichen Beispielsammlung ist exemplarisch anhand der Anwendungsbeispiele in den Anhängen VI und VII dargestellt. Die eigentliche Anwendung der Norm erfolgt über IT-Tools. Auf diesem Weg muss der Sicherheitsverantwortliche keine statistischen Vorkenntnisse haben. Es ist aber äusserst wichtig, dass er die Resultate aus statistischer Sicht richtig interpretieren kann. In den IT-Tools müssen daher Interpretationshilfen zur Verfügung gestellt werden.

Für die Anwendung der IT-Tools können bestehende Schulungsangebote des ASTRA zum DWH-VU oder VUGIS entsprechend ergänzt werden. Für die Akzeptanz und möglichst breite Anwendung der neuen Norm VSS SN 640 712 ist es entscheidend, auf die Kritikpunkte an der bestehenden Norm VSS SN 640 008 Rücksicht zu nehmen. Aus der Situationsanalyse (Kap. 2), insbesondere bei den Gesprächen im Rahmen der Interviews hat sich herausgestellt, dass die bestehende Norm zu komplex, zu unübersichtlich, wenig praxistauglich und teilweise fehlerhaft ist. Das Resultat daraus ist, dass die Norm in der Schweizer Sicherheitsarbeit keine Anwendung findet. Dem gegenüber zeigt die Situations- und Bedürfnisanalyse die folgenden Erfolgsfaktoren in Bezug auf die Anforderungen an die neue Norm: Der richtige fachliche Tiefgang darf nicht zu kompliziert werden, sie soll ein breites Anforderungsprofil abdecken und in bestehende Hilfsmitteln, am besten VUGIS integriert werden, vergleichbar mit VSS SN 640711.

4.2.2 Struktur

Mit der Begleitgruppe des Forschungsprojekts wurde die folgende Struktur der neuen Norm VSS SN 640 712 erarbeitet (Abb. 20).

A Allgemeines
1 Geltungsbereich
2 Gegenstand
3 Zweck
4 Verweise
...
B Begriffe
5 Zeitreihen-Monitoring
6 Wirkungsanalyse
...
C Verfahren
7 Vorgehen
...
D Zeitreihen-Monitoring Unfallgeschehen
8 Fragestellungen und Abgrenzung
9 Methodenbeschreibung
10 Anforderungen an die Datengrundlage
11 Interpretation der Ergebnisse
12 Hinweise auf vertiefte Analysen
...
E Wirkungsanalyse von Massnahmen
13 Fragestellungen und Abgrenzung
14 Methodenbeschreibung
15 Anforderungen an die Datengrundlage
16 Interpretation der Ergebnisse
17 Hinweise auf vertiefte Analysen
...
F Inhalt und Darstellung
18 Festlegung
19 Darstellungsvorlagen Zeitreihen-Monitoring
20 Darstellungsvorlagen Wirkungsanalyse
21 Datenquelle
...
G Literaturverzeichnis
H Glossar

Abb. 20 Vorschlag für die Struktur der neuen Norm VSS SN 641 712

Im Kapitel A Allgemeines wird anhand der Definition des Geltungsbereichs beschrieben, für welche Fragestellungen sich die Norm korrekt anwenden lässt und für welche nicht. Beim Gegenstand wird der Inhalt der Norm kurz umrissen und letztendlich der Zweck und die Ziele aufgezeigt, die durch die Anwendung der Norm verfolgt werden. Die Ergebnisse der Situationsanalyse bilden hierfür die Grundlage.

Im Kapitel B wird erläutert, was unter den beiden methodischen Schlüsselbegriffen «Zeitreihen-Monitoring» und «Wirkungsanalyse» zu verstehen ist. Dabei wird noch nicht auf die dahinterstehende statistische Methodik eingegangen.

Anhand eines Ablaufschemas wird im Kapitel C in Analogie zu den ISSI-Normen (VSS SN 641 721-726) das Vorgehen zur Anwendung der Norm vorgestellt. Dieses Kapitel hilft dem Anwender im Sinne einer «Weichenstellung», die richtige Fragestellung für seine Untersuchungen zu prüfen.

Die statistischen Methoden zum Zeitreihen-Monitoring und zur Wirkungsanalyse werden in den Kapiteln D und E beschrieben. Bei der Beschreibung geht es vor allem darum, den Anwendern zu erläutern, auf welche statistischen Methoden sich die neue Norm abstützt, ohne dabei zu tief in die statistische Theorie einzutauchen. Durch einen Verweis auf den

vorliegenden Forschungsbericht wird sichergestellt, dass für den interessierten Leser und Anwender die vollständige Nachvollziehbarkeit der Methoden gewährleistet ist.

Die Art der Ergebnisdarstellung bei Anwendung der Norm mittels IT-Tools wird im Kapitel F der Normenstruktur der SN 641 712 für die beiden Methoden beispielhaft festgelegt. Dadurch sollen folgende Kriterien sichergestellt werden:

- a) Nutzbarkeit durch IT-Tools: Die Anwendung der Norm kann problemlos mit unterstützenden IT-Tools verknüpft werden, weil Inhalt und Form der Analyseresultate in der Norm klar definiert sind. Die Vergleichbarkeit der Resultate bleibt gewährleistet, unabhängig von der Art der Anwendung.
- b) Breite Anwendung: Die Anwendung der Norm ist nicht nur auf jene Anwender beschränkt, die Zugang zu VUGIS oder dem DWH-VU das ASTRA haben (in der Regel die Sicherheitsbeauftragten des Bundes, der Kantone und Gemeinden, sowie einzelne Vertreter der Polizei). Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist durch die beispielhaften Vorgaben im Kapitel F sichergestellt, egal, auf welchem Weg oder anhand welcher Hilfsmittel diese erzielt wurden.
- c) Metaanalysen: Konsistente, auf Grundlage der gleichen Methoden berechnete und auf gleiche Art und Weise dargestellte Analyseresultate (Kennzahlen und Grafiken) ermöglichen ihre Nutzung im Rahmen von Metaanalysen (z.B. zum Benchmarking zwischen Kantonen, Gemeinden, etc. oder aggregierte Analysen wie in MEVASI).

Im Kapitel G Literatur werden die wesentlichen, für das Verständnis und für die Nachvollziehbarkeit der verwendeten statistischen Methoden relevanten Literaturstellen aufgelistet.

Im Kapitel H werden alle wichtigen Schlüsselbegriffe der Norm kurz definiert und erklärt.

4.3 Praktische Implementierung

Die Methoden dieses Forschungsberichts sollen parallel zur Erarbeitung einer neuen Norm ebenfalls in VUGIS implementiert werden. Nur so ist eine einfache, breite und wirkungsvolle Anwendung der Norm gewährleistet und nur so kann eine langfristige positive Wirkung für die Verkehrssicherheit in der Schweiz erzielt werden. Durch ein leicht verständliches User-Interface wird der Sicherheitsverantwortliche durch den Eingabeprozess für seine Analysefragen geführt. Die Unfalldaten sind bereits im DWH-VU hinterlegt und werden dann automatisch für die Analysen in VUGIS ausgelesen. Dies ermöglicht dem Anwender, ohne ausgeprägte statistische Grundkenntnisse, die Methoden und Verfahren der Norm automatisiert für seine Fragestellungen anzuwenden.

Die graphischen Darstellungsformen können sich an die in diesem Bericht gezeigten Illustrationen anlehnen. Konkrete Festlegungen sollten im Rahmen der NFK 5.3 diskutiert, in Konsistenz mit dem Vorgehen bei der Anwendung der VSS SN 641 711 verabschiedet und entsprechend auch in der neuen Norm SN 641 712 festgehalten werden.

In der MISTRA-Applikation VUGIS sind bereits verschiedene normative Analysen hinterlegt. Beispielsweise kann die Erkennung von lokalen Unfallschwerpunkten nach der ISSI-Norm VSS SN 641 724 vollständig automatisiert durch diese Applikation erfolgen. Der Sicherheitsverantwortliche erhält in Form einer standardisierten Schnellberichtsvorlage per Knopfdruck eine Auflistung der Unfallschwerpunkte in seinem Perimeter. Die Erstellung von Zeitreihen des Unfallgeschehens nach VSS SN 641 711 ist ebenfalls bereits voll automatisiert in den MISTRA-Fachapplikationen DWH-VU und VUGIS hinterlegt.

Eine Ergänzung der Applikationen in VUGIS mit den im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts erarbeiteten Methoden zum Zeitreihen-Monitoring und der Wirkungsanalysen wird empfohlen und erscheint zum heutigen Zeitpunkt als möglich. Dies bedarf jedoch einer ausgiebigen Implementierungs- und Testphase und – nicht zuletzt – die Zustimmung bzw. Anleitung durch das ASTRA.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

5.1 Diskussion

Die Resultate des vorliegenden Forschungsprojekts zeigen, welche Anforderungen an die statistische Analyse von Unfallzahlen in der Praxis gestellt werden und mit welchen Ansätzen die Bedürfnisse der Anwender erfüllt werden können. Den im Rahmen der Situationsanalyse ausgesprochenen Bedürfnissen wird einerseits mit der Entwicklung geeigneter Methoden entgegengekommen. Andererseits wird aufgezeigt, unter welchen Rahmenbedingungen (bzw. im welchem Kontext) sich die Methoden auch realisieren lassen, um den grössten praktischen Nutzen erzielen zu können.

Bei der Methodenentwicklung wurde eine Balance zwischen statistischer Aussagekraft/Komplexität und Anwenderfreundlichkeit getroffen. Somit wird ein bedeutsamer Mehrwert für den Anwender geschaffen. Dieser lässt sich wie folgt beschreiben:

- Im Rahmen der Analyse wird das beobachtete Unfallgeschehen anhand von automatisch erzeugten Abbildungen anschaulich illustriert.
- Durch die graphische Darstellung diverser Ausprägungen (wie z.B. Trendeffekte) kann das Unfallgeschehen in einem breiten Kontext betrachtet werden. Insbesondere durch die Visualisierung der Konfidenzintervalle wird das komplexe Thema von Unsicherheiten dem Durchschnittsnutzer zugänglich gemacht und verständlich vermittelt.
- Durch die Verwendung von Farbstufen für die Beurteilung der Signifikanz im Sinne von Verlässlichkeit-Stufen können insgesamt geringere Anforderungen an die statistischen Vorkenntnisse des Nutzers gestellt werden. Einerseits reduziert dies den Analyseaufwand des Nutzers. Andererseits spricht die Methode dadurch einen grösseren Anwenderkreis an.
- Die Analyse lässt genügend Spielraum offen, um das Wissen des Nutzers optimal zu mobilisieren. Somit können langjährige Erfahrungen sowie ortsspezifische Kenntnisse in die Beurteilung und letztendliche Entscheidungsfindung mit einfließen.
- Gleichzeitig führen die Strukturierung und die Automatisierung der statistischen Prozesse dazu, dass dem Anwender bestimmte Grenzen gesetzt werden und somit Fehler in der Anwendung vermieden werden. Vor allem der standardisierte Charakter der Abbildungen trägt zu einer Vereinheitlichung von Analyseresultaten bei. Dies garantiert die Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Anwender.
- Insbesondere bei der Interpretation der Ergebnisse, setzen die Methoden auf die aktive Mitwirkung des Nutzers. Es ist zu betonen, dass die Verantwortung für eine fachgerechte Beurteilung der Sicherheitslage nach wie vor beim Nutzer liegt. Allerdings werden ihm diverse Hilfsmittel (z.B. Checklisten) zur Seite gestellt. Dies erschwert ein «blindes Vertrauen» in die Technik und trägt zu einer verantwortungsvollen Anwendung bei.
- Letztendlich liefern die Methoden Antworten auf die beiden in der Situationsanalyse als besonders relevant eingestuften Fragestellungen:
- Die Wirkungsanalyse erlaubt dem Nutzer zu beurteilen, ob einzelne durchgeführte Massnahmen die gewünschte positive Wirkung auf das Unfallgeschehen erzielen konnten und mit welcher Verlässlichkeit (Signifikanz) der Effekt auf die durchgeführte Massnahme zurückgeführt werden kann.
- Durch das Zeitreihen-Monitoring können Trends auf statistischer Basis beurteilt werden und mit dem Frühwarnsystem wird durch eine kontinuierliche Beobachtung des aktuellen Unfallgeschehens rechtzeitig auf einen möglichen Handlungsbedarf aufmerksam gemacht.

Die Qualität und Vollständigkeit der Datengrundlage ist entscheidend für die Anwendbarkeit der vorgestellten Methoden. Unbekannte konfundierende Einflussgrössen fließen nicht direkt in die (numerische) Analyse ein. Stattdessen wird deren Einfluss mit Checklisten minimiert. Mit der Digitalisierung wird was Thema einer umfangreicheren

Datenerfassung und Verbindung verschiedener Datenbanken zunehmend an Bedeutung gewinnen. Diese Entwicklungen können die Türen zu noch besser auf die Fragestellungen zugeschnittenen Methoden öffnen, deren Anwendung heute aufgrund zu geringer Informationsgrundlagen nicht möglich ist.

Die hier vorgestellten statistischen Methoden definieren das Grundgerüst der Anwendung. Es wird aufgezeigt, welche Rechenschritte durchzuführen sind und Ergebnisinterpretationen werden dargelegt. In mathematischer Hinsicht liegt der Fokus auf der Eignung bzw. der Funktionsfähigkeit der Methoden und weniger in der direkten Aufbereitung der Funktionen für eine spätere Umsetzung in einem IT-Tool. Zwar können viele Rechengänge schon in Form von R-Codes automatisch durchgeführt werden. Für die spätere IT-Anwendung wird allerdings ein zusätzlicher Programmierschritt, über die eigentliche Implementierung auf einer Plattform hinaus, notwendig. Die erwähnten Spezialsituationen wurden im Rahmen der Methodenentwicklung bereits erkannt und münden in Zukunft in einer reinen Programmieraufgabe.

Die angesprochene Umsetzung in die Praxis ist lediglich ein Vorschlag. Dieser ist aber aus Sicht der Autoren ein zentraler Erfolgsfaktor des Projekts. Erst mit der Verankerung der Methoden in einer Norm wird die Basis geschaffen für die regelkonforme Anwendung und motiviert zur flächendeckenden Nutzung. Eine IT-Implementierung bietet den Anwendern und Sicherheitsverantwortlichen eine echte Möglichkeit, die Methoden auf eine pragmatische Art und Weise anzuwenden. Nur so kann ein Effekt und Beitrag zur weiteren Erhöhung der Verkehrssicherheit in der Schweiz erzielt werden.

5.2 Ausblick und Empfehlungen

Die Ergebnisdiskussion resultiert in folgenden Empfehlungen:

- Der erste und wichtigste Schritt liegt in der Erarbeitung der neuen, bereits geplanten Norm VSS SN 640 712 «Statistische Analyse von Unfallzahlen» auf Grundlage der vorgestellten Methoden und der Strukturierung der Norm.
- Sobald die neue Norm existiert, wird auf dieser Basis eine Schulung der Sicherheitsverantwortlichen zur Anwendung der Methoden empfohlen. Der Anwender mag sich an den im Anhang aufgeführten Rechenbeispielen und Checklisten orientieren. Je nach untersuchten Situationen kann aber eine korrekte Interpretation der Ergebnisse immer noch anspruchsvoll sein. Ein geübter Umgang mit der Methodenanwendung trägt zu einer qualitativ besseren Analyse und Vergleichbarkeit der Ergebnisse bei. Einzelne spezifische Themen vertieft diskutiert werden und eine Plattform für einen breiten Erfahrungsaustausch wird geschaffen. Die Ausbildungen könnten in einem ähnlichen Stil wie die Schulungen zu den ISSI-Normen durchgeführt werden.
- Zur Implementierung der Methoden z.B. in VUGIS wird eine entsprechende Weiterentwicklung der MISTRA-Fachapplikationen empfohlen. Zudem muss geprüft werden, wie die nützliche MEVASI-Datenbank der bfu verlinkt werden kann, um beispielsweise die Resultate einzelner Analysen dann aggregiert für übergeordnete Metanalysen direkt in einer zentralen Datenbank abzulegen. Je mehr Informationen zur Wirksamkeit von Massnahmen für spezifische Strassenabschnitte vorliegen, desto besser können sich Strasseneigentümer und Planer bei der zukünftigen Entscheidungsfindung orientieren.
- Zusätzlich zum Software-Tool ist die Entwicklung eines R-Package für die beiden Methoden zu prüfen. Dadurch wird sichergestellt, dass auch Fachleute ohne Zugang zu den MISTRA-Fachapplikationen nach einem einheitlichen Muster das Zeitreihen-Monitoring und die Wirkungsanalysen durchführen können und die Ergebnisse im Anschluss unabhängig und vergleichbar sind.
- Der umgesetzte Kompromiss zwischen wissenschaftlichem Tiefgang und praxistauglichem Pragmatismus führt dazu, dass die Modellselektion bei der Wirkungsanalyse zu einer leichten Unterschätzung der Unsicherheiten führt. Mit den vereinfachten Verlässlichkeit-Stufen wird dies allerdings von untergeordneter Bedeutung. Nichts desto trotz besteht hier ein methodisches Erweiterungspotenzial. Bei

einer Weiterentwicklung der Methoden ist daher eine Anpassung der Konfidenzintervalle anhand eines parametrischen Bootstraps zu prüfen.

- In der Literatur wird die Empirical Bayes Methode für die Wirkungsanalyse von Massnahmen als State-of-the-art anerkannt. Deren Anwendung setzt die Entwicklung von Accident-prediction-models sowie grosse Anforderungen an das Datenmaterial voraus. Der Einsatz der Empirical Bayes Methode könnte viele Unzulänglichkeiten der hier entwickelten Methoden beseitigen (z.B. Einfluss durch konfundierende Variablen, die in den vorgeschlagenen methodischen Verfahren in erster Linie über die Checklisten berücksichtigt werden). Falls die zukünftigen Entwicklungen bei der Datenerhebung es ermöglichen, ist eine praxisorientierte Umsetzung der Empirical Bayes Methode zu untersuchen.

Anhänge

I	Weiteres zur Evaluation Norm VSS SN 640 008.....	65
II	Fragebogen.....	75
III	Weiteres zur Auswahl statistischer Methoden.....	77
IV	Entwurf Checkliste für das Zeitreihen-Monitoring.....	83
V	Entwurf Checkliste für die Wirkungsanalyse	85
VI	Beispiele zur Anwendung des Zeitreihen-Monitorings.....	87
VI.1	Beispiel 1	87
VI.2	Beispiel 2.....	94
VI.3	Beispiel 3.....	96
VII	Beispiele zur Anwendung der Wirkungsanalyse	97
VII.1	Beispiel 1	97
VII.2	Beispiel 2.....	103
VII.3	Beispiel 3.....	105
VII.4	Beispiel 4.....	107

I Weiteres zur Evaluation Norm VSS SN 640 008

A Allgemeines

1 Geltungsbereich, 2 Gegenstand, 3 Zweck

Keine Kommentare.

4 Begriffe

Der Begriff Signifikanz wird mit bedeutsam gleichgestellt, was nicht zwangsläufig korrekt ist. Mit einer genügend grossen Stichprobe werden selbst kleinste Effekte signifikant, können in der Praxis aber dennoch völlig irrelevant sein. Man müsste jeweils Vertrauensintervalle von Effekten anschauen und beurteilen, ob diese in einen fachlich relevanten Bereich fallen. Dies ist aber mit den hier verwendeten Methoden für Kreuztabellen in der Regel nur schwer möglich.

Der Begriff "Irrtumswahrscheinlichkeit" wird hier nicht genau definiert, später aber immer wieder in unterschiedlichem Kontext verwendet. Ein Anwender kann nicht beurteilen, von welchen Fehlschlüssen bzw. Irrtümern jeweils gesprochen wird. Dies ist insbesondere problematisch, wenn der Begriff sowohl bei Beispielen mit signifikantem wie auch nicht signifikantem Ergebnis verwendet wird. Hier könnte es leicht zu einer Verwechslung von Fehler 1. und 2. Art kommen.

B Analyse von Unfallzahlen

5 Grundsätze, 6 Analyse

Keine Kommentare.

7 Bewertung von Unterschieden und Veränderungen

a) Vergleich und Bewertung zweier Unfallgeschehen "vorher/nachher" bzw. "mit/ohne Massnahme" (Chiquadrat)

Vorher / nachher:

Infolge fehlender Kontrollgruppe ist dieses Vorgehen problematisch, da die Zeit ein sogenannter "confounder" sein kann. Dies bedeutet, dass es nicht klar ist, ob ein allfälliger Unterschied wegen einer eingeleiteten Massnahme oder durch Veränderung der Exposition oder anderen Bedingungen (Baustelle etc.) zustande gekommen ist.

Technische Bemerkung: Der verwendete Test ist auch als χ^2 -Anpassungstest bekannt.

Mit / ohne:

Es wird das gleiche Prinzip wie oben verwendet, infolge gleichem Zeitraum entfällt die Skalierung mit der Zeit. Hier ist die Zeit kein confounder, durch eine unglückliche Wahl der beiden Gruppen kann aber ein anderer confounder ins Spiel kommen. Dem Anwender müsste hier klar gemacht werden, dass im Idealfall die Gruppe "ohne" bzw. "mit" durch Randomisierung zustande kommen sollten. In der Praxis ist dies aber wohl schwer umsetzbar, da eine Massnahme an einem Standort vermutlich wegen einer entsprechenden Vorgeschichte definiert wurde. Die einfache Methodologie wird der Komplexität der Thematik nicht gerecht.

Für kleine Stichproben wird ein Z-Test vorgeschlagen. Aus statistischer Sicht ist nicht klar, wieso hier der Z-Test, welcher nur approximativ gilt, bei kleinen Stichproben verwendet werden sollte. Implizit wird für die Anzahlen hier eine Poissonverteilung angenommen (mit Stetigkeitskorrektur). Alternativ würde sich das Verfahren gemäss Huffman (1984) oder Krishnamoorthy und Thomson (2004) anbieten.

Es wird von “grossen” und “kleinen” Stichproben geredet. Die bei den kleinen Stichproben (beim Z-Test) aufgeführten Bedingungen ($n_1 > n_2$, $n_1 + n_2 > 5$) werden nicht weiter erläutert und lassen somit offen, wann nun “grosse” oder “kleine” Stichproben vorliegen.

b) Vergleich und Bewertung zweier Unfallgeschehen vorher/nachher mit Kontrollgruppe mit Vierfeldertest

Vorher / Nachher mit Kontrollgruppe (Vierfeldertest):

Eine Umskalierung im Falle von verschiedenen langen Zeiträumen ist nicht nötig, da hier ein χ^2 -Unabhängigkeitstest verwendet wird. Eine Umskalierung ist zudem problematisch, da dann keine Anzahlen im ursprünglichen Sinne mehr vorliegen, siehe Delucchi (1983) und Lewis und Burke (1949). Im Anhang findet sich eine kleine Simulationsstudie, die zeigt, dass der Fehler 1. Art nicht mehr kontrolliert wird.

Es werden drei Bedingungen für die Tabelleneinträge angeführt: Die dritte Bedingung (Produkte der Zeilen- und Spaltensummen $> 3n$) entspricht einer gängigen Faustregel, dass die erwarteten Tabelleneinträge einen Minimalwert überschreiten müssen. In der vorliegenden Norm ist dieser Minimalwert 3; häufig wird als Minimalwert allerdings der Wert 5 verwendet (z.B. auch in der Standardfunktion `chisq.test` in R). Die zweite Bedingung (alle Tabelleneinträge positiv) ist sinnvoll. Die erste Bedingung (Summe der Tabelleneinträge muss grösser 20 sein) erscheint überflüssig, wenn eine übliche Faustregel bzgl. erwarteter Tabelleneinträge (s.o.) verwendet wird.

Da es sich bei den vorliegenden Beispielen um Tabellen mit nur zwei Zeilen und zwei Spalten handelt, wäre der (exakte) Fisher-Test angebrachter. Hier müssen keine Bedingungen für die Tabelleneinträge gemacht werden.

c) Vergleich und Bewertung zweier Unfallgeschehen vorher/nachher je mit und ohne Massnahme mit Vierfeldertest

Vorher/Nachher- und Mit-/Ohne (Vierfeldertest):

Dies ist nochmals identisch wie das vorangehende Kapitel. Die Kontrollgruppe heisst jetzt einfach “Untersuchungsgruppe 2”. Die Tatsache, dass dies nochmals präsentiert wird, ist nicht gerade förderlich für die Übersichtlichkeit.

d) Vergleich und Bewertung von Unterschieden vorher/nachher von Anteilswerten am Gesamtunfallgeschehen mit Vierfeldertest

Auch hier ist problematisch, dass potentiell etwas anderes als Anzahlen eingesetzt werden könnte (z.B. effektiv Anteile). In den Beispielen wird dies aber soweit korrekt angewendet.

e) Vergleich und Bewertung von zwei oder mehreren durch ihre Einzelanteile gegebenen Verteilungen mit Kontingenztafeln

Das präsentierte Verfahren ist korrekt, jedoch ist eine Berechnung von Hand nicht zeitgemäss und sehr fehleranfällig. Hinzu kommt, dass die Aussage des Chi-Quadrat-Tests sehr unspezifisch ist, da die getestete Nullhypothese sehr stark ist.

Die tabellierten Quantile wurden von uns geprüft und sind korrekt:

```
df <- cbind(1:10, 11:20, 21:30)
quant <- round(cbind(qchisq(0.95, df[,1]),
                    qchisq(0.95, df[,2]),
                    qchisq(0.95, df[,3])), 2)

knitr::kable(data.frame(df[,1], quant[,1], df[,2], quant[,2], df[,3], quant[,3]),
              col.names = rep(c("df", "Quantil"), 3))
```

df	Quantil	df	Quantil	df	Quantil
1	3.84	11	19.68	21	32.67
2	5.99	12	21.03	22	33.92
3	7.81	13	22.36	23	35.17
4	9.49	14	23.68	24	36.42
5	11.07	15	25.00	25	37.65
6	12.59	16	26.30	26	38.89
7	14.07	17	27.59	27	40.11
8	15.51	18	28.87	28	41.34
9	16.92	19	30.14	29	42.56
10	18.31	20	31.41	30	43.77

f) *Vergleich und Bewertung verschiedener Unfallgeschehen mit einem Mittelwert dieser Unfallgeschehen (Methode der kritischen Unfallzahlen)*

Es handelt sich hier um eine in der Statistik unübliche Fragestellung (zumindest, wie sie hier beschrieben wird).

Gemäss Formeln wird versucht, mit einer Normalapproximation (mit Stetigkeitskorrektur) einer Poissonverteilung ein 90%-Prognoseintervall für die Anzahl Unfälle in einem einzelnen Jahr zu berechnen. Die Schätzungenauigkeit wird dabei ignoriert. Die Irrtumswahrscheinlichkeit ist falsch angegeben (es wird mit 10% gerechnet statt den angegebenen 5%). Falls man viele Unfallgeschehen anschaut (d.h. falls n_n gross ist), dann hat man zudem ein (akutes) Problem des multiplen Testens, das nicht berücksichtigt wird.

In einer kleinen Simulation (R-Code siehe Anhang) hat man z.B. für das Setting von konstant 22 erwarteten Unfällen pro Jahr und einer 9-Jahres-Periode eine Wahrscheinlichkeit von ca. 54%, dass mindestens eine Abweichung gefunden wird, obwohl alle Anzahlen dem gleichen Modell folgen und daher keine Abweichung vorhanden ist.

Details: Die Approximation ist bei kleinen Anzahlen ungenau. Die Notation mit n_n ist für den Anwender wohl eher verwirrend.

C Analyse von Entwicklungen

8 Grundsätze

Keine Kommentare.

9 Lineare Regression

In der Modellgleichung fehlt strikt genommen der Fehlerterm.

Das beschriebene Vorgehen zur Berechnung der Parameterschätzer ist formell korrekt. Es wird aber keine statistische Inferenz gemacht für die Steigung b . D.h. es kann so nicht entschieden werden, ob die Steigung (d.h. der Trend) signifikant von Null verschieden ist oder nicht.

Eine Berechnung von Hand ist nicht zeitgemäss und sehr fehleranfällig.

10 Zeitreihen Analyse

a) Bestimmung des Trends mit der Methode der kleinsten Quadrate

In der Modellformel fehlt der Fehlerterm. Zwecks einfacherer Berechnung wird die Grösse x zentriert. Dies ist korrekt, wird aber im Text nirgends erwähnt. Die verwendeten Formeln sind schlussendlich identisch mit den Formeln bei der linearen Regression (für den zentrierten Fall).

Es wird keine statistische Inferenz bzgl. der Trendkomponente gemacht.

b) Schätzung der saisonalen Schwankungen

Es ist nicht nachvollziehbar, wie die Werte in Tabelle 15 zustande kommen. Wieso werden die Trendwerte dividiert?

Abbildung 7 und Abbildung 8 sind identisch.

Wie soll das vorgeschlagene Vorgehen von einem Anwender umgesetzt werden, wenn keinerlei Anhaltspunkte für ein konkretes Vorgehen präsentiert werden?

11 Trapezmethode

Diese Methode ist unseres Erachtens in der Statistik unüblich. Eine Berechnung von Hand ist nicht zeitgemäss und sehr fehleranfällig. Es wird zudem keine statistische Inferenz bzgl. der Trendkomponente gemacht.

D R-Codes

1 Simulation “Umskalierung der Anzahlen”

Wir betrachten einen Fall mit einer 1-Jahres und einer 3-Jahresperiode. Die erwarteten Anzahlen pro Jahr sind identisch, d.h. es ist kein Effekt vorhanden. Wenn man die 1-Jahresperiode mit dem Faktor 3 korrigiert, so wird der Fehler 1. Art nicht mehr kontrolliert.

```
set.seed(12)

n.sim <- 1000

out <- matrix(0, nrow = n.sim, ncol = 2)

for(i in 1:n.sim){
  m <- matrix(rmultinom(1, size = 200, prob = 0.5 * c(1/4, 1/4, 3/4, 3/4)),
             nrow = 2, ncol = 2)
  m.resize <- m
  m.resize[, 1] <- 3 * m.resize[, 1]

  out[i, 1] <- chisq.test(m)$p.value
  out[i, 2] <- chisq.test(m.resize)$p.value
}

apply(out <= 0.05, 2, mean)

## [1] 0.035 0.135
```

2 Simulation “Unterschied vom Mittelwert”

Wir simulieren 9 Jahre, wobei innerhalb eines Jahres die Anzahl Unfälle Poisson-verteilt sind mit Erwartungswert 22.

```

set.seed(1234)
nsim <- 10000
n <- 9
lambda <- 22

fp <- matrix(FALSE, nrow = nsim, ncol = n)

for(i in 1:nsim){
  obs <- rpois(n, lambda)
  m.obs <- mean(obs) ## mean of observations
  fp[i,] <- obs >= m.obs + 1.645 * sqrt(m.obs - 0.5) |
  obs <= m.obs - 1.645 * sqrt(m.obs - 0.5)
}
(fwer <- mean(apply(fp, 1, any))) ## = FWER = prob. of at least one false positive
## [1] 0.5352
(avgFP <- mean(apply(fp, 1, sum))) ## Average number of false positives
## [1] 0.7568
set.seed(1234)
nsim <- 10000
n <- 9
lambda <- 22

fp <- matrix(FALSE, nrow = nsim, ncol = n)

for(i in 1:nsim){
  obs <- rpois(n, lambda)
  m.obs <- mean(obs) ## mean of observations
  fp[i,] <- obs >= m.obs + 1.645 * sqrt(m.obs - 0.5) |
  obs <= m.obs - 1.645 * sqrt(m.obs - 0.5)
}
(fwer <- mean(apply(fp, 1, any))) ## = FWER = prob. of at least one false positive
## [1] 0.5352
(avgFP <- mean(apply(fp, 1, sum))) ## Average number of false positives
## [1] 0.7568

```

Anhang B: Rechenbeispiele (Beilage 640 008)

1 Vorher/Nachher-Vergleich

a)

```

chisq.test(c(19, 4), p = c(0.5, 0.5))

##
## Chi-squared test for given probabilities
##
## data: c(19, 4)
## X-squared = 9.7826, df = 1, p-value = 0.001762

```

b)

```

chisq.test(c(19, 10), p = c(0.5, 0.5))

##
## Chi-squared test for given probabilities
##
## data: c(19, 10)
## X-squared = 2.7931, df = 1, p-value = 0.09467

```

2 Mit-/Ohne-Vergleich

a)

```
chisq.test(c(750, 650), p = c(0.5, 0.5))

##
## Chi-squared test for given probabilities
##
## data: c(750, 650)
## X-squared = 7.1429, df = 1, p-value = 0.007526
```

b)

```
chisq.test(c(750, 700), p = c(0.5, 0.5))

##
## Chi-squared test for given probabilities
##
## data: c(750, 700)
## X-squared = 1.7241, df = 1, p-value = 0.1892
```

3 Mit-/Ohne-Vergleich durch Z-Test (kleine Stichproben)

a)

```
(9 - 3 + 1) / sqrt(9 + 3)

## [1] 2.020726
```

b)

```
(9 - 7 + 1) / sqrt(9 + 7)

## [1] 0.75
```

4 Vergleich und Bewertung zweier Unfallgeschehen vorher/nachher mit Kontrollgruppe (Vierfeldertest)

a)

```
chisq.test(cbind(c(20, 3), c(10, 8)), correct = FALSE)

## Warning in chisq.test(cbind(c(20, 3), c(10, 8)), correct = FALSE): Chi-
## squared approximation may be incorrect

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: cbind(c(20, 3), c(10, 8))
## X-squared = 5.0717, df = 1, p-value = 0.02432
```

Achtung wegen Warnung!

b)

```
chisq.test(cbind(c(20, 8), c(10, 8)), correct = FALSE)

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: cbind(c(20, 8), c(10, 8))
## X-squared = 1.2169, df = 1, p-value = 0.27
```

5 Vergleich und Bewertung zweier Unfallgeschehen vorher/nachher mit und ohne Massnahme (Vierfeldertest)

a)

Ist die Beschreibung des Beispiels überhaupt korrekt?

```
chisq.test(cbind(c(15, 20), c(34, 15)), correct = FALSE)

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: cbind(c(15, 20), c(34, 15))
## X-squared = 5.9125, df = 1, p-value = 0.01503
```

b)

```
chisq.test(cbind(c(15, 20), c(34, 25)), correct = FALSE)

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: cbind(c(15, 20), c(34, 25))
## X-squared = 1.9204, df = 1, p-value = 0.1658
```

6 Vergleich und Bewertung von Unterschieden vorher/nachher von Anteilswerte am Gesamtunfallgeschehen (Vierfeldertest)

a)

```
chisq.test(cbind(c(25, 74), c(120, 181)), correct = FALSE)

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: cbind(c(25, 74), c(120, 181))
## X-squared = 6.8854, df = 1, p-value = 0.00869
```

b)

```
chisq.test(cbind(c(25, 74), c(90, 211)), correct = FALSE)

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: cbind(c(25, 74), c(90, 211))
## X-squared = 0.78562, df = 1, p-value = 0.3754
```

7 Vergleich und Bewertung von zwei oder mehreren durch ihre Einzelanteile gegebenen Verteilungen mit Kontingenztafeln

a)

```

chisq.test(cbind(c(25, 20, 40, 10, 4), c(140, 30, 81, 10, 40)), correct = FALSE)

## Warning in chisq.test(cbind(c(25, 20, 40, 10, 4), c(140, 30, 81, 10,
## 40))), : Chi-squared approximation may be incorrect

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: cbind(c(25, 20, 40, 10, 4), c(140, 30, 81, 10, 40))
## X-squared = 31.529, df = 4, p-value = 2.387e-06

```

Achtung wegen Warnung! Kleine Differenz vermutlich wegen Rundungseffekten.

b)

```

chisq.test(cbind(c(25, 20, 40, 10, 4), c(70, 65, 115, 30, 21)), correct = FALSE)

##
## Pearson's Chi-squared test
##
## data: cbind(c(25, 20, 40, 10, 4), c(70, 65, 115, 30, 21))
## X-squared = 1.315, df = 4, p-value = 0.8588

```

8 Vergleich und Bewertung verschiedener Unfallgeschehen mit einem Mittelwert dieser Unfallgeschehen (Methode der kritischen Unfallzahlen)

Ohne Nachrechnung.

9 Lineare Regression

```

x <- 1985:1996
y <- c(5437, 6585, 6265, 7103, 7180, 8130, 8078, 7998, 7884, 8058, 9222, 8275)
fit <- lm(y ~ x)
summary(fit)

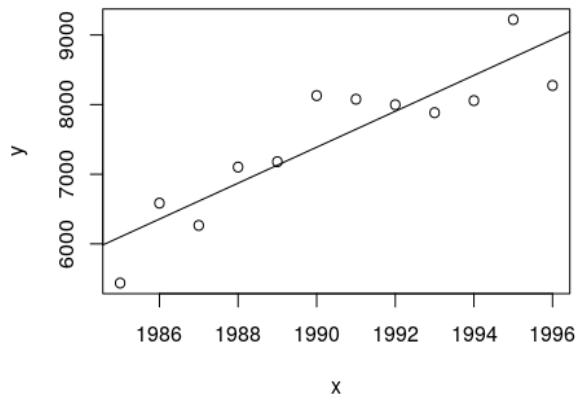
##
## Call:
## lm(formula = y ~ x)
##
## Residuals:
##   Min     1Q   Median     3Q    Max
## -662.32 -353.04  71.08  280.46  741.12
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept) -506177.24  80764.13  -6.267 9.29e-05 ***
## x              258.07    40.57   6.360 8.24e-05 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 485.2 on 10 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.8018, Adjusted R-squared:  0.782
## F-statistic: 40.46 on 1 and 10 DF, p-value: 8.24e-05

cor(x, y)

## [1] 0.8954355

plot(x, y); abline(fit)

```

II Fragebogen

Fragebogen / Forschungsprojekt VSS 2016/511

Interviewte Person: [Name] [Vorname], [Organisation]

Fragebogen

Fragen zur Analyse von Unfallzahlen

1. Was ist Ihr berufliches Aufgabenfeld und Ihre Funktion? Seit wann sind Sie in dieser Funktion?
2. Welche Berührungspunkte haben Sie in Ihrer Tätigkeit mit der Analyse von Unfallzahlen?
3. Wie häufig führen Sie Unfallanalysen durch und für welchen Zweck?
4. Welche (statistischen) Methoden verwenden Sie bei der Analyse?
5. Welche Hilfsmittel (Normen, Programme, etc.) benutzen Sie bei der Analyse von Unfallzahlen?
6. Was sind aus Ihrer Sicht die zentralen Herausforderungen bei der Analyse von Unfallzahlen?
7. Wie entscheiden Sie, zu welchem Zeitpunkt das Unfallgeschehen anhand von Massnahmen beeinflusst werden sollte?
8. Wenn Sie sich selbst etwas wünschen könnten, das Ihnen für die Analyse von Unfallzahlen zur Verfügung stehen würde, was wäre das?

Fragen zur Beurteilung von Massnahmenwirkungen

9. Welche Berührungspunkte haben Sie in Ihrer Tätigkeit mit der Initiierung und Planung von Verkehrssicherheitsmassnahmen?
10. Liegt auch die Beurteilung der Wirksamkeit von Massnahmen in Ihrem Tätigkeitsbereich?
11. Welche Methoden verwenden Sie bei der Beurteilung von Massnahmenwirksamkeiten?
12. Welche Hilfsmittel setzen Sie bei der Beurteilung ein?
13. Was sind aus Ihrer Sicht die zentralen Herausforderungen bei der Beurteilung von Massnahmenwirksamkeiten?

Seite 1

Fragebogen / Forschungsprojekt VSS 2016/511

Fragen zur bestehenden Norm VSS SN 640 008

14. Wie intensiv verwenden Sie die bestehende Norm VSS SN 640 008 in Ihrem Aufgabenbereich?
15. Gibt es bestimmte Gründe, falls Sie diese Norm nicht verwenden?
16. Welche Erfahrungen haben Sie mit der Norm gemacht?
17. Welche Stärken und Schwächen sehen Sie in der bestehenden Norm? Sehen Sie Bedarf nach einer Überarbeitung oder Neufassung der bestehenden Norm VSS SN 640 008?

Fragen zur Form möglicher Hilfsmittel

18. Sehen Sie einen Bedarf nach zusätzlichen (zur Norm), einheitlichen Hilfsmitteln für die Analyse von Unfallzahlen und/oder Massnahmenwirkungen?
19. In welcher Form sollten aus Ihrer Sicht die Hilfsmittel idealerweise angeboten werden (z.B. Computergestützte Applikation, Beispielsammlung, Factsheets für Methoden, etc.)?
20. Was wären Ihrer Meinung nach die typischen Anwender (Zielgruppe) solcher Hilfsmittel?
21. Haben Sie spezielle Bedürfnisse, die andere potenzielle Anwender vermutlich nicht haben?

Abschluss

22. Mit Blick auf das Strassenverkehrs-Unfallgeschehen: In welchen Themen und Bereichen sehen Sie in den nächsten 10 Jahren die grössten Herausforderungen auf Sie zukommen?
23. Haben Sie noch Anmerkungen oder Ergänzungen, die Sie noch nicht anbringen konnten?

Vielen Dank, dass Sie sich Zeit nehmen für dieses Interview!

Seite 2

III Weiteres zur Auswahl statistischer Methoden

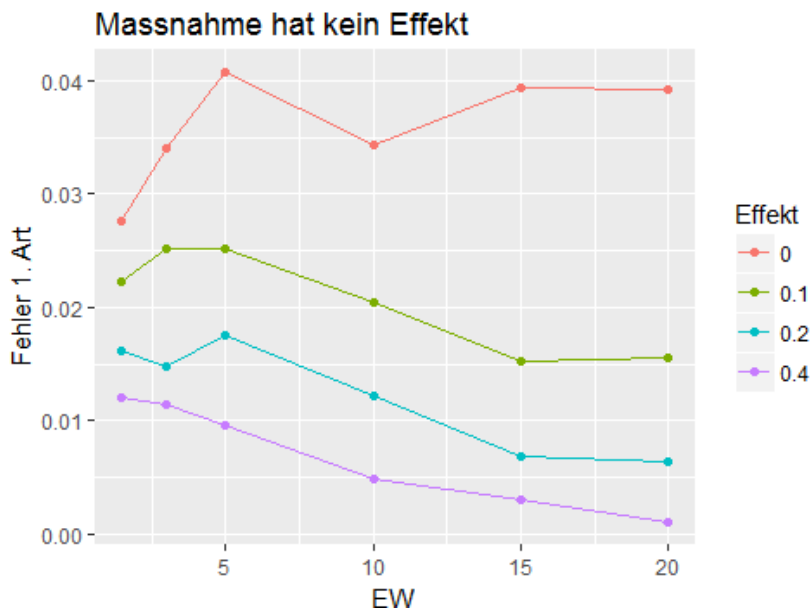


Abb. 21 Testergebnisse bei der Überprüfung der Methodik zur Wirkungsanalyse, Massnahme hat keinen Effekt

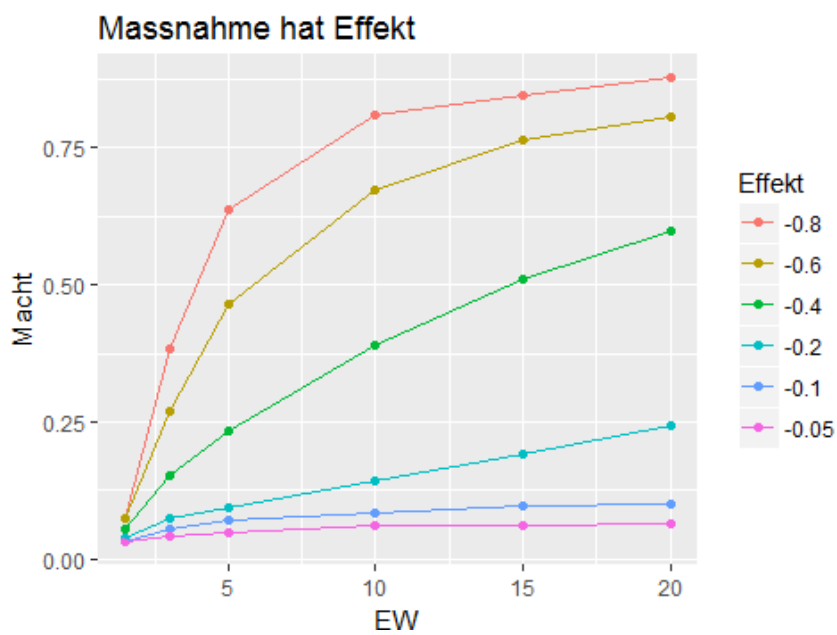


Abb. 22 Testergebnisse bei der Überprüfung der Methodik zur Wirkungsanalyse, Massnahme hat Effekt

R-Code mit Funktionen für die automatische Auswertung

Prototyp für Funktion für Wirkungsanalyse von Massnahmen

```

library(ggplot2)
library(MASS)
library(grid)
library(gridExtra)
library(gridBase)

## func_nb_modell: Prototyp für Funktion zur Analyse und Visualisierung der Massnahmenwirksamkeit
## Mittels Negative-Binomial-Regression werden die 6 Standardmodell ausgewertet. Das beste Modell
## wird
## ausgewählt und die entsprechenden Auswertungen und Visualisierungen werden durchgeführt und aus
## gegeben
## Arguments
## dat: Datenmatrix mit Datenreihen für Unfalljahr und Anzahl Unfaelle (Spaltennamen: Unfalljahr un
## d Unfaelle
## massnahme: Jahr in dem die Massnahme umgesetzt wurde
## until: Bis wann (Jahreszahl) soll die Zeitreihe mit 0-Werten ergänzt werden (optional)
## bevor: Wie viele Jahre vor der Massnahme sollen in der Auswertung berücksichtigt werden (optiona
## l)
## danach: Wie viele Jahre nach der Massnahme sollen in der Auswertung berücksichtigt werden (optio
## nal)
## Text: TRUE/FALSE soll Auswertung neben der Abbildung geschrieben werden (noch nicht graphisch op
## timiert)
## Titel: optionaler Titel für die Abbildung
## x_Achse: optionaler Vektor mit den Werten für die x-Achse
## y_Achse: optionaler Vektor mit den Werten für die y-Achse
## KI_to_mass: TRUE/FALSE sollen Konfidenzintervalle bis zum Jahr der Massnahme verlängert werden (
## noch nicht ausführlich getestet)
## KI_plot: TRUE/FALSE soll zusätzlich eine Abbildung mit dem 95%-Konfidenzintervall für die Massna
## hmenwirkung produziert werden (nur bedingt sinnvoll für Modell ohne Massnahmeneffekt, automatische
## Einschränkung noch nicht implementiert)
func_nb_modell <- function(dat, massnahme, until=NULL, bevor=NULL, danach=NULL, Text=TRUE, Titel=NU
LL, x_Achse=NULL, y_Achse=NULL, KI_to_mass=FALSE, KI_plot=FALSE){
  ## Ergänzen der Zeitreihe
  w <- which(!seq(min(dat$Unfalljahr), max(dat$Unfalljahr),1) %in% dat$Unfalljahr)
  if(length(w)>0) dat <- rbind(dat,
                             data.frame(Unfalljahr=seq(min(dat$Unfalljahr),
                                                         max(dat$Unfalljahr),1)[w],
                                           id=rep(dat$id[1],length(w)),
                                           Unfaelle=rep(0,length(w))))
  if (!is.null(until) & max(dat$Unfalljahr)<until) {
    w_seq <- seq(max(dat$Unfalljahr)+1, until,1)
    dat <- rbind(dat, data.frame(Unfalljahr=w_seq, id=rep(dat$id[1],length(w_seq)),
                                Unfaelle=rep(0,length(w_seq))))
  }
  dat <- dat[order(dat$Unfalljahr),]
  if (!is.null(bevor) & !is.null(danach)){
    dat <- dat[dat$Unfalljahr %in% (massnahme - bevor):(massnahme+danach),]
  }
  ## Ergänzen der Zeitreihe mit einer Indikatorvariable für die Massnahme
  dat$Massnahme <- NA
  dat$Massnahme[dat$Unfalljahr<massnahme] <- "vorher"
  dat$Massnahme[dat$Unfalljahr>massnahme] <- "nachher"
  dat$Massnahme <- factor(dat$Massnahme, levels=c("vorher", "nachher"))
  ## Indizierung der Output-Variablen
  pvalue_massnahme <- NA
  pvalue_trend <- NA
  pvalue_wechsel <- NA
  #col2 <- "bLack"
  dat_model <- dat[complete.cases(dat),]
  ## Evaluierung der Modelle
  if (sum(table(dat$Massnahme)!=0)==1) return(NULL)
  fit1 <- try(glm.nb(Unfaelle~Unfalljahr*Massnahme, data=dat_model))
  if (is(fit1)[1]=="try-error") fit1$aic <- NA
  fit2 <- try(glm.nb(Unfaelle~Unfalljahr+I(pmax(0,Unfalljahr-massnahme)), data=dat_model))
  if (is(fit2)[1]=="try-error") fit2$aic <- NA
  fit3 <- try(glm.nb(Unfaelle~Unfalljahr+Massnahme, data=dat_model))
  if (is(fit3)[1]=="try-error") fit3$aic <- NA
  fit4 <- try(glm.nb(Unfaelle~Massnahme, data=dat_model))
  if (is(fit4)[1]=="try-error") fit4$aic <- NA
  fit5 <- try(glm.nb(Unfaelle~Unfalljahr, data=dat_model))
  if (is(fit5)[1]=="try-error") fit5$aic <- NA

```

```

fit6 <- try(glm.nb(Unfaelle~1, data=dat_model))
if (is(fit6)[1]=="try-error") fit6$aic <- NA
min_Modell <- try(max(which(c(fit1$aic, fit2$aic, fit3$aic, fit4$aic, fit5$aic, fit6$aic)==
  min(c(fit1$aic, fit2$aic, fit3$aic, fit4$aic, fit5$aic, fit6$aic), na.rm=TR
UE))))
if (is(min_Modell)[1]=="try-error" | length(min_Modell)==0 | min_Modell == -Inf) return()
fit <- get(paste("fit", min_Modell, sep=""))
Modelldevianz <- 1-pchisq(fit$null-fit$dev, df=(fit$df.null-fit$df.res))
Residualdevianz <- 1-pchisq(fit$dev, df=(fit$df.res))
Modell_final <- as.character(summary(fit)$call)[2]
col_massnahme <- "black" # Standardfarbe für p-Wert der Massnahme
## p-Wert und Farbe für den Massnahmeneffekt (wird nur bei negativem Massnahmeneffekt ausgegeben,
1-seitiger Test-> p-Wert/2)
if("Massnahmenachher" %in% rownames(summary(fit)$coefficients)){
  pvalue_massnahme <- ifelse(coef(summary(fit))["Massnahmenachher", 1]<0,
    coef(summary(fit))["Massnahmenachher", 4]/2,NA)
  col_massnahme <- ifelse(pvalue_massnahme<=0.05 & !is.na(pvalue_massnahme), "red", "black")
}
## p-Wert für Wechselwirkung (wird nur bei negativem Wechselwirkungsterm ausgegeben)
if("Unfalljahr:Massnahmenachher" %in% rownames(summary(fit)$coefficients)){
  pvalue_wechsel <- ifelse(coef(summary(fit))["Unfalljahr:Massnahmenachher", 1]<0,
    coef(summary(fit))["Unfalljahr:Massnahmenachher", 4]/2,NA)
}
## Für das Modell mit Wechselwirkung wird eine Abschätzung für den p-Wert über die Konfidenzinter-
valle gemacht.
## Nur falls Wechselwirkungsterm negativ
if(min_Modell==1 & !is.na(pvalue_wechsel)){
  pvalue_massnahme <- NA
  vor <- data.frame(Massnahme="vorher", Unfalljahr=massnahme)
  preds_vor <- try(predict(fit, type="link", newdata = vor, se.fit = TRUE))
  nach <- data.frame(Massnahme="nachher", Unfalljahr=massnahme)
  preds_nach <- try(predict(fit, type="link", newdata = nach, se.fit = TRUE))
  if (is(preds_vor)[1!="try-error"){
    v_95 <- exp(preds_vor$fit-1*qnorm(0.95)*preds_vor$se.fit)
    v_90 <- exp(preds_vor$fit-1*qnorm(0.90)*preds_vor$se.fit)
    v_99 <- exp(preds_vor$fit-1*qnorm(0.99)*preds_vor$se.fit)
    v_80 <- exp(preds_vor$fit-1*qnorm(0.80)*preds_vor$se.fit)
    v_70 <- exp(preds_vor$fit-1*qnorm(0.70)*preds_vor$se.fit)
  }
  if (is(preds_nach)[1!="try-error"){
    n_95 <- exp(preds_nach$fit+qnorm(0.95)*preds_nach$se.fit)
    n_90 <- exp(preds_nach$fit+qnorm(0.90)*preds_nach$se.fit)
    n_99 <- exp(preds_nach$fit+qnorm(0.99)*preds_nach$se.fit)
    n_80 <- exp(preds_nach$fit+qnorm(0.80)*preds_nach$se.fit)
    n_70 <- exp(preds_nach$fit+qnorm(0.70)*preds_vor$se.fit)
  }
  if (v_70 - n_70>0) pvalue_massnahme <- "S0b" # keine Überschneidung der 70%-Konfidenzintervalle
  if (v_80 - n_80>0) pvalue_massnahme <- "S0a" # keine Überschneidung der 80%-Konfidenzintervalle
  if (v_90 - n_90>0) pvalue_massnahme <- "S1" # keine Überschneidung der 90%-Konfidenzintervalle
  if (v_95 - n_95>0) pvalue_massnahme <- "S2" # keine Überschneidung der 95%-Konfidenzintervalle
  if (v_99 - n_99>0) pvalue_massnahme <- "S3" # keine Überschneidung der 99%-Konfidenzintervalle
}
col_Trend <- "black"
if("Unfalljahr" %in% rownames(summary(fit)$coefficients)){
  pvalue_trend <- coef(summary(fit))["Unfalljahr", 4]
  col_Trend <- ifelse(pvalue_trend<=0.05, "red", "blue")
}
## Pearson-Residuen
dat_fit <- data.frame(pearson=residuals.glm(fit, type="pearson")>=2,
  row.names=attr(fit$qr$qr, "dimnames")[[1]])
## Erwartungswert
dat_fit$expect <- predict(fit, type="response")
## Berechnung der Konfidenzintervalle
expect1 <- data.frame(Massnahme=c(rep("vorher",2)), Unfalljahr=(massnahme-1):massnahme,
  Unfaelle=dat$Unfaelle[dat$Unfalljahr %in%
    (massnahme-1):massnahme])
expect2 <- data.frame(Massnahme=c(rep("nachher",2)), Unfalljahr=massnahme:(massnahme+1),
  Unfaelle=dat$Unfaelle[dat$Unfalljahr %in%
    massnahme:(massnahme+1)])
expect1$expect <- predict(fit, type="response", newdata = expect1)
expect2$expect <- predict(fit, type="response", newdata = expect2)
preds <- try(predict(fit, type="link", se.fit = TRUE))
if (is(preds)[1!="try-error"){
  dat_fit$low <- exp(preds$fit-qnorm(0.975)*preds$se.fit)
  dat_fit$upp <- exp(preds$fit+qnorm(0.975)*preds$se.fit)
}

```

```

}
## Verbinden der Originaldaten mit den berechneten Daten
dat$rownames <- rownames(dat)
dat_fit$rownames <- rownames(dat_fit)
dat_total <- merge(x=dat, y=dat_fit, by="rownames", all=TRUE)
## Option zur Berechnung der Konfidenzintervalle im Bereich der Massnahme
if(KI_to_mass | KI_plot){
  preds_exp1 <- try(predict(fit, type= "link",
                           newdata= expect1,
                           se.fit = TRUE))
  preds_exp2 <- try(predict(fit, type= "link",
                           newdata= expect2,
                           se.fit = TRUE))
  expect1$low <- exp(preds_exp1$fit-qnorm(0.975)*preds_exp1$se.fit)
  expect1$upp <- exp(preds_exp1$fit+qnorm(0.975)*preds_exp1$se.fit)
  expect2$low <- exp(preds_exp2$fit-qnorm(0.975)*preds_exp2$se.fit)
  expect2$upp <- exp(preds_exp2$fit+qnorm(0.975)*preds_exp2$se.fit)
}
## anpassen der Optionen für die Visualisierung
if (is.null(Titel)) Titel <- paste (dat$id, "Massnahme", massnahme, sep=" ")
if (is.null(x_Achse)) x_Achse <- min(dat_total$Unfalljahr):max(dat_total$Unfalljahr)
## Visualisierung
p <- ggplot(dat_total, aes(x=Unfalljahr, y=Unfaelle)) +
  geom_line(data=dat_total[dat_total$Unfalljahr<massnahme,], aes(x=Unfalljahr, y=Unfaelle)) +
  geom_point() +
  geom_point(data=dat_total[dat_total$Unfalljahr==massnahme,],
             aes(x=Unfalljahr, y=Unfaelle), col="grey") +
  scale_colour_manual(values = c("black", "red"), guide = FALSE) +
  geom_line(aes(y=expect), color="blue")+
  geom_line(data=expect1, aes(y=expect, x=Unfalljahr), col="blue", linetype = 2)+
  geom_line(data=expect2, aes(y=expect, x=Unfalljahr), col="blue", linetype = 2)+
  #geom_ribbon(aes(ymin=low,ymax=upp), fill="grey", alpha="0.5") +
  geom_vline(aes(xintercept =massnahme), col="orange", linetype=2) +
  scale_x_continuous(breaks=x_Achse) +
  ggtitle(Titel) # Base plot
## optionale Anpassung der y_Achse
if (!is.null(y_Achse)){
  p <- p +
    scale_y_continuous(breaks=y_Achse, expand = c(0, 0), limits=range(y_Achse))
}
## optionale Ergänzung mit Platz für Auswertungstext
if (Text){
  p <- p + theme(plot.margin = unit(c(1,15,2,2), "lines"))
}
## Verbinden der Messwerte nach der Massnahme, falls genügend Messwerte vorhanden
if (sum(dat_total$Unfalljahr>massnahme)>1){
  p <- p +
    geom_line(data=dat_total[dat_total$Unfalljahr>massnahme,], aes(x=Unfalljahr, y=Unfaelle))
}
## Ergänzen der Konfidenzintervalle (wenn Kalkulation möglich)
if (is(preds)[1]!="try-error"){
  p <- p+
    geom_ribbon(aes(ymin=low,ymax=upp), fill="grey", alpha="0.5")
}
## optionale Ergänzung der Konfidenzintervalle um das Massnahmenjahr
if (KI_to_mass){
  p <- p+
    geom_ribbon(data=expect1, aes(x=Unfalljahr,ymin=low,ymax=upp),
              fill="grey", alpha="0.25")+
    geom_ribbon(data=expect2, aes(x=Unfalljahr,ymin=low,ymax=upp),
              fill="grey", alpha="0.25")
}
## optionale Ergänzung mit Auswertungstext
if (Text){
  text_legend <- c(Modell_final, paste("p-Wert Massnahme:", round(pvalue_massnahme,3)),
                  paste("p-Wert Trend:", round(pvalue_trend,3)),
                  paste("p-Wert Wechselwirkung:", round(pvalue_wechsel,3)),
                  paste("Modelldevianz:", round(Modelldevianz,3)),
                  paste("Residualdevianz:", round(Residualdevianz,3)))
  col_legend <- c("black", col_massnahme, rep("black", 4))
  y_max <- ifelse(is(preds)[1]!="try-error",
                 max(c(floor(dat_fit$upp[!is.infinite(dat_fit$upp)]),dat$Unfaelle), na.rm=TRUE),
                 max(dat$Unfaelle))
  xmax_wert <- ifelse(!is.null(bevor) & !is.null(danach),massnahme+danach, 2015)
  for (j in 1:length(text_legend)){

```



```

    p <- p + annotation_custom(
      grob = textGrob(label = text_legend[j], hjust = 0, gp = gpar(cex = 1, col=col_legend[j])),
      ymin = y_max/6*(7-j),
      # Vertical position of the textGrob
      ymax = y_max/6*(7-j),
      xmin = xmax_wert,          # Note: The grobs are positioned outside the plot area
      xmax = xmax_wert)
  }
}
## Plot-Aufbereitung
gt <- ggplot_gtable(ggplot_build(p))
gt$layout$clip[gt$layout$name == "panel"] <- "off"
## Zusätzlicher optionaler Plot mit 95%-Konfidenzintervall für Massnahmenwirksamkeit
if (KI_plot){
  abs <- expect1[expect1$Unfalljahr==massnahme, "expect"]-expect2[expect2$Unfalljahr==massnahme,
"expect"]
  grenzen <- c(expect1[expect1$Unfalljahr==massnahme, "upp"]-
    expect2[expect2$Unfalljahr==massnahme, "low"],
    expect1[expect1$Unfalljahr==massnahme, "low"]-
    expect2[expect2$Unfalljahr==massnahme, "upp"])
  dat_KI <- data.frame(abs, grenzen)
  p2 <- ggplot(dat_KI, aes(x=1, y=grenzen)) +
    geom_line(size=2.5)+
    #geom_bar(stat="identity", position="identity") +
    coord_flip()+
    ggtitle(Titel2)+
    ylab("")+
    xlab("")+
    xlim(c(0.9,1.1))+
    ylim(c(-1,1)*c(max(abs(grenzen))*1.5))+
    geom_segment(aes(x = 0.9, y = 0, xend = 1.1, yend = 0), col="grey", size=1.5)+
    geom_segment(aes(x = 0.99, y = abs, xend = 1.01, yend = abs), colour = "red", size=2)+
    theme(axis.ticks.y=element_blank(),
    axis.text.y=element_blank())
  gt2 <- ggplot_gtable(ggplot_build(p2))
  gt2$layout$clip[gt2$layout$name == "panel"] <- "off"
  return(list(gt, min_Modell, pvalue_massnahme, pvalue_wechsel, Modell_final, gt2))
}
return(list(gt, min_Modell, pvalue_massnahme, pvalue_wechsel, Modell_final))
}

```

R-Code: Prototyp für Funktionen zum Zeitreihen-Monitoring

Funktion zur Visualisierung eines Zeitreihenmodells

```

## func_zeitreihe: Prototyp für Funktion zur Visualisierung einer Zeitreihe
## Arguments
## fit: Zeitreihenmodell (z.B. fit <- glm.nb(Unfälle~Jahr, data=dat)

fun_zeitreihe <- function(fit){
  ## Daten aus fit
  dat <- fit$model
  ## Pearson Residuen für Ausreisser
  dat_fit <- data.frame(pearson=residuals.glm(fit, type="pearson")>2,
    row.names=attr(fit$qr$qr, "dimnames")[[1]])
  dat_fit$col <- 1
  dat_fit$col[dat_fit$pearson] <- 2
  ## Anpassung der Farben wenn mehrer Ausreisser hintereinander
  r.grexp <- greexpr("22+", paste(dat_fit$col, collapse=""))
  if (r.grexp[[1]][1]!=-1){
    for (i in 1:length(r.grexp[[1]]))
    {
      dat_fit$col[(r.grexp[[1]][i]+1):
        (r.grexp[[1]][i]+
          attr(r.grexp[[1]],"match.length")[i]-1)] <- 3
    }
  }
  dat_fit$col <- factor(dat_fit$col, levels=c("1", "2", "3"))
  ## Erwartungswert
  dat_fit$expect <- predict(fit, type="response")
  ## Berechnung Konfidenzintervall für Erwartungswert
  preds <- predict(fit, type="link", se.fit = TRUE)
  dat_fit$low <- exp(preds$fit-qnorm(0.975)*preds$se.fit)
  dat_fit$upp <- exp(preds$fit+qnorm(0.975)*preds$se.fit)
  dat_fit$Jahr <- fit$model$Jahr
  dat_total <- merge(x=dat, y=dat_fit, by="Jahr", all=TRUE)
}

```

```

Modelldevianz <- 1-pchisq(fit$null-fit$dev, df=(fit$df.null-fit$df.res))
Residualdevianz <- 1-pchisq(fit$dev, df=(fit$df.res))
## Visualisierung
p <- ggplot(dat_total, aes(x=Jahr, y=Unfälle)) +
  geom_line() +
  geom_point(aes(colour=col)) +
  scale_colour_manual(values = c("black", "orange", "red"), guide = FALSE) +
  geom_line(aes(y=expect))+
  scale_x_continuous(breaks=min(dat_fit$Jahr):max(dat_fit$Jahr)) +
  geom_ribbon(aes(ymin=low,ymax=upp), fill="grey", alpha="0.5")
return(p)
}

```

R-Code: Prototyp für Funktionen zum Zeitreihen-Monitoring

Funktion zur Bestimmung des Bootstraps-Vorhersageintervall

```

## boot_pi: Prototyp für Funktion zur Bestimmung des Bootstraps-Vorhersageintervall für neuen Wert in Zeitreihe
## Arguments
## fit: Zeitreihenmodell (z.B. fit <- glm.nb(Unfälle~Jahr, data=dat)
## pdata: data.frame mit Jahrwert für welchen das Vorhersageintervall bestimmt werden soll (z.B. data.frame(Jahr=..
.)
## n: Anzahl Bootstrap-Schritte
## p: Level des Vorhersageintervalls

boot_pi <- function(fit, pdata, n, p=0.95) {
  odata <- fit$model
  lp <- (1 - p) / 2
  up <- 1 - lp
  boot_y <- rep(NA,n)
  for (i in 1:n){
    bdata <- odata[sample(seq(nrow(odata)), size = nrow(odata),
      replace = TRUE), ]
    bpred <- predict(update(fit, data = bdata), type = "response",
      newdata = pdata)
    boot_y[i] <- rnbinom(length(bpred), mu=bpred, size = summary(fit)$theta)
  }
  boot_ci <- quantile(boot_y, c(lp, up))
  return(data.frame(pred = predict(fit, newdata = pdata, type = "response"), lower = boot_ci[1], upper = boot_ci[2]
  ))
}

```

IV Entwurf Checkliste für das Zeitreihen-Monitoring

Folgende Punkte sollen durch die Checkliste abgedeckt werden:

- Hinweis zur Selbstkontrolle für allfällige nicht log-lineare Trends.
- Frage nach relevanten allgemeinen Verkehrsmaßnahmen in der Untersuchungsperiode, welche allenfalls den Trend verändert haben könnten.
- Frage nach Gefahren für mögliche Korrelationen in der Zeitreihe (z.B. Effekte von Unfällen oder Baustellen).
- Frage nach Brüchen in der Zeitreihe. Treten solche auf, ist der Ansatz nicht mehr verwendbar und die Datengrundlage zu überprüfen.

Einführung

Anhand der Zeitreihenanalyse soll für eine jährliche Abfolge des Unfallgeschehens gezeigt werden,

- wie sich das Unfallgeschehen insgesamt über den berücksichtigten Zeitraum in der Tendenz verändert hat und
- ob das aktuelle Unfallgeschehen diesem längerfristigen Trend entspricht oder davon abweicht?

Die Zeitreihenanalyse dient als eine Art Frühwarnsystem für auffällige Veränderungen im Unfallgeschehen. Das bedeutet, dass eine Überprüfung stattfindet, ob das aktuelle Unfallgeschehen von der in den Vorjahren längerfristig beobachteten Entwicklung des Unfallgeschehens abweicht. In diesem Fall wird als Resultat der Zeitreihenanalyse eine Warnung an den Sicherheitsverantwortlichen angezeigt, mit dem Hinweis, das aktuelle Unfallgeschehen tiefergehend zu analysieren und die Ursachen der Abweichung vom längerfristigen Trend zu erkunden.

Die Zeitreihenanalyse eignet sich eher für grossräumigere Untersuchungsperimeter des aggregierten Unfallgeschehens statt für einzelne Streckenabschnitte. Grund dafür ist, dass eine minimale jährliche Unfallhäufigkeit erforderlich ist, um plausible und signifikante Aussagen treffen zu können. Zum Beispiel zur Analyse der Entwicklung der Unfälle mit Schwerverletzten und Getöteten im Kanton oder in der Stadt Zürich.

Vor der Anwendung

Zu prüfende Aspekte vor der Anwendung des Tools:

- Auswahl des Analysekollektivs → Wurde sinnvolle Auswahl der zu analysierenden Unfälle getroffen?
Hinweis: Je detaillierter die Analyse, umso geringer die Fallzahlen, umso geringer die Aussagekraft und Verwendbarkeit der Ergebnisse.
- Auswahl des Untersuchungsperimeters → Wurde Perimeter ausreichend gross gewählt?
Hinweis: Je kleiner der Untersuchungsperimeter, umso geringer die Fallzahlen, umso geringer die Aussagekraft und Verwendbarkeit der Ergebnisse.
- Verfügbare Datengrundlage → Über welchen Zeitraum und in welcher Konsistenz liegen die Unfalldaten vor?
Hinweis: Falls die Zeitreihe nicht lang genug und/oder nicht konsistent ist (Sprünge oder Ausreisser)

Zu prüfende Aspekte zum Untersuchungszeitraum und Unfallhäufigkeiten:

- Untersuchungszeitraum < 5 Jahre → Datengrundlage nicht ausreichend.
- Untersuchungszeitraum ≥ 5 Jahre → Aussagekraft der Zeitreihenanalyse hängt stark von Anzahl der jährlichen Unfallereignisse ab.
- Wie viele Unfälle ereigneten sich minimal und maximal auf dem Untersuchungsperimeter?

Ziel dieser Frage liegt darin, dass herausgefunden werden soll, ob die jährliche Fallzahl ausreichend gross ist, um eine sinnvolle Trendanalyse durchzuführen.

Wichtige Stellschrauben und Fragen sind dann:

- den Untersuchungsperimeter zu erweitern (z.B. Getötete im Kanton Zürich nicht auf einem bestimmten Streckenabschnitt)
- die Unfallgruppe geeignet auszuwählen (z.B. Unfälle mit Getöteten eher zu selten)
- Liegt im Zeitraum der Zeitreihe im Untersuchungsperimeter oder innerhalb der die Daten erhebenden Organisation ein exogener Einfluss vor, der einen mutmasslichen nicht-kausalen Einfluss auf die erfassten Werte haben kann (z.B. Änderungen in der Systematik der Datenerhebung)?
- Wurden in der oben genannten Untersuchungsperiode in dem zu analysierenden Gebiet oder Streckenabschnitt allgemeine bauliche oder organisatorische Verkehrsmassnahmen durchgeführt, die einen Einfluss auf die Entwicklung des Unfallgeschehens bewirken können?
- Kann durch andere externe Entwicklungen das Verkehrs- und Unfallgeschehen auf dem analysierten Gebiet oder Streckenabschnitt beeinflusst worden sein? Z.B. Bau eines Einkaufszentrums in der Nähe mit folglich zunehmendem Verkehr oder Bau einer Umfahrung mit folglich abnehmendem Verkehr?

Bei der Interpretation der Ergebnisse

- Entspricht die graphische Darstellung der Ergebnisse den Erwartungen?
- Hinweis an Anwender zur Selbstkontrolle der graphischen Darstellung. Entspricht die eingezeichnete Trendfunktion einer repräsentativen Entwicklungskurve der eingezeichneten Datenpunkte?
- Gibt es einzelne deutliche Ausreisser? Wenn ja, muss eine Warnung erfolgen.
- Sind diese durch exogene Einflüsse erklärbar?
- Ist die zu analysierende Zeitreihe durchgängig? Das heisst, gibt es einen Bruch, der eine Niveauänderung bewirkt? Wenn ja, muss eine Warnung erfolgen.

V Entwurf Checkliste für die Wirkungsanalyse

Einführung

Die Methodik zur Evaluation der Massnahmenwirkungen dient dazu, dem Sicherheitsverantwortlichen nach Umsetzung einer Massnahme auf einem bestimmten Streckenabschnitt oder einer Kreuzung einen objektiven, statistisch abgestützten Hinweis auf die Wirksamkeit dieser Massnahme im Sinne des reduzierten Unfallgeschehens zu geben.

Die Ausgangslage ist häufig verknüpft mit der rechtlichen Verpflichtung des Bundes und der Kantone, Unfallschwerpunkte in ihrem Verantwortungsbereich sanieren zu müssen.

Die Methodik dient dazu, nach Umsetzung solcher Sanierungsmassnahmen die tatsächliche Wirkung zu kontrollieren und investierte Mittel zu rechtfertigen. Gleichzeitig können anhand der Ergebnisse mittels Metaanalysen wichtige Erkenntnisse für zukünftige Massnahmenentscheidungen gewonnen werden.

Vor der Anwendung

Zu prüfende Aspekte vor der Anwendung des Tools zur Evaluation der Massnahmenwirkung:

- Auswahl des Untersuchungsperimeters → Wurde Perimeter ausreichend gross gewählt, um sämtliche Einflüsse der Massnahme einzuschliessen? Z.B. Rückstausituationen und Auffahrkollisionen bei Kreuzungen? Hinweis: Der Untersuchungsperimeter sollte so klein wie möglich, aber auch so gross wie nötig gewählt werden. Ersteres, um die beobachtbaren Wirkungen so eng wie möglich der durchgeführten Massnahme zuordnen zu können, letzteres, um möglichst viele Unfälle und massnahmenbedingte Veränderungen ausreichend zu berücksichtigen.
- Verfügbare Datengrundlage → Über welchen Zeitraum und in welcher Konsistenz liegen die Unfalldaten vor? Hinweis: Je länger der vorhandene Untersuchungszeitraum vor und nach einer Massnahme ist, umso aussagekräftiger werden die Ergebnisse.
- Zeitpunkt der Massnahmenauslösung?
- Zeitpunkt der Massnahmenumsetzung (Start)?
- Zeitdauer der Massnahmenumsetzung?
- Wurden die Unfälle vorher und nachher auf exakt dem gleichen Perimeter erfasst?
- Wurden die Unfälle vorher und nachher exakt nach der gleichen Methodik erfasst?
- Ist es auszuschliessen, dass konzeptionelle, systematische und exogene Faktoren einen unterschiedlichen Einfluss vorher und nachher auf die Unfalldaten?
- Expositionsgrössen (DTV für MIV, Fuss- und Veloverkehr), können zum Teil in der Methodik berücksichtigt werden, dienen aber auch als Interpretationshilfe der Ergebnisse.
- Eingabe: Was war die Motivation für die Massnahme? Wenn «hohe Unfallzahlen» angegeben werden, dann Warnung, dass Regression to the mean eintreten kann.

Bei der Interpretation der Ergebnisse

Repräsentiert die gezeigte Ergebnisgraphik aus Sicht des Nutzers die Entwicklung angemessen?

VI Beispiele zur Anwendung des Zeitreihen-Monitorings

Nachfolgend wird die Anwendung der Methodik des Zeitreihen-Monitorings an Rechenbeispielen erläutert. Die Beispiele basieren auf Daten für den Kanton Zürich für Unfälle innerorts mit überhöhter Geschwindigkeit. Die Daten wurden vom Kanton Zürich für beispielhafte Analysen und Anwendungen im Rahmen des Forschungsprojekts zur Verfügung gestellt. Sie stammen aus dem Zentralen Unfallregister DWH VU des ASTRA

VI.1 Beispiel 1

Ausgangslage

In den letzten Jahrzehnten sind im Bereich Strassenverkehr diverse Bemühungen angestellt worden, um Fahrgeschwindigkeiten innerorts zu reduzieren. Dies einerseits mit dem Ziel, die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Andererseits werden Reduktionen von Lärm- und Stoffbelastungen angestrebt. Ein Blick in die Statistiken zeigt die Tendenz. Gemäss (bfu, Status 2017) wurden in den 80er Jahren Durchschnittsgeschwindigkeiten von 49 km/h beobachtet. 2010 sind diese auf 44 km/h gesunken. Vielleicht entscheidender aus Sicht der Verkehrssicherheit sind die Entwicklungen im Fahrverhalten. Im Jahr 1980 sind 42% der Fahrzeuglenker über der jeweils geltenden Geschwindigkeitsbegrenzung gefahren. Mit 23% hat sich dieser Anteil im Jahr 2010 fast halbiert.

Man setze sich nun in die Rolle des Sicherheitsverantwortlichen im Kanton Zürich. Dieser hat z.T. auch selber Anstrengungen gemacht, die Geschwindigkeiten innerorts in seinem Zuständigkeitsbereich zu senken (z.B. mit der Realisierung von Tempo 30 Zonen). Er ist zuversichtlich, dass die Fahrzeuge im Durchschnitt heute langsamer unterwegs sind. Er möchte nun der Frage nachgehen, welche Entwicklungen das Unfallgeschehen im Zusammenhang mit überhöhter Geschwindigkeit in den letzten Jahren gezeigt hat.

Durchführung der Analyse

Zuerst werden die verfügbaren Daten dargelegt und auf die Eignung für die Untersuchung geprüft. Als repräsentativ für die Fragestellung werden innerorts Unfälle mit Hauptursache: «Überschreiten der gesetzlichen oder signalisierten Höchstgeschwindigkeit» ausgewählt. Der Fokus des Sicherheitsverantwortlichen liegt auf seinem Zuständigkeitsbereich. Das heisst die Analyse beschränkt sich auf Unfälle im Kanton Zürich. In der MISTRA-Fachapplikation VUGIS stehen dem Sicherheitsverantwortlichen umfangreiche Daten zu einzelnen Unfällen. Es wird ein Analysedatensatz von rund 5'000 Unfällen im Zeitraum 2003 – 2016 ausgewählt.

Der Untersuchungszeitraum weist keine Unterbrüche auf und ist deutlich grösser als das Minimum von 3 Jahren. Mit 13 Jahren ist er aber so gross, dass weitere externe Entwicklungen im Verkehrs- und Unfallgeschehen die Analyseergebnisse beeinflussen könnten. Diese Möglichkeit wird bei der späteren Interpretation der Ergebnisse im Auge behalten.

Der Sicherheitsverantwortliche beschliesst, die Analyse anhand von der absoluten Anzahl an Unfällen pro Jahr durchzuführen, da für ihn zuerst keine saisonalen Schwankungen oder andere Blickwinkel im Vordergrund stehen. Zu einem späteren Zeitpunkt kann er eine differenziertere Analyse in Betracht ziehen. Im vorliegenden Fall variieren die Unfallzahlen zwischen etwa 250 und 630 Unfällen pro Jahr. Der Datensatz ist ausreichend gross, um eine aussagekräftige Trendanalyse durchführen zu können.

In der Analyseumgebung (IT-Anwendung etc.) werden die relevanten Daten abgerufen, die Applikation gestartet und die Ergebnisse erzeugt. Der Modelloutput, der dabei im Hintergrund erzeugt wird, ist nachfolgend anhand des R-Codes dargestellt:

```

## Call:
## glm.nb(formula = Unfälle ~ Jahr, data = dat, init.theta = 22.73321806,
##       link = log)
##
## Deviance Residuals:
##      Min        1Q    Median        3Q        Max
## -1.3010  -0.5677  -0.2949   0.1766   2.9550
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept) 100.70372   28.83586   3.492 0.000479 ***
## Jahr        -0.04718    0.01435  -3.288 0.001009 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for Negative Binomial(22.7332) family taken to be 1)
##
##      Null deviance: 24.341  on 13  degrees of freedom
## Residual deviance: 14.000  on 12  degrees of freedom
## AIC: 167.2
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 1
##
##
##              Theta: 22.73
##              Std. Err.: 9.03
##
## 2 x log-likelihood: -161.203

```

Resultate der Analyse

Die graphische Repräsentation des Zeitreihen-Monitorings sowie die für den Anwender aufbereiteten numerischen Resultate der Analyse sind in Abb. 23 dargestellt.

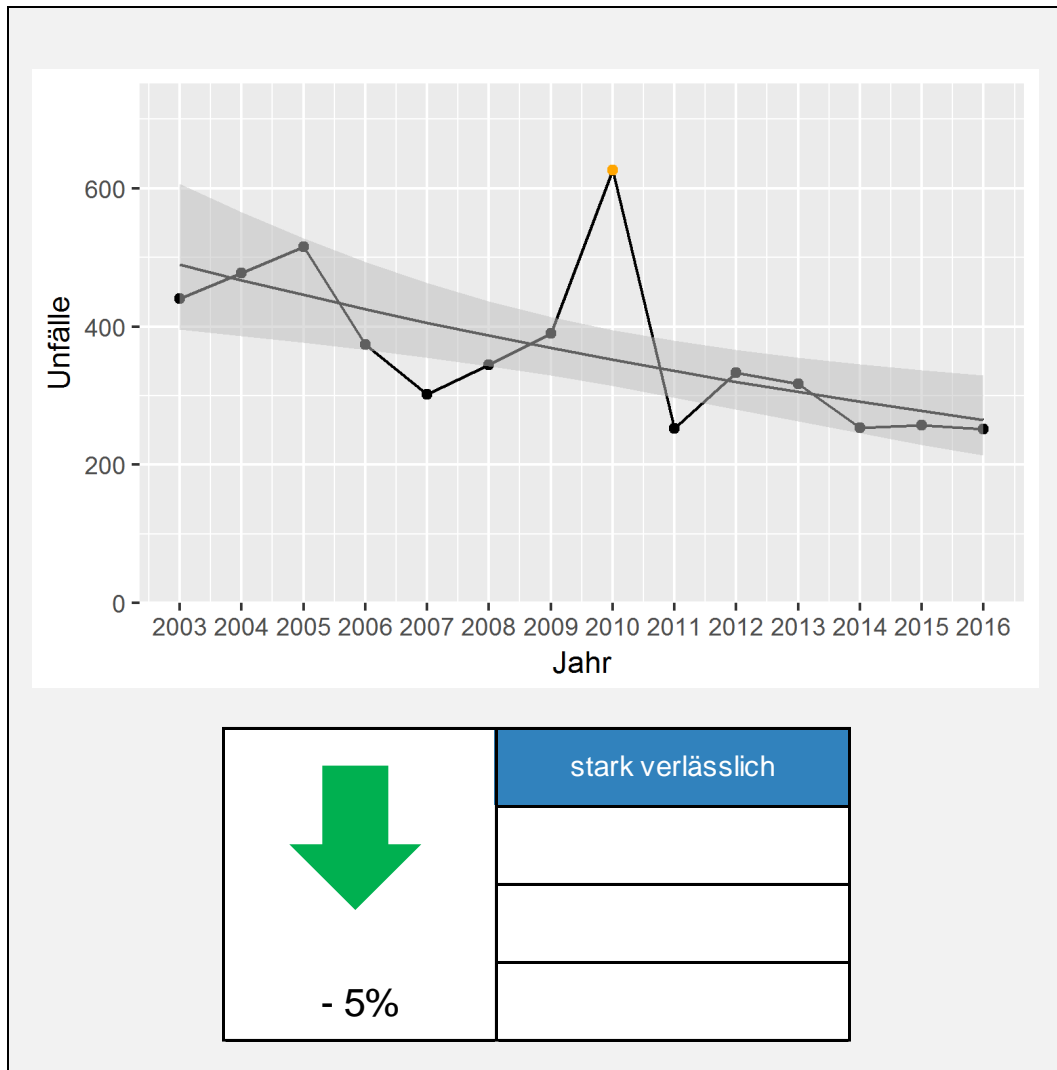


Abb. 23 Oben: Zeitliche Entwicklung der Unfallhäufigkeiten mit Trendlinie und Konfidenzintervall. Unten: grüner Pfeil illustriert die aus Sicht Verkehrssicherheit positive Abwärtsentwicklung des Unfallgeschehens mit einer mittleren Abnahme von 5% der Unfälle pro Jahr. Die dunkelblaue Farbstufe indiziert eine hohe statistische Signifikanz der Trendentwicklung und somit eine starke Verlässlichkeit der Resultate

Die Ergebnisdarstellung liefert folgende Erkenntnisse:

- Die untersuchte Zeitreihe wird auf eine veranschaulichte Art und Weise abgebildet. Neben den einzelnen Datenpunkten wird die Trendlinie mit dem 95%-Konfidenzintervall dargestellt. Der graue Bereich visualisiert dabei die Unsicherheiten bei der Ermittlung der Trendlinie.
- Optisch wird ein klar abnehmender Trend erkannt. Dies wird auch mit dem grünen, nach unten zeigenden Pfeil bestätigt.
- Mit der dunkelblauen Farbstufe wird signalisiert, dass der aus Sicht der Verkehrssicherheit positive Trend statistisch gesehen hochsignifikant ist. Das heisst, die Resultate gelten als stark verlässlich und es ist sehr unwahrscheinlich, dass der beobachtete Trend zufällig entstanden ist.
- Die Entwicklung der abnehmenden Unfallzahlen kann über den Exponentialwert des Regressionskoeffizienten quantifiziert werden. Demnach beträgt die geschätzte jährliche Abnahme der absoluten Unfallhäufigkeit -5% pro Jahr $[=1-\exp(-0.04718)]$. Dieser Wert ist ebenfalls in der Abbildung (unter dem Pfeil) dargestellt.
- Im Jahr 2010 wurden viel mehr Unfälle erfasst als in den restlichen Jahren. Der entsprechende Datenpunkt ist orange gefärbt. Damit wird signalisiert, dass er im Rahmen der Analyse als Ausreisser ausgewiesen worden ist. Hier wird der Anwender

in die Pflicht genommen, möglichen Gründen dafür nachzugehen: Im vorliegenden echten Praxisbeispiel wurden im Jahr 2010 Änderungen in der Methodik der Unfallaufnahme eingeführt. In den Anfangsphasen war die neue Erfassungsmethode noch teilweise fehleranfällig. Dies hat zu einer nicht konsistenten Zuordnung von bestimmten Unfallattributen geführt. Im Folgejahr konnte das Vorgehen korrigiert werden. In dieser Hinsicht stellt 2010 ein Übergangsjahr dar, in dem die Datenerhebung gewisse Mängel aufweist. Der vorliegende Ausreisser ist höchst wahrscheinlich darauf zurückzuführen.

Ergebnisaussage

Die Daten mit überhöhter Geschwindigkeit innerorts im Kanton Zürich weisen stark verlässlich auf einen Trend von abnehmenden Unfallzahlen hin. Die Entwicklungen der letzten 13 Jahre zeigen, dass die erwartete absolute Unfallhäufigkeit im Mittel jährlich rund 5% zurückgegangen ist.

Diskussion

Im vorliegenden Beispiel waren die Ergebnisse der Analyse eindeutig. Zu berücksichtigen ist dabei aber auch, dass die Länge der Zeitreihe einen massgeblichen Einfluss darauf hat, wie verlässlich ein Trend im jährlichen Unfallgeschehen ausgewiesen werden kann. Um den Einfluss des Untersuchungszeitraums zu erläutern, wird die Analyse erneut durchgeführt – einmal für eine verkürzte Zeitreihe von 10 Jahren und einmal für 5 Jahre. Für erstere resultiert im Hintergrund folgender Modelloutput:

```
##
## Call:
## glm.nb(formula = Unfälle ~ Jahr, data = dat[5:14, ], init.theta = 17.39618904,
##   link = log)
##
## Deviance Residuals:
##   Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.2456  -0.5372  -0.1993   0.1547   2.5415
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept) 110.70783   54.50560   2.031  0.0422 *
## Jahr        -0.05216    0.02710  -1.925  0.0543 .
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for Negative Binomial(17.3962) family taken to be 1)
##
##   Null deviance: 13.3648 on 9 degrees of freedom
## Residual deviance: 9.9952 on 8 degrees of freedom
## AIC: 121.8
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 1
##
##              Theta: 17.40
##             Std. Err.: 8.05
##
## 2 x log-likelihood: -115.805
```

Die Ergebnisse sind in Abb. 24 dargestellt.

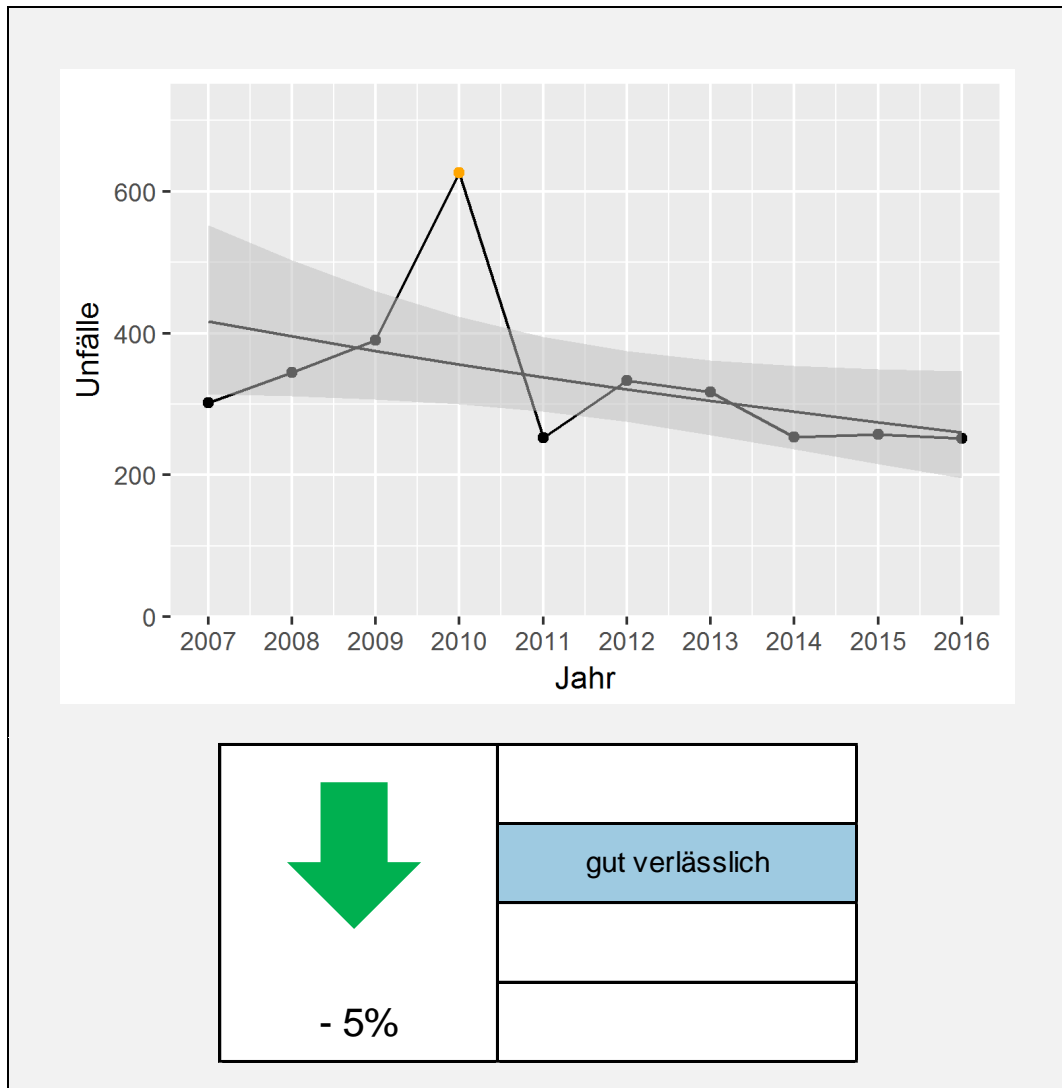


Abb. 24 Zeitreihe und Resultate von Unfällen mit überhöhter Geschwindigkeit innerorts im Kanton Zürich, Untersuchungszeitraum 10 Jahre

Der Vergleich der Abb. 24 mit den Ergebnissen für die längere Zeitreihe in Abb. 23 liefert folgende Erkenntnisse:

- Visuell ist der gleiche abnehmende Trend erkennbar. Dies wird mit dem grünen Pfeil bestätigt. Die Entwicklungen in den absoluten jährlichen Unfallhäufigkeiten werden ebenso mit einer durchschnittlichen Abnahme von -5% pro Jahr ausgewiesen [=1-exp(-0.05216)].
- Die Unsicherheiten bei der Trendanalyse haben jedoch aufgrund der verkürzten Zeitreihe zugenommen. Dies wird einerseits anhand der grösseren Bandbreite des 95%-Konfidenzintervall sichtbar. Andererseits gelten die Ergebnisse nur noch als gut verlässlich (zweithöchste Signifikanzkategorie).
- Somit hat die Beschränkung auf 10 Untersuchungsjahre dazu geführt, dass sich das Signifikanzniveau des Trends um eine Verlässlichkeit-Stufe reduziert hat.

Die Ergebnisse für die Analyse einer Zeitreihe von 5 Jahren sind in Abb. 25 dargestellt. Der Modelloutput liefert folgende Werte:

```
##
## Call:
## glm.nb(formula = Unfälle ~ Jahr, data = dat[9:14, ], init.theta = 125.8932626,
## link = log)
##
## Deviance Residuals:
##      9      10      11      12      13      14
## -1.5472  1.3113  1.1306 -0.6572 -0.2630 -0.1536
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept) 69.09942  51.74134  1.335  0.182
## Jahr        -0.03152   0.02570 -1.227  0.220
##
## (Dispersion parameter for Negative Binomial(125.8933) family taken to be 1)
##
## Null deviance: 7.3716 on 5 degrees of freedom
## Residual deviance: 5.9160 on 4 degrees of freedom
## AIC: 63.638
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 1
##
##              Theta:          126
##            Std. Err.:          104
##
## 2 x log-likelihood:          -57.638
```

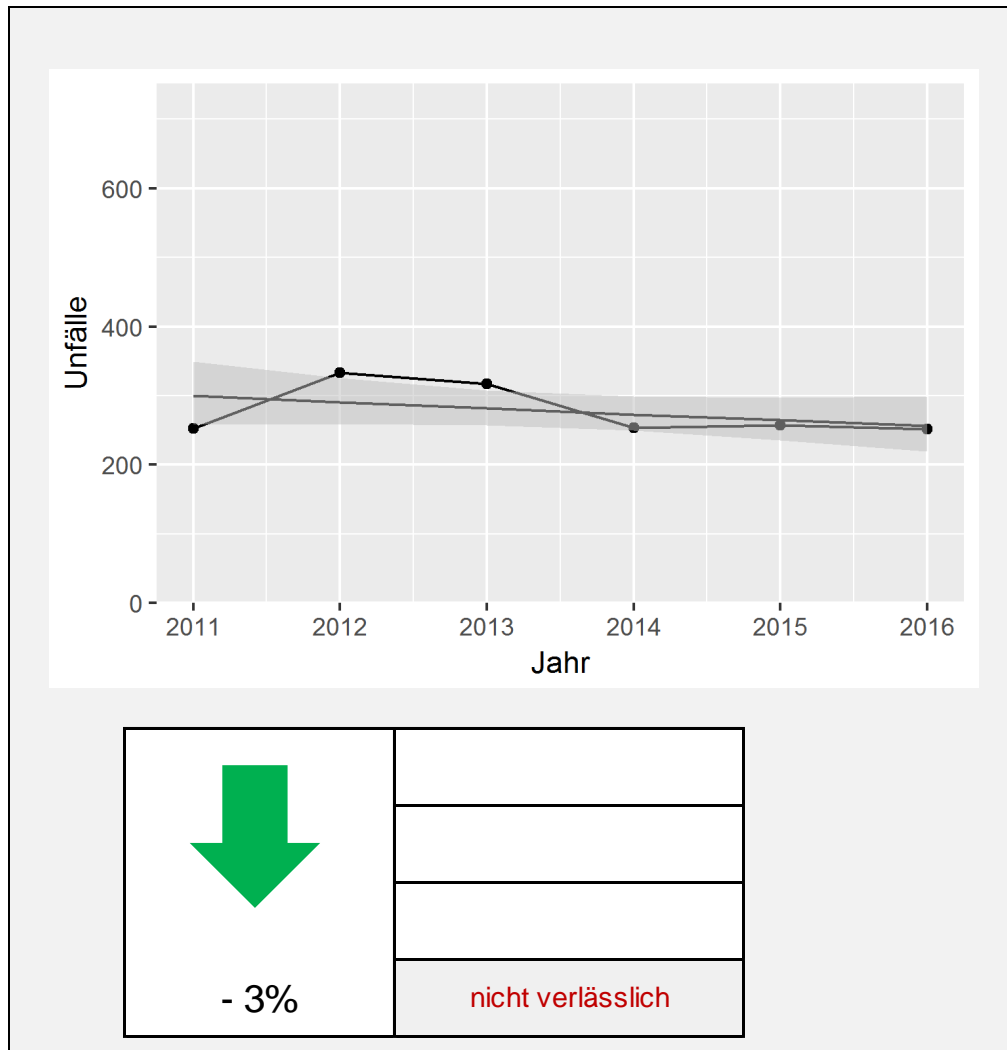


Abb. 25 Zeitreihe und Resultate von Unfällen mit überhöhter Geschwindigkeit innerorts im Kanton Zürich, Untersuchungszeitraum 5 Jahre

Die Analyseergebnisse aus der Abb. 25 liefern folgende Hinweise:

- Optisch wird immer noch ein leicht abnehmender Trend wahrgenommen. Dieser wird auch rechnerisch festgestellt (vgl. grüner Pfeil). Die mittlere jährliche Abnahme beträgt nun durchschnittlich -3% Unfälle pro Jahr und ist somit leicht zurückgegangen.
- Die Unsicherheiten haben allerdings deutlich zugenommen. Für den Trend kann keine statistische Signifikanz mehr festgestellt werden. Die Resultate sind nicht verlässlich. Das bedeutet, dass aufgrund des kurzen Beobachtungszeitraum der beobachtete Trend von durchschnittlich -3% Unfälle pro Jahr aus statistischer Sicht auch gut zufällig zustande gekommen sein kann.

Der Einfluss des Untersuchungszeitraums ist deutlich. Ein kurzer Untersuchungszeitraum führt schnell dazu, dass keine belastbaren Aussagen mehr gemacht werden können.

VI.2 Beispiel 2

Hinweis: Bei diesem Beispiel handelt es sich um eine modifizierte Datenreihe, um die Modellanwendung bestmöglich illustrieren zu können.

Ausgangslage

Im Jahr 2016 bereitet der Sicherheitsverantwortliche die neusten Statistiken zum Unfallgeschehen in seinem Verantwortungsbereich vor. Sein aktueller Fokus liegt dabei wieder auf solchen Unfällen im Zusammenhang mit überhöhter Geschwindigkeit. Ein Blick auf die Unfallzahlen macht ihn unruhig. Gegenüber dem Jahr 2014 hat die Anzahl Unfälle im Jahr 2015 beträchtlich zugenommen. Er möchte nun der Frage nachgehen, ob die registrierten aktuellen Unfallzahlen noch akzeptierbar sind oder ob Handlungsbedarf für eine Reduktion der Unfallzahlen angezeigt ist.

Durchführung der Analyse

Die Eignung der Daten für die Analyse wurde bereits im Beispiel 1 diskutiert. Die untersuchte Zeitreihe wird durch den Sicherheitsverantwortlichen in die Analyseumgebung (IT-Applikation) eingegeben. Als «Berechnungsmodul» wird das Frühwarnsystem angewendet.

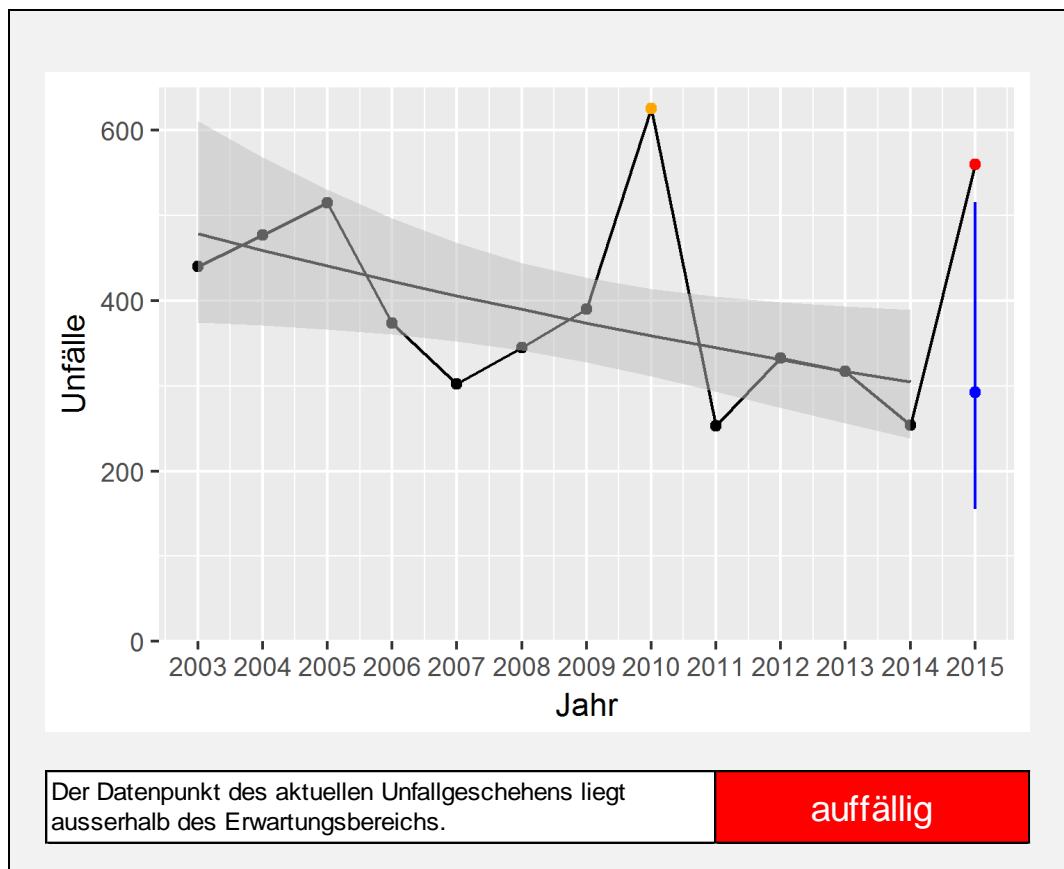


Abb. 26 Zeitreihe mit den Unfällen mit überhöhter Geschwindigkeit innerorts in Kanton Zürich. Ergebnisse in Form eines Hinweises des Frühwarnsystems

Resultate der Analyse

Die Ergebnisse sind in Abb. 26 dargestellt. Daraus lässt sich folgendes ableiten:

- Der zu untersuchende Datenpunkt wird rot markiert.
- Auf Basis der Datenpunkte zwischen 2003 und 2014 wird ein 95%-Vorhersagebereich für das Jahr 2015 erstellt. Dieser Bereich wird mit der blauen, vertikalen Linie gekennzeichnet.

- Demnach liegt das Unfallgeschehen im Jahr 2015 ausserhalb des Vorhersagebereichs. Dies wird auch mit dem Warnhinweis «auffällig» (Rot) signalisiert. Das bedeutet, dass eine statistisch signifikante Änderung in der Zeitreihe stattgefunden hat.
- Der blaue Punkt stellt die theoretische Fortsetzung des Trends dar (Erwartungswert für 2015). Der Trend wird anhand der Zeitreihe zwischen 2003 und 2014 analog Beispiel 1 ermittelt. Das 95%-Konfidenzintervall des Trends ist ebenfalls als grauer Bereich dargestellt.

Ergebnisaussage

Die Anzahl Unfälle mit überhöhter Geschwindigkeit innerorts im Kanton Zürich hat im Jahr 2015 gegenüber dem Vorjahr massiv zugenommen. Die Zunahme stellt eine klare Abweichung von den positiven Entwicklungen der letzten Jahre dar und kann höchst wahrscheinlich nicht auf Zufälligkeiten zurückgeführt werden. Es sind detaillierte Untersuchungen angebracht, um den Gründen nachzugehen und mögliche Handlungsoptionen in Betracht ziehen.

Diskussion

Der Warnhinweis macht den Sicherheitsverantwortlichen auf ein potenzielles Problem bzw. ungünstige Entwicklungen aufmerksam. Dieser wird nun in die Pflicht genommen, vertiefte Untersuchungen einzuleiten. Als erste Anhaltspunkte für detaillierte Betrachtungen werden genannt:

- Eingabedaten: Beispielsweise wurden Änderungen in der Erfassungsmethode früher als Treiber für Ausreisser identifiziert.
- Untersuchungsperimeter: Sind die Unfälle im Untersuchungsperimeter gleichmässig verteilt oder sind Anhäufungen erkennbar.
- Grossräumige Entwicklungen oder weitere exogene Einflüsse.

Sollten die ersten Detailanalysen keine Ergebnisse liefern, kann eine Strategie des Wartens gerechtfertigt sein. Dies vor dem Hintergrund, dass eine (kleine) Wahrscheinlichkeit von «falschen Positiven» vorhanden ist. Sollte das Unfallgeschehen sich von alleine nicht beruhigen, sind noch tiefere Analysen unbedingt notwendig.

VI.3 Beispiel 3

Hinweis: Bei diesem Beispiel handelt es sich um eine modifizierte Datenreihe, um die Modellanwendung bestmöglich illustrieren zu können.

Das nachfolgende Kurzbeispiel dient in erster Linie der Veranschaulichung der Rolle des Farbstufensystems im Falle einer ungünstigen Trendentwicklung. Hinweise auf die Durchführung einer solchen Analyse können Beispiel 1 und 2 entnommen werden.

Resultate der Analyse:

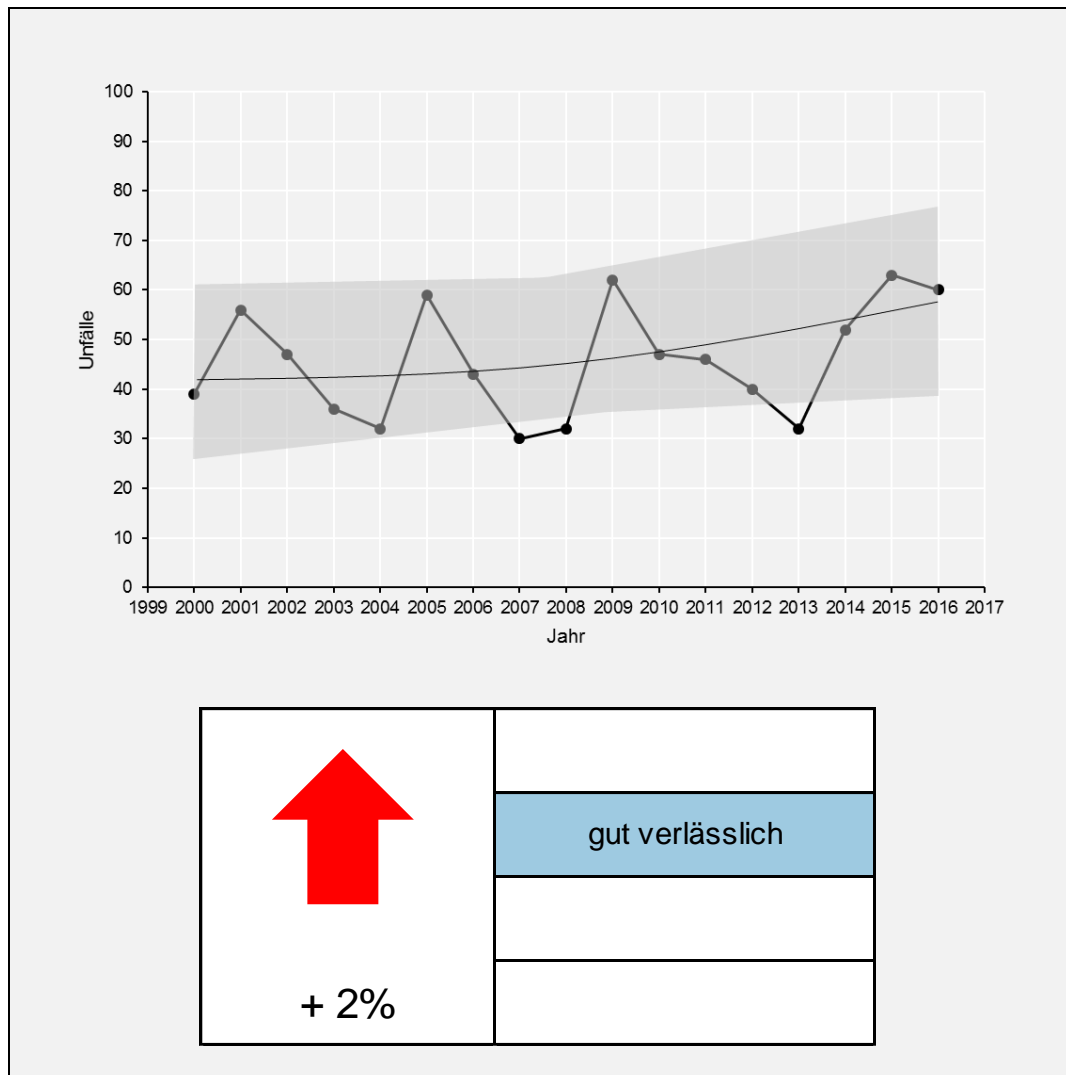


Abb. 27 Zeitreihe des Unfallgeschehens im Jahr 2000 bis 2016

Aus der Ergebnisdarstellung in Abb. 27 werden die folgenden Hauptresultate ersichtlich:

- Die ungünstige Trendentwicklung wird mit dem roten, nach oben ausgerichteten, Pfeil ausgewiesen. Optisch wird ein Trend von zunehmenden Anzahl Unfälle beobachtet und durch den Pfeil bestätigt.
- Mit der blauen Farbstufe «gut verlässlich» wird signalisiert, dass die Zeitreihe auf einen signifikanten Trend hindeutet. Dieses Resultat gilt als gut zuverlässig, der Trend ist kaum zufällig zustande gekommen.
- Die Entwicklung der zunehmenden Unfallzahlen beträgt 2% pro Jahr.

Mit dem Warnhinweis (roter Pfeil) wird der Anwender sofort auf die problematischen Entwicklungen aufmerksam gemacht. Die Nutzung dieser Information z.B. für das Initiieren von Massnahmen liegt im Verantwortungsbereich des Sicherheitsverantwortlichen.

VII Beispiele zur Anwendung der Wirkungsanalyse

Nachfolgend wird die Anwendung der Methodik zur Wirkungsanalyse an Rechenbeispielen erläutert. Die Beispiele basieren auf Daten, die vor und nach dem Umbau von Kreuzungen zu Kreiseln im Kanton Aargau erhoben wurden⁸. Im Beispiel 1 werden alle Schritte der Wirkungsanalyse ausführlich beschrieben. Die Durchführung der Beispiele 2 bis 4 erfolgt analog, beschränkt sich aber auf den Schritt der Ergebniserzeugung. Beispiele 2 bis 4 sollen dem Anwender daher in erster Linie die Orientierung und Interpretation bei der Ergebnisdarstellung vereinfachen.

VII.1 Beispiel 1

Ausgangslage

Abb. 28 (links) zeigt die Ausgangslage. Im Jahr 2000⁹ wurde eine Strassenumgestaltung beschlossen. Die relativ komplexe Strassensituation mit einer versetzten Einmündung wurde zu einem Kreiseln umgebaut. Im Jahr 2003 wurde der Umbau realisiert. Die neue Situation mit einem 4-armigen Kreiseln und einer separaten Velospur ist ebenfalls in Abb. 28 dargestellt (rechts).

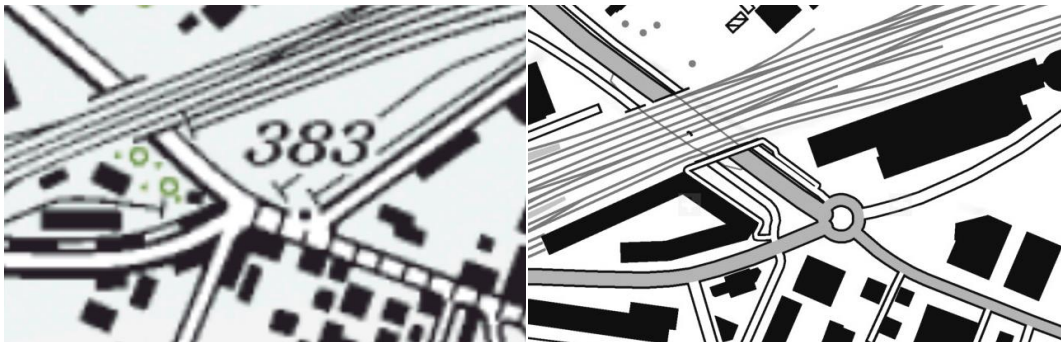


Abb. 28: Strassensituation vor (links) und nach (rechts) der Massnahmenumsetzung (Bildquelle: map.geo.admin.ch)

Der Sicherheitsverantwortliche möchte drei Jahre nach der Massnahmenumsetzung wissen, ob die damals durchgeführte Massnahme wirksam war, also das Unfallgeschehen reduziert werden konnte. Dies entspricht dem ersten möglichen Zeitpunkt, ab dem eine sinnvolle Anwendung der Methode möglich ist. Es wird angenommen, dass dem Sicherheitsverantwortlichen Unfalldaten aus einem fünf Jahreszeitraum vor der Umsetzung der Massnahme zur Verfügung stehen.

Durchführung der Analyse

In einem ersten Schritt werden die Unfalldaten zusammengetragen und auf ihre Qualität und Vollständigkeit geprüft. Im vorliegenden Fall wurden sämtliche Strassenverkehrsunfälle, die in einem Umkreis von 50 m des Kreiselmittelpunktes im VUGIS erfasst sind, in die Analyse einbezogen. Für diese Unfälle liegen genaue Informationen zum Unfallhergang, Unfallschwere etc. vor. Nichts deutet auf einen Unterbruch oder sonstige Unstimmigkeiten in der Unfallerhebung hin. Jahre, in denen keine Unfälle erfasst worden sind, werden als unfallfrei ausgewiesen. Unfälle aus dem Jahr 2003 (Realisierungsjahr der Massnahme) werden aus der Zeitreihe entfernt. Im

⁸ Quelle: Datenbank des bfu MEVASI-Projekts.

⁹ Annahme, weil keine Informationen zu Auslösezeitpunkten der Massnahmen vorliegen.

Analysejahr betrug der DTV-Wert rund 10'000 Fz/Tag. Daten zur Verkehrsbelastung vor der Massnahme bzw. Entwicklungen des DTV-Werts über den Analysezeitraum existieren nicht. Die Strassenumgestaltung hat aber übersichtlichere Verkehrsverhältnisse geschaffen und somit zu einer erhöhten Attraktivität des Abschnittes geführt. Dies könnte einen Einfluss auf die Exposition haben. Ebenso stellt die Velospur einen möglichen Einflussfaktor dar, der zu berücksichtigen ist. Auch wenn das durchschnittliche Unfallgeschehen im Vorherzeitraum relativ hoch ist (vgl. Abb. 29), diene die Massnahme in erster Linie der Umgestaltung des Strassenraums. Vor diesem Hintergrund dürften Regression-to-the-mean Effekte von untergeordneten Bedeutung sein. Nachdem mögliche exogene Faktoren erkannt worden sind, werden sie erst wieder im Rahmen der Ergebnisinterpretation aufgegriffen.

In der Analyseumgebung (IT-Anwendung etc.) werden die Zeitreihen eingegeben und Ergebnisse erzeugt. Der Modelloutput, der dabei im Hintergrund erzeugt wird, ist nachfolgend dargestellt:

```
##
## Call:
## glm.nb(formula = Unfaelle ~ Massnahme, data = dat_model, init.theta = 325003.5066,
## link = log)
##
## Deviance Residuals:
##      Min       1Q   Median       3Q      Max
## -1.16402 -0.36568  0.03816  0.45593  0.80338
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
## (Intercept)      1.9169    0.1715  11.18 <2e-16 ***
## Massnahmenachher -0.5306    0.3358  -1.58  0.114
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## (Dispersion parameter for Negative Binomial(325003.5) family taken to be 1)
##
## Null deviance: 5.5052 on 7 degrees of freedom
## Residual deviance: 2.8099 on 6 degrees of freedom
## AIC: 37.271
##
## Number of Fisher Scoring iterations: 1
##
##              Theta: 325004
##            Std. Err.: 18664087
## Warning while fitting theta: iteration limit reached
##
## 2 x log-likelihood: -31.271
```

Resultate der Analyse:

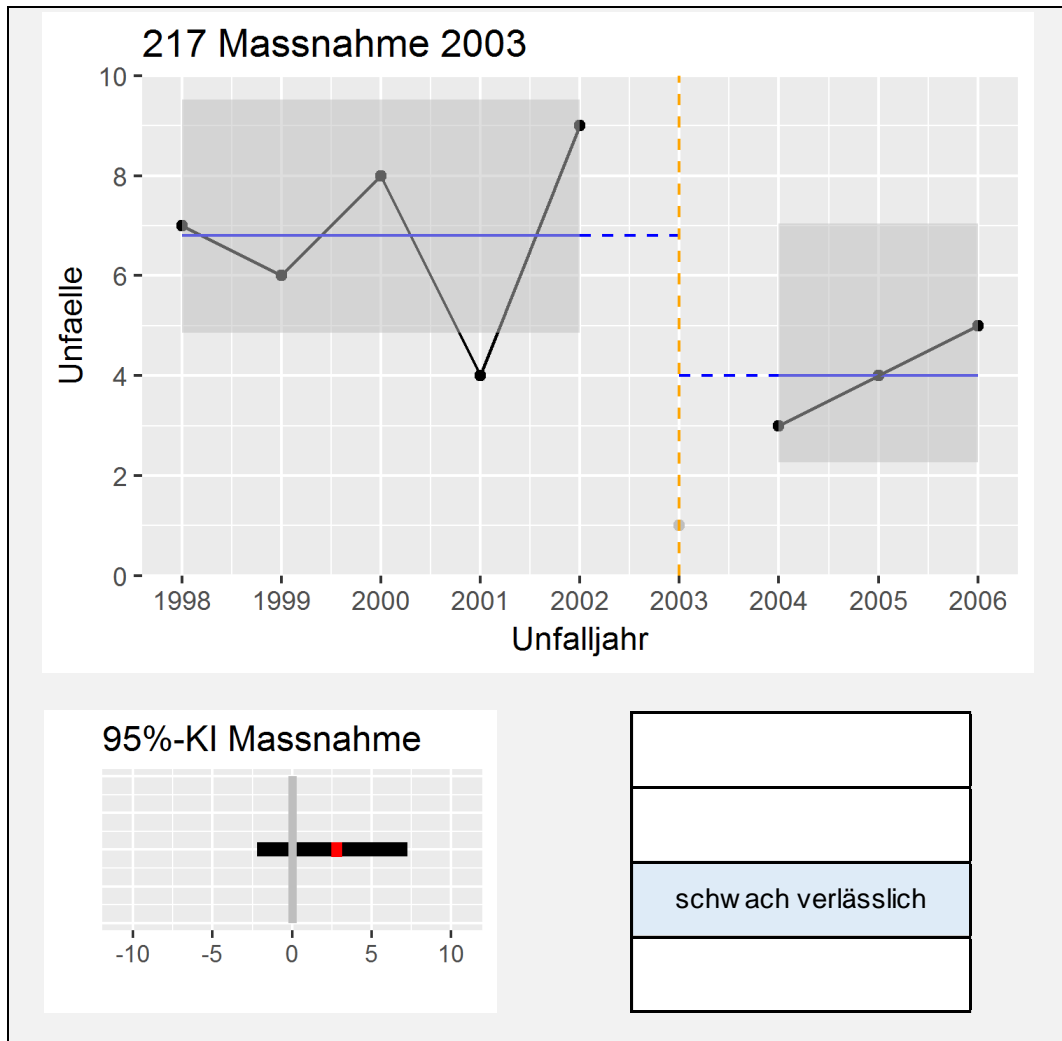


Abb. 29 Darstellung der Massnahmenwirkung des Knotens 217

Die Resultate der Analyse sind in Abb. 29 abgebildet. Die Ergebnisdarstellung liefert folgende Erkenntnisse:

- Das Unfallgeschehen wird «per Knopfdruck» anschaulich visualisiert. Im Vorherzeitraum streut das Unfallgeschehen zwischen 4 und 8 Unfällen pro Jahr. Der Erwartungswert liegt (relativ hoch) bei 7 Unfällen. Der Sprung in der blauen Trendlinie zum Zeitpunkt der Massnahmenumsetzung deutet darauf hin, dass das Unfallgeschehen nach Massnahmenumsetzung zurückgegangen ist.
- Der Charakter der Abbildung entspricht der Standardsituation 3. Auch wenn die Unfallzahlen im Nachherzeitraum jedes Jahr gestiegen sind, passt ein Modell ohne Trendberücksichtigung am besten zu den Daten.
- Die Grösse des Massnahmeneffekts kann entweder aus dem Sprung der blauen Linie oder dem roten Strich im unteren Teil der Abbildung abgelesen werden. Die Reduktion des Erwartungswerts des Unfallgeschehens beträgt im vorliegenden Fall etwa 3 Unfälle pro Jahr.
- Standardsituation 3 bedeutet, dass die Analyse Hinweise auf die statistische Signifikanz des positiven Massnahmeneffekts liefern kann. Dies wird mit der Verlässlichkeit-Stufe veranschaulicht.
- Die Verlässlichkeit-Stufe «schwach verlässlich» signalisiert die Unsicherheiten bei der Analyse. Auch wenn die Resultate nur schwach verlässlich sind, spricht einiges für die Annahme, dass die beobachtete Abnahme der Unfallzahlen nicht rein zufällig ist.

- Das Spektrum der Unsicherheiten wird mit der Darstellung der 95%-Konfidenzintervall der Massnahmenwirksamkeit aus einem anderem Blickwinkel betrachtet. Demnach könnte aus statistischer Sicht gar eine Verschlechterung der Verkehrssicherheit (mittels einer Erhöhung des erwarteten Unfallgeschehens um bis zu gut 2 Unfällen pro Jahr) der «echten Entwicklung» im Nachherzeitraum entsprechen (siehe Wertebereich des schwarzen Balkens in der eindimensionalen Resultatdarstellung links unten in Abb. 29). Im gleichen Stil könnte die Massnahme eine deutlich grössere Wirkung erzielt haben. Beide Fälle stellen die Betrachtung von Extremen dar. Je näher zum roten Strich, desto wahrscheinlicher wird die «wahre Situation» angetroffen.

Ergebnisaussage

Nach dem Umbau der Kreuzung zu einem Kreisel hat sich das Unfallgeschehen um rund drei Unfälle pro Jahr reduziert. Diese erfreuliche Entwicklung ist vermutlich auf die Massnahme zurückzuführen. Mit der Strassenumgestaltung hat sich der Charakter der Verkehrssituation auch verändert. Umfassende Daten zur Exposition (z.B. jährliche DTV-Werte) liegen nicht vor, aber es spricht wenig dafür, dass die Verkehrsbelastung nach der Umsetzung der Massnahme abgenommen hat. Somit ist die beobachtete Reduktion des Unfallgeschehens vermutlich nicht auf allfällige Änderungen der Exposition zurückzuführen. Hauptauslöser für die Massnahme war die angesprochene Strassenumgestaltung. Wie bereits erkannt, sollten daher Regression-to-the-mean Effekte auch nicht massgeblich zu dem Rückgang der Unfallzahlen beitragen.

→ Die Massnahme hat eine positive Wirkung erzielt.

Diskussion

Es ist gut denkbar, dass mehr als 5 Beobachtungsjahre im Vorherzeitraum für die Analyse herangezogen werden können. Ebenfalls kann es – angesichts der Unsicherheiten – für den Sicherheitsverantwortlichen von Interesse sein die Analyse ein paar Jahre später nochmals mit mehr Daten für den Nachherzeitraum durchzuführen. Dies trägt vor allem zu einem Erfahrungszuwachs bei.

Um zu veranschaulichen, welchen Einfluss eine längere Zeitreihe auf die Analyseergebnisse hat, wird die Analyse für einen grösseren Zeitraum nochmals durchgeführt.

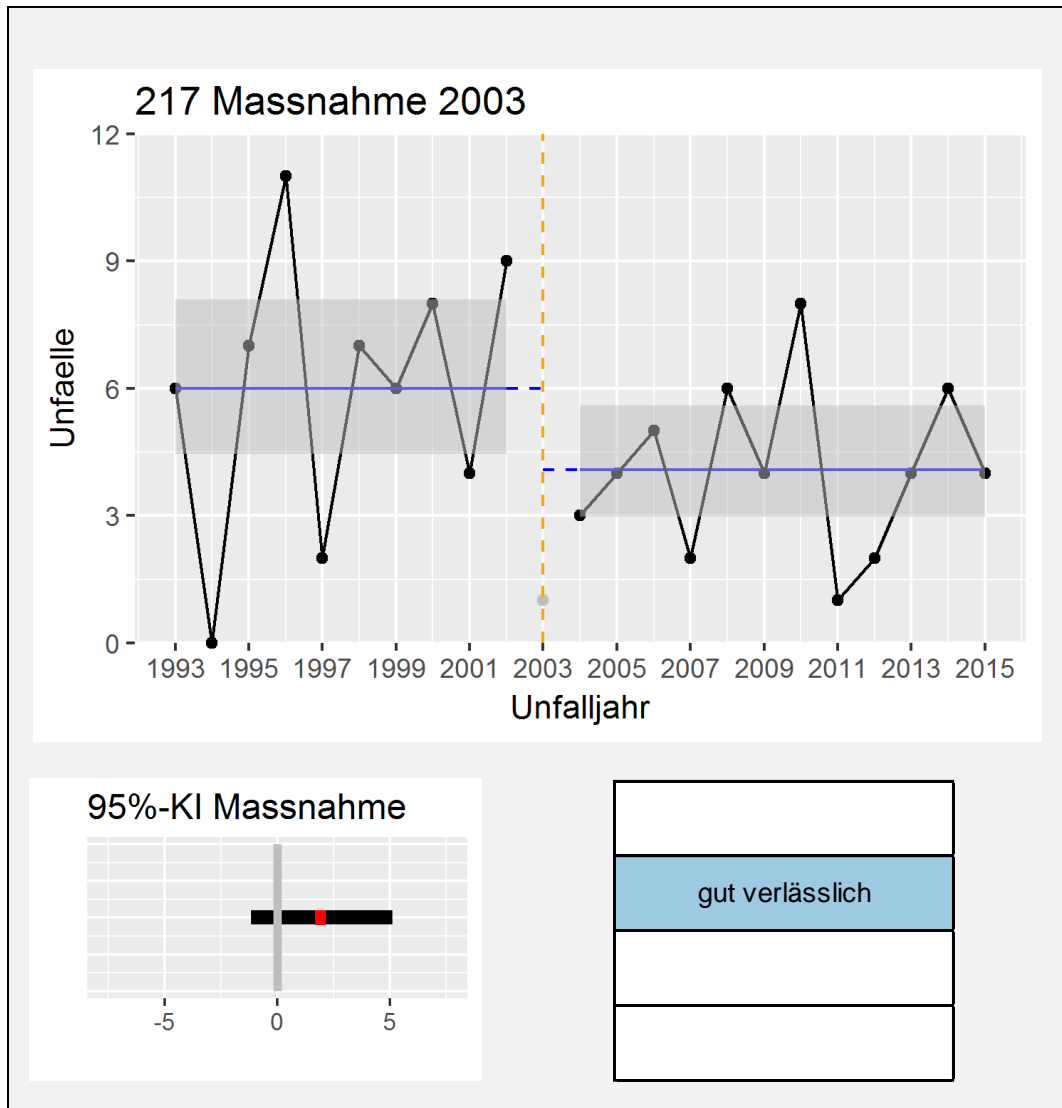


Abb. 30 Visualisierung des Unfallgeschehens vor und nach der Massnahmenumsetzung für eine längere Zeitreihe

Die Resultate sind in Abb. 30 dargestellt. Aus einem Vergleich mit Abb. 29 ist folgendes ersichtlich:

- Die längere Zeitreihe ist von grösseren Schwankungen im Unfallgeschehen geprägt. Im Vorherzeitraum schwankt das beobachtete Unfallgeschehen zwischen 0 und 11 Unfällen pro Jahr. Im Nachherzeitraum fallen die Schwankungen etwas kleiner aus, sind jedoch deutlich grösser als bei der kürzeren Zeitreihe.
- Standardsituation 3 passt immer noch am besten zu den Daten.
- Der Erwartungswert des Unfallgeschehens im Vorherzeitraum ist leicht zurückgegangen und beträgt nun 6 Unfälle pro Jahr. Der Erwartungswert für den Nachherzeitraum ist unverändert geblieben.
- Somit ist die Grösse des Massnahmeneffekts mit 2 verhinderten Unfällen pro Jahr auch kleiner geworden.
- Insgesamt sind die Ergebnisse mit weniger Unsicherheiten behaftet. Die Verlässlichkeit-Stufe «gut verlässlich» signalisiert, dass die positive Massnahmenwirkung statistisch ausreichend signifikant ist.
- Die Bandbreite der Massnahmenwirksamkeit ist ebenfalls kleiner geworden. Eine Verschlechterung der Strassenverkehrssituation ist nicht nur unwahrscheinlicher

geworden, sondern auch das Ausmass einer möglichen Verschlechterung ist zurückgegangen. Die «wahre» Situation liegt auch näher beim Erwartungswert von 4 Unfällen pro Jahr.

Insgesamt untermauern die Ergebnisse der zweiten Analyse die Aussagen der ersten Untersuchung. Durch den Einbezug einer grösseren Zeitreihe können noch zuversichtlichere Aussagen bezüglich Massnahmenwirkung erfolgen und die Bandbreite möglicher Wirkungen (Unsicherheiten) hat sich reduziert.

Im Rahmen einer weiteren Betrachtung können folgende Überlegungen aufgenommen werden:

- Kann das Unfallgeschehen noch weiter gesenkt werden? Besteht nach Massnahmenumsetzung noch Verbesserungspotenzial? Im Nachherzeitraum ist der Erwartungswert 4 Unfälle pro Jahr. Diese Fragestellung bildet zwar keinen Bestandteil der Analyse, an dieser Stelle bietet es sich jedoch an, ihr nachzugehen.
- Fangkreis: Aufgrund der versetzten Einmündung im Vorherzeitraum, könnte der verwendete Fangkreis von 25 m zur Diskussion stehen. Es ist zu prüfen, ob bei der vorhanden Situation Rückstaueffekte auftauchen könnten, und ob alle relevanten Unfälle mit dem gewählten Fangkreis mitberücksichtigt werden.

VII.2 Beispiel 2

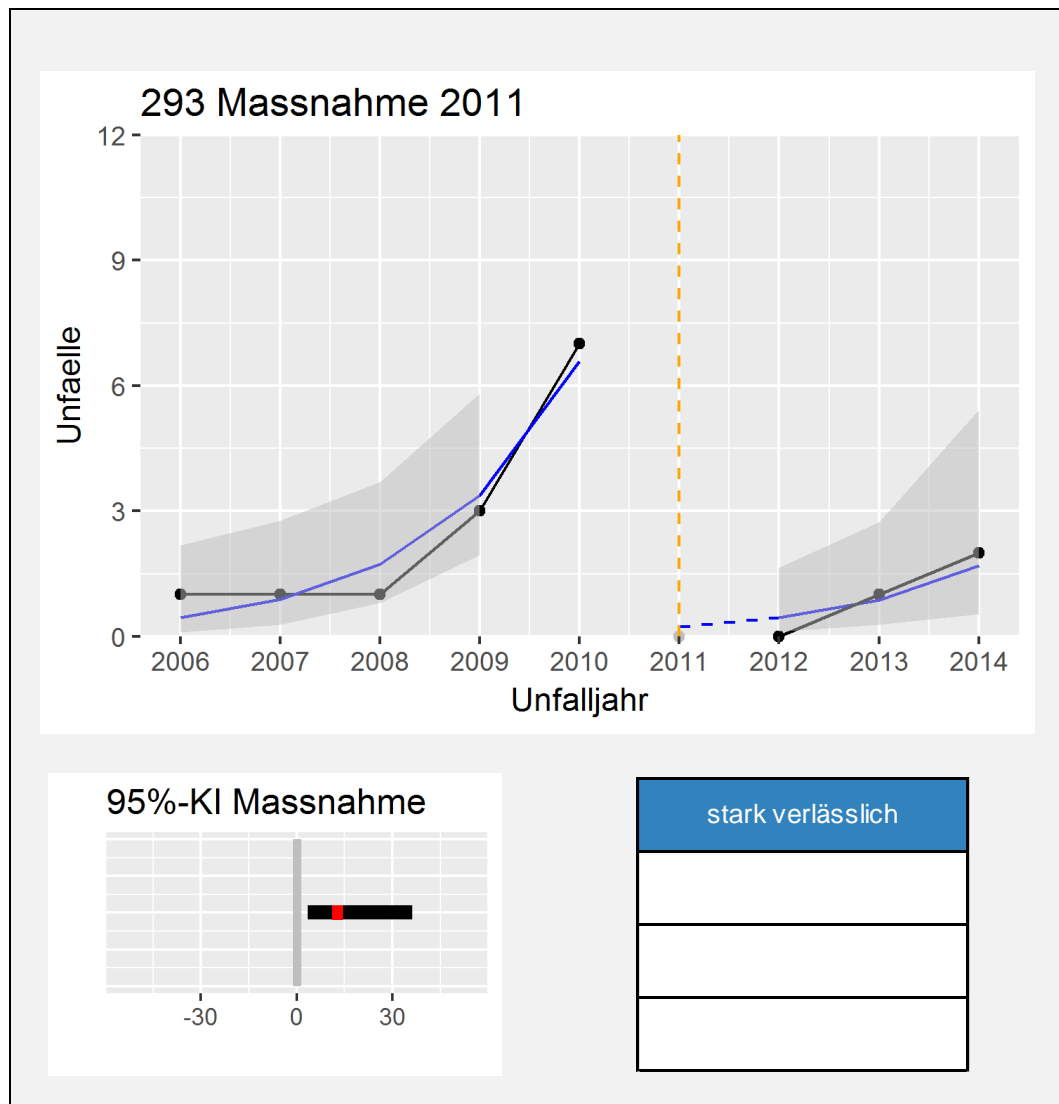


Abb. 31 Beispiel 2: Visualisierung des Unfallgeschehens 5 Jahre vor und 3 Jahre nach Massnahmenumsetzung

Die Ergebnisdarstellung aus Abb. 31 liefert folgende Erkenntnisse:

- Der Charakter der Abbildung entspricht Standardsituation 4. Sowohl im Nachherzeitraum als auch im Vorherzeitraum wird ein Trend von steigenden Unfallzahlen beobachtet. Der Sprung in der blauen Trendlinie weist auf eine Massnahmenwirksamkeit hin.
- Die Entwicklung des Unfallgeschehens in den letzten Jahren vor der Massnahmenumsetzung führt dazu, dass der Trend steil nach oben ausgerichtet ist. Das bedeutet auch, dass die erwartete Anzahl Unfälle im Massnahmenjahr deutlich höher liegt als im Vorjahr.
- Es wird ein grosser Massnahmeneffekt ausgewiesen. Dieser beträgt knapp 13 Unfälle pro Jahr.
- Der ausgewiesene Massnahmeneffekt hoch signifikant. Dies wird mit der Verlässlichkeit-Stufe «stark verlässlich» bestätigt. Anhand des ausgewiesenen Unsicherheitsbereichs wird auch ersichtlich, dass der «wahre» Massnahmeneffekt höchst wahrscheinlich nur positiv ist.

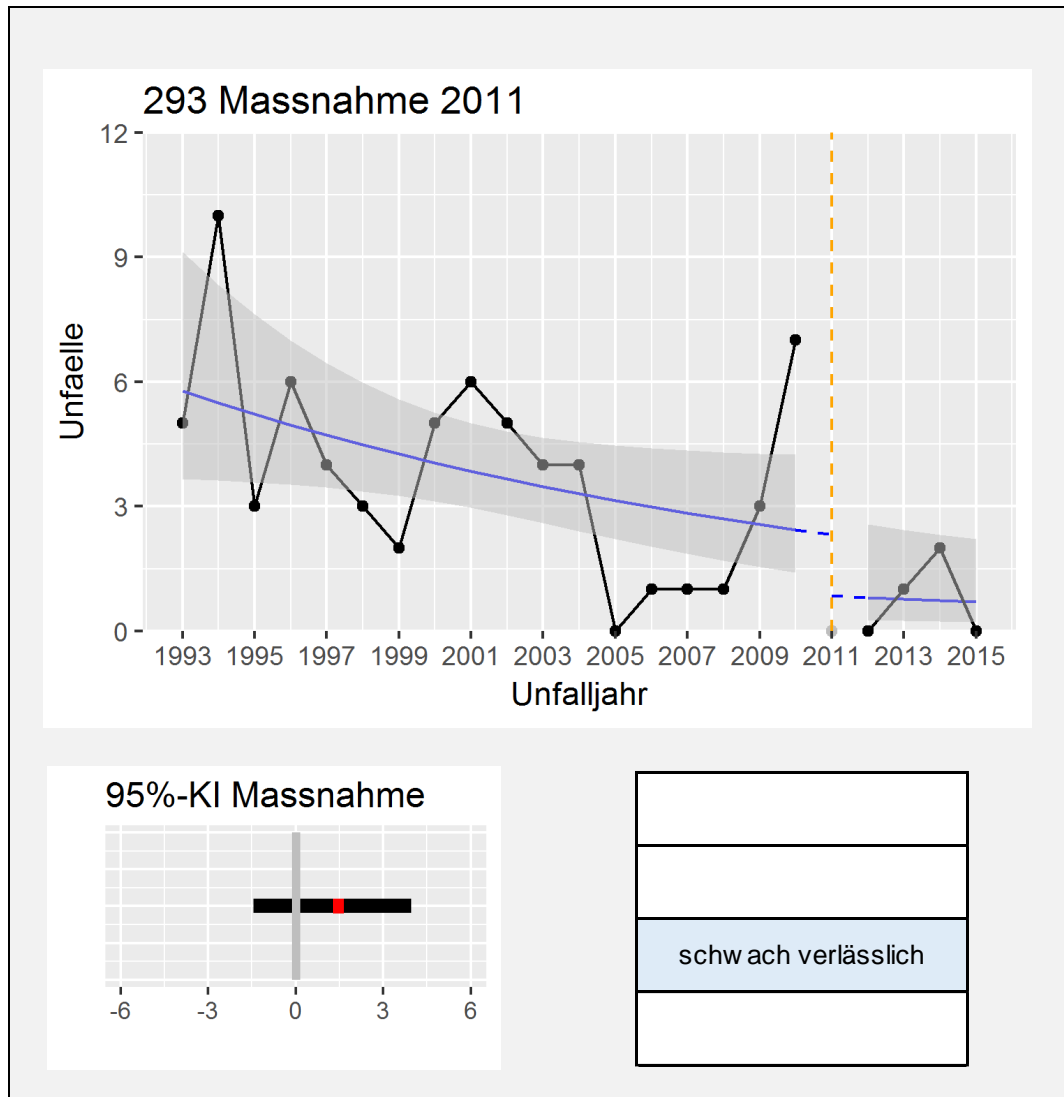


Abb. 32 Beispiel 2: Visualisierung des Unfallgeschehens für eine längere Zeitreihe

Der Einfluss einer längeren Zeitreihe auf die Analyseergebnisse ist in Abb. 32 dargestellt und nachfolgend kurz erläutert:

- Der Charakter der Abbildung entspricht weiterhin Standardsituation 4. Allerdings wird ein umgekehrter Trend festgestellt. Demnach wird ein Trend von abnehmenden Unfallgeschehen im gesamten Zeitraum beobachtet.
- Dies hat vor allem Einfluss auf die Grösse des Massnahmeneffekts. Dieser beträgt neu nur noch gut 1 Unfall pro Jahr.
- Im Vorherzeitraum streuen die einzelnen Datenpunkte zwischen 0 und 10 Unfälle pro Jahr. Dieser, gegenüber der kürzeren Zeitreihe, grössere Streubereich führt dazu, dass der festgestellte Massnahmeneffekt weniger signifikant ausfällt. Neu wird die Verlässlichkeit-Stufe «schwach verlässlich» ausgewiesen. Das heisst, dass die Wahrscheinlichkeit, dass die beobachtete Entwicklung der Unfallzahlen zufällig zustande gekommen ist, grösser wurde.
- Auch die Möglichkeit, dass die Massnahme keinen positiven Effekt auf das Unfallgeschehen ausgeübt hat, hat zugenommen.
- Eine positive Massnahmenwirksamkeit bleibt als Ergebnisaussage. Die Grösse des Effekts hat sich aber relativiert.
- Mit der kürzeren Zeitreihe wurde eine Massnahmenwirksamkeit im zweistelligen Bereich festgestellt. Bei einem dermassen grossen Wert sollte Vorsicht geboten sein. Ein direkter Bezug zu dem beobachteten Unfallgeschehen dient als Plausibilitätsprüfung.

VII.3 Beispiel 3

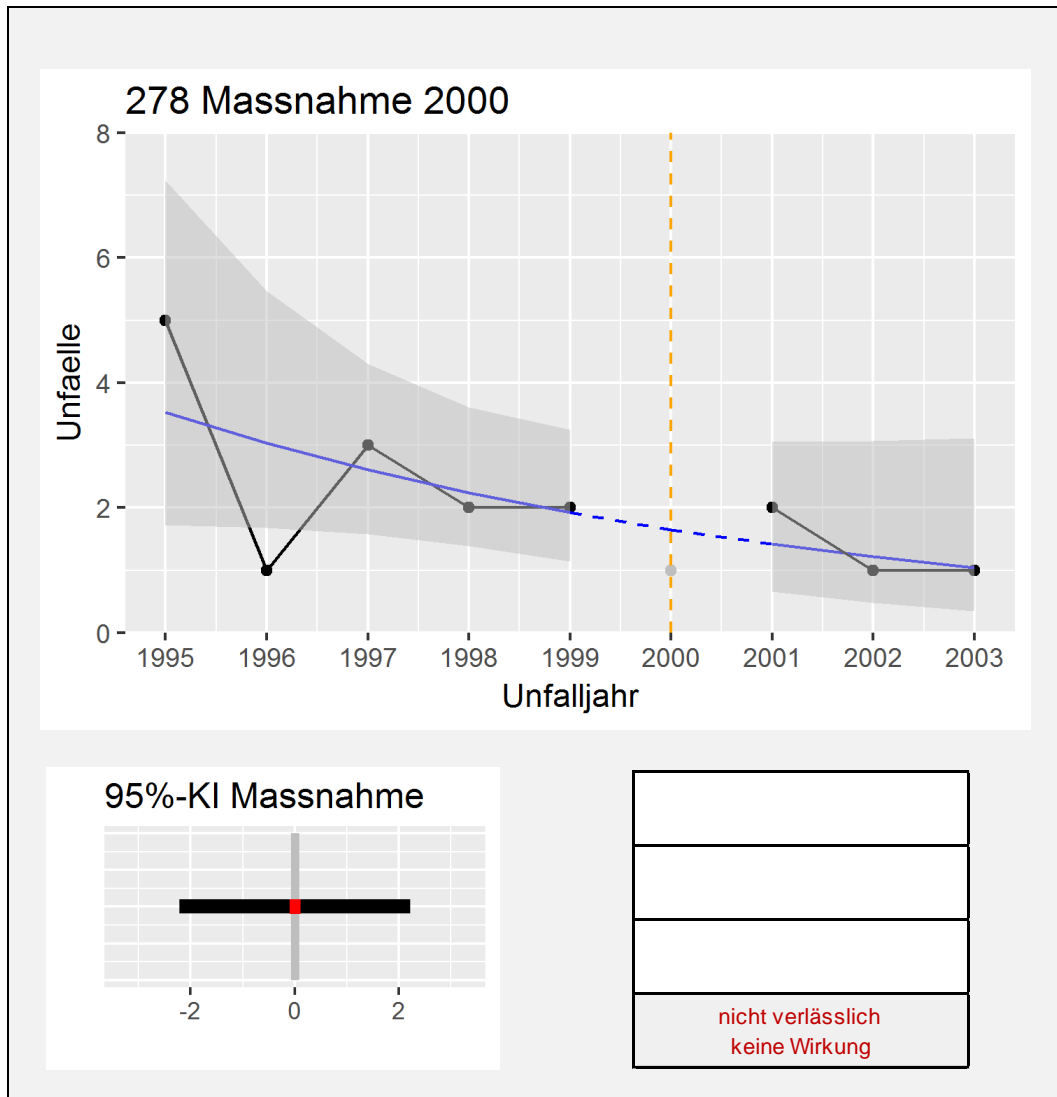


Abb. 33 Beispiel 3: Visualisierung des Unfallgeschehens 5 Jahre vor und 3 Jahre nach Massnahmenumsetzung

Die Ergebnisdarstellung aus Abb. 33 liefert folgende Erkenntnisse:

- Der Charakter der Abbildung entspricht Standardsituation 2. Die Abbildung wird von einem durchgehenden Trend von abnehmenden Unfallzahlen dominiert. Entsprechend wird kein Sprung in der blauen Linie festgestellt.
- Da kein Massnahmeneffekt vorhanden ist, wird keine Wirkung ausgewiesen.
- Dies wird auch mit dem roten Strich beim Nullpunkt bei der Darstellung des 95%-Konfidenzintervalls erkannt.

Der Einfluss einer längeren Zeitreihe auf die Analyseergebnisse ist in Abb. 34 dargestellt und nachfolgend kurz erläutert:

- Der Charakter der Abbildung entspricht immer noch Standardsituation 2. Der beobachtete Trend wird somit anhand einer längeren Zeitreihe bestätigt.
- Da kein Massnahmeneffekt vorhanden ist, wird auch keine Wirkung ausgewiesen.
- Mit dem Einbezug einer längeren Zeitreihe haben sich die Unsicherheiten bei der Analyse reduziert. Dies wird anhand engeren Bandbreiten der 95%-Konfidenzintervalle erkannt.

- Die Aussage, dass das Unfallgeschehen vermutlich auch ohne Massnahmenumsetzung abgenommen hätte, hat somit an Bedeutung gewonnen.

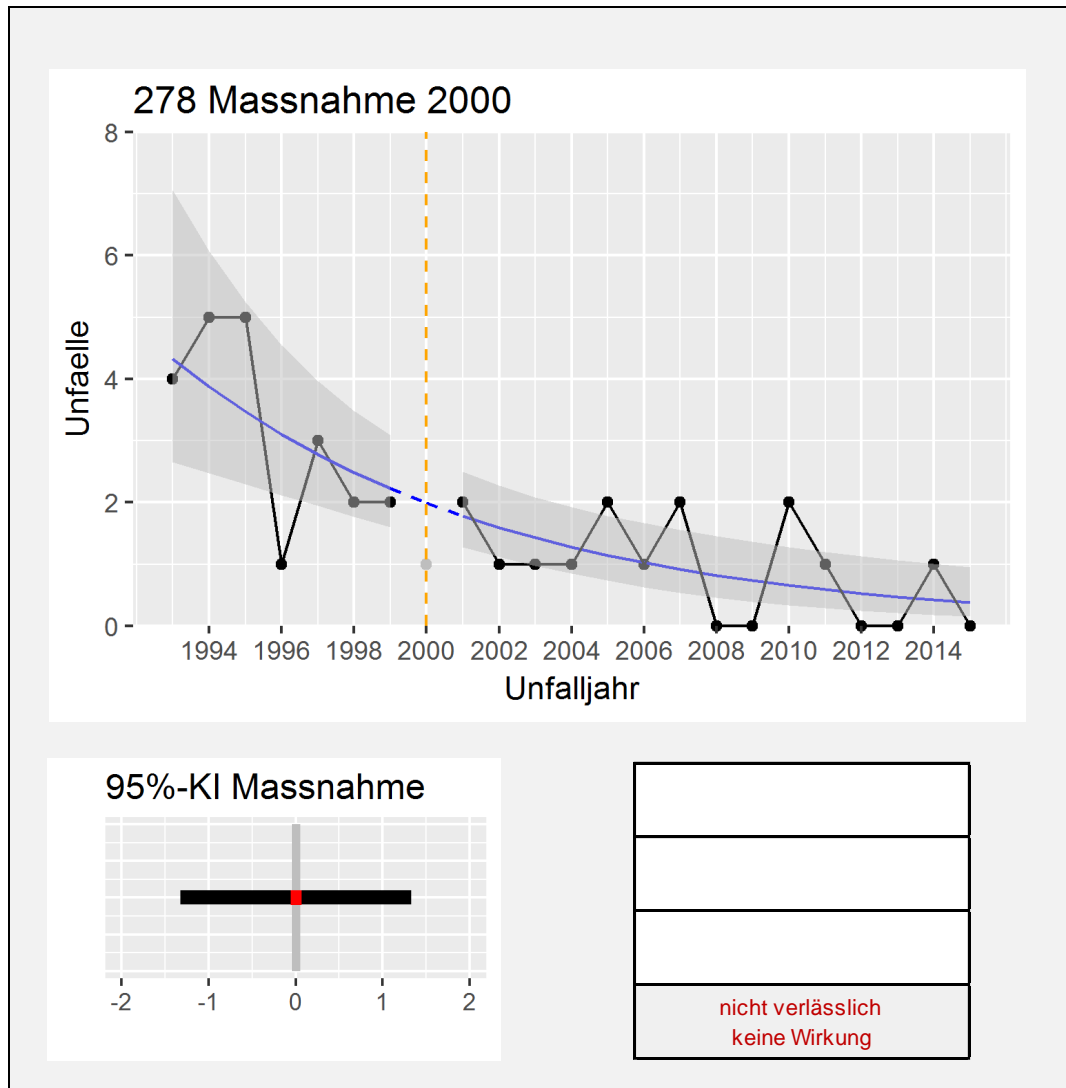


Abb. 34 Beispiel 3: Visualisierung des Unfallgeschehens für eine längere Zeitreihe

VII.4 Beispiel 4

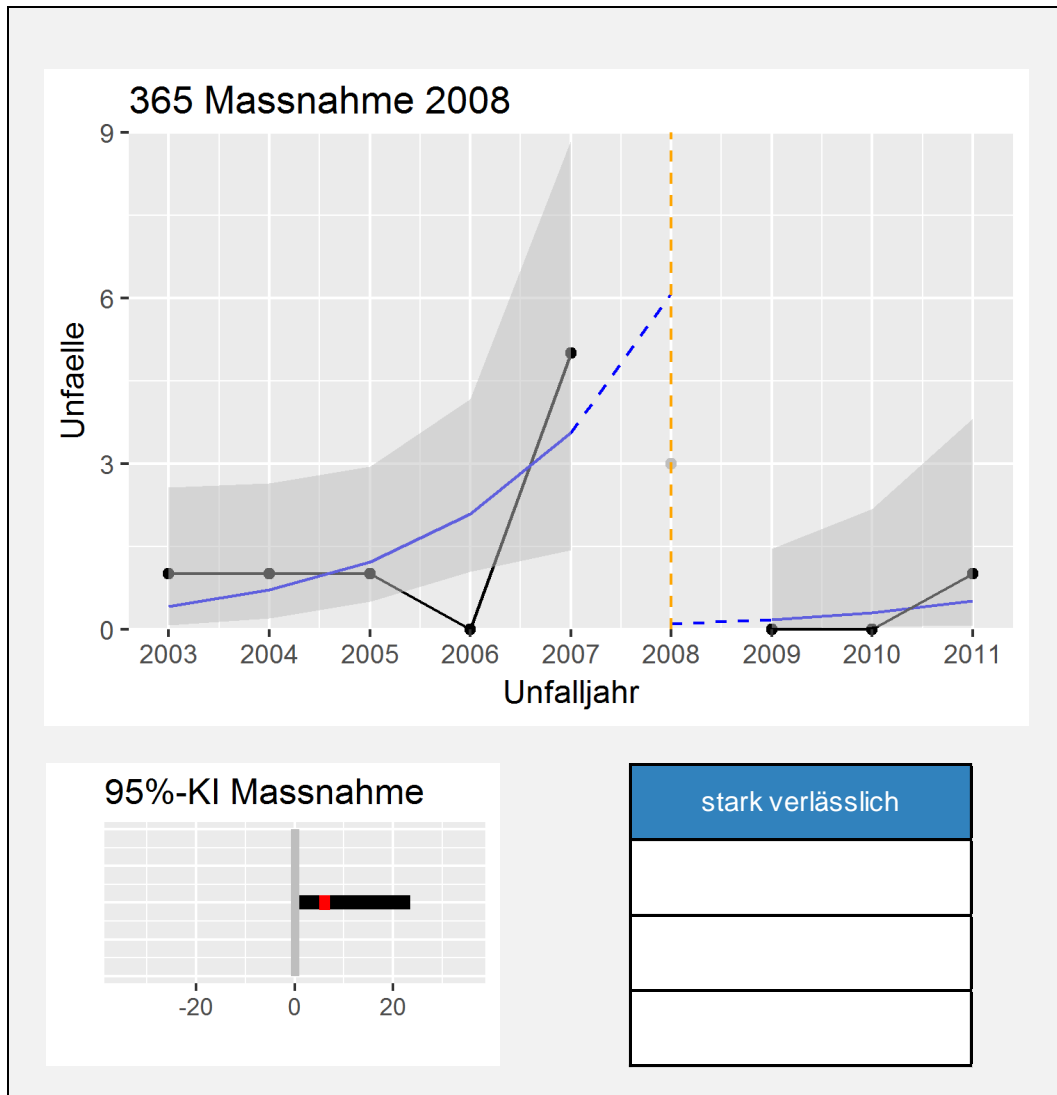


Abb. 35 Beispiel 4: Visualisierung des Unfallgeschehens 5 Jahre vor und 3 Jahre nach Massnahmenumsetzung

Die Ergebnisdarstellung aus Abb. 35 liefert folgende Erkenntnisse:

- Der Charakter der Abbildung entspricht Standardsituation 4. Sowohl im Nachherzeitraum als auch im Vorherzeitraum wird ein Trend von steigenden Unfallzahlen beobachtet. Der Sprung in der blauen Trendlinie weist auf eine Massnahmenwirksamkeit hin.
- Der ausgewiesene Massnahmeneffekt beträgt rund 6 Unfälle pro Jahr.
- Der ausgewiesene Massnahmeneffekt ist hoch signifikant. Dies wird mit der Verlässlichkeit-Stufe «stark verlässlich» bestätigt. Anhand des ausgewiesenen Unsicherheitsbereichs wird auch ersichtlich, dass der «wahre» Massnahmeneffekt höchst wahrscheinlich nur positiv ist.

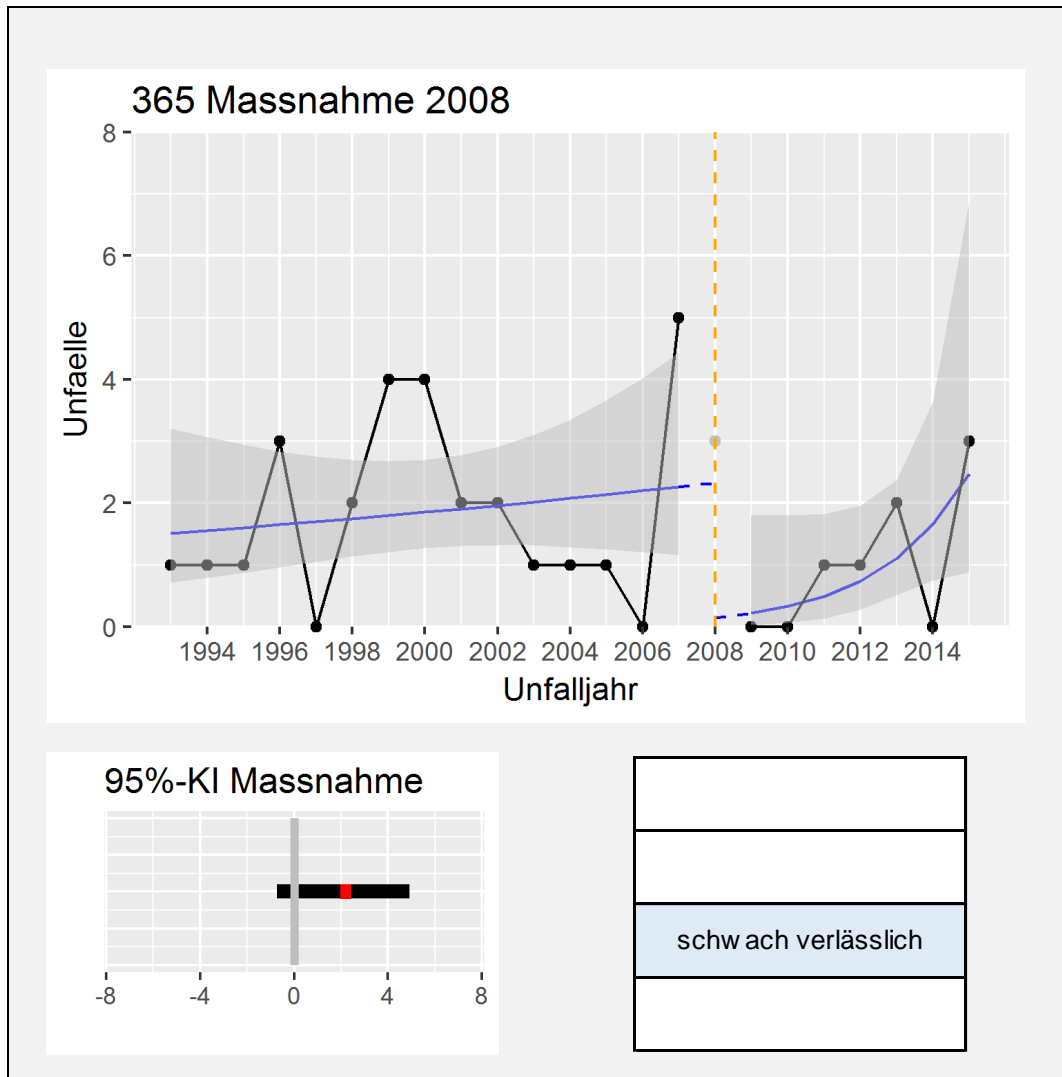


Abb. 36 Beispiel 4: Visualisierung des Unfallgeschehens für eine längere Zeitreihe

Die Auswirkungen einer längeren Zeitreihe auf die Analyseergebnisse sind in Abb. 36 dargestellt und nachfolgend kurz erläutert:

- Der Charakter der Abbildung hat sich geändert. Neu wird das Unfallgeschehen am besten mit Standardsituation 6 abgebildet. Dies wird anhand der Änderungen im Trend erkannt. Im Nachherzeitraum hat sich der Trend von steigenden Unfallzahlen deutlich verschärft.
- Die Grösse des Massnahmeneffekts ist zurückgegangen und beträgt neu rund 2 Unfälle pro Jahr.
- Das Zusammenspiel von Trendänderung und Streuung der Datenpunkt führt insgesamt dazu, dass die Unsicherheiten zugenommen haben. Das heisst, dass es schwieriger geworden ist, den beobachteten Sprung in der blauen Trendlinie der Massnahme zuzuschreiben.
- Die Abbildung macht deutlich, dass eine Signifikanzaussage bzw. eine Quantifizierung des Massnahmeneffekts mit Vorsicht zu geniessen ist. Aufgrund der Trendentwicklung ist im Untersuchungsjahr 2014 keine Verbesserung im Unfallgeschehen (gegenüber dem Vorherzeitraum) zu erkennen.
- Es liegt im Verantwortungsbereich des Sicherheitsverantwortlichen, den Gründen für die den starken Anstieg der Trendlinie nach der Umsetzung der Massnahme nachzugehen. Diese können bspw. auf exogene Faktoren wie Änderungen der Verkehrssituation oder Exposition zurückgeführt werden.

Glossar

Begriff	Bedeutung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
AIC	Akaike Information Kriterium
bfu	Beratungsstelle für Unfallverhütung
BSM	Black Spot Management
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
DWH-VU	Datawarehouse Verkehrsunfall-Register
ETHZ	Eidgenössisch technische Hochschule Zürich
EUM	Einzelunfallstellen-Management
Fz	Fahrzeug
ISSI	Infrastruktur-Sicherheitsinstrumente
IT	Informationstechnik
MASS	Modern Applied Statistics with S (Grundlage für R-Software-Package)
MEVASI	Massnahmenevaluation Strasseninfrastruktur
MISTRA	Management-Informationssystem Strasse und Strassenverkehr
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NFK	Normierungs- und Forschungskommission
NSM	Network Safety Management
RIA	Road Safety Impact Assessment
RSI	Road Safety Inspection
SN	Schweizer Norm
SVG	Strassenverkehrsgesetz
VeSPA	Verkehrssicherheitsgewinne durch Datapooling und strukturierte Datenanalysen
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
VUGIS	MISTRA-Fachapplikation Verkehrsunfälle mit Geoinformationssystem
ZHAW	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Literaturverzeichnis

-
- [1] VSS Kommission 3, **“VSS SN 640 008 Strassenverkehrsunfälle.”** Schweizerischer Verband der Strassen- und verkehrsfachleute VSS, Zürich, p. 28, 2000.
-
- [2] P. J. Bickel, E. A. Hammel, J. W. O’Connell, and others, **“Sex Bias in Graduate Admissions: Data from Berkeley,”** *Science* (80-), vol. 187, no. 4175, pp. 398–404, 1975.
-
- [3] D. Lewis and C. J. Burke, **“The Use and Misuse of the Chi-Square Test,”** *Psychol. Bull.*, vol. 46, no. 6, p. 433, 1949.
-
- [4] K. L. Delucchi, **“The Use and Misuse of Chi-Square: Lewis and Burke Revisited,”** *Psychol. Bull.*, vol. 94, no. 1, p. 166, 1983.
-
- [5] VSS NFK 5.3, **VSS SN 641 724 Strassenverkehrssicherheit; Unfallschwerpunkt-Management, Black Spot Management (BSM).** Zürich: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, 2015.
-
- [6] VSS NFK 5.3, **VSS SN 641 723 Strassenverkehrssicherheit; Inspektion Road Safety Inspection (RSI).** Zürich: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS, 2016.
-
- [7] VSS NFK 5.3, **“VSS SNR 641 725 Strassenverkehrssicherheit - Netzeinstufung (NSM),”** 2013.
-
- [8] VSS NFK 5.3, **VSS SN 641 711 Strassenverkehrssicherheit: Strassenverkehrsunfälle - Standardstatistik.** Zürich: Schweizerischer Verband der Strassen- und verkehrsfachleute VSS, 2015.
-
- [9] D. Lord and F. Mannering, **“The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological alternatives,”** *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 44, no. 5, pp. 291–305, 2010.
-
- [10] D. C. Montgomery, **Introduction to statistical quality control**, Third ed. New York [etc.: Wiley, 1997.
-
- [11] D. A. Morin, **“Application of Statistical Concepts To Accident Data,”** *Traffic Accid. Res.*, pp. 72–79, 1967.
-
- [12] A. Agresti, **Categorical data analysis**, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2013.
-
- [13] A. Agresti, **An introduction to categorical data analysis**, 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience, 2007.
-
- [14] A. Abdulhafedh, **“Crash Frequency Analysis,”** *J. Transp. Technol.*, vol. 6, no. 4, pp. 169–180, 2016.
-
- [15] Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST, Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST **Jahresbericht 2016.** 2017.
-
- [16] S. Cafiso, G. Di Silvestro, B. Persaud, and M. Begum, **“Revisiting Variability of Dispersion Parameter of Safety Performance for Two-Lane Rural Roads,”** *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2148, no. 6, pp. 38–46, 2010.
-
- [17] M. Deublein, M. Schubert, B. T. Adey, J. Köhler, and M. H. Faber, **“Prediction of road accidents: A Bayesian hierarchical approach,”** *Accid. Anal. Prev.*, vol. 51, pp. 274–291, 2013.
-
- [18] M. Deublein, M. Schubert, B. T. Adey, and B. Garcia de Soto, **“A Bayesian network model to predict accidents on Swiss highways,”** *Infrastruct. Asset Manag.*, vol. 2, no. 4, pp. 145–158, 2015.
-
- [19] N. V. Malyshkina and F. L. Mannering, **“Empirical assessment of the impact of highway design exceptions on the frequency and severity of vehicle accidents,”** *Accid. Anal. Prev.*, vol. 42, no. 1, pp. 131–139, 2010.
-
- [20] M. Deublein, **“Roadway Accident Risk Prediction Based on Bayesian Probabilistic Networks,”** ETHZ Dissertation No. 21093, p. 172, 2013.
-
- [21] E. Hauer, **Observational before-after studies in road safety: Estimating the effect of highway and traffic engineering measures on road safety.** Oxford [etc.: Pergamon, 1997.
-
- [22] K. Krishnamoorthy and J. Thomson, **“A more powerful test for comparing two Poisson means,”** *J. Stat. Plan. Inference*, vol. 119, no. 1, pp. 23–35, 2004.
-
- [23] E. Hauer, **“Overdispersion in modelling accidents on road sections and in Empirical Bayes estimation,”** *Accid. Anal. Prev.*, vol. 33, no. 6, pp. 799–808, 2001.
-
- [24] M. Sørensen and R. Elvik, **Black Spot Management and Safety Analysis of Road Networks.** 2007.
-
- [25] A. G. Barnett, van der Pols, Jolieke C, and A. J. Dobson, **“Regression to the mean: what it is and how to deal with it,”** *Int. J. Epidemiol.*, vol. 34, no. 1, pp. 215–220, 2005.

-
- [26] P. Y.-J. Park and F. F. Saccomanno, "**Reducing Treatment Selection Bias for Estimating Treatment Effects Using Propensity Score Method,**" J. Transp. Eng., vol. 133, no. 2, pp. 112–118, 2007.
-
- [27] P. Park and D. Lord, "**Investigating Regression to the Mean in Before-and-After Speed Data Analysis,**" Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, vol. 2165, no. 2, pp. 52–58, 2010.
-
- [28] R. Elvik, "**The importance of confounding in observational before-and-after studies of road safety measures,**" Accid. Anal. Prev., vol. 34, no. 5, pp. 631–635, 2002.
-
- [29] B. Persaud and C. Lyon, "**Empirical Bayes before-after safety studies: Lessons learned from two decades of experience and future directions,**" Accid. Anal. Prev., vol. 39, no. 3, pp. 546–555, 2007.
-
- [30] M. Deublein, M. Schubert, and B. T. Adey, "**Prediction of road accidents: comparison of two Bayesian methods,**" Struct. Infrastruct. Eng., vol. 2479, no. June 2015, pp. 1–23, 2013.
-
- [31] B. Efron and Trevor Hastie, **Computer age statistical inference: Algorithms, evidence, and data science**, vol. 5. New York NY USA: Cambridge University Press, 2016.
-
- [32] H. Schüller, M. Deublein, R. Straumann, K. Fehren-Schmitz, M. Ulmer, and A. Rühle, "**Massnahmen und Potentiale im Bereich Infrastruktur - Forschungsprojekt VeSPA, Teilprojekt 2-M,**" Bundesamt für Strassen, ASTRA, Bern, 2016.
-
- [33] J. C. O. Madsen, Skadesbaseret sortpletudpegning: **fra crash prevention til loss reduction i de danske vejbestyrelses sortpletarbejde**: PhD-thesis (theoretical appendix. Aalborg, 2005.
-
- [34] P. Greibe and S. Herdorff, **Håndbog i trafikikkerhedsberegninger: Brug af uheldsmodeller og andre vurderinger**: Rapport 220. Copenhagen: Vejdirektoratet, 2001.
-
- [35] J. M. van der Hoeft and P. L. Boveng, "**Quasi-poisson Vs. Negative Binomial Regression: How Should We Model Overdispersed Count Data?,**" Ecology, vol. 11, no. 88, pp. 2766–2772, 2007.
-
- [36] W. N. Venables and B. D. Ripley, **Modern Applied Statistics with S**, Fourth. New York: Springer, 2002.
-
- [37] O. Junghard, **Linear shrinkage in traffic accident models and their estimation by cross validation and bootstrap methods**: Thesis No. 205. Linköping, 1990.
-

Projektabschluss

 <p>Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra</p>	<p>Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK Bundesamt für Strassen ASTRA</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Version vom 09.10.2013

erstellt / geändert am: 22.03.2018

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2016/511

Projekttitel: Statistische Analyse von Unfallzahlen

Enddatum: 31.03.2018

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die Resultate des vorliegenden Forschungsprojekts zeigen, welche Anforderungen an die statistische Analyse von Unfallzahlen in der Praxis gestellt werden und mit welchen Ansätzen die Bedürfnisse der Anwender erfüllt werden können. Den im Rahmen der Situationsanalyse ausgesprochenen Bedürfnissen wird einerseits mit der Entwicklung geeigneter Methoden entgegengekommen. Andererseits wird aufgezeigt, unter welchen Rahmenbedingungen (bzw. im welchem Kontext) sich die Methoden auch realisieren lassen, um einen möglichst grossen praktischen Nutzen und Mehrwert für die Strassenverkehrssicherheit in der Schweiz erzielen zu können.

Es werden zwei Methodiken entwickelt, die als hilfreiche Unterstützung und objektive Grundlage für die Entscheidungsfindung in einem integralen Strassenverkehrs-Sicherheitsmanagement dienen:

- 1) Durch das Zeitreihen-Monitoring können Trends im Unfallgeschehen der vergangenen Jahre auf statistischer Basis erkannt und beurteilt werden. Gleichzeitig werden mittels eines Frühwarnsystems Auffälligkeiten im aktuellen Unfallgeschehen erkannt und der Nutzer wird auf einen möglichen Handlungsbedarf aufmerksam gemacht.
- 2) Die Wirkungsanalyse erlaubt dem Nutzer zu beurteilen, ob durch einzelne durchgeführte Massnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit tatsächlich eine positive Wirkung erzielt werden konnte und mit welcher Verlässlichkeit der Effekt auf die durchgeführte Massnahme zurückgeführt werden kann.

Die Methoden und Berechnungsverfahren, die hinter den beiden genannten Fragestellungen stehen, werden ausführlich beschrieben. Die Umsetzbarkeit wird anhand von Anwendungsbeispielen auf Grundlage von realen Daten erwiesen. Die Anwenderfreundlichkeit wird durch leicht verständliche Interpretationshilfen sichergestellt. Zudem wird ein struktureller Vorschlag erarbeitet, wie die entwickelten Methodiken in einer neuen Norm verankert werden können.

Forschung im Strassenwesen des UVEK: Formular 3

Seite 1 / 3



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Zielerreichung:

Das zentrale Ziel des Forschungsprojekts bestand in der Erarbeitung von Methoden zur statistischen Analyse von Unfallzahlen. Gleichzeitig musste sichergestellt werden, dass die Lösungsansätze so anwenderfreundlich sind, dass von einer weit verbreiteten Umsetzung der Methoden unter den Sicherheitsverantwortlichen in der Schweiz ausgegangen werden kann.

Durch die ausführliche Situationsanalyse wurde sichergestellt, dass sich der Lösungsansatz bestmöglich in den Kontext der schweizerischen Sicherheitsarbeit einfügt. Potenzielle Anwendergruppen wurden identifiziert sowie deren Bedürfnisse abgeholt und in der Methodenfindung berücksichtigt.

In der Situationsanalyse wurden das Zeitreihen-Monitoring sowie die Wirkungsanalyse von Massnahmen als zentrale Herausforderungen im Alltag von Sicherheitsverantwortlichen identifiziert. Die entwickelten Methoden sind als Hilfestellung für genau diese Fragestellungen ausgelegt. Sie repräsentieren zudem den international aktuellen Stand der Forschung. Die dadurch implizierte Komplexität wird durch eine Umsetzung der Methoden mittels einer Implementierung in bereits bestehende, für die Sicherheitsverantwortlichen zugängliche IT-Umgebung kompensiert, so dass auch Anwender ohne statistische Vorkenntnisse die Methoden anwenden und korrekt interpretieren können.

Folgerungen und Empfehlungen:

Um einen echten Mehrwert für die Verkehrssicherheit in der Schweiz zu bewirken, müssen die hier erarbeiteten Methoden in einer neuen Norm verankert werden. Durch eine gleichzeitige Implementierung der statistischen Berechnungsschritte in bestehende IT-Umgebungen (z.B. VUGIS) wird sichergestellt, dass die statistische Analyse von Unfallzahlen nach Norm durch einen breiten Anwenderkreis als eine echte/nützliche Hilfestellung dient und im beruflichen Alltag regelmässig genutzt wird.

Neben der Erarbeitung einer neuen Norm (durch die VSS NFK 5.3) und einer Implementierung in IT-Tools wird eine Schulung der Sicherheitsverantwortlichen zur korrekten Nutzung der Norm/der Tools empfohlen.

Für eine möglichst breite Anwendung der Methoden auch für jene Nutzer, die keinen Zugang zu den behördlichen IT-Tools haben, ist die Entwicklung von R-Packages zu prüfen. Langfristig ist die Weiterentwicklung der Methoden in Richtung Empirical-Bayes-Ansätzen zu prüfen.

Publikationen:

Geplant sind Beiträge in Fachmedien (z.B. VSS Strasse und Verkehr), in wissenschaftlichen Journals (z.B. Accident Analysis & Prevention), Kurzdarstellungen auf der Homepage der Projektpartner, Integration einzelner Erkenntnisse in die Hochschulausbildung (Stufe Master z.B. ETHZ-DBAUG Vorlesung "Verkehrssicherheit") sowie Weiterbildungskurse.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Deublein

Vorname: Markus

Amt, Firma, Institut: EBP Schweiz AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



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 Forschungsauftrag VSS 2016/511 "Statistische Analyse von Unfallzahlen" wurde gemäss einstimmiger Meinung der BK in jeglicher Hinsicht überaus erfolgreich ausgeführt, wobei das aussergewöhnlich gute Projektmanagement besonders zu erwähnen ist. Die Ergebnisse der Forschung erlauben es, die statistische Analyse von Unfallzahlen und die darauf basierende Evaluation von Massnahmen in Form einer neu zu verfassenden Schweizer Norm den zuständigen Fachleuten (z.B. Sicherheitsbeauftragte nach Art. 6a SVG) in praxisnaher Form zur Verfügung zu stellen. Das interdisziplinär zusammengesetzte Forschungskonsortium (EBP, ZHAW, ETH) hat die Bedürfnisse der zukünftigen Anwenderinnen und Anwender eingehend analysiert, um anwendungsgerechte Prozesse und Methoden zu entwickeln. Die vorgeschlagenen statistischen Methoden wurden mit Hilfe realer Unfalldaten ausgesucht und validiert. Dadurch ist eine grosse Praxisnähe gegeben und eine vermehrte und schweizweit verbreitete Anwendung der Norm mit grosser Wahrscheinlichkeit zu erwarten.

Umsetzung:

Die im Abschlussbericht vorgeschlagenen Methoden und Prozesse zur Analyse von Unfallzahlen und zur Evaluation der Wirksamkeit von Massnahmen schaffen den erfolgreichen Kompromiss zwischen ausreichender methodischer Korrektheit und vergleichsweise einfacher Anwendbarkeit. Der gut verständliche Schlussbericht zusammen mit dem ausführlichen Anhang bildet eine hervorragende Grundlage zur Formulierung einer neuen Schweizer Norm. Die vorliegenden Ergebnisse leisten damit einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zur Verkehrssicherheitsarbeit in der Schweiz.

weitergehender Forschungsbedarf:

Eine weiterführende Forschung könnte sich der Frage widmen, wie die Analyse von Unfallzahlen in der Schweiz in einem nächsten Schritt durch den Einsatz von Methoden auf dem aktuellsten Entwicklungsstand (z.B. Empirical Bayes Methode, Accident Prediction Models) nochmals optimiert werden kann.

Einfluss auf Normenwerk:

Die Ergebnisse der Forschung fliessen direkt in die neue Norm SN 641 712 "Strassenverkehrssicherheit: Analyse von Unfallzahlen" aus der VSS NFK 5.3 ein.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Brucks

Vorname: Werner

Am, Firma, Institut: Stadt Zürich, Polizeidepartement, Dienstabteilung Verkehr, Leiter Verkehrssicherheit

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Das Verzeichnis der in der letzten Zeit publizierten Schlussberichte kann unter **Fehler! Linkreferenz ungültig.**www.astra.admin.ch (*Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare*) heruntergeladen werden.