



# **Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisel**

## **Safety of two-lane roundabouts**

## **La sécurité routière des carrefours giratoires à deux voies**

**Berner Fachhochschule BFH AHB, Burgdorf**  
**Institut für Siedlungsentwicklung und Infrastruktur**  
**Prof. Marion Doerfel, Dipl.-Ing. TH**

**Berner Fachhochschule BFH TI, Burgdorf**  
**Institut für Risiko- und Extremwertanalyse i-REX**  
**Prof. Daniel Bättig, Dr. sc.math. habil.**

**Prof. em. ETHZ Hans Peter Lindenmann, dipl. Ing. ETH, Seengen**

**Christian Ary Huber, dipl. Ing. ETH, Belp**

**Kissling + Zbinden AG, Thun**  
**Nicolas Berger, dipl. Ing. FH**

**Forschungsprojekt VSS 2010/301 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

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**

# **Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisel**

**Safety of two-lane roundabouts**

**La sécurité routière des carrefours giratoires à deux voies**

**Berner Fachhochschule BFH AHB, Burgdorf**  
**Institut für Siedlungsentwicklung und Infrastruktur**  
**Prof. Marion Doerfel, Dipl.-Ing. TH**

**Berner Fachhochschule BFH TI, Burgdorf**  
**Institut für Risiko- und Extremwertanalyse i-REX**  
**Prof. Daniel Bättig, Dr. sc.math. habil.**

**Prof. em. ETHZ Hans Peter Lindenmann, dipl. Ing. ETH, Seengen**

**Christian Ary Huber, dipl. Ing. ETH, Belp**

**Kissling + Zbinden AG, Thun**  
**Nicolas Berger, dipl. Ing. FH**

**Forschungsprojekt VSS 2010/ 301 auf Antrag des Schweizerischen  
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

**Dezember 2015**

**1541**



# Inhaltsverzeichnis

<b>Impressum</b> .....	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>7</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>11</b>
<b>Summary</b> .....	<b>15</b>
<b>1 Anlass und Ziel der Forschung</b> .....	<b>19</b>
1.1 Ausgangslage .....	19
1.2 Auftrag und Zielsetzung .....	20
1.3 Grundlagen und Abgrenzungen .....	20
<b>2 Vorgehen und Methodik</b> .....	<b>21</b>
2.1 Generelles Vorgehen .....	21
2.2 Hypothesen .....	21
2.2.1 Ausgangslage für die Formulierung der Hypothesen .....	21
2.2.2 Generelle Hypothesen .....	22
2.2.3 Einzelhypothesen .....	22
2.3 Das mathematische Modell: Poisson-Regression.....	24
<b>3 Literaturrecherche</b> .....	<b>25</b>
3.1 Vorbemerkung .....	25
3.2 Kreisel als Gesamtanlage.....	25
3.3 Kreiselemente.....	27
3.4 Kreisel mit Bypass, Radverkehr, Fussverkehr .....	31
<b>4 Datengrundlagen</b> .....	<b>33</b>
4.1 Untersuchungsobjekte .....	33
4.1.1 Auswahl Untersuchungsobjekte .....	33
4.1.2 Überblick Untersuchungsobjekte.....	33
4.2 Datenerhebung.....	36
4.2.1 Anlage (geometrische Anlagegrössen resp. Projektierungsgrössen) .....	36
4.2.2 Unfallgeschehen .....	38
4.2.3 Verkehrsmengen .....	39
<b>5 Ergebnisse</b> .....	<b>41</b>
5.1 Vorbemerkungen und Aussagekraft der Ergebnisse.....	41
5.2 Explorative Datenanalyse.....	42
5.2.1 Summarische Beschreibung der Daten .....	42
5.2.2 Unfallziffer .....	42
5.2.3 Unfallschwere.....	44
5.3 Resultate der statistischen Modellberechnungen .....	45
5.3.1 Übersicht aller Modellierungen.....	45
5.3.2 Volles Modell .....	46
5.3.3 Einfachere Modelle, Modelle 1, 2 und 3.....	50
5.3.4 Modelle nach Betriebsform, Modell Typ Z (Modelle U und S) .....	50
5.3.5 Modell 4, Einfahrt.....	55
5.3.6 Modell 5, Ausfahrt.....	56
5.3.7 Modell 6, Kreisfahrbahn .....	57
5.3.8 Modell 7, Zufahrt.....	58
5.4 Veranschaulichung der Ergebnisse des Modells Z.....	58
<b>6 Erkenntnisse</b> .....	<b>67</b>
6.1 Erkenntnisse zum Sicherheitsniveau .....	67

6.1.1	Sicherheitsniveau .....	67
6.1.2	Unfallort und Unfalltyp .....	67
6.2	Erkenntnisse aus den statistischen Modellberechnungen und den Analysen der Wertetabellen.....	68
6.2.1	Grundsatz .....	68
6.2.2	Erkenntnisse aus dem Teilmodell Z .....	68
6.2.3	Erkenntnisse aus den statistischen Modellberechnungen zum lokalen Unfallort.....	69
6.3	Bewertung der Hypothesen.....	70
6.3.1	Bewertung der generellen Hypothesen .....	70
6.3.2	Bewertung der Einzelhypothesen .....	71
<b>7</b>	<b>Folgerungen und Empfehlungen.....</b>	<b>75</b>
7.1	Vorbemerkungen.....	75
7.2	Folgerungen und Empfehlungen zur Betriebsform und zur geometrischen Ausgestaltung .....	75
7.2.1	Wahl der Betriebsform .....	75
7.2.2	Geometriegrößen.....	76
7.3	Weitere Folgerungen .....	76
7.4	Anwendung der Forschungserkenntnisse.....	77
7.5	Empfehlungen.....	78
<b>8</b>	<b>Danksagungen .....</b>	<b>79</b>
	<b>Anhänge .....</b>	<b>81</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>99</b>
	<b>Projektabschluss.....</b>	<b>101</b>
	<b>Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen .....</b>	<b>105</b>

## Zusammenfassung

Die vorliegende Forschungsarbeit liefert Angaben zum Sicherheitsniveau zweistreifiger Kreisel in der Schweiz, dies für die Gesamtheit der zweistreifigen Kreisel, für unterschiedliche Betriebsformen sowie differenziert nach Kreiselementen. Die Arbeit zeigt zudem, welche Zusammenhänge zwischen geometrischen Anlagegrössen und Unfallgeschehen bestehen und leitet aus den Erkenntnissen Empfehlungen zur Wahl der geometrischen Elemente und der Betriebsform ab.

Kreisel sind in der Schweiz seit mehr als 30 Jahren eine immer beliebtere Knotenform. Insbesondere im Hinblick auf die Verkehrssicherheit erwies sich der Umbau von bestehenden Kreuzungen in Kleinkreisel, das heisst kompakte einstreifige Kreisel, als erfolgreich. Forschungen und der reiche Erfahrungsschatz führten daher zu Empfehlungen für die Projektierung von einstreifigen Kreiselanlagen, die sich Ende der 90er Jahre im Normenwerk der Schweizerischen Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) in der Norm SN 640 263 „Knoten; Knoten mit Kreisverkehr“ [6] niederschlugen.

In den letzten Jahren wurden aus Gründen der Leistungsfähigkeit vermehrt Kreisel mit zweistreifiger oder überbreiter Kreisfahrbahn und mehrstreifigen Zufahrten und teilweise auch mit zweistreifigen Ausfahrten gebaut. Ihnen wird immer wieder nachgesagt, dass sie „gefährlicher“ als einstreifige Kreisel seien. Erste Untersuchungen im Zuge der Forschung „Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel“ [12] im Jahre 2009 führten zur Erkenntnis, dass zwar die Zahl der Unfälle bei zweistreifigen Kreiseln höher ist als bei einstreifigen Kreiseln, sich aber das an der Verkehrsleistung gemessene Unfallgeschehen (Unfallziffer) als ähnlich erweist. Die an 15 Kreiseln durchgeführte Untersuchung hat gleichzeitig gezeigt, dass bei zweistreifigen Kreiseln, die in der Regel grössere geometrische Abmessungen und ein höheres Geschwindigkeitsniveau aufweisen und auch Fahrstreifenwechsel mit sich bringen, im Vergleich zu einstreifigen Kreiseln neue ungünstige Auffälligkeiten im Unfallgeschehen auftreten. In [12] wird angenommen, dass die Unfälle im Zusammenhang mit den geometrischen Anlagegrössen stehen.

Die vorliegende Forschung bezweckte daher, das Sicherheitsniveau zweistreifiger Kreisel in der Schweiz zu bestimmen und Aufschluss darüber zu geben, ob und welche geometrischen Grössen das Unfallgeschehen an zweistreifigen Kreiseln beeinflussen. Als zweistreifige Kreisel gelten sie, wenn sie eine zweistreifige Kreisfahrbahn oder eine einstreifige, überbreite Kreisfahrbahn sowie mindestens eine zweistreifige Einfahrt aufweisen. Zudem sind Auffälligkeiten sowie Unterschiede bei den Betriebsformen 2/2 (zweistreifige Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn) und 2/1+ (zweistreifige Kreisel mit einer einstreifigen, überbreiten Kreisfahrbahn) zu ermitteln. Aus den Erkenntnissen sollen Empfehlungen zur Wahl der geometrischen Abmessungen abgeleitet werden.

Der Forschung liegen 97 zweistreifige Kreisel zugrunde. Zum Datensatz zählen sowohl Kreisel der Betriebsformen 2/2 und 2/1+ als auch eine kleine Anzahl von Sonderformen, welche ebenfalls die Forschungsbedingungen erfüllen.

Der methodische Ansatz der Untersuchung besteht in der Formulierung von Hypothesen zwischen auffälligen Ausprägungen des Unfallgeschehens und bestimmten Ausgestaltungen der geometrischen Anlagegrössen. Die Anzahl Unfälle werden dabei mit einem homogenen Poisson-Prozess modelliert. Dies bedeutet, dass die Anzahl Unfälle linear mit der beobachteten Zeitperiode zunimmt. Die durchschnittliche Anzahl der Unfälle  $\mu$  pro Jahr wird mit einem verallgemeinerten linearen Modell in Funktion der involvierten Anlagegrössen des Kreisels und des DTV berechnet. Die aufgestellten Hypothesen werden mit statistischen Verfahren zur Poissonregression evaluiert. Mit einem Kreuzvalidierungsverfahren (Insample-Prediction) wurde die Güte der statistischen Modelle beurteilt und als gut empfunden.

Die gewonnenen Erkenntnisse widerlegen die bisherigen Befürchtungen, dass zweistreifige Kreisel eine sehr ungünstige Verkehrssicherheit aufweisen würden. Das

Sicherheitsniveau, angegeben mit der relativen Unfallkenngrösse Unfallziffer, ist im Durchschnitt gleich gross wie bei einstreifigen Kreiseln.

Wenn sich aus Leistungsgründen ein zweistreifiger Kreisel aufdrängt, soll dieser möglichst die Betriebsform mit zweistreifiger Kreisfahrbahn (2/2) aufweisen. Wie aus den Unterschieden im Sicherheitsniveau, insbesondere der Unfallschwere der drei untersuchten zweistreifigen Betriebsformen hervorgeht. Dabei soll die Zahl der zweistreifigen Zufahrten möglichst auf die aus Leistungsgründen ausgewiesene Zahl, möglichst auf eine, beschränkt bleiben. Auf zweistreifige Ausfahrten ist wenn immer möglich zu verzichten.

Die Forschungsergebnisse weisen ferner aus, dass Kreisel mit vier Armen sicherer sind als mit drei Armen. Allerdings ist anzumerken, dass die im Datensatz enthaltenen dreiarmligen Kreisel eine ungleichmässig verteilte Anordnung der Arme (T-Knoten, Durchschuss) aufweisen. Die Anzahl Arme lässt sich zudem kaum beeinflussen, da sie in der Regel Folge der verkehrsplanerischen Situation ist.

Hinsichtlich des Einflusses geometrischer Grössen auf das Unfallgeschehen hat sich zudem Folgendes gezeigt:

- Der Aussendurchmesser hat, gefolgt vom Ablenkwinkel, den stärksten Einfluss auf die erwartbare durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr.  
Kleinere Aussendurchmesser sind sicherer als grosse Aussendurchmesser. Insbesondere sollen bei eher geringeren Verkehrsstärken kleinere Aussendurchmesser gewählt werden. Der minimale Aussendurchmesser kann 32 m betragen, Aussendurchmesser von mehr als 50 m sind unbegründet.  
Es sind möglichst grosse Ablenkwinkel anzuwenden. Es wird empfohlen, Ablenkwinkel von 45 Grad und mehr anzustreben. Minimal soll ein Winkel von 35 Grad gewährleistet werden.
- Aus den Forschungsergebnissen lassen sich zumindest Hinweise ableiten, dass sowohl die Fahrbahnbreite in der Einfahrt als auch die Breite der Kreisfahrbahn einen Einfluss auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr haben. Mit zunehmender Fahrbahnbreite in der Einfahrt erhöht sich die Anzahl Unfälle, mit zunehmender Breite der Kreisfahrbahn nimmt sie minimal ab. Die Fahrbahnbreite in der Einfahrt soll daher möglichst klein gewählt werden. Die minimale Breite beträgt 6 m. Sie ist auch bei kleinen Aussendurchmessern klein zu wählen. Die Breite der zweistreifigen Kreisfahrbahn ist aufgrund der erforderlichen Fahrstreifenbreiten inklusive Kurvenverbreiterung unter Berücksichtigung der Schleppkurven zu wählen. Mehrbreiten können zugelassen werden.
- Desweiteren können Aussagen zur Tendenz des Einflusses der Leitinseln gemacht werden. Schmale Trenninseln in der Ein-/Ausfahrt sind günstiger als breite. Es ist aber eine genügende physische Trennwirkung zu gewährleisten.
- Für die Grösse des Einfahrtwinkels kann keine Empfehlung gemacht werden, da sich die Ergebnisse bezüglich Breite der Trenninsel in der Einfahrt und Grösse des Einfahrtwinkels widersprechen.
- Besondere Aufmerksamkeit ist der Kreiselzufahrt aufgrund der Erkenntnisse aus dem Unfallgeschehen (Unfalltypen) zu schenken: die geometrische Ausgestaltung der Zufahrt soll durch schmale Fahrstreifen und kanalisierende Elemente dazu beitragen, dass die Zufahrtsgeschwindigkeiten zur Kreiseinfahrt reduziert werden können. Diese Empfehlung basiert lediglich auf Hinweisen der vorliegenden Forschungsergebnisse, wird aber in der Literatur ähnlich beurteilt.

Auf der Basis der im Rahmen dieser Forschungsarbeit generierten Erkenntnisse zum Betrieb und zur geometrischen Ausgestaltung wird empfohlen, umgehend eine Norm zur Projektierung und Ausgestaltung von zweistreifigen Kreiseln mit zweistreifiger Kreisfahrbahn zu erlassen. Damit kann rasch Abhilfe bei der Unsicherheit der Wahl der betrieblichen Ausgestaltung und der geometrischen Grössen geschaffen werden.

Die Sicherheit von zweistreifigen Kreiseln, ausgestaltet als Sonderformen (Turbokreisel etc.), sollte umgehend vertieft untersucht werden, weil sich im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit Sicherheitsdefizite (Unfallschwere) angedeutet haben.

Die Forschungsergebnisse können für folgende Anwendungen genutzt werden:

- Direkt als quantitativ generelle Hinweise bei der Projektierung von neuen zweistreifigen Kreiseln solange bis die entsprechende Norm zur Ausgestaltung von zweistreifigen Kreiseln erlassen wird. Es betrifft dies die Erkenntnisse zu den geometrischen Anlagegrössen, soweit sie Auskunft geben.
- Die Erkenntnisse zur betrieblichen Ausgestaltung von zweistreifigen Kreiseln können fortan für Beurteilungen von verkehrsplanerischen Fragen herangezogen werden.
- Die Ergebnisse zu Unfallziffer, Unfallschwere und Verteilung der Unfalltypen können zur Beurteilung des generellen Sicherheitsniveaus bestehender zweistreifiger Kreisell dienen.

Die Forschungsergebnisse sind für folgende Anwendungen nicht geeignet:

- Zur Verwendung der umfassenden Detailausgestaltung der Kreisellzufahrt, Kreisell-einfahrt und der Kreisellausfahrt sind die gefundenen Erkenntnisse zu unsicher.
- Die Erkenntnisse dürfen nicht direkt für die Sanierung von bestehenden Kreiseln verwendet werden, weil jeder Kreisell eine individuelle Geometrie und Ausgestaltung aufweist, welche zur entsprechenden Ausprägung des Unfallgeschehens führen kann. Die Ableitung von Verbesserungsmassnahmen zugunsten der Verkehrssicherheit ist bei bestehenden Anlagen in jedem Fall anhand einer verkehrstechnischen Unfallanalyse durchzuführen. Die Erkenntnisse der vorliegenden Forschungsarbeit liefern Hinweise für die Auswahl von Massnahmen.
- Das für die Untersuchung der Einflüsse von geometrischen und betrieblichen Einflüssen auf das Unfallgeschehen verwendete Modell kann nur bedingt für die Abschätzung zukünftiger Unfallhäufigkeiten verwendet werden. Dies, weil insbesondere die Verkehrsmengen zu einem Teil Schätzungen sind, und zudem einzelne geometrische Grössen nicht im Modell vorhanden sind (z.B. Durchsicht).



## Résumé

Le présent travail de recherche fournit des indications sur le niveau de sécurité des giratoires à deux voies en Suisse tant pour l'ensemble des giratoires à deux voies que pour différentes formes d'exploitation ou différenciées par éléments de giratoire. L'étude montre les relations qui existent entre les éléments géométriques de l'infrastructure et l'accidentalité. Les résultats permettent de faire des recommandations quant au choix des éléments géométriques et de la forme d'exploitation des giratoires.

Depuis plus de 30 ans, le giratoire est en Suisse un type de carrefour de plus en plus apprécié. La transformation des carrefours existant de type classique en carrefours giratoires, plus particulièrement les giratoires compacts à une voie, s'est avérée particulièrement bénéfique du point de vue de la sécurité du trafic. Les recherches et les nombreuses expériences ont donc conduit à des recommandations pour l'élaboration de giratoires à une voie. Ces recommandations se sont traduites, à la fin des années 90, par la publication de la norme SN 640263 "Carrefours - Carrefours giratoires" [6] de l'union des professionnels suisse de la route (VSS).

Pour des raisons de capacité, on a vu ces dernières années, se multiplier les giratoires comportant un anneau à deux voies ou un anneau élargi et des entrées à plusieurs voies, avec le cas échéant des sorties à 2 voies. Ces derniers sont toujours considérés comme plus dangereux que ceux à une voie. Les premières investigations menées en 2009 dans le cadre du mandat de recherche "Capacité des giratoires à deux voies" [12] ont montré que, si le nombre d'accidents dans de tels giratoires était plus élevé que dans le cas de ceux à une voie, en revanche, le nombre d'accidents rapporté au trafic (taux d'accident) était similaire. Ces recherches portant sur 15 giratoires ont également montré que, en comparaison des giratoires à une voie, les giratoires à deux voies, qui présentent des dimensions plus importantes, des vitesses de franchissement généralement supérieures et des changements de voies, induisent de nouvelles conditions, défavorables en termes d'accidents. Dans [12], il est admis que les accidents sont liés aux dimensions des aménagements.

Cette recherche a donc pour objectif l'estimation du niveau de sécurité des giratoires à deux voies en Suisse, et la mise en évidence des paramètres géométriques susceptibles d'influencer les accidents. Ils sont considérés comme giratoires à deux voies s'ils possèdent un anneau à deux voies ou un anneau à une voie élargie ainsi qu'au moins une entrée à deux voies. En outre, il s'agit de déterminer les particularités et les différences des types de giratoires 2/2 (giratoire à deux voies, avec deux voies à l'anneau) et 2/1+ (giratoire à deux voies, avec un anneau à une voie élargie).

La recherche se base sur un échantillon de 97 carrefours giratoires. Les données à disposition comprennent les formes d'exploitation 2/2 et 2/1+ ainsi qu'un nombre restreint de forme spéciale répondant aux exigences du travail de recherche.

L'approche méthodique de l'étude consiste en la formulation d'hypothèses sur l'occurrence des accidents liée à la géométrie et aux dimensions des divers éléments. La répartition des accidents a ainsi été modélisée par le biais d'une loi de Poisson homogène. Il en résulte une croissance des accidents linéaire dans le temps. Le nombre d'accidents annuel moyen  $\mu$ , est ainsi calculé par un modèle linéaire global, fonction des dimensions considérées du giratoire et du TJM. Les hypothèses sont évaluées par le biais d'une méthode statistique basée sur une régression de Poisson. Une méthode de validation croisée (Insample-Prediction) a permis de confirmer la validité du modèle.

Les observations ont permis d'invalider l'opinion, courante à ce jour, sur l'insécurité des giratoires à deux voies. Le niveau de sécurité donné par l'indicateur taux d'accident est en moyenne comparable à celui des giratoires à une voie.

Si pour des raisons de capacité la construction d'un giratoire à deux voies s'avère nécessaire, la forme d'exploitation avec anneau à deux voies (2/2) doit être privilégiée.

Cette préférence découle des différences dans le niveau de sécurité, plus particulièrement de la gravité des accidents des trois formes d'exploitation étudiées. En outre, le nombre des entrées à deux voies devrait être limité au nombre nécessaire défini par les calculs de capacité. Dans la mesure du possible on renoncera aux sorties à deux voies.

Les résultats de l'étude montrent en outre, que les giratoires à quatre branches sont plus sûrs que ceux à trois branches. Il faut cependant remarquer que les giratoires à trois branches, compris dans les données à disposition, possèdent souvent une répartition inégale des branches dans l'espace. La position des branches (trajet non dévié) découlant en général de la planification, leur nombre ne saurait être affecté.

En ce qui concerne l'influence des autres paramètres géométriques sur l'accidentalité, il s'est avéré ce qui suit:

- Le diamètre extérieur, suivi par l'angle de déviation, sont ceux qui ont la plus forte influence sur la moyenne annuelle du nombre d'accidents.  
Les giratoires de petit diamètre sont plus sûrs que ceux de grand diamètre. En particulier, en cas de faible charge de trafic, il est recommandé d'opter pour des giratoires de faible diamètre. Le diamètre extérieur minimal peut être de 32 mètres. Des diamètres supérieurs à 50 mètres ne sont pas justifiés.  
Les angles de déviations doivent être les plus élevés possibles. Il est recommandé de recourir à des angles de déviation de 45° ou plus, et de ne pas descendre en dessous de 35°.
- On peut déduire des résultats que, autant la largeur des entrées que celle de l'anneau ont une influence sur le nombre annuel d'accidents.  
Plus l'entrée est large, plus fréquent sont les accidents, mais plus l'anneau est large plus les accidents diminuent. La largeur de l'entrée doit donc être la plus faible possible. La largeur minimale est de 6 mètres. En cas de diamètres extérieurs faibles elle doit également être de valeur réduite. La largeur des anneaux à double voie se base sur la largeur de la courbe de balayage des véhicules et la surlargeur nécessaire. Des largeurs supplémentaires peuvent être admises.
- Par ailleurs, il est possible de formuler quelques affirmations sur l'influence des îlots directionnels. Les îlots étroits sont plus favorables, aussi bien en entrée qu'en sortie. Il est cependant nécessaire d'assurer une séparation physique suffisante.
- La valeur de l'angle d'entrée n'a quant à elle donné lieu à aucune recommandation. Ceci est dû aux résultats relatifs à la largeur des îlots (en entrée) qui se trouvent en contradiction avec ceux concernant à l'angle d'entrée.
- Une attention particulière doit être apportée à la branche d'accès au giratoire, sur la base de l'accidentologie: L'accès au giratoire doit être étroit et canalisé, afin de réduire la vitesse d'entrée. Cette recommandation est fondée sur les résultats de cette recherche, mais on en trouve de similaires dans la littérature.

Sur la base des résultats obtenus dans le cadre de la présente recherche sur l'exploitation et la conception des giratoires il est conseillé d'élaborer sans tarder une norme destinée à la planification et à la conception de giratoires avec anneau et entrée à deux voies de circulation. Dans le cadre de l'élaboration de projet, une telle norme lèverait rapidement les insécurités liées au choix d'exploitation et aux dimensions géométriques d'un tel giratoire.

Les giratoires à deux voies de forme particulière (turbo giratoire etc.) devrait également faire l'objet d'études approfondies dans les plus brefs délais, la présente étude mentionnant des déficits récurrents en matière de sécurité (gravité des accidents) de ce type d'exploitation.

Les résultats de la recherche peuvent être utilisés pour les applications suivantes:

- Recommandation générale pour les nouveaux projets de giratoires à deux voies, jusqu'à la parution de la norme correspondante (celle sur la géométrie et les dimensions).

- Les résultats sur l'exploitation et le dimensionnement des carrefours giratoires à deux voies peuvent être utilisés à des fins de planification.
- Les résultats concernant l'évaluation du niveau de sécurité, sur la base du nombre, du type et de la gravité des accidents, sont applicables aux giratoires à deux voies existants.

Les résultats de la recherche ne sont pas applicables dans les cas suivants:

- Les résultats ne sont pas appropriés à la conception détaillée des accès, des entrées et des sorties de giratoires.
- Les résultats ne sont pas directement applicables dans le cadre de l'amélioration des giratoires existants. Chaque giratoire à sa conception propre, laquelle influence directement la gravité des accidents. Pour chaque installation existante, toute mesure propre à améliorer la sécurité doit être étayée par une analyse de sécurité détaillée. Les résultats de la présente recherche fournissent des pistes pour le choix de ces mesures.
- Le modèle utilisé pour déterminer l'influence de la géométrie et du trafic sur les accidents ne peut être appliqué qu'à certaines conditions pour l'estimation de l'accidentalité future. Ceci d'une part parce que les charges de trafic sont des estimations, et d'autre part parce que certains paramètres géométriques font défaut (par exemple la visibilité au-delà du giratoire).



## Summary

This study provides information on the safety level of two-lane roundabouts in Switzerland, not only two-lane roundabouts generally but also different subtypes and differentiated by roundabout elements. Furthermore, the research describes the relationship between roundabout design and accidents. Finally it offers recommendations concerning the choice of geometric design features and the subtype of two-lane roundabouts.

For over 30 years, roundabouts have been an increasingly favoured type of intersection in Switzerland. The transformation of existing junctions into compact single-lane roundabouts (type "Kleinkreisel") has proved particularly effective in regard to road safety. Research activities and a wealth of experience resulted in recommendations for the design of single-lane roundabouts which were published in the Swiss standard SN 640 263 *Knoten; Knoten mit Kreisverkehr* [6] by the Swiss Association of Road and Traffic Professionals (VSS) in the late 1990s.

In recent years, two-lane roundabouts have been built in order to increase capacity. Two-lane roundabouts have often been labelled as more dangerous than their single-lane counterparts. In 2009, in the context of research regarding the capacity of two-lane roundabouts [12] an initial study on safety of 15 roundabouts led to the conclusion that, as expected, the number of accidents on two-lane roundabouts is higher than on those with one lane only, but accident rates in terms of traffic volume were found to be similar. The study also showed that the greater geometric dimensions, higher speed level, and the lane changes usually found on two-lane roundabouts contribute to unfavourable abnormalities in accident occurrence in comparison with single-lane roundabouts. In [12] the accidents are assumed to be associated with the geometric design features.

Therefore the present research aims to determine the safety level of two-lane roundabouts in Switzerland, and to investigate the influence of geometric parameters on accident occurrence on two-lane roundabouts. Roundabouts are classed as two-lane roundabouts if they feature two circulating lanes or one extra wide circulating lane and at least one leg with two entry lanes. The peculiarities and differences between the 2/2 type (at least one leg with two entry lanes / two circulating lanes) and the 2/1+ type (at least one leg with two entry lanes / one extra wide circulating lane) are additionally examined.

The study is based on a sample of 97 two-lane roundabouts. The sample set includes type 2/2 and type 2/1+ roundabouts and a small number of special types which also matched the research criteria.

Several hypotheses regarding the number of accidents caused by the geometry of roundabouts are formulated. To estimate the plausibility of the hypotheses, a homogenous Poisson process models the distribution of the number of accidents. This number is therefore a linear function of the observation period. The expected number of accidents per year  $\mu$  is then estimated with the help of a generalised linear model as a function of the geometrical dimensions and the average daily traffic (ADT). The models have been checked by in-sample prediction.

The findings of this research refute previous concerns that two-lane roundabouts would show a very unfavourable impact on road safety. The safety level, expressed by the accident rate, is equivalent to that of single-lane roundabouts.

When a two-lane roundabout is deemed necessary for capacity reasons, two-lane roundabouts with two circulating lanes (type 2/2) should be selected as data on the differences in safety level and severity of accidents of the three examined types of roundabouts clearly show. The number of two-lane entries should be limited to the number established for capacity reasons. Two-lane exits should be avoided wherever possible.

The results also indicate that roundabouts with four legs are safer than roundabouts with three legs. However, it should be noted that the three-leg roundabouts contained in the sample set have an unevenly distributed arrangement of legs (T-junction, no deflection), and the number of legs can hardly be influenced because it is a consequence of the traffic planning situation.

Regarding the influence of geometric parameters on the accident occurrence the following can be assumed:

- The outside diameter, followed by the fleet angle, has the largest influence on the expected average number of accidents per year.  
Smaller outside diameters are safer than large ones. They should particularly be favoured at lower traffic volumes. The required minimum external diameter is 32 m. There are no grounds for external diameters of 50 m and more.  
The fleet angle should be as large as possible: an angle of at least 35 degrees should be ensured but angles of 45 degrees and more are recommended.
- It may be deduced from these results that the average number of accidents per year is influenced by the width of both the circulating lane and the entry lanes. The number of accidents increases the wider the entry lane and decreases slightly with increasing width of the circulating lane. The entry lane should therefore be designed to be as narrow as possible (the minimum width is 6 m), even with small outside diameters. The width of the two-lane circulating lane is, taking account of tractrices, to be determined by the required lane width including curve widenings. Larger widths may be permitted.
- Furthermore, statements can be made about the influence of central islands. Narrow central islands in entries/exits are more advantageous than wide ones. A sufficient physical separating effect must, however, be ensured.
- Due to contradictory results regarding the width of the central island in the entry and the size of the entry angle, no recommendation concerning the dimension of entry angles can be given.
- Accident situations (types of accidents) point to specific conclusions in regards to point of entry: the geometric design of entries seeks to use narrow lanes and channelling elements in an effort to reduce approach speed. This recommendation is merely based on indications provided by this research, but has also been described similarly in the literature.

On the basis of the findings in this research it is recommended that a standard for the planning and design of two-lane roundabouts with two circulating lanes be developed and adopted as soon as possible. This will facilitate the choice of roundabout subtype and geometric design features.

The safety of two-lane roundabouts designed as special shapes (turbo roundabout, etc.) should be investigated in greater depth immediately because the present study has indicated that they have an increased severity of accidents compared to the two other types.

These research results can be used for the following purposes:

- Directly, as a general quantitative guide during the planning of new two-lane roundabouts, until the corresponding standard for the design of two-lane roundabouts has been adopted. This concerns findings about the geometric dimensions, as far as these are relevant.
- The findings on the operating design of two-lane roundabouts can be used for the assessment of traffic planning issues from now on.
- The results on accident rates, accident severity and distribution of accident types can serve as a basis for examining the general safety level of two-lane roundabouts.

These research results are unsuitable for the following purposes:

- The results are too unreliable for the comprehensive detailed design of roundabout access, entry and exit.
- The conclusions are not to be used directly for the renovation of present roundabouts, since each roundabout has a unique geometry and design which lead to a corresponding extent of accident situations. For existing roundabouts, measures for improving road safety are in any case to be made on the basis of an accident analysis. The findings of this research provide advice on the selection of measures.
- The model used to examine the influence of geometric and operational factors on accidents is only applicable to a limited extent for the estimation of future accident frequency. This is not least because the traffic volume is, to some extent, an estimate. Additionally, not all geometric parameters are included in the model.



# 1 Anlass und Ziel der Forschung

## 1.1 Ausgangslage

Kreisell sind in der Schweiz seit mehr als 30 Jahren eine immer beliebtere Knotenform. In den 80er Jahren wurden erste Kleinkreisell, d.h. kompakte einstreifige Kreisell, projektiert und versuchsweise gebaut. Die positiven Erfahrungen, wie sie beispielsweise beim Kreisellversuchsbetrieb in Biel von 1987 [1] gesammelt wurden, auch „Bieler Versuche“ genannt, fanden Niederschlag in ersten Empfehlungen zum Einsatz und zur Projektierung von Klein- und Minikreiselln und Doppelkreiselln, unter anderem 1988 im „Arbeitspapier Kreisell“ des Tiefbauamts des Kantons Bern [2]. An der VSS-Fachtagung „Kreisell“ im Jahr 1991 an der ETH Zürich fand ein erster breiter Erfahrungsaustausch statt, u.a. beschreibt das Tiefbauamt des Kantons Zürich in einer Beispielsammlung [3] seine wesentlichen Erkenntnisse und Erfahrungen.

Kleinkreisell erlebten in den 90er Jahren daraufhin einen enormen Aufschwung. Die Kreisell haben sich von Westen nach Osten über die Schweiz ausgebreitet. Insbesondere im Hinblick auf die Verkehrssicherheit erwies sich der Umbau von bestehenden Kreuzungen in Kleinkreisell als erfolgreich. Dennoch zeigte die Auswertung von Unfalldaten, dass einzelne Kreisell auch eine deutliche Zunahme der Anzahl Unfälle zu verzeichnen hatten [4]. Die diesbezüglich 1993 gestartete Forschung hinsichtlich allfälliger Zusammenhänge zwischen Unfallgeschehen, Verkehrsfluss und geometrischen Projektierungselementen [5] führte zu Empfehlungen für die Projektierung von einstreifigen Kreisellanlagen mit einem Aussendurchmesser zwischen 25 und 35 m (Typ Kleinkreisell). Zusammen mit dem reichen Erfahrungsschatz der in Betrieb stehenden Kreisell haben sich die Erkenntnisse im Normenwerk der Schweizerischen Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) niedergeschlagen, in der Norm SN 640 263 Knoten; Knoten mit Kreisverkehr [6].

„Les giratoires en Suisse: On ne les compte plus!“ So betitelte 1995 BOVY, Professor am Laboratoire de mobilité et développement territorial (LEM) an der ETH Lausanne, seinen Fachartikel im VSS-Magazin „Verkehr und Strasse“ [7]. Damals zählte er alleine auf den Schweizer Kantonsstrassen über 600 Kreisell. Bereits Ende der 90er Jahre wurde die Anzahl von Kleinkreiselln in der Schweiz auf ca. 1'000 [8] geschätzt. Heute existieren alleine auf den 1'150 km Aargauer Kantonsstrassen 149 Kreisell [9]. Neuere Schätzungen gehen von möglicherweise schweizweit 5'000 Kleinkreiselln aus [10].

Seit 1995 hat aber nicht nur die Anzahl Kreisell, sondern auch die Verkehrsmenge im Strassenverkehr deutlich zugenommen. So stieg die Zahl der jährlich zurückgelegten Fahrzeugkilometer des privaten motorisierten Strassenverkehrs zwischen 1995 und 2010 um über 20 % [11]. Der ungebrochenen Nachfrage wurde mit einem Ausbau der Kapazität der Strasseninfrastruktur begegnet. Unter anderem wurden Kreisell mit zweistreifiger oder überbreiter Kreisfahrbahn und mehrstreifigen Zufahrten und teilweise auch mit zweistreifigen Ausfahrten gebaut. Diese haben sich in den letzten Jahren neben dem einstreifigen Kreisell zu etablieren begonnen. Empfehlungen zum Bau zweistreifiger Kreisell beschränken sich allerdings im Rahmen der Norm zu einstreifigen Kreiselln [6] auf die Fahrbahnbreite von allfälligen zweistreifigen Einfahrten.

Zweistreifigen Kreiselln wird immer wieder nachgesagt, dass diese „gefährlicher“ als einstreifige seien. Im Rahmen der Forschung „Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisell“ [12] wurden daher erste, grobe Auswertungen zum Unfallgeschehen an zweistreifigen Kreiselln vorgenommen. Diese führten zur Erkenntnis, dass zwar die Zahl der Unfälle bei zweistreifigen Kreiselln höher ist als bei einstreifigen Kreiselln, dass sich aber das an der Verkehrsleistung gemessene Unfallgeschehen (Unfallziffer) als ähnlich erweist. Diese Untersuchung hat gleichzeitig gezeigt, dass bei zweistreifigen Kreiselln, die in der Regel grössere geometrische Abmessungen und ein höheres Geschwindigkeitsniveau aufweisen und häufigere Fahrstreifenwechsel mit sich bringen, im Vergleich zu einstreifigen Kreiselln neue ungünstige Auffälligkeiten im Unfallgeschehen auftreten. Es sind dies unter anderem Häufigkeit und Schwere der Unfälle auf der Kreisfahrbahn, Häufigkeit und

Schwere von Auffahrunfällen in den Zufahrtsbereichen und Schleuder-/Selbstunfällen bei Kreiselausfahrten. In [12] wird angenommen, dass die Unfälle im Zusammenhang mit den geometrischen Anlagegrößen stehen.

## 1.2 Auftrag und Zielsetzung

Das Forschungsprojekt „Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisel“ soll

- Sicherheitsniveau zweistreifiger Kreisel in der Schweiz bestimmen, und
- Erkenntnisse zu den Ursachen der Auffälligkeiten im Unfallgeschehen an zweistreifigen Kreiseln gewinnen resp. Aufschluss darüber geben, welche geometrischen Variablen das Unfallgeschehen an zweistreifigen Kreiseln beeinflussen.

Zudem sind Auffälligkeiten sowie Unterschiede bei den Betriebsformen 2/2 und 2/1+ zu ermitteln.

Aus den Erkenntnissen sollen Empfehlungen resp. Hinweise zur Bemessung und Anwendung der Projektierungselemente zweistreifiger Kreisel abgeleitet werden.

## 1.3 Grundlagen und Abgrenzungen

Aus einer durch das Forschungsteam durchgeführten gesamtschweizerischen Umfrage bei den Kantonen im Jahre 2011 konnten rund 120 dokumentierte zweistreifige Kreisel registriert werden. Als zweistreifige Kreisel galten sie, wenn sie eine zweistreifige Kreisfahrbahn (Betriebsform 2/2) oder eine einstreifig, überbreite Kreisfahrbahn (Betriebsform 2/1+) sowie mindestens eine zweistreifige Zufahrt aufweisen. Sie können mit oder ohne Bypass ausgerüstet sein. Eine kleine Anzahl von Sonderformen wie Turbokreisel und unechte zweistreifige Kreisel sind darin ebenfalls enthalten. Letztlich bilden 97 dieser Kreisel die Grundlage für die vorliegende Forschung.

Zur Bearbeitung des Forschungsauftrages wurde bereits im entsprechenden Gesuch der Verzicht auf verkehrstechnische Messungen zum Verkehrsablauf eröffnet. Aufwand (Kurvenmessung in kleinen Kurven schwierig, keine Tarnungsmöglichkeit, etc.) und Nutzen (geringe Differenzen und keine Signifikanzen zu erwarten) stehen in keinem akzeptablen Verhältnis.

Nicht Gegenstand der Forschung sind zudem andere mögliche Einflüsse auf das Unfallgeschehen wie Verkehrsverhalten, Wetterverhältnisse, Tageszeit, Zustand der Fahrzeuglenker.

## 2 Vorgehen und Methodik

### 2.1 Generelles Vorgehen

Die Bestimmung des Sicherheitsniveaus erfolgt grundsätzlich durch die Ermittlung der durchschnittlichen Unfallziffer.

Zur Ergründung der Ursachen von Auffälligkeiten im Unfallgeschehen wird das Unfallgeschehen nach Häufigkeiten, Schwere und Unfallort im Kreisel ausgewertet und einer Analyse allfälliger Zusammenhänge der Auffälligkeiten mit geometrischen Anlagegrössen unterzogen. Diese Analyse ist zentral für das Erkennen von Einflüssen der geometrischen Ausgestaltung auf die Unfallhäufigkeit und Schwere von zweistreifigen Kreiseln. Erkenntnisse daraus liefern die notwendigen Grundlagen für die entsprechende Normierung.

Obwohl mit zunehmender Grösse der Aussendurchmesser zweistreifiger Kreisel zunehmende Geschwindigkeiten auf der Kreisfahrbahn und möglicherweise auch beim Einfahren in den Kreisel zu erwarten sind, wird im Rahmen dieser Untersuchung bewusst auf die Erhebung von örtlichen Geschwindigkeiten in den Untersuchungsobjekten verzichtet. Es ist bekannt, dass sich der Einfluss höherer Geschwindigkeiten vor allem auf die Unfallschwere ungünstig auswirkt, sich in Kreiseln aber eher wenig schwere Unfälle ereignen. Zudem sollte sich die Analyse auf die Häufigkeiten bestimmter Unfalltypen und deren örtlichem Auftreten konzentrieren. Dies aufgrund der allgemeinen Hypothese, wonach bestimmte unfallrelevante Fahrmanöver in engem Zusammenhängen mit geometrischen Anlagegrössen stehen [13].

Dies führte zum grundsätzlichen methodischen Ansatz der Untersuchung, der Formulierung von Hypothesen zwischen auffälligen Ausprägungen des Unfallgeschehens und bestimmten Ausgestaltungen der geometrischen Anlagegrössen (siehe Kapitel 2.2).

Die Anzahl Unfälle werden dabei mit einem homogenen Poisson-Prozess modelliert (siehe Kapitel 2.3). Dies bedeutet, dass die Anzahl Unfälle linear mit der beobachteten Zeitperiode zunimmt. Die durchschnittliche Anzahl der Unfälle  $\mu$  pro Jahr wird mit einem verallgemeinerten linearen Modell in Funktion der involvierten Anlagegrössen des Kreisels und des DTV berechnet. Die aufgestellten Hypothesen werden mit statistischen Verfahren zur Poissonregression evaluiert. Mit einem Kreuzvalidierungsverfahren (Insample-Prediction) wurden die Modelle überprüft.

Zur Interpretation der Ergebnisse wurden Wertetabellen verwendet, welche die Wertebereiche der einzelnen Anlagegrössen auf die geometrisch resp. verkehrstechnisch möglichen begrenzt. Grundlagen dazu bilden Verkehrsdaten, Geometriedaten sowie Unfalldaten der vergangenen Jahre der schweizweit in Betrieb stehenden zweistreifigen Kreisel resp. der ausgewählten 97 Untersuchungsobjekte.

### 2.2 Hypothesen

#### 2.2.1 Ausgangslage für die Formulierung der Hypothesen

Zentrale Grundlage für die Formulierung von Hypothesen bildet die wissenschaftliche Erkenntnis aus der Unfallforschung, dass zwischen den geometrischen und verkehrstechnischen Anlagegrössen einer Verkehrsanlage und dem Unfallgeschehen signifikante Zusammenhänge bestehen. Diese Tatsache gründet sich auf den physikalischen Abhängigkeiten zwischen dem Verkehrsablauf (Fahrvorgänge), namentlich dem Geschwindigkeitsverhalten und den fahrgeometrischen Eigenschaften der Verkehrsanlage und den damit verbundenen Auswirkungen (Unfälle bestimmten Typs).

Diese Grundlage wird als Standard in nationalen und internationalen Untersuchungen verwendet, wie beispielsweise auch in der schweizerischen Untersuchung im Rahmen des Forschungsauftrages Unfallgeschehen und Geometrie von Kreiselanlagen einstreifiger Kreisel [5].

Zur Formulierung konkreter Hypothesen zum Zusammenhang von Unfallgeschehen und Anlagegrössen an zweistreifigen Kreiseln werden, auf der Basis der Untersuchungsobjekte in [12], vermutete Ursachen beim Verkehrsablauf, aufgegliedert nach schematisierten Fahrvorgängen, welche zu bestimmten Unfällen führen können (Unfalltypen) gesucht [14] und als Hypothesen postuliert (Anhang I). Die Gliederung der Untersuchung erfolgt in einen ersten Teil zur Gesamtanlage und in einen zweiten Teil für bestimmte Anlageelemente (Knotenelemente). Diese Gliederung stützt sich auf die ersten Erkenntnisse zum Unfallgeschehen zweistreifiger Kreisel aus dem Forschungsauftrag Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel [12]. Diese Erkenntnisse zeigen generell die örtliche Verteilung der Unfälle in zweistreifigen Kreiseln nach Einfahrbereich, Kreisfahrbahn und Ausfahrbereich sowie die Häufigkeiten der an diesen Stellen auftretenden Unfälle nach relevanten Unfalltypen. Aufgrund der geringen Anzahl von Untersuchungsobjekten (12 Kreisel) konnte in [12] keine vertiefte Analyse zu den Zusammenhängen Anlagegrössen und Unfallgeschehen erfolgen.

Die Hypothesen zur Gesamtanlage (als generelle Hypothesen bezeichnet) und die Hypothesen für die einzelnen Anlageelemente (Einzelhypothesen) werden in den nachfolgenden zwei Kapiteln beschrieben.

## 2.2.2 Generelle Hypothesen

Die generellen Hypothesen beschreiben allfällige Zusammenhänge zwischen der Gesamtheit aller Unfälle am Kreisel und den verkehrstechnischen und geometrischen Grössen der Anlage.

1. Kleinere Aussendurchmesser von zweistreifigen Kreiseln sind infolge des tieferen Geschwindigkeitsniveaus sicherer und weisen geringere Unfallhäufigkeiten und geringere Unfallschwere auf.
2. Nicht zu nahe nacheinander liegende Einfahrten sind infolge grösserer Verflechtungslängen auf der Kreisfahrbahn zweistreifiger Kreiseln sicherer, und führen zu einer geringeren Unfallhäufigkeit auf der Kreisfahrbahn.
3. Die sicherzustellenden Sichtweiten nach links in der Einfahrt sind nicht zu frühzeitig auf der Zufahrtsstrecke anzubieten, zur Reduktion der Zufahrtsgeschwindigkeiten soll die Sicht nach links erst auf Anhaltedistanz offen sein. Durch Sichtbegrenzungen nach links resultieren geringere Unfallhäufigkeiten und vor allem Unfallschweren in der Einfahrt auf der Kreisfahrbahn unmittelbar nach der Einfahrt.
4. Die flüssige Zufahrt mit zu wenig verminderter Geschwindigkeit zum Kreisel ist durch Verhindern der Durchsicht durch die Kreisel zu reduzieren, was zusammen mit dem Einfluss gemäss Hypothese drei zu geringer Unfallhäufigkeit und vor allem Unfallschwere in der Zufahrt (Auffahren) und in der Einfahrt auf der Kreisfahrbahn führt.

## 2.2.3 Einzelhypothesen

Einzelhypothesen beschreiben die Zusammenhänge des ortsspezifischen Unfallgeschehens mit den an den Anlageelementen Kreiselfahrt, Einfahrt, Kreisfahrbahn und Ausfahrt relevanten Anlagegrössen.

Kreiselfahrt

5. Stark kanalisierte Zufahrten (minimale Fahrstreifenbreitenführen, gekrümmte Linienführung, kanalisierende Inselform, kurze Inselflänge) führen infolge geringerer

Geschwindigkeit zu geringeren Häufigkeiten und Schwere der Auffahrunfälle in der Zufahrt und der Einfahrt.

6. Wo möglich sind Fahrstreifensignalisationen bezüglich Zielorte vorzuziehen und/oder entsprechende Markierungen vorzusehen, um die Einordnung in den richtigen Fahrstreifen frühzeitig zu ermöglichen.

#### Kreiseleinfahrt

7. Geringe (minimale) Fahrstreifenbreiten in der Einfahrt sind infolge kanalisierender Wirkung und reduzierter Fahrgeschwindigkeiten sicherer und führen zu geringerer Unfallhäufigkeit (Einbiegen) in der Zufahrt und der unmittelbar anschliessenden Kreisfahrbahn nach der Einfahrt.

8. Eine möglichst senkrechte Zuführung der Einfahrt zum Kreisell ist zum Anzeigen und Verdeutlichender Vortrittsbelastung und zum Brechen des flüssigen Verkehrsablaufs beim Zufahren sicherer und führt zur Reduktion der Unfallhäufigkeit (Einbiegen, Fahr Unfall) im Einfahrtbereich. Insbesondere soll auch der rechte Fahrstreifen möglichst noch senkrecht zulaufen.

9. Durch eine kurze, eventuell schmale Mittelinsel lässt sich die senkrechte Einführung der Einfahrt verstärken, und damit infolge Brechen der Flüssigkeit der Zufahrt der Einfahrtvorgang, welcher bei zweistreifigen Kreisellen anspruchsvoller ist, verbessern. Dadurch wird die Unfallhäufigkeit (Einbiegen und Einordnen auf den Fahrstreifen) reduziert.

#### Kreisfahrbahn

10. Kleinere Fahrstreifenbreiten sind infolge besserer Kanalisierung und Führung sicherer und führen zu geringer Unfallhäufigkeit (Fahrstreifenwechsel im Verflechtungsbereich) im Verflechtungsbereich der Kreisfahrbahn.

#### Ausfahrt

11. Geringere Ausfahrtradien verfolgen reduzierte Ausfahrgeschwindigkeiten aber ohne Kanalisierung und führen zur Reduktion der Unfallhäufigkeit und Unfallschwere (Fahr Unfälle) in der Ausfahrt.

12. Zweistreifige Ausfahrten bei zweistreifiger Fortsetzung der Richtungsfahrbahn aufgrund von Leistungsanforderungen sind dann sicher, wenn die Fahrstreifen eindeutige Zuweisungen vor und nach dem Kreisell aufweisen und der Ausfahrtradius gering ist.

#### Bypässe

13. Bypässe bei zweistreifigen Kreisellen sind infolge der Verflechtungsabschnitte nach dem Kreisell unsicher und führen zu Unfallhäufigkeit und infolge höherer Geschwindigkeiten und zu erhöhter Unfallschwere in den Verflechtungsbereichen.

#### Zweiradverkehr

14. Schmale Fahrbahnbreiten ohne Radstreifenmarkierung in der Einfahrt sind sicherer als durch Radstreifen aufgeweitete Einfahrtbereiche.

#### Fussverkehr

15. Fussgängerstreifen über einstreifige Ausfahrten sind sicherer als über zweistreifige Ausfahrten.

## 2.3 Das mathematische Modell: Poisson-Regression

Die Anzahl Unfälle während einer Zeitepoche eines Kreisels ist eine diskrete Zufallsgrösse. Sie wird mit einem homogenen Poissonprozess modelliert. Dies bedeutet insbesondere, dass die Anzahl Unfälle linear mit der beobachteten Zeitperiode zunimmt. Die Details zur Modellwahl und Modellbildung für die vorliegende Forschung finden sich in „Modellierung der Anzahl Strassenunfälle pro Jahr für zweistreifige Kreisels“ [37]. Weitere Details hinsichtlich Modellwahl und –bildung siehe auch [41] und [33].

Die durchschnittliche Anzahl der Unfälle  $\mu$  pro Jahr, wird mit einem verallgemeinerten linearen Modell in Funktion der involvierten Anlagegrössen des Kreisels und des DTV berechnet. Dabei geht man davon aus, dass jedes Fahrzeug, das in den Kreisels fährt die ungefähr gleiche (kleine) Wahrscheinlichkeit  $p$  hat, einen Unfall auf Grund der Geometrie des Kreisels, des Verkehrsaufkommens und anderer Faktoren zu haben (Ausgangslage: bei genügender Qualität des Verkehrsablaufs).

Sind pro Jahr durchschnittlich 365-DTV Fahrzeuge unterwegs (DTV = durchschnittlicher täglicher Verkehr), so ist  $\mu = 365 \cdot \text{DTV} \cdot p$ . Ein hoher DTV sättigt den Verkehrsfluss, reduziert die Ein- und Ausfahrtsgeschwindigkeiten der Fahrzeuge und damit auch die Wahrscheinlichkeit  $p$ . Darum setzt man

$$\mu = 365 \cdot \text{DTV}^a \cdot p$$

mit einem unbekanntem Parameter  $a > 0$  und einer vom DTV unabhängigen Wahrscheinlichkeit  $p$ . Das verallgemeinerte lineare Poisson-Regressionsmodell modelliert den Logarithmus der durchschnittlich pro Jahr erwartbaren Unfälle  $\mu$  linear in Abhängigkeit der erklärenden Grössen:

$$\ln \mu = a \cdot \ln \text{DTV} + b \cdot Y + c \cdot Z + d \cdot W + \dots$$

Dabei sind  $Y, Z, W, \dots$  die geometrischen Grössen, wie Fahrbahnbreite, Einfahrtswinkel, ... des Kreisels. Die Parameter  $a, b, c, d, \dots$  des Regressionsmodells sind aus den vorhandenen Daten zu berechnen.

Aus  $\mu$  berechnet man die durchschnittlich erwartbare Unfallziffer  $U_z$  eines Kreisels:

$$\overline{U_z} = \mu \cdot \frac{10^6}{365 \cdot \text{DTV}}$$

Aus dem Modell für die Anzahl Unfälle  $N$  pro Jahr folgt daher direkt das Modell zur durchschnittlich erwartbaren Unfallziffer  $U_z$ :

$$\overline{U_z} = 10^6 \cdot \text{DTV}^{a-1} \cdot e^{b \cdot Y + c \cdot Z + d \cdot W + \dots}$$

Die Parameter der Poissonregression und ihre statistische Unsicherheiten wurden aus den vorhandenen Unfalldaten geschätzt. Damit erhält man Vertrauensintervalle für die Parameter. Die Plausibilitäten der Modelle (Hypothesen) können grafisch mit Residuenplots und analytisch mit dem Bayes'schen Informationskriterium (BIC) beurteilt werden.

Zu beachten ist: Das Modell impliziert, dass die durchschnittliche Anzahl Unfälle exponentiell in Funktion der Faktoren oder Kovariablen ab- oder zunimmt. Dies ist beim Poissonregressionsmodell Standard (siehe u.a. [33]). Die Poissonverteilung hat eine Streuung, die mit der durchschnittlichen Anzahl Unfälle zunimmt. Die Prognose der Anzahl Unfälle pro Jahr aus dem Modell wird daher umso unsicherer, je grösser die durchschnittlich erwartbare Anzahl Unfälle pro Jahr ist.

## 3 Literaturrecherche

### 3.1 Vorbemerkung

Das Studium der nationalen und internationalen Literatur hinsichtlich allfälliger quantifizierter Zusammenhänge von Geometrie zweistreifiger Kreisel und Unfallgeschehen führte wie erwartet zur Erkenntnis, dass sich zwar unzählige Publikationen mit den Themen Geometrie, Verkehrssicherheit und auch Leistungsfähigkeit von Kreiseln ganz generell befassen, sich ebenfalls umfangreiche Empfehlungen zur Wahl der geometrischen Elemente von Kreisverkehren, teilweise auch von zweistreifigen Kreiseln finden. Deutlich weniger Literatur findet sich jedoch explizit zu Forschungen resp. statistisch gesicherten Erkenntnissen bezüglich allfälliger quantifizierter Zusammenhänge von geometrischen Anlagegrössen und Unfallgeschehen an zweistreifigen Kreiseln.

Die studierte Literatur lässt sich daher in folgende Kategorien einteilen:

- Quellen, welche generelle Aussagen zur Verkehrssicherheit von Kreiseln, auch zweistreifigen, machen. Diese verweisen auf Unfallkennzahlen und auf die Schwere der an Kreiseln auftretenden Unfälle. Es werden nur vage Aussagen zu den Anlagegrössen gemacht. Auf Zusammenhänge zwischen Unfallgeschehen und Anlagegrössen wird nicht eingegangen.
- Quellen, in welchen Aussagen über die Anlagegrössen gemacht werden, aber nicht auf Zusammenhänge mit dem Unfallgeschehen eingegangen wird. Hierbei handelt es sich vorwiegend um Normen und Richtlinien. Ob die vorgeschlagenen Anlagegrössen in Hinblick auf eine möglichst grosse Verkehrssicherheit optimiert wurden, bleibt offen.
- Quellen, welche konkrete, quantifizierte Zusammenhänge zwischen Unfallgeschehen und Anlagegrössen aufzeigen und dies anhand von Untersuchungen nachweisen.

Die Literaturlauswertung konzentrierte sich auf die Literatur der dritten Gruppe, wobei unterschieden wurde, welche der untersuchten Zusammenhänge nur den Gesamtkreisel resp. welche die einzelnen Kreiselemente Kreisfahrbahn, Einfahrt, Zufahrt und Ausfahrt betreffen. Dementsprechend sind die folgenden Kapitel gegliedert:

- Kap. 3.2: Kreisel als Gesamtanlage
- Kap. 3.3: Kreiselemente (nach Ort)
  - Verteilung der Unfälle
  - Einfahrt
  - Kreisfahrbahn
  - Ausfahrt
- Kap. 3.4: Kreisel mit:
  - Bypass
  - Anlagen für den Zweiradverkehr
  - Anlagen für den Fussverkehr

Die Kapitel 3.2 bis 3.4 stellen einen stark komprimierten Extrakt aus der Literaturlauswertung dar, bezogen auf die Kernfragen der vorliegenden Arbeit.

Nebst der referenzierten Quellen (Literaturlverzeichnis) wurde weitere Literatur konsultiert [40].

### 3.2 Kreisel als Gesamtanlage

#### Aussendurchmesser

Ob ein grosser Gesamtdurchmesser bei zweistreifigen Kreiseln die Verkehrssicherheit positiv oder negativ beeinflusst, lässt sich aus der Literatur nicht eindeutig beantworten.

Grosse Aussendurchmesser verleiten gemäss [25] oder [28] zu hohen Geschwindigkeiten, wodurch das Unfallrisiko zunimmt. Demnach sollte nach [28] der Aussendurchmesser eines Kreisels 100 m nicht übersteigen. Grosse Aussendurchmesser können dazu führen, dass die den Kreisel durchfahrenden Fahrzeuge eine Geschwindigkeit von 50 km/h übersteigen, was sich negativ auf die Sicherheit auswirkt. Zum gleichen Schluss, dass grosse Aussendurchmesser zu hohen Geschwindigkeiten verleiten, kommt auch [31]. Die Unfallauswertung in [12] zeigt, dass sich an den dort untersuchten, allerdings einstreifigen Kreiseln nur wenige Unfälle mit Verunfallten ereignen, was dem deutlich niedrigeren Geschwindigkeitsniveau im Kreisel zugeschrieben wird. Dies zeigt sich auch bei zweistreifigen Kreiseln, wenn die Aussendurchmesser relativ klein bleiben. Als Beleg dieser Aussage kann der Vergleich mit Deutschland herangezogen werden. Für die zweistreifigen Kreisel in Deutschland sind etwas höhere Unfallziffern dokumentiert als für die zweistreifigen Kreisel in der Schweiz. Die zweistreifigen Kreisel in Deutschland weisen im Durchschnitt aber auch grössere Aussendurchmesser auf.

Hingegen wird in [16] empfohlen, bei der Wahl des Aussendurchmessers wenn möglich eher die Obergrenze zu wählen. Begründet wird dies damit, dass sich bei zweistreifigen Kreiseln mit grossem Aussendurchmesser die Fahrzeit auf der Kreisfahrbahn verlängert, wodurch sich auch die Zeitspanne, die für einen Fahrstreifenwechsel zur Verfügung steht, erhöht. Dies wirkt sich positiv auf die Sicherheit aus. Bei grösserem Durchmesser erhöht sich die Geschwindigkeit gemäss [16] und [17] nur geringfügig. Der Grund dafür wird darin gesehen, dass Kreisverkehrsplätze mit grösserem Aussendurchmesser auch eine stärkere Ablenkung der Fahrzeuge durch die ebenfalls grössere Mittelinsel bewirken. Auch [15] und [27] besagen, dass grössere Aussendurchmesser eine bessere Kreiselgeometrie ermöglichen. Mit einem grösseren Durchmesser lässt sich die Zufahrtsgeometrie besser gestalten, womit unter anderem die Zufahrtsgeschwindigkeit gesenkt werden kann. Gemäss [12] ereignen sich bei zweistreifigen Kreiseln mit kleinen Aussendurchmessern mehr Unfälle mit Lastwagen als bei Kreiseln mit grösseren Aussendurchmessern. Die Unfälle geschehen häufig beim Vorbeifahren oder beim Fahrstreifenwechsel.

Eine grössere Verflechtungslänge auf der Kreisfahrbahn hat gemäss [30] einen positiven Einfluss auf die Anzahl der Unfälle. Eine grössere Verflechtungslänge kann gemäss [30] oder [12] auch erreicht werden, indem die Einfahrten nicht zu nahe beieinander liegend angeordnet werden, d.h. auch gleichmässig verteilt werden.

### **Winkel zwischen den Kreiselarmen**

Einen bedeutenden Einfluss auf die Anzahl Unfälle bei zweistreifigen Kreiseln haben nach [17] die Winkel zwischen den Armen, gemessen an den Mittellinien, die Fahrstreifenbreite der Zufahrt und die Krümmung der Zufahrt. Zwischen Kreiselarmen mit einem Winkel zwischen 60 und 70 Grad ereignen sich gemäss [12] mehr Unfälle. Dadurch ergibt sich zwischen der Einfahrt und der folgenden Ausfahrt nur eine kleine Distanz, auf welcher die Fahrstreifenwechsel sowohl der einfahrenden als auch der ausfahrenden Fahrzeuge erfolgen müssen. Zum gleichen Schluss kommt auch [30]. Demnach hat der Winkel zwischen den Kreiselarmen einen direkten Einfluss auf die Unfälle mit einfahrenden und zirkulierenden Fahrzeugen. Nimmt der Winkel zwischen den Armen ab, steigt die Zahl der Unfälle. Die korrekte Anordnung der Arme in gleichmässigen Abständen zur gleichmässigen Verteilung der für die Verflechtungsvorgänge zur Verfügung stehenden Zeit gilt nach [28] sowohl für einstreifige als auch für zweistreifige Kreisel.

Im Bereich der Einfahrten kann es zu Missachtungen des Vortritts des Verkehrs auf der Kreisfahrbahn und somit zu Unfällen kommen. Dies ist gemäss [16] bei zweistreifigen Kreiseln dann der Fall, wenn Verkehrsteilnehmer in den Kreis einfahren, während andere auf der inneren Kreisfahrbahn gleichzeitig nach aussen wechseln. Vermutet wird, dass diese Gefahr dann besonders gross ist, wenn Einfahrt und Ausfahrt nah beieinander liegen.

## Sichtweiten

Eine grosse Sichtweite in Richtung des vortrittsberechtigten Verkehrs auf der Kreisfahrbahn führt gemäss [22] und [23] zu hohen Einfahrtsgeschwindigkeiten, womit die Unfallgefahr erhöht wird. [22] empfiehlt, bei zweispurigen Kreiseln, wo eine Geschwindigkeitslimite von 40 mph (=64 km/h) herrscht, die Sicht erst ab 15 m vor der Kreiseinfahrt vollständig anzubieten. Damit können überhöhte Zufahrtsgeschwindigkeiten vermieden werden. Auch gemäss [23] wird eine grössere Sichtdistanz auf die linke Seite mit einer Zunahme der Unfälle, hauptsächlich Selbstunfällen, in Bezug gesetzt. [33] kommt ebenfalls zum Schluss, dass die Sichtweite nach links vor allem für Unfälle mit Kontrollverlust (Selbstunfälle) eine Rolle spielt. Mit zunehmender Sichtweite nehmen auch die Unfälle zu. Es wird darauf zurückgeschlossen, dass mit zunehmender Sichtweite die Geschwindigkeit automatisch auch zunimmt.

Das Risiko von Unfällen an Kreiseln wird gemäss [21] erhöht, wenn die Mittelinsel bei der Zufahrt schlecht zu erkennen ist. Um den Kreiseln für den zufahrenden Fahrzeuglenker besser erkennbar zu machen, ist die Sicht auf die gegenüberliegende Seite zu unterbrechen, beispielsweise mit einer Bepflanzung der Mittelinsel.

## Mittelinsel, Radius und Form

Wenn der Radius der Mittelinsel zwischen 10 und 20 m beträgt, statt darunter oder darüber, ist gemäss [29] die Geschwindigkeit am tiefsten. Ein Radius von 10 bis 20 m hat die wenigsten Unfälle zur Folge. Zum selben Schluss kommt auch [33]. So sei bei einer Mittelinsel mit einem Radius von weniger als 10 m das Geschwindigkeitsniveau höher als bei einer Mittelinsel mit einem Radius zwischen 10 und 20 m. Gemäss [28] nimmt die Anzahl Selbstunfälle (Kontrollverlust) zu, wenn der Kreiseln eine elliptische Form aufweist. Runde zweistreifige Kreiseln seien sicherer als ovale.

## Anzahl Fahrstreifen

Bei Kreiseln mit mehrstreifigen Zufahrten ist im Vergleich zu jenen mit einstreifigen Zufahrten in [12] ein höherer Anteil von Unfällen im Zufahrtsbereich und auf der Kreisfahrbahn aufgefallen. Auch in [33] wird erwähnt, dass mit mehreren Zufahrtsspuren auch die Anzahl Auffahrunfälle zunimmt und bei mehrspurigen Kreiseln die Anzahl von Unfällen mit einfahrenden bzw. zirkulierenden Fahrzeugen zunimmt.

## 3.3 Kreiselemente

### Verteilung der Unfälle

An den in [12] 15 untersuchten Kreiseln ereigneten sich die meisten Unfälle (rund 43 %) im Einfahrtsbereich, gefolgt von Unfällen auf der Kreisfahrbahn und noch knapp 20 % im Ausfahrtsbereich. Ein ähnliches Bild zeigt sich in [12], wo die Unfälle im Einfahrtsbereich 50 % aller Unfälle umfassen, zusammen mit dem Zufahrtsbereich sogar 65 %.

### Kreiselzufahrt

Die Zufahrtsgeschwindigkeit hat gemäss [16] einen grossen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit bei zweistreifigen Kreiseln, etwa die Hälfte aller Unfälle tritt an den zügig geführten Zufahrten auf. Ungünstige Sichtverhältnisse führen gemäss [16] zu Unfällen infolge Vorfahrtsmissachtung und zu Auffahrunfällen. Empfohlen wird deshalb eine möglichst radiale Führung der Zufahrten, was zu besseren Sichtverhältnissen der Verkehrsteilnehmer führt. Gleichzeitig wird durch die grössere Ablenkung eine stärkere Absenkung der Geschwindigkeiten bewirkt.

Die Krümmung der Zufahrt bzw. der Radius der Zufahrt hat gemäss [15] einen grossen Einfluss auf die Selbstunfälle. Je grösser der Radius, desto geringer ist die Anzahl Selbstunfälle. Damit die Unfälle nicht nur verlagert werden (weniger Selbstunfälle bei grossen Radien, dafür mehr Auffahrunfälle infolge hoher Geschwindigkeit), ist es sehr

wichtig, die Geschwindigkeit im Zufahrtsbereich stufenweise zu senken. Dies gelingt am besten, indem die Zufahrt aus mehreren aufeinanderfolgenden Kurven mit abnehmendem Radius gestaltet wird, jede mit einem kleineren Radius als die Kurve zuvor. Damit wird die maximale Geschwindigkeitsabnahme zwischen den einzelnen Elementen verkleinert. Je grösser die Geschwindigkeitsdifferenz zum vorherigen Element ist, desto stärker nehmen die Selbstunfälle zu. Umso grösser die Geschwindigkeitsabnahme zu Beginn des Elements ist, umso abrupter die Geschwindigkeitsabnahme erfolgen muss, desto mehr Selbstunfälle gibt es. [15] empfiehlt eine Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Elementen von 20 km/h, um ein vernünftiges Gleichgewicht zwischen Sicherheit und Konstruktionskosten zu erreichen. Wenn anstelle einer geradlinigen Zufahrt beispielsweise die drei aneinander folgenden Kurven, jede mit einem kleineren Radius als die Kurve zuvor, gewählt werden, minimieren diese die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Elementen, wodurch die Unfallrate um 44 % gesenkt werden kann.

Der Einfluss von Kurven bei der Zufahrt wird auch in [26] als sehr hoch für die Sicherheit eingeschätzt. Für einen zweistreifigen Kreisell mit einem Verkehrsvolumen von 50'000 Fahrzeugen/Tag wird die Unfahhäufigkeit um 5 % reduziert, wenn die gerade Zufahrt in eine Kurve mit einem Radius von 200 m umgewandelt wird.

Der Einfluss der Länge des Zufahrtsbereiches auf die örtliche Verteilung der Unfälle wurde in [4] bei 27 Kreisellen mit mehrstreifigen Zufahrten untersucht. Kreisell mit langen, mehrstreifigen Zufahrten weisen im Vergleich zu jenen mit kurzen, mehrstreifigen Zufahrten einen prozentual höheren Anteil Unfälle auf den Zufahrtsästen und der Kreisfahrbahn auf. Im Einfahrtsbereich ist der prozentuale Anteil bei den kurzen, mehrstreifigen Zufahrten grösser. Die Lage der Unfälle bei langen, mehrstreifigen Bereichen wird vom eigentlichen Einfahrtsbereich vermehrt auf den Zufahrtsbereich und die Kreisfahrbahn verschoben.

Des Weiteren lässt sich nach [22] die Anzahl Unfälle herabsetzen, indem die Zufahrtsbreite mit Inseln zwischen den Fahrtrichtungen reduziert wird.

Auch spielen bei zweistreifigen Kreisellen Wahl und Anordnung von Markierungen und Signalen eine wichtige Rolle. Viele Unfälle passieren gemäss [22] aufgrund der Unsicherheit der Verkehrsteilnehmer. Abrupte Fahrstreifenwechsel können reduziert werden, indem mit Signalen und Markierungen in der Zu- und Einfahrt die Verständlichkeit des Kreisells erhöht wird. Die Signale sollen gemäss [21] frühzeitig angeordnet werden, damit die Fahrer genug Zeit haben, um die richtige Fahrspur zu wählen und nicht im Kreisell noch die Fahrbahn wechseln müssen. Laut [22] erfolgen viele Unfälle aufgrund der Unsicherheit der Verkehrsteilnehmer. Markierungen bei der Zufahrt und Trennlinien auf der Kreisfahrbahn können diese Unsicherheiten reduzieren und den Fahrer sicher durch den Kreisell führen

### **Kreiseleinfahrt**

Unfälle im Einfahrtsbereich stehen nach [15] im Zusammenhang mit der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen einfahrenden Fahrzeugen und den im Kreisell zirkulierenden Fahrzeugen. Um diese Unfälle zu vermeiden, muss die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen einfahrenden und zirkulierenden Fahrzeugen limitiert werden. Es wird daher empfohlen, eine Geschwindigkeitsdifferenz von 35 km/h nicht zu überschreiten, um einen vernünftigen Wert zwischen Sicherheit, Kosten und der Bauausführung zu erhalten. Die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den Fahrzeugen lässt sich unter anderem minimieren:

- durch Reduktion der Zufahrtsgeschwindigkeit, indem die Fahrstreifenbreite bei der Einfahrt verkleinert wird, oder
- durch Reduktion der Geschwindigkeit der zirkulierenden Fahrzeuge, indem die Ablenkung erhöht wird, die Fahrstreifenbreite bei Ein- und Ausfahrt verkleinert und die Position der Kreisellarme optimiert wird.

Die Unfallrate wird auch gemäss [21] von der Fahrstreifenbreite bei der Einfahrt beeinflusst. Wird die Fahrstreifenbreite bei der Kreiseleinfahrt erhöht, nehmen die Auffahrunfälle ab, dafür steigt die Anzahl Unfälle der einfahrenden mit den zirkulierenden Fahrzeugen. Ebenfalls in [28] wird erwähnt, dass die Unfälle zwischen einfahrenden Fahrzeugen und den auf dem äusseren Fahrstreifen der Kreisfahrbahn verkehrenden Verkehrsteilnehmer zunehmen, wenn die Einfahrtsbreite erhöht wird. Eine sehr breite Einfahrt führt demnach zu erhöhtem Kontrollverlust. Weniger breite Einfahrten sind sicherer, denn die Geschwindigkeiten werden reduziert.

Dass eine senkrechte Zuführung der Einfahrt die Vortrittsverhältnisse klar verdeutlicht, ist in mehreren Dokumenten erwähnt. Ein direkter Zusammenhang mit dem Unfallgeschehen bzw. der Unfallhäufigkeit wird aber nicht hergestellt.

Der Zusammenhang zwischen der Kreiseleinfahrt bzw. der Kreiselausfahrt und dem Unfallgeschehen wird in [21] auch mit der Linienführung von Zu- und Einfahrt in Verbindung gebracht. Wird diese nach links der Kreiselmitte verlegt, wird die Ablenkung bei der Kreiseleinfahrt vergrössert. Dafür wird gleichzeitig die Ablenkung bei der Ausfahrt des gleichen Kreisellarmes verkleinert, was zu hohen Geschwindigkeiten führen kann. Das Versatzmass zum Mittelpunkt des Kreisells soll daher möglichst klein gehalten werden, um die Sicherheit zu erhöhen.

Die Lage, Grösse und Anzahl der Signale bei mehrspurigen Kreiseln sollten nach [21] so angeordnet werden, dass die Fahrer möglichst wenig abgelenkt werden und die Verständlichkeit des Kreisells erhöht wird. Die Signale sollen früh genug angeordnet werden, damit die Fahrer genug Zeit haben, um die richtige Fahrspur zu wählen und nicht im Kreisell noch die Fahrbahn wechseln müssen. Die Signale sind deshalb nicht nur bei der Einfahrt, sondern bereits auch früher zu platzieren. Gemäss [22] betont ebenfalls die Wichtigkeit der Führung der Fahrzeuglenker, um Unsicherheiten und Fehlverhalten zu vermeiden.

Wenn sich die natürlichen Fahrwege von aneinander grenzenden Spuren überlappen oder überschneiden, kann es zu Spurüberschneidungen kommen. Dies geschieht gemäss [21] am häufigsten bei Kreiseleinfahrten, wenn die Geometrie des rechten Fahrstreifens dazu tendiert, die Fahrzeuge in die linke Fahrspur zu führen. Degegen wird empfohlen, den kleineren Radius zwischen 15 und 30 m und den tangentialen, grösseren Radius über 45 m zu wählen.

Die Lage der Eingangskurve hat einen direkten Einfluss auf eine mögliche Fahrspurüberlagerung. Ist die Kurve zu nahe an der Kreisfahrbahn platziert, kann das zur Überlagerung der Fahrspuren führen. Ist die Kurve jedoch zu weit von der Kreisfahrbahn entfernt, kann dies zu ungenügender Ablenkung führen, womit die Zufahrtsgeschwindigkeit zu hoch sein kann. Das Problem gemäss [21] dabei ist, dass Massnahmen, welche die korrekte Fahrspurbenutzung verbessern, häufig zu höheren Geschwindigkeiten führen. Ein grösserer Aussendurchmesser beispielsweise hilft bei der korrekten Fahrspurbenutzung, führt jedoch eventuell zu erhöhten Geschwindigkeiten im Kreisell.

### **Kreisfahrbahn**

Wie bei der Einfahrt, wirken sich grosse Fahrstreifenbreiten gemäss [32] auch bei der Kreisfahrbahn negativ auf die Sicherheit aus. Die Verbreiterung der Kreisfahrbahn hat aber laut [28] einen kleineren Einfluss auf die Anzahl Unfälle als eine Verbreiterung der Fahrspur bei der Einfahrt. Gemäss [26] sollte die Kreisfahrbahn zwischen 1.0 und 1.2 Mal die Fahrstreifenbreite der maximalen Einfahrtsbreite betragen. [30] empfiehlt eine Fahrstreifenbreite im Kreisell von 7.9 bis 9.1 m für zweispurige Kreisell. In den meisten Ländern wird eine maximale Fahrstreifenbreite von 10.8 m bei zweistreifigen Kreiseln empfohlen [23].

Spurwechselvorgänge innerhalb mehrstreifiger Kreisfahrbahnen können zu seitlichen Kollisionen und Auffahrunfällen in der Kreisfahrbahn führen, sie sind gemäss [18] typische Unfälle für grosse Kreisell, bei welchen die Fahrer nicht wissen, wo sie sich platzieren sollen, während andere versuchen zu überholen.

Auch in [16] werden vor allem die Fahrstreifenwechsel auf der Kreisfahrbahn als konfliktträchtig hervorgehoben. Mit einer guten Vorsortierung nach Fahrtrichtungen in der Zufahrt entfallen Verflechtungsvorgänge im Kreis, womit kritische Verkehrssituationen vermieden werden können.

Das Schneiden der Fahrstreifen beim Befahren der Kreisfahrbahn ist gemäss [15] ein Risikofaktor, welchem mit grösseren Kreiseldurchmessern begegnet werden könnte. Die Gründe für das Schneiden sind vielfältig, unter anderem sollte bei der Ausgestaltung berücksichtigt werden, dass:

- Das Verhältnis zwischen der Geschwindigkeit, die der Automobilist durch das Schneiden der anliegenden Spur erreicht, zur Geschwindigkeit, wenn der Automobilist auf seiner eigenen Fahrspur bleibt. Der Grossteil der Fahrer wird auf der korrekten Spur bleiben, wenn das Verhältnis der Geschwindigkeiten innerer Fahrstreifen zu äusserer Fahrstreifen auf 1:1.25 begrenzt ist. Es wird empfohlen, Kreisel so auszugestalten, dass dieses Verhältnis eingehalten wird.
- Das Vorhandensein von Markierungslinien. Wenn Markierungslinien vorhanden sind, tendieren die Fahrer weniger dazu, die Fahrspur zu schneiden, weil sie die klare Abgrenzung ihrer eigenen Fahrspur sehen.

Einige Länder empfehlen gemäss [21] für alle Kreiseltypen ein Quergefälle nach aussen von 1.5 bis 3 %. Die Querneigung ermöglicht die Entwässerung und macht den Kreisel zudem erkennbarer. In Grossbritannien dagegen haben Kreisel ein nach innen liegendes, also der Mittelinsel zugeführtes Quergefälle, womit den Automobilisten ermöglicht wird, mit einer grossen Geschwindigkeit den Kreisel zu passieren. Französische Studien fanden heraus, dass die Unfallhäufigkeit bei nach innen liegenden Quergefällen höher ist.

### **Ausfahrt**

In mehreren Unterlagen, beispielsweise in [16] und [31] wird empfohlen, Ausfahrten wenn möglich immer einstreifig auszuführen, da zweistreifige Ausfahrten eine deutlich höhere Unfallhäufigkeit aufweisen. In [22] ist zu lesen, dass zweistreifige Ausfahrten gegenüber einstreifigen Ausfahrten eine rund 7 Mal höhere Unfallhäufigkeit aufweisen. Dies wohl, da bei grossen Querschnittsbreiten rasch beschleunigt und damit zu früh hohe Fahrgeschwindigkeiten erreicht werden.

Die Anzahl der Unfälle der ausfahrenden und zirkulierenden Fahrzeuge steht gemäss den Erkenntnissen in [27] in Bezug zur Geschwindigkeit dieser Fahrzeuge. Kleinere Geschwindigkeiten führen auch zu weniger Unfällen. In mehrspurigen Kreiseln sollte die Geschwindigkeit der Fahrzeuge, welche den Kreisel passieren oder diesen verlassen, auf 35 km/h limitiert werden.

Des Weiteren sollte bei der Ausfahrt gemäss [22] ein zu grosser Ausfahradius vermieden werden, da diese zu überhöhten Fahrgeschwindigkeiten führen können. Gemäss [12] weisen die Unfälle bei der Kreiselausfahrt eine höhere Unfallschwere auf, wobei es sich hauptsächlich um Selbstunfälle handelt. Es wird vermutet, dass beim Verlassen des Kreisels aufgrund der flüssigen Trassierung und der grossen Querschnittsbreiten rasch beschleunigt und damit zu früh hohe Geschwindigkeiten erreicht werden.

Ein maximaler Ausfahradius von 25 m wird in [16] angeraten. Der Aussendurchmesser ist so gross zu wählen, dass der Abstand zwischen den Knotenpunktarmen etwa 30 m beträgt. Gemäss [22] sollte ein zu grosser Ausfahradius vermieden werden, da diese zu überhöhten Fahrgeschwindigkeiten führen können.

Die Fahrbahnen der Kreiseleinfahrt bzw. Kreiselausfahrt aus Sicherheitsgründen immer mit einer Insel voneinander abzutrennen, wird in [32] empfohlen.

### 3.4 Kreisell mit Bypass, Radverkehr, Fussverkehr

#### Bypass

Wenn Bypässe in Form von Ausfahrkeilen ausgeführt werden, dominieren nach [16] Auffahrunfälle am Ende des Bypasses. Bei Einfädelstreifen kommt es gelegentlich zu Unfällen beim Wiedereinfädeln auf den Hauptfahrstreifen. Besonders die Anlagen mit den nur durch die Markierung abgetrennten Bypässen weisen sehr hohe Unfallraten auf. In [19] wird zugeraten, dass ein Bypass nicht nur mit Markierungen erkenntlich gemacht werden soll, sondern mit Elementen abgegrenzt werden muss. Am Ende des Bypasses sollte ein Beschleunigungsstreifen sein, um das Einfädeln zu erleichtern.

Kleine Radien bei Bypässen wirken gemäss [17] geschwindigkeitsdämpfend.

#### Radverkehr

Die Führung von Radverkehr auf der Kreisfahrbahn soll gemäss [16] vermieden werden. Die plangleiche Führung von Rad- und Fussgängerkehr an grossen mehrstreifigen Kreisverkehren soll aus Sicherheitsgründen nur in Verbindung mit einer Lichtsignalregelung erfolgen.

An mehrstreifigen Kreiseln ereignen sich nach [34] mehr Unfälle mit Fahrradfahrern. Der grösste Einfluss auf die Fahrradsicherheit bei Kreiseln hat, abgesehen von der Verkehrsmenge, die Anzahl der Spuren. Für Fahrradfahrer ist es sicherer, den Kreisell zu umfahren, wobei bei einer Querung im Bereich der Arme ein Abstand von 2 bis 5 m vom Kreisell zur Fahrradquerung empfehlenswert ist. Somit kann der zufahrende Automobilist in einem ersten Schritt auf die Fahrradfahrer achtgeben und sich in einem zweiten Schritt auf den Kreisell konzentrieren. In [20] wird von einer optimalen Distanz der Fahrradspur zum Kreisell von 12 bis 15 m gesprochen. Diese Distanz wurde aufgrund der Geschwindigkeit der Fahrradfahrer und der Automobilisten ermittelt. Weitere Untersuchungen ergaben, dass auf den Kreisell zufahrende Automobilisten auf Strecken ohne separate Radwege die Fahrradfahrer früher erkennen als auf Strecken mit Radwegen.

In [26] wird empfohlen, auf die Markierung von Radstreifen am Rande des Kreisells zu verzichten.

[26] nennt auch die Geschwindigkeit der Motorfahrzeuge als fundamentales Risiko für die Sicherheit von Fussgängern und Radfahrern. Um die Sicherheit von Radfahrern bei zweistreifigen Kreiseln zu wahren, muss die Geschwindigkeit der passierenden Fahrzeuge reduziert werden. Geometrische Elemente, welche die Geschwindigkeit reduzieren, wie das Straffen der Einfahrtskrümmung und Vermindern der Fahrstreifenbreite bei der Einfahrt oder die radiale Anordnung der Kreisarme werden als zweckmässige Mittel für die Sicherheit der Radfahrer betrachtet.

Auch eine Analyse in [24] ergab, dass die Verunfalltenrate in Beziehung mit der Geometrie der Kreisell steht. Die Untersuchung zeigte, dass die Anzahl Unfälle bei der Einfahrt und im Kreisverkehr sehr stark von der Einfahrtsbreite und der Krümmung beeinflusst wird. Die Einfahrtskrümmung ist eine Messgrösse, welche für die Abweichung des zufahrenden Verkehrs steht.

Kleinere Kreisell scheinen nach [35] für den Radverkehr sicherer zu sein als grosse, mehrstreifige Kreisell. Das Gegenteil ist jedoch für die Dimensionierung der Mittelinsel der Fall. Kreisell mit einer Mittelinsel mit mehr als 10 m sind laut für Radfahrer sicherer als Kreisell mit kleineren Mittelinseln. Des Weiteren können Fahrradunfälle gemäss [22] teilweise reduziert werden, indem die Sicht auf die linke Seite nicht zu früh gegeben ist.

In [29] wird betont, dass es für Radfahrer klar sicherer ist, Kreisell auf einem separaten Radweg zu umfahren, als den Kreisell zu durchqueren.

## **Fussverkehr**

Zweistreifige Kreisel stellen nach [21] eine erhöhte Gefahr für Fussgänger dar. Fussgänger müssen zwei, in die gleiche Richtung führende Fahrspuren überqueren, bevor sie auf eine Mittelinsel kommen. Hält ein Auto auf der ersten Fahrspur, muss sich der Fussgänger überzeugen, dass sich auf der zweiten Fahrspur kein Auto nähert bzw. dieses auch anhält. Hinter grosse Fahrzeuge zu sehen ist jedoch sehr schwierig, vor allem für Kinder oder für Rollstuhlfahrer. Auch für sinneseingeschränkte Personen stellt das Queren von zweistreifigen Kreiseln ein Problem dar. Blinde Personen, welche sich auf das Hören verlassen, können beispielsweise das Halten von Fahrzeugen auf der ersten Fahrspur missdeuten.

Bereits 1993 wurde in [18] die Gefährlichkeit von Querungen über zweispurige Ein- und Ausfahrten hervorgehoben. In [16] wird empfohlen, Fussgängerstreifen an zweistreifigen Zufahrten nicht anzulegen.

## 4 Datengrundlagen

### 4.1 Untersuchungsobjekte

#### 4.1.1 Auswahl Untersuchungsobjekte

Es existiert keine Datenbank, welche die Kreisell der Schweiz auflistet. Das Forschungsteam beabsichtigte ursprünglich, 40 zweistreifige Kreisell als Untersuchungsobjekte zu wählen. Die im Rahmen der Gesuchstellung erfolgte zusätzliche Forderung der zuständigen VSS-Fachkommission 3 „Verkehrstechnik“, dabei nicht nur „klassische“ zweistreifige Kreisell (2/2) in die Untersuchung einzubeziehen, sondern gleichzeitig die sogenannten zweistreifigen Kreisell mit überbreiter Kreisfahrbahn (2/1+), eine Schweizer Spezialität, zu berücksichtigen, führte dazu, dass die Anzahl der Untersuchungsobjekte aufgrund der Anforderungen an die Präzision der Modellierung erhöht werden musste.

Die zuständigen Stellen der Kantone wurden gebeten, für alle Kreisell, die die nachfolgenden Kriterien erfüllen, die notwendigen Unterlagen (Plangrundlagen, Verkehrsdaten) zur Verfügung zu stellen (Anhang I.1):

- Kreisfahrbahn: zweistreifig oder überbreit
- Mindestens eine zweistreifige Zufahrt (entsprechend zweistreifige Einfahrt)
- Betriebsdauer: 5 Jahre (mind. 1 Jahr, keine Anpassungen in dieser Zeit)

Der Rücklauf umfasste 120 Kreisell. Es war aber zu vermuten, dass jedoch gleichwohl nicht alle diese Kreisell den Forschungsbedingungen genügen würden. Um die erforderliche Auswahl und Unterscheidung sicherzustellen, wurden für sämtliche Kreisell die geometrischen und verkehrlichen Grunddaten erhoben.

Die Datenerhebung ergab eine Einteilung der Kreisell in 4 Gruppen:

- Gruppe 1: Kreisell mit zweistreifiger Kreisfahrbahn (2/2)
- Gruppe 2: Kreisell mit überbreiter Kreisfahrbahn (2/1+)
- Gruppe 3: Sonderformen
- Gruppe 4: Ausgefallene Sonderformen oder Besonderheiten

Die Kreisell der Gruppe 4 wurden für die weitere Bearbeitung ausgeschieden, da sie den Anforderungen an die Forschung nicht genügen.

In einem zweiten Schritt wurden für die verbleibenden Kreisell die zuständigen Kantonspolizeien und in Einzelfällen das Bundesamt für Strassen ASTRA gebeten, die Unfalldaten zur Verfügung zu stellen (Anhang I.2).

Nach Abschluss der Datenerhebung (Geometrie, Verkehrsmengen und Unfalldaten) verblieben als Grundlage für die Datenauswertung und Modellierung letztlich 97 Kreisell.

#### 4.1.2 Überblick Untersuchungsobjekte

Nachfolgend werden die Betriebsformen der Gruppen 1 bis 3 kurz beschrieben und anhand von Beispielen illustriert.

**Gruppe 1: Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn (2/2 oder als z bezeichnet)**

Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn (2/2) haben mindestens eine zweistreifige Zu- oder Ausfahrt. Sie weisen eine zweistreifig markierte Kreisfahrbahn auf. Die folgenden zwei Abbildungen zeigen beispielhaft zwei Kreisel der Betriebsform 2/2.



**Abb. 1** Beispiel Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn [map.geo.admin.ch]



**Abb. 2** Beispiel Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn [map.geo.admin.ch]

**Gruppe 2: Kreisel mit überbreiter Kreisfahrbahn (2/1+ oder als u bezeichnet)**

Kreisel mit überbreiter Kreisfahrbahn (2/1+) haben mindestens eine zweistreifige Zu- oder Ausfahrt. Sie weisen keine zweistreifig markierte Kreisfahrbahn auf, sondern eine überbreite Kreisfahrbahn mit einer Breite von ca. 5.50 m bis 10 m. Die folgenden zwei Abbildungen zeigen beispielhaft zwei Kreisel der Betriebsform 2/1+.



**Abb. 3** Beispielbild überbreite Kreisfahrbahn [map.geo.admin.ch]



**Abb. 4** Beispielbild überbreite Kreisfahrbahn [map.geo.admin.ch]

**Gruppe 3: Sonderformen (im Rahmen der Forschung als s bezeichnet)**

Sonderformen sind Kreisel, welche mindestens eine zweistreifige Zu- oder Ausfahrt aufweisen, aber keinem der oben genannten Typen klar zugeordnet werden können. Als Sonderformen gelten beispielsweise Spiral- und Turbokreisel, Doppelkreisel sowie Kreisel, die als Platz funktionieren. Die folgenden zwei Abbildungen zeigen beispielhaft zwei Kreisel der Sonderformen.



**Abb. 5** Beispielbild Sonderform Spiralkreisel [map.geo.admin.ch]



**Abb. 6** Beispielbild Sonderform Doppelkreisel [map.geo.admin.ch]

Die folgende Tabelle (Tab. 1) zeigt die zur Verfügung stehende Anzahl Kreisel je Betriebsform.

**Tab. 1 Anzahl Kreisel je Betriebsform**

Gruppen	Kürzel Gruppe	Anzahl Kreisel je Gruppe
(1) Zweistreifige Kreisel (2/2)	z	50
(2) Kreisel mit überbreiter Kreisfahrbahn	u	39
(3) Sonderformen	s	8
Total		97

Die Anzahl Kreisel der jeweiligen Betriebsform, gegliedert nach Kantonen, ist aus Anhang I.3 ersichtlich.

## 4.2 Datenerhebung

### 4.2.1 Anlage (geometrische Anlagegrössen resp. Projektierungsgrössen)

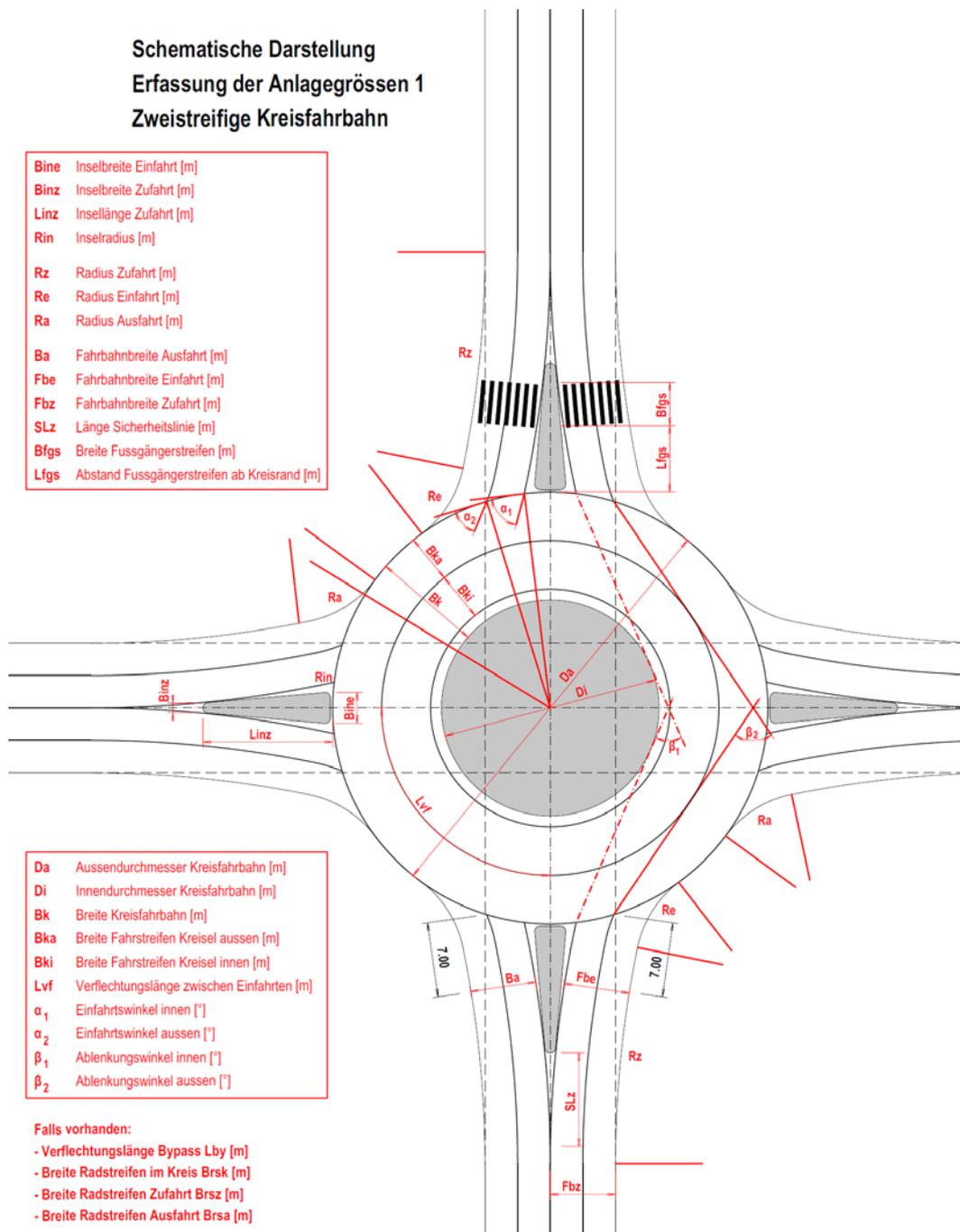
Die Erhebung der Anlagegrössen erfolgte in erster Linie aus den von den zuständigen Amtsstellen der Kantone gelieferten Plangrundlagen (in der Regel Situationspläne im Massstab 1:200). Wenn keine oder unvollständige Grundlagen vorlagen, konnte auf folgende alternative Quellen zurückgegriffen: Orthofotos und Kartenmaterial aus kantonalen geographischen Informationssystemen (GIS), Geoportal des Bundes (Bundesamt für Landestopografie swisstopo: [www.geo.map.admin.ch](http://www.geo.map.admin.ch)) oder Google-Maps (Google-Streetview und Google-Earth)

Als Hilfsmittel für die Datenerhebung der geometrischen Einzelgrössen, nebst Anzahl Arme, Anzahl zweistreifiger Zu- und Ausfahrten, wurden diese in einer Skizze schematisch dargestellt. Dabei wird unterschieden in:

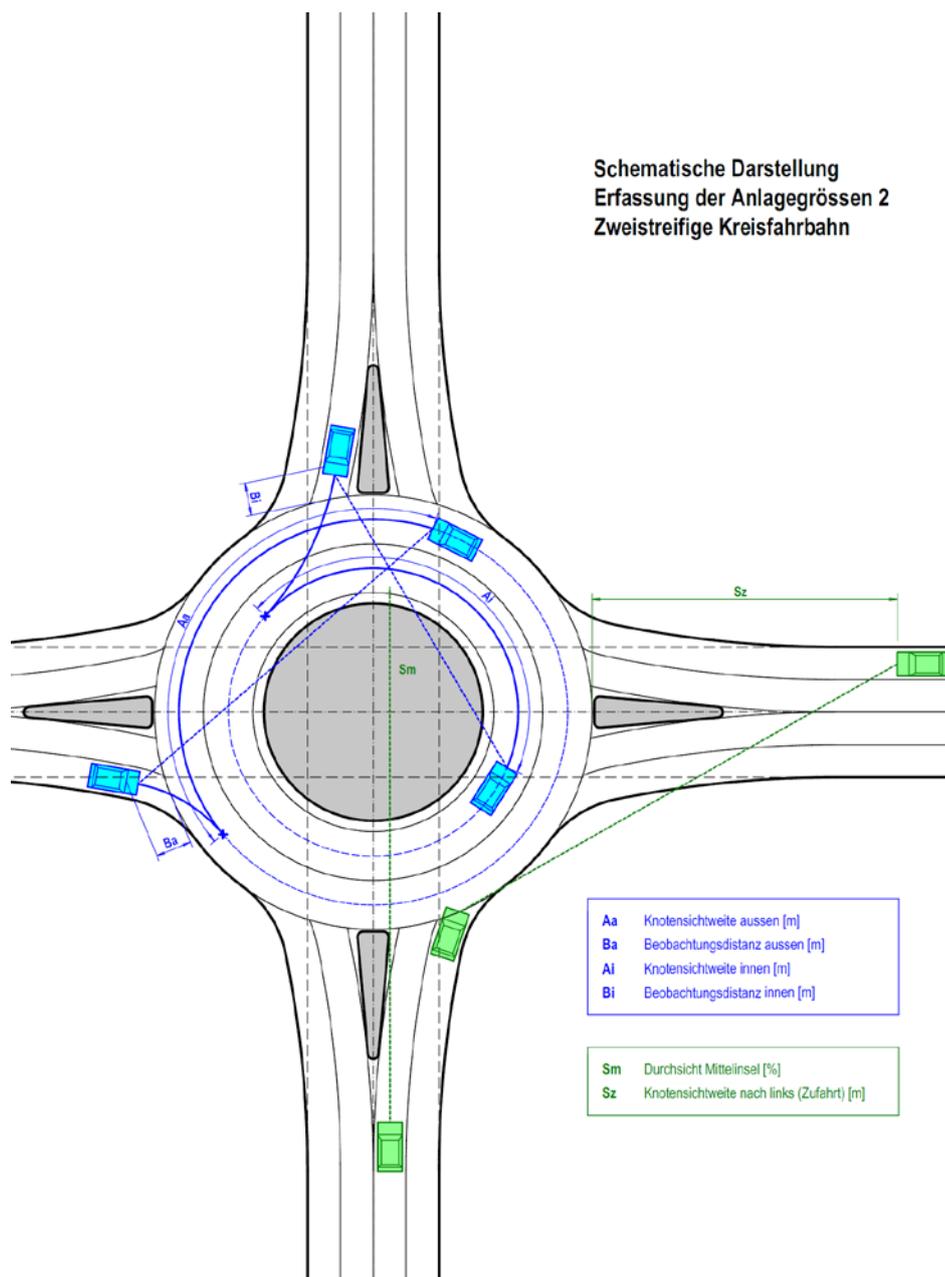
- „Anlagegrössen 1“ (wie Aussendurchmesser, Fahrstreifenbreiten, Fahrbahnbreiten, Inselbreiten, Radien, Ablenkungswinkel, Einfahrtwinkel etc.) und
- „Anlagegrössen 2“ (Sichtweiten) unterschieden, dies sowohl für die Betriebsformen 2/2 und 2/1+ als auch die Sonderformen.

Die entsprechenden schematischen Darstellungen finden sich für die Betriebsform 2/2 (Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn, Typ Z) auf den folgenden zwei Seiten (Abb. 7 und 8). Für den Kreisel mit überbreiter Kreisfahrbahn 2/1+ sind sie im Anhang II.1 ersichtlich.

Unabhängig von der Datenquelle (gedruckter Plan, digitaler PDF-Plan oder Orthofoto) weisen die Anlagegrössen folgende Genauigkeiten auf: Die Distanzen (Längen, Breiten, Durchmesser) weisen Genauigkeiten von 0.1 m auf, die Winkel (Ablenkungswinkel) sind auf 10° genau bestimmt, die Radien (Einfahrtradius, Ausfahrtsradius) können nur mit einer Genauigkeit von ca. 5 m bestimmt werden.



**Abb. 7** Erfassung Anlagegrößen 1, Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn (2/2, Typ Z)  
(Hinweis: Die Skizze ist nur ein Hilfsmittel zur Datenerhebung, sie stellt keine Entwurfs-  
empfehlung dar.)



**Abb. 8** Erfassung Anlagegrößen 2, Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn (2/2, Typ Z)  
(Hinweis: Die Skizze ist nur ein Hilfsmittel zur Datenerhebung, sie stellt keine Entwurfsempfehlung dar.)

#### 4.2.2 Unfallgeschehen

Der Datensatz Unfallgeschehen umfasst alle Unfälle im Zeitraum 2006 bis 2010/11. Sind die vollständigen Unfalldaten dieser Periode nicht verfügbar, wird der Erfassungszeitraum verkürzt. Dieser beträgt aber mindestens ein vollständiges Kalenderjahr zwischen 2006 und 2011, ausnahmsweise 2012. Mit diesem Vorgehen kann mit einem vertretbaren Abstrich bei der Qualität der Unfalldaten die Anzahl Untersuchungsobjekte gross gehalten werden.

Die Anzahl Unfälle wird sowohl für den Gesamtkreisel als für die vier Knotenelemente Zufahrt, Einfahrt, Kreisfahrbahn und Ausfahrt erhoben:

- Zufahrt: Die Zufahrt umfasst den Bereich von 50 m bis 9 m vor dem Kreis. Das Ende dieses Bereichs kann mit dem Fussgängerstreifen über den Kreiselarm zusammenfallen. Ist kein Fussgängerstreifen vorhanden oder ist dieser weiter als 15 m von der Kreisfahrbahn entfernt, wird die Grenze bei 9 m gezogen.
- Einfahrt: Der Bereich der Einfahrt erstreckt sich auf die 9 m vor Beginn der Kreisfahrbahn. Befindet sich in diesem Bereich ein Fussgängerstreifen, beginnt der Einfahrtsbereich mit diesem (Fussgängerstreifen gehört dazu). Unfälle auf der Kreisfahrbahn, welche im Zusammenhang mit einem in die Kreisfahrbahn einfahrenden Fahrzeug stehen, werden dem Einfahrtsbereich zugeordnet.
- Kreisfahrbahn: Der Bereich Kreisfahrbahn umfasst den vollständigen Innenkreisbereich. Alle Unfälle, welche sich auf der Kreisfahrbahn ereignen und nicht im Zusammenhang mit einem ein- oder ausfahrenden Fahrzeug stehen, werden dem Bereich Kreisfahrbahn zugeordnet.
- Ausfahrt: Der Bereich Ausfahrt umfasst die ersten 9 m der Kreiselausfahrt ab der Kreisfahrbahn. Ist auf den ersten 15 m der Ausfahrt ein Fussgängerstreifen vorhanden, endet der Bereich nach diesem.

Für jeden Kreisel wurden für den vorliegenden Erfassungszeitraum die Unfalltypen [36] und die Anzahl Verletzter und Getöteter erfasst.

Bei der Erfassung der Unfallschwere wird zwischen Unfällen mit Verletzten und Unfällen mit Getöteten unterschieden. Eine Zuweisung der Verunfallten auf die verschiedenen Kreiselbereiche konnte mangels Datengrundlage nicht durchgeführt werden. Die Zahl der Verunfallten wurde für den Gesamtkreisel und nicht für die einzelnen Kreiselement erfasst.

### 4.2.3 Verkehrsmengen

Für die Bearbeitung der Fragestellungen in der Forschungsarbeit werden die Verkehrsmengen an den Kreiseln benötigt.

Benötigte Grundlagen sind nebst den durchschnittlichen täglichen Verkehrsmengen DTV auch die Knotenstrombelastungen. Effektiv verfügbar bei den Behörden sind allerdings in vielen Fällen nur die DTVs auf den Hauptachsen. Daher mussten auf der Grundlage der DTVs und der örtlichen Bedingungen, z.B. der Bedeutung der jeweiligen Strasse (Funktion, Aufgabe etc.), alle weiteren, nicht verfügbaren Verkehrsmengen geschätzt werden. Der SSV wurde als 10 % des DTV angenommen. Die Knotenstrombelastungen wurden ebenfalls, dort wo nicht verfügbar, aufgrund der örtlichen Bedingungen geschätzt.



## 5 Ergebnisse

### 5.1 Vorbemerkungen und Aussagekraft der Ergebnisse

Obwohl für die Forschungsarbeit zweckmässige Datengrundlagen von den Tiefbauämtern der Kantone, den Kantonspolizeien sowie dem Bundesamt für Strassen zur Verfügung standen, ist deren Homogenität und Genauigkeit naturgemäss stark unterschiedlich.

Während für die Bestimmung der Geometriedaten der Kreisell in den meisten Fällen gute Projektunterlagen vorlagen, welche einheitlich ausgewertet werden konnten, stellen die Angaben über Sichtweiten und Kreiseldurchsichten relativ unzuverlässige Schätzungen aus Fotos und Googleansichten dar. Im Gegensatz dazu waren die Daten zu den Verkehrsstärken nur teilweise vorhanden und in sehr unterschiedlicher Detaillierung und Qualität. Im Bereich der Verkehrsdaten mussten deshalb in vielen Fällen aus Unterlagen regionaler Verkehrserhebungen Abschätzungen der benötigten Verkehrsdaten vorgenommen werden. Insbesondere mussten mit wenigen Ausnahmen die Verkehrsstärken der Kreisellzufahrten aus den vorhandenen Grundlagen anhand lokaler Kenntnisse über Verkehrsgeschehen oder Bedeutung der einzelnen Strassen abgeschätzt werden.

Da der Einsatz zweistreifiger Kreisell noch eine relativ kurze Tradition hat, waren naturgemäss unterschiedlich lange Beobachtungszeiten über die polizeilich registrierten Strassenverkehrsunfälle vorhanden. Dies führt zwangsläufig zu unterschiedlich aussagekräftigen Grundlagen hinsichtlich Unfallhäufigkeit der in der Untersuchung einbezogenen Kreisell.

Trotz der Einschränkungen bei den Datengrundlagen infolge Ungenauigkeit und Heterogenität können die Daten als für die Durchführung der Untersuchungen und der Beantwortung der Fragestellungen der Forschungsarbeit dienlich und geeignet erachtet werden. Dies insbesondere auch aufgrund des Umstands, dass zum Zeitpunkt der Untersuchung praktisch das gesamte in der Schweiz vorhandene Objektinventar in die Forschung einbezogen werden konnte, und deshalb eine vollumfängliche Repräsentativität für die Schweiz aufweist.

Zur Beurteilung der Aussagekraft der einzelnen Ergebnisse der statistischen Modelle hinsichtlich Sicherheit und Bedeutung dienen die Signifikanzberechnungen. Dabei sind jedoch die erwähnten Einschränkungen der Datengrundlagen zu beachten. Dazu lässt sich hier grundsätzlich folgendes festhalten:

- Die Mittelwerte der Unfallkenngrösse Unfallziffer haben eine zweckmässige Qualität, sind aber wegen der unterschiedlich langen Zeitperioden der Unfallregistrierung und der in vielen Fällen geschätzten Verkehrsstärken im Niveau heute noch nicht exakt und damit stabil.
- Die Mittelwerte der Unfallkenngrösse Unfälle pro Jahr unterliegen den gleichen Einschränkungen bezüglich Zeitperioden, wie vorgängig erwähnt. Aufgrund der relativ grossen Anzahl von Untersuchungsobjekten wurden die Mittelwerte als geeignet für die statistischen Auswertungen und Analysen erachtet.
- Aufgrund der hohen Genauigkeit der Geometriedaten erreichen diese eine gute Qualität als Grundlagen für die statistischen Auswertungen und Analysen.
- Die Ungenauigkeiten der Verkehrsstärken auf den Kreisellarmen werden einerseits als Summe für die Verkehrstärke (DTV) des Kreisells als auch einzeln je Arm bei den statistischen Auswertungen verwendet. Die Ungenauigkeiten bei der Verwendung der Summe der Verkehrsstärken der Kreisellarme in Beziehung zur Gesamtsumme der Unfälle pro Jahr im Gesamtmodell der statistischen Auswertungen und Analysen dürften wegen der relativ geringen Unterschiede bei der grossen Zahl des DTV zu eher kleinen Schwankungen in den Auswertergebnissen geführt haben. Bedeutender fallen die Schwankungen bei den Einzelanalysen für die verschiedenen

Unfallörtlichkeiten im Kreisel (Einfahrt, Kreisfahrbahn, Ausfahrt) aus. Die Ergebnisse zu diesen Orten sind deshalb deutlich unsicherer.

Die oben erwähnten Einschränkungen bzgl. Aussagekraft aufgrund der in der Untersuchung verwendeten Daten wurden bei der Bewertung und Beurteilung der Erkenntnisse miteinbezogen.

## 5.2 Explorative Datenanalyse

### 5.2.1 Summarische Beschreibung der Daten

Die analysierten 97 Kreisel weisen Aussendurchmesser von 26 bis 149 m auf, wobei sich ein Grossteil der Kreiseldurchmesser im Bereich von 30 bis 40 m bewegt. 18 Kreisel weisen einen Bypass auf. Keiner der Kreisel weist eine Radstreifenmarkierung im Kreis auf. An 61 der 97 Kreisel sind Fussgängerstreifen angeordnet. Angaben zur Anzahl Fussgänger liegen nicht vor. Aus den Plangrundlagen lässt einzig aus dem Vorhandensein von Fussgängerstreifen ableiten, dass mit querendem Fussverkehr gerechnet werden muss.

Die pro Kreisel durchschnittliche Verkehrsmenge je Einfahrt bewegt sich zwischen 1'800 und 16'000 Fahrzeugen/Tag. Eine Aussage zur Verkehrszusammensetzung an den untersuchten Kreiseln ist nicht möglich, da die entsprechenden Angaben seitens Behörden nicht in ausreichendem Mass verfügbar sind.

Im Mittel ereigneten sich pro Kreisel je Erfassungsjahr 3 Unfälle.

Eine Übersicht über Auswertegrössen und Datenbereiche befindet sich im Anhang III.

### 5.2.2 Unfallziffer

Das Sicherheitsniveau von zweistreifigen Kreiseln wird mit der relativen Unfallkenngrösse Unfallziffer [38] angegeben. Zusätzliche Kenngrössen sind die Unfälle pro Jahr, die Verteilung der Unfalltypen im Gesamtunfallgeschehen sowie die Unfallschwere.

Die Unfallziffern aller untersuchten zweistreifigen Kreisel bewegen sich, wie die Grafik in Abb. 9 zeigt, zwischen 0.1 und 3.2 Unfällen pro  $10^6$  Fahrzeuge. Bei der Mehrheit der Kreisel liegt die Unfallziffer im Bereich zwischen 0.1 und 0.5 Unfällen pro 1 Mio Fahrzeuge.

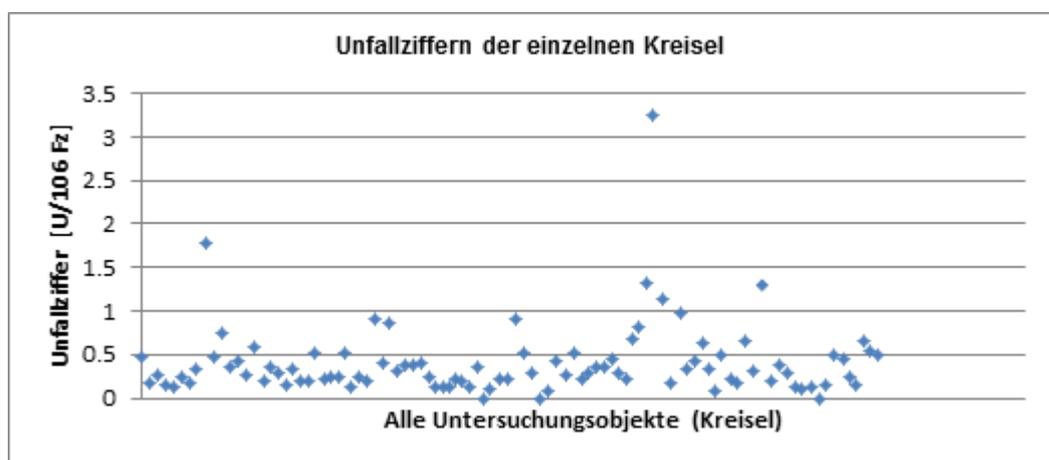


Abb. 9 Unfallziffern der einzelnen Kreisel.

Die durchschnittliche Unfallziffer über alle Kreisel zusammen liegt bei 0.41 Unfällen pro 1 Mio. Fahrzeuge (siehe Tab. 2).

Je nach Betriebsform unterscheiden sich die Unfallziffern deutlich. Zweistreifige Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn (Z) haben eine deutlich höhere Unfallziffer als zweistreifige Kreisel mit überbreiter Kreisfahrbahn (U). Die Kreisel, welche eine Sonderform (S) aufweisen, haben die geringste Unfallziffer.

Wenn die zwei Kreisel mit den grössten Unfallziffern von 3.25 resp. 1.78 nicht berücksichtigt werden (beide sind Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn, 2/2, Gruppe Z), ergibt sich für die Gruppe Z eine geringere durchschnittliche Unfallziffer von 0.4125. Werden alle Kreisel betrachtet, liegt die durchschnittliche Unfallziffer bei 0.37.

**Tab. 2 Unfallziffer je Betriebsform (Basis alle Kreisel)**

Betriebsform	Anzahl Kreisel	Anzahl Unfälle total	Durchschn. Anzahl Unfälle/Jahr	Durchschn. Unfallziffer	Durchschn. Unfallziffer (ohne 2 Kreisel mit hoher Uz)
Z (2/2)	50	653	4.1859	0.4983	0.4125
U (2/1+)	39	402	3.1242	0.3448	0.3448
S (Sonderform)	8	73	2.0289	0.2219	0.2219
Alle	97	1128	3.5157	0.4163	0.37

Die folgende Tabelle (Tab. 3) zeigt die Unfallziffern unterschieden nach Kreiselementen Einfahrt, Kreisfahrbahn, Ausfahrt, Zufahrt, und gesondert für die Betriebsformen Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn (Z, 2/2), Kreisel mit überbreiter Kreisfahrbahn (U, 2/1+) und Kreisel mit Sonderformen (S) sowie für alle Kreisel zusammen. Die Mittelwerte sind als Durchschnittswerte aller Einzelkreisel ermittelt. Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass mit Ausnahme der höchsten Unfallhäufigkeit auf zweistreifigen Kreisfahrbahnen grundsätzlich die Unfallhäufigkeit an den Einfahrten am grössten ist, gefolgt von der Kreisfahrbahn, der Ausfahrt und der Zufahrt.

**Tab. 3 Unfallziffern je Betriebsform und Kreiselement (Basis alle Kreisel)**

Betriebsform	Einfahrt		Kreisfahrbahn		Ausfahrt		Zufahrten		
	U/J	Uz	U/J	Uz	U/J	Uz	U/J	Uz	
Z (2/2)	50	1.0321	0.4757	1.4039	0.6567	0.5385	0.2482	0.3077	0.1418
U (2/1+)	39	0.9402	0.4115	0.8391	0.4176	0.5206	0.2278	0.2409	0.1054
S (Sonderform)	8	0.8889	0.3501	0.6111	0.2818	0.2222	0.0875	0.2222	0.0875
Alle	97	0.9786	0.4355	1.0877	0.5205	0.4955	0.2205	0.2711	0.1206

Betrachtet man die Kreisel nach ihrer Lage, so lässt sich feststellen, dass 66 der Kreisel innerorts und 31 ausserorts liegen. Die Anzahl der 66 Kreisel innerorts setzt sich aus 5 Sonderformen, 29 zweistreifige Kreiseln, 32 überbreiten Kreiseln und 4 Kreiseln mit Sonderform zusammen. Zu den 31 Kreiseln ausserorts zählen 21 zweistreifige Kreisel, 7 überbreite Kreisel und 3 Kreisel mit Sonderform. Die Resultate zeigen (siehe Tab. 4), dass die Unfallziffern an den Kreiseln innerorts leicht höher sind.

**Tab. 4 Unfallziffern nach Lage (Basis alle Kreisel)**

	Total	innerorts	ausserorts
Unfallziffer (alle Kreisel)	0.41	0.4359	0.3725
Unfallziffer (ohne 2 grosse)	0.37	0.3885	0.3241

### 5.2.3 Unfallschwere

Die Auswertung der Unfalldaten nach Getöteten und Verletzten ergab, dass an keinem der 97 Kreisel Getötete zu beklagen sind. Es wurden 364 Verletzte registriert (Tab. 5). Ob es sich dabei um Leicht- oder Schwerverletzte handelt, liess sich den Daten nicht entnehmen.

Die Unfallschwere der zweistreifigen Kreisel unterscheidet sich je nach Kreiseltyp deutlich. Wie in der folgenden Tabelle (Tab. 5) ersichtlich, weisen die zweistreifigen Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn (2/2) eine um rund 40 % tiefere Unfallschwere auf als die Kreisel mit überbreiter Kreisfahrbahn. Die Sonderformen von Kreiseln weisen sogar eine rund doppelt so hohe Unfallschwere wie der Normaltyp auf.

**Tab. 5** Durchschnittliche Unfallschwere je Betriebsform (Basis alle Kreisel)

Betriebsform	n	Anzahl Unfälle U	Anzahl Verunfallte V	Durchschnittl. Unfallschwere UV	Durchschnittl. Anzahl Unfälle/Jahr	Durchschnittl. Anzahl Verunfallte/Jahr
Z (2/2)	50	653	163	0.2496	4.1859	1.04487
U (2/1+)	39	402	168	0.4178	3.1242	1.30536
S (Sonderform)	8	73	33	0.4518	2.0289	0.91667
Alle	97	1128	364	0.3227	3.5157	1.13439

Die Auswertung der durchschnittlichen Unfallschwere nach Unfalltypengruppen sind in Tab. 6 zusammengestellt. Die Unfalltypengruppen und Unfalltypen entsprechen [36] resp. Anhang III.1. Eine Liste derjenigen Unfalltypen, die am Knotentyp Kreisel überhaupt zu erwarten sind, inkl. Umlegung älterer Unfalltypenbezeichnungen, wurde im Vorfeld der Erhebung vom Forschungsteam erstellt.

**Tab. 6** Durchschnittliche Unfallschwere je Unfalltypengruppe

Unfalltypengruppe		Unfälle U		Verunfallte V		Durchschnittliche Unfallschwere V/U
		Anzahl	%	Anzahl	%	[-]
0	Schleuder- oder Selbstunfall	168	18.00	56	20.97	0.33
1	Unfall beim Vorbeifahren oder Fahrstreifenwechsel	287	23.47	30	28.09	0.14
2	Auffahrunfall	219	30.76	75	11.24	0.34
3	Abbiegeunfall	21	2.25	4	1.50	0.19
4	Einbiegeunfall	188	20.15	61	22.85	0.32
5	Überqueren der Fahrbahn	23	2.47	16	6.00	0.70
8	Fussgängerunfall	25	2.68	25	9.36	1.00
00	Andere	2	0.21	0	0.00	0.00
Alle (Total)		933	100	267	100	0.29

Während die Einbiegeunfälle zusammen mit den Auffahrunfällen, welche sich in der Zufahrt/Einfahrt ereignen, am häufigsten sind, folgt in der Häufigkeit der Unfalltyp beim Vorbeifahren oder Fahrstreifenwechsel. Diese Unfälle ereignen sich hauptsächlich auf der Kreisfahrbahn. Es folgt der Unfalltyp Schleuder-/Selbstunfall. Die Abbiegeunfälle auf der Ausfahrt sind seltener. Während die Auffahrunfälle, Schleuder/Selbstunfälle und die Einbiegeunfälle etwa die gleiche Unfallschwere aufweisen, sind die Unfälle beim Vorbeifahren oder Fahrstreifenwechsel und die Abbiegeunfälle nur etwa halb so schwer.

## 5.3 Resultate der statistischen Modellberechnungen

### 5.3.1 Übersicht aller Modellierungen

Grundlage für den ersten Teil der Modellierung bildeten die Verkehrs- und Anlagedaten sowie die Unfalldaten der Kreisel als Gesamtanlage. Den zweiten Teil der Modellierung bildeten die Anlageelemente Einfahrt, Ausfahrt, Kreisfahrbahn und Kreiselfzufahrt. Auf der Grundlage der Hypothesen ergaben sich die folgenden Modelle: für die generellen Hypothesen siehe Tab. 7, für die Einzelhypothesen siehe Tab. 8. (Modellnamen nach I-Rex [37])

**Tab. 7 Modelle für die generellen Hypothesen, Betrachtung Gesamtkreisel**

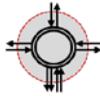
<b>Volles Modell</b> (alle Kreisel)			
	Volles Modell	$U/J = f$ (aller geom. Variablen und DTV)	Kap. 5.3.2
<b>Einfachere Modelle</b> (je alle Kreisel)			
	Modell 1	$U/J = f$ (Aussendurchmesser und DTV)	Kap. 5.3.3
	Modell 2	$U/J = f$ (Anzahl Arme, Anzahl zweistreifiger Zufahrten, Anzahl zw eistreifiger Ausfahrten, Ablenkungswinkel Beta und DTV)	
	Modell 3	$J = f$ (Anz. Arme, Anz. zweistreifiger Zufahrten, Anz. zweistreifiger Ausfahrten, Ablenkungswinkel Beta und DTV)	
<b>Kreisel nach Betriebsform</b> (je nur Kreisel Typ Z, U oder S)			
Z: mind. eine 2-streifige Einfahrt / 2-streifige Kreisfahrbahn			
U: mind. eine 2-streifige Einfahrt / 1 überbreite Kreisfahrbahn			
S: (zw eistreifige) Sonderformen			
	Modell Typ Z	$U/J = f$ (aller geom. Variablen und DTV)	Kap. 5.3.4
	Modell Typ U	$U/J = f$ (aller geom. Variablen und DTV)	
	Modell Typ S	$U/J = f$ (aller geom. Variablen und DTV)	

**Tab. 8 Modelle für die Einzelhypothesen, Betrachtung Kreiselemente**

	Modell 4 Einfahrt (alle Kreisel)	$U/J = f$ (Fahrbahnbreite Einfahrt, Einfahrradius, Inselbreite, Insellänge, Ablenkungswinkel beta, Einfahrwinkel alpha, Sichtweite nach links und DTV)	Kap. 5.3.5
	Modell 5 Ausfahrt (alle Kreisel)	$U/J = f$ (Fahrbahnbreite Ausfahrt, Ausfahrradius, Inselbreite, Insellänge und DTV)	Kap. 5.3.6
	Modell 6 Kreisfahrbahn (alle Kreisel)	$U/J = f$ (Fahrbahnbreite Kreis, Kurvenradius Fb-mitte, kleinste Verflechtungslänge und DTV)	Kap. 5.3.7
	Modell 7 Zufahrt (alle Kreisel)	$U/J = f$ (Fahrbahnbreite Zufahrt, Krümmungsradius Zufahrt, Einfahrwinkel alpha, Insellänge, Inselbreite und DTV)	Kap. 5.3.8

Eine noch feinere Unterteilung, z.B. nur Betrachtung des Einfahrtsbereiches je Kreiseltyp, wurde nicht weiterverfolgt, da die nötigen die Datengrundlagen ungenügend sind (u.a. zum Teil keine Unfälle mehr). Die folgenden Kapitel zeigen zusammengefasst die Resultate aus der Modellierung. Weitere Details sind in [37] festgehalten.

### 5.3.2 Volles Modell



Volles Modell  
(alle Kreisel)

$U/J = f(\text{aller geom. Variablen und DTV})$

Das volle Modell prognostiziert die Unfälle eines Kreisels in Funktion des DTV und der geometrischen Faktoren (siehe in Tab. 9).

**Tab. 9** Kovariablen und ihre Bezeichnungen

Faktor	Bezeichnung	Einheit
Durchschnittlicher täglicher Verkehr	DTV	
Aussendurchmesser Kreisfahrbahn	Da	Meter
Anzahl Kreiselarmer	Arme	
Anzahl 2-streifiger Zufahrten	Zu2	
Anzahl 2-streifiger Ausfahrten	Aus2	
Durchschnittlicher Ablenkungswinkel innen	b1d	Grad
Breite Kreisfahrbahn	Bk	Meter
Durchschnittliche Fahrbahnbreite Einfahrt	Fbed	Meter
Durchschnittlicher Einfahrtswinkel innen	a1d	Grad

Die Rechnung des Regressionsmodells zeigt, dass die zwei grössten Kreisel TI02 und VD07 Ausreisser sind und eine grosse Hebelwirkung auf die Parameter des Regressionsmodells haben. Sie werden daher bei der Berechnung des Modells weggelassen, um eine Verzerrung der Resultate zu vermeiden. Die statistische Auswertung liefert das folgende Ergebnis (Tab. 10):

**Tab. 10** Parameterschätzungen und statistische Signifikanz (Volles Modell)

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	-7.937183	1.086708	-7.304	2.80e-13 ***
log(DTV)	0.622911	0.106783	5.833	5.43e-09 ***
Da	0.019282	0.003392	5.685	1.31e-08 ***
Arme	-0.268262	0.054833	-4.892	9.96e-07 ***
Zu2	0.198862	0.030625	6.493	8.39e-11 ***
Aus2	0.135102	0.035210	3.837	0.000124 ***
b1d	-0.004591	0.001804	-2.545	0.010930 *
Bk	-0.017601	0.022797	-0.772	0.440051
Fbed	0.087260	0.041592	2.098	0.035905 *
a1d	0.033473	0.004566	7.332	2.27e-13 ***

Legende:

Estimate: Parameter der Variablen; Std.Error: Standardabweichungen der Parameter

z-value: Z-Wert Signifikanztest

Pr(>|z|): Signifikanzniveau mit (\*\*\*) bis (\*) signifikant auf dem 1% Niveau Irrtumswahrscheinlichkeit, mit (.) 5% Niveau und ( ) 10% Niveau

Aus der Tabelle (Spalte Estimate) erhält man das Modell für die durchschnittlich erwartbare Anzahl Unfälle  $\mu$  pro Jahr. Es lautet:

$$\ln(\mu N) = -7.94 + 0.62 \cdot \ln(\text{DTV}) + 0.02 \cdot \text{Da} - 0.27 \cdot \text{Arme} + 0.19 \cdot \text{Zu2} + 0.14 \cdot \text{Aus2} - 0.005 \cdot \text{b1d} - 0.02 \cdot \text{Bk} + 0.09 \cdot \text{Fbed} + 0.03 \cdot \text{a1d}$$

Mit zunehmender Grösse der Faktoren nehmen in der Regel die Unfallzahlen zu. Die Ausnahmen sind die Parameter Anzahl Arme (Arme), Ablenkwinkel beta (bid) und Breite Kreisfahrbahn (Bk).

Die folgende Tabelle (Tab. 11) zeigt die Wirkung der Einzelgrössen auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle  $\mu$  pro Jahr und die Unfallziffer Uz, in Klammern finden sich die Wahrscheinlichkeitsintervalle zum Niveau 0.95. Die Wirkung lässt sich hier zum einen hinsichtlich ihrer Stärke (bei einer theoretischen Schrittgrösse, siehe Tabelle 9 resp. Tabellenkopf Tabelle 11) und zum anderen hinsichtlich ihrer Richtung (positiv/negativ) bestimmen.

**Tab. 11** Wirkung der geometrischen Grössen und des DTV auf Unfälle und Unfallziffer (Volles Modell)

	Ln(DTV)	Arme	Zu2	Aus2	a1d	Da	b1d	Fbed	Bk
	+1	+1	+1	+1	+1°	+1m	+1°	+1m	+1m
ln( $\mu$ )	+0.62	-0.27	+0.19	+0.14	+0.03	+0.02	-0.005	0.09	-0.02
	(±0.22)	(±0.11)	(±0.06)	(±0.07)	(±0.01)	(±0.007)	(±0.004)	(±0.09)	(±0.05)
$\mu$	×1.86	×0.76	×1.22	×1.15	×1.03	×1.02	×0.995	×1.09	×0.98
	(×1.5)	(×0.68)	(×1.15)	(×1.07)	(×1.02)	(×1.01)	(×0.991)	(×1.00)	(×0.93)
	(×2.3)	(×0.85)	(×1.30)	(×1.23)	(×1.04)	(×1.03)	(×0.999)	(×1.20)	(×1.03)
Uz	×0.68	×0.76	×1.22	×1.14	×1.03	×1.02	×0.995	×1.09	×0.98
	(×0.54)	(×0.68)	(×1.15)	(×1.07)	(×1.02)	(×1.01)	(×0.991)	(×1.00)	(×0.93)
	(×0.85)	(×0.85)	(×1.30)	(×1.23)	(×1.04)	(×1.03)	(×0.999)	(×1.20)	(×1.03)

Wie erwartet, sind mit wachsenden DTV auch mehr Unfälle pro Jahr zu erwarten. Quantitativ wächst die Zahl der Unfälle bei einer Verdreifung des DTV um das Zweifache.

Je mehr Arme der Kreisel erhält, desto geringer ist die Zahl der Unfälle pro Jahr zu erwarten. Quantitativ kann bei einem Arm mehr (z.B. 4 statt 3 Arme) eine um 24 % reduzierte Zahl Unfälle pro Jahr erwartet werden.

Der DTV und die Anzahl Arme sind in der Regel gegebene Grössen. Zur Veranschaulichung der Einflüsse der anderen Einzelfaktoren, nun bezogen auf die verkehrstechnisch übliche Bandbreite von allfälligen Veränderungen, werden in Tab. 12 die quantitativen Auswirkungen auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr je Einzelfaktor aufgrund der Angaben in der zuvor gezeigten Tabelle aufgezeigt. Erst innerhalb der verkehrstechnischen Bandbreite, wie in Tabelle 12 beschrieben, wird eine Bewertung resp. effektive Reihung der Stärke der Einflüsse möglich.

Alle Kombinationen von Veränderungen der Einzelfaktoren sind durch Multiplikation der Faktoren der Einzelveränderungen bestimmbar.

**Tab. 12** Quantitative Auswirkungen von Veränderungen der Einzelgrössen auf die Zahl Unfälle pro Jahr (Volles Modell)

Zu2	Au2	a1d	Da	bid	Fbed	Bk	Faktor auf U/J (gerundet)	Signifi- kanz
+1							1.22	***
+2							1.49	***
+3							1.82	***
	+1						1.14	***
	+2						1.31	***
	+3						1.50	***
	+4						1.72	***
		+10°					1.40	***
		+20°					1.95	***
		+30°					2.73	***
		+40°					3.81	***
			+10m				1.21	***
			+20m				1.47	***
			+30m				1.78	***
			+40m				2.16	***
				+10°			0.96	*
				+20°			0.91	*
				+30°			0.87	*
				+40°			0.83	*
				+50°			0.79	*
					+0.50m		1.04	*
					+1.00m		1.09	*
					+1.50m		1.14	*
					+2.00m		1.19	*
					+2.50m		1.24	*
						+1.00m	0.98	
						+1.50m	0.97	
						+2.00m	0.97	
						+2.50m	0.96	

Aus Tab. 12 lässt sich erkennen, dass durchschnittlicher Einfahrtswinkel und Aussendurchmesser den stärksten Einfluss auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr haben. Ein grösserer Einfahrtswinkel  $\alpha$  führt zu mehr Unfällen pro Jahr. Je grösser der Aussendurchmesser des Kreisels desto grösser ist die erwartete durchschnittliche Zahl von Unfällen pro Jahr.

Den zweitstärksten Einfluss haben die Anzahl zweistreifiger Zufahrten, die Anzahl zweistreifiger Ausfahrten und der Ablenkwinkel  $\beta$ . Bei den beiden Ersteren gilt, wenn deren Anzahl zunimmt steigt auch die Anzahl Unfälle pro Jahr. Dagegen sinkt mit zunehmendem Ablenkwinkel  $\beta$  die erwartete Zahl Unfälle pro Jahr.

Deutlich kleiner sind der Einfluss der durchschnittlichen Fahrbahnbreite der Einfahrt und die Breite der Kreisfahrbahn. Je breiter die zweistreifige Einfahrt desto mehr Unfälle sind zu erwarten. Die Wirkung und der Variable durchschnittliche Fahrbahnbreite  $F_{bed}$  ist unsicher, da die relativen Stichprobenfehler gross sind. Unsicher ist auch das Ergebnis, wonach mit grösserer Breite der Kreisfahrbahn die Zahl der Unfälle leicht abnimmt.

Die folgenden zwei Beispiele zeigen, wie sich der Faktor auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr  $\mu$  resp. auf die Unfallziffer  $U_z$  bestimmen lässt (Grundlage Tabelle 11):

### Volles Modell, Beispiel 1:

#### Verkehrsmenge, Anzahl Arme und Anzahl zweistreifiger Ausfahrten ändern

Ändert der  $\ln(\text{DTV})$  um +1 (also der DTV um den Faktor 2.78), ändert man weiter die Anzahl Arme um +2 und die Anzahl zweistreifiger Ausfahrten  $Aus_2$  um -1, so ergibt sich:

- der Faktor 0.93 auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr  $\mu$  (d.h. eine 7 % kleinere durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr)

$$1.86 \cdot (0.76)^2 \cdot (1.15)^{-1} = 0.93$$

Faktor an unterer Schranke für 95%-Vertrauensintervall:

$$1.50 \cdot (0.68)^2 \cdot (1.07)^{-1} = 0.65$$

Faktor an oberer Schranke für 95%-Vertrauensintervall:

$$2.30 \cdot (0.85)^2 \cdot (1.23)^{-1} = 1.35$$

- und der Faktor 0.34 auf die Unfallziffer  $U_z$  (d.h. eine Reduktion um 66 % der Unfallziffer)

$$0.68 \cdot (0.76)^2 \cdot (1.15)^{-1} = 0.34$$

Faktor an unterer Schranke für 95%-Vertrauensintervall:

$$0.54 \cdot (0.68)^2 \cdot (1.07)^{-1} = 0.23$$

Faktor an oberer Schranke für 95%-Vertrauensintervall:

$$0.85 \cdot (0.85)^2 \cdot (1.23)^{-1} = 0.50$$

### Volles Modell, Beispiel 2:

#### Verkehrsmenge und Aussendurchmesser bleiben gleich, Erhöhung der Anzahl zweistreifiger Zufahrten um 1, Reduktion Ablenkwinkel Beta um 20°

Erhöht man die Anzahl zweistreifiger Zufahrten  $Zu_2$  um +1, und verringert man den Ablenkwinkel Beta um -20, so ergibt sich:

- der Faktor 1.35 auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr  $\mu$  und auf die Unfallziffer  $U_z$  (d.h. eine um 35 % höhere durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr resp. eine um 35 % höhere Unfallziffer)

$$1.22^1 \cdot (0.995)^{-20} = 1.35$$

Faktor an unterer Schranke für 95%-Vertrauensintervall:

$$1.15^1 \cdot (0.991)^{-20} = 1.38$$

Faktor an oberer Schranke für 95%-Vertrauensintervall:

$$1.30^1 \cdot (0.999)^{-20} = 1.33$$

### 5.3.3 Einfachere Modelle, Modelle 1, 2 und 3

	Modell 1 (alle Kreisel)	$U/J = f(\text{Aussendurchmesser und DTV})$
	Modell 2 (alle Kreisel)	$U/J = f(\text{Anzahl Arme, Anzahl zweistreifiger Zufahrten, Anzahl zweistreifiger Ausfahrten, Ablenkungswinkel Beta und DTV})$
	Modell 3 (alle Kreisel)	$U/J = f(\text{Aussendurchmesser, Breite Kreisfahrbahn, Fahrbahnbreite Einfahrt, Einfahrtswinkel und DTV})$

Andere untersuchte, verkehrstechnisch sinnvolle Modelle umfassen, nebst Berücksichtigung des DTV, nur den Aussendurchmesser  $D_a$  oder nur die vier Faktoren Anzahl Arme, Anzahl zweistreifiger Zufahrten  $Z_{u2}$ , Anzahl zweistreifiger Ausfahrten  $A_{u2}$  und Ablenkungswinkel  $\beta$  oder nur die vier Faktoren Aussendurchmesser  $D_a$ , Breite Kreisfahrbahn  $B_k$ , Fahrbahnbreite Einfahrt  $F_{bed}$  und Einfahrtswinkel  $\alpha$ .

Die Resultate der Modelle haben gezeigt, dass alle drei Modelle nicht aussagekräftig sind.

### 5.3.4 Modelle nach Betriebsform, Modell Typ Z (Modelle U und S)

	Modell Typ Z (nur Kreisel Typ Z)	$U/J = f(\text{aller geom. Variablen und DTV})$
	Modell Typ U (nur Kreisel Typ U)	$U/J = f(\text{aller geom. Variablen und DTV})$
	Modell Typ S (nur Kreisel Typ S)	$U/J = f(\text{aller geom. Variablen und DTV})$

Im Rahmen der statistischen Modellrechnungen wurden die Teilsampeln für zweistreifige Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn (Z), zweistreifiger Kreisel mit überbreiter Kreisfahrbahn (U) und Sonderformen (S) je separat durchgeführt. Während für den Kreiseltyp Z die statistischen Berechnungen zu einem teilweise befriedigenden Resultat führten, sind die Ergebnisse bei den Kreiseltypen U und S sehr unsicher und damit unbefriedigend.

Im Folgenden werden deshalb die Ergebnisse zum Kreiseltyp Z aufgeführt, während auf die Darstellung der Ergebnisse für die beiden Typen U und S hier verzichtet wird. Letztere Berechnungsergebnisse sind in [37] im Detail ersichtlich.

Das Modell für die Kreisel des Typs Z prognostiziert die Unfälle eines Kreisels in Funktion des DTV und der geometrischen Faktoren. Die geometrischen Faktoren und deren Bezeichnungen und Einheiten entsprechen wiederum denjenigen des vollen Modells (Tab. 9), sind aber hier zur besseren Orientierung nochmals in Tab. 13 dargestellt.

**Tab. 13** Kovariablen und ihre Bezeichnungen

Faktor	Bezeichnung	Einheit
Durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge	DTV	
Aussendurchmesser Kreisfahrbahn	Da	Meter
Anzahl Kreiselarme	Arme	
Anzahl 2-streifiger Zufahrten	Zu2	
Anzahl 2-streifiger Ausfahrten	Aus2	
Durchschnittlicher Ablenkungswinkel innen	b1d	Grad
Breite Kreisfahrbahn	Bk	Meter
Durchschnittliche Fahrbahnbreite Einfahrt	Fbed	Meter
Durchschnittlicher Einfahrtswinkel innen	a1d	Grad

Auch in diesem Datensatz werden die beiden aussergewöhnlich grossen Kreisell nicht mit einbezogen. Die statistische Auswertung liefert das folgende Ergebnis, siehe Tab. 14:

**Tab. 14** Parameterschätzungen und statistische Signifikanz, Modell Typ Z

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	-3.784262	1.781261	-2.124	5.921 *
log(DTV)	0.139999	0.193577	0.723	0.469546
Da	0.022294	0.004074	5.472	4.46e-08 ***
Arme	-0.255186	0.076922	-3.317	0.000908 ***
Zu2	0.063685	0.045023	1.415	0.157210
Aus2	0.232158	0.049804	4.661	3.14e-06 ***
b1d	-0.010784	0.003068	-3.515	0.000440 ***
Bk	-0.038440	0.035606	-1.080	0.280326
Fbed	0.210214	0.058635	3.585	0.000337 ***
a1d	0.039601	0.006688	5.921	3.20e-09 ***

Das Modell ist teilweise befriedigend.

Im Vergleich mit dem Gesamtmodell unter Einschluss aller Kreisell ist hier der Parameter DTV unsicher, während er beim Gesamtmodell sicher war. Gleich wie beim Gesamtmodell bleiben die Parameter Aussendurchmesser, Zahl der Arme, Zahl zweistreifige Ausfahrten und Einfahrtswinkel bei der Einfahrt sicher. Ebenfalls gleich zeigt sich der Parameter Kreisfahrbahn, welcher in beiden Fällen unsicher bleibt. Während sich im Gesamtmodell der Parameter Zahl der zweistreifigen Zufahrten als sicher erwies, zeigt er sich hier im Teilmodell unsicher. Umgekehrt zeigen sich die Parameter Fahrbahnbreite der Einfahrt und Ablenkungswinkel gegenüber den Ergebnissen im Vollen Modell sicherer.

Die durchschnittlich erwartbare Zahl von Unfällen pro Jahr ( $\mu_N$ ) ist mit diesem Teilmodell (und den geschätzten Parametern für die Poisson-Regression):

$$\ln(\mu_N) = -3.78 + 0.14 \cdot \ln(\text{DTV}) + 0.02 \cdot \text{Da} - 0.26 \cdot \text{Arme} + 0.06 \cdot \text{Zu2} + 0.23 \cdot \text{Aus2} - 0.01 \cdot \text{b1d} - 0.04 \cdot \text{Bk} + 0.21 \cdot \text{Fbed} + 0.04 \cdot \text{a1d}$$

Die folgende Tab. 15 zeigt die Wirkung der einzelnen Grössen auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle  $\mu$  pro Jahr und die Unfallziffer  $U_z$ , in Klammern finden sich die Wahrscheinlichkeitsintervalle zum Niveau 0.95.

**Tab. 15** Wirkung der geometrischen Grössen und des DTV auf Unfälle und Unfallziffer (Modell Typ Z)

x	Ln(DTV)	Arme	Zu2	Aus2	a1d	Da	b1d	Fbed	Bk
x	+1	+1	+1	+1	+1°	+1m	+1°	+1m	+1m
ln( $\mu$ )	0.14	-0.26	0.06	0.23	0.04	0.02	-0.01	0.21	-0.04
	(±0.193577)	(±0.076922)	(±0.045023)	(±0.049804)	(±0.006688)	(±0.004074)	(±0.003068)	(±0.058635)	(±0.035606)
	(±0.38)	(±0.15)	(±0.09)	(±0.1)	(±0.01)	(±0.008)	(±0.006)	(±0.11)	(±0.07)
$\mu$	×1.15	×0.77	×1.06	×1.26	×1.04	×1.02	×0.99	×1.23	×0.96
	(×0.79)	×0.66	×0.97	×1.14	×1.03	×1.01	×0.98	×1.22	×0.93
	(×1.68)	×0.90	×1.16	×1.39	×1.05	×1.03	×1.00	×1.25	×0.99
Uz	0.42	×0.77	×1.06	×1.26	×1.04	×1.02	×0.99	×1.23	×0.96
	(×0.29)	×0.66	×0.97	×1.14	×1.03	×1.01	×0.98	×1.22	×0.93
	(×0.62)	×0.90	×1.16	×1.39	×1.05	×1.03	×1.00	×1.25	×0.99

Zur Veranschaulichung der Einflüsse der Einzelgrössen wurde für die relevanten Veränderungsbereiche dieser Grössen wiederum die quantitative Wirkung (Faktor) auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle  $\mu$  pro Jahr aufgrund der Angaben in der obigen Tabelle berechnet. Die Faktoren sind in der folgenden Tabelle (Tab. 16) aufgezeigt. In Klammern finden sich die Wahrscheinlichkeitsintervalle zum Niveau 0.95. Alle Kombinationen von Veränderungen der einzelnen Grössen sind wiederum durch Multiplikation der Faktoren der Einzelveränderungen bestimmbar.

**Tab. 16** Quantitative Auswirkungen von Veränderungen der Einzelgrössen auf die Zahl Unfälle pro Jahr (Modell Typ Z)

Zu2	Au2	a1d	Da	bid	Fbed	Bk	Faktor auf U/J gerundet	Signifikanz
+1							1.07	
+2							1.14	
+3							1.21	
	+1						1.26	***
	+2						1.59	***
	+3						2.01	***
	+4						2.53	***
		+10°					1.49	***
		+20°					2.21	***
		+30°					3.28	***
		+40°					4.87	***
			+10m				1.25	***
			+20m				1.56	***
			+30m				1.95	***
			+40m				2.44	***
				+10°			0.90	***
				+20°			0.81	***
				+30°			0.72	***
				+40°			0.65	***
				+50°			0.58	***
					+0.50m		1.11	***
					+1.00m		1.23	***
					+1.50m		1.37	***
					+2.00m		1.52	***
					+2.50m		1.69	***
						+0.5m	0.96	
						+1.0m	0.94	
						+2.0m	0.93	
						+2.5m	0.91	

Gemessen an der verkehrstechnisch üblichen Bandbreite von Veränderungen haben durchschnittlicher Einfahrwinkel und Aussendurchmesser den stärksten Einfluss auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr. Grössere Einfahrwinkel  $\alpha$  führen zu mehr Unfällen pro Jahr. Je grösser der Aussendurchmesser des Kreisels desto grösser ist die erwartete durchschnittliche Zahl von Unfällen pro Jahr.

Den zweitstärksten Einfluss haben die Anzahl zweistreifiger Zufahrten, die Anzahl zweistreifiger Ausfahrten und der Ablenkwinkel  $\beta$ . Bei den beiden Ersteren ist zu erwarten, dass mit Zunahme der Anzahl auch die Anzahl Unfälle pro Jahr steigt, hingegen umso grösser der Ablenkwinkel  $\beta$  desto geringer die erwartete Zahl Unfälle pro Jahr.

Deutlich kleiner ist der Einfluss der durchschnittlichen Fahrbahnbreite der Einfahrt, nach wie vor betrachtet im Rahmen der üblichen Bandbreite von Veränderungen. Je breiter die Fahrbahn in der Einfahrt desto mehr Unfälle sind zu erwarten. Die Erhöhung der Breite der Kreisfahrbahn eine unsichere und sehr kleine Verminderung der Anzahl Unfälle zur Folge.

In der Folge zeigen drei Beispiele, wie sich der Faktor auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr  $\mu$  resp. auf die Unfallziffer  $U_z$  bestimmen lässt (Grundlage Tabelle 15):

**Modell Typ Z, Beispiel 1:****Verkehrsmenge, Anzahl Arme und Anzahl zweistreifiger Ausfahrten ändern**

Ändert der  $\ln(\text{DTV})$  um +1 (also der DTV um den Faktor 2.78), ändert man weiter die Anzahl Arme um +2 und die Anzahl zweistreifiger Ausfahrten Aus2 um -1, so ergibt sich:

- der Faktor 0.54 auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr  $\mu$  (d.h. eine 46 % kleinere durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr)

$$1.15 \cdot (0.77)^2 \cdot (1.26)^{-1} = 0.54$$

Faktor an unterer Schranke für 95 %-Vertrauensintervall:

$$0.79 \cdot (0.66)^2 \cdot (1.14)^{-1} = 0.30$$

Faktor an oberer Schranke für 95 %-Vertrauensintervall:

$$1.68 \cdot (0.90)^2 \cdot (1.39)^{-1} = 0.98$$

- und der Faktor 0.19 auf die Unfallziffer  $U_z$  (d.h. eine Reduktion um 81 % der Unfallziffer)

$$0.42 \cdot (0.77)^2 \cdot (1.26)^{-1} = 0.19$$

Faktor an unterer Schranke für 95 %-Vertrauensintervall:

$$0.29 \cdot (0.66)^2 \cdot (1.14)^{-1} = 0.11$$

Faktor an oberer Schranke für 95 %-Vertrauensintervall:

$$0.62 \cdot (0.90)^2 \cdot (1.39)^{-1} = 0.36$$

**Modell Typ Z, Beispiel 2:****Verkehrsmenge bleibt gleich, Durchmesser wird 20 m grösser gewählt**

Ändert man also nur den Durchmesser  $D_a$  um +20, so ergibt sich:

- der Faktor 1.49 auf  $\mu$  und auf  $U_z$  (d.h. eine um 49 % höhere durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr resp. Unfallziffer)

$$(1.02)^{20} = 1.49$$

Faktor an unterer Schranke für 95%-Vertrauensintervall:

$$(1.01)^{20} = 1.22$$

Faktor an oberer Schranke für 95%-Vertrauensintervall:

$$(1.03)^{20} = 1.81$$

**Modell Typ Z, Beispiel 3:****Verkehrsmenge und Aussendurchmesser bleiben gleich, Zunahme Anzahl zweistreifiger Zufahrten um 1, Beta 20° kleiner**

Erhöht man die Anzahl zweistreifiger Zufahrten  $Zu_2$  um +1, und verringert man den Ablenkwinkel  $\beta$  um -20, so ergibt sich:

- Der Faktor 1.30 auf  $\mu$  und auf  $U_z$  (d.h. eine um 30 % höhere durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr resp. Unfallziffer)

$$1.06^1 \cdot (0.99)^{-20} = 1.30$$

Untere Schranke für 95 %-Vertrauensintervall:

$$0.97^1 \cdot (0.98)^{-20} = 1.71$$

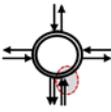
Obere Schranke für 95 %-Vertrauensintervall:

$$1.16^1 \cdot (1.00)^{-20} = 1.39$$

Die Feststellungen beim Typ Z, Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn, sind im Grundsatz ähnlich wie bei der Gesamtheit aller Kreisel. Deutlicher als beim Modell für die Gesamtheit aller Kreisel fällt der Einfluss der Fahrstreifenbreite in der Einfahrt und der Ablenkwinkel beim Teilmodell Z zweistreifige Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn aus. Schmalere Fahrbahnen in der Einfahrt und grösserer Ablenkwinkel sind vorteilhaft bzgl. Verkehrssicherheit.

Im Vergleich des Modells für die Gesamtzahl aller Kreisel (volles Modell) und Teilmodell Z für zweistreifige Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn sind die Ergebnisse für das Teilmodell bzgl. Aussagekraft höher zu bewerten, weil sich bei geometrischen und betrieblichen Bedingungen in viel engeren Bereichen ähnlich Signifikanzen ergeben. Damit werden Erkenntnisse aus dem Teilmodell Z sicherere Aussagen für Projektierungs- und Gestaltungsempfehlungen zulassen.

### 5.3.5 Modell 4, Einfahrt

	Modell 4	$U/J = f$ (Fahrbahnbreite Einfahrt, Einfahrradius, Inselbreite, Insellänge, Ablenkungswinkel beta, Einfahrwinkel alpha, Sichtweite nach links und DTVE/DTVK)
	Einfahrt (alle Kreisel)	

Das Modell Einfahrtbereich berücksichtigt folgende Kovariablen:

**Tab. 17** Kovariablen Einfahrtbereich

Kovariablen	Bezeichnung	Einheit
Durch. tägliche Verkehrsmenge an der Einfahrt	DTVE	
Durch. tägliche Verkehrsmenge auf Kreisfahrbahn	DTVK	
Fahrbahnbreite Einfahrt	Fbe	m
Radius Einfahrt	Re	m
Radius Einfahrt	Re	m
Inselbreite Einfahrt	Bine	m
Insellänge Zufahrt	Linz	m
Ablenkungswinkel innen	b1	°
Ablenkungswinkel aussen	b2	°
Einfahrwinkel innen	a1	°
Einfahrwinkel aussen	a2	°
Knotensichtweite links	Sz	m

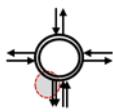
Die folgende Tabelle zeigt die Auswertung des zugehörigen Regressionsmodells:

**Tab. 18** Parameterschätzungen und statistische Signifikanz bei Unfälle Einfahrt

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	-7.193090	3.419352	-2.104	0.0354 *
log(DTVE)	0.425863	0.290198	1.467	0.1422
log(DTVK)	-0.067413	0.189236	-0.356	0.7217
Fbe	0.209044	0.116239	1.798	0.0721
Re	0.008820	0.007679	1.149	0.2508
Bine	0.060705	0.023824	2.548	0.0108 *
Linz	0.003490	0.003451	1.011	0.3119
b1	-0.001865	0.007500	-0.249	0.8037
b2	0.000102	0.008117	-0.013	0.9900
a1	0.012901	0.022579	0.571	0.5677
a2	-0.001870	0.020092	-0.093	0.9259
Sz	-0.001071	0.005546	-0.193	0.8469

Einen Einfluss auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr haben DTVE und Fbe. Sie sind aber sehr unpräzise bestimmt. Der einzige Faktor, bei dem das Vorzeichen bestimmt ist, also statistisch signifikant ist, ist Bine. Je höher die Inselbreite der Einfahrt ist, desto höher ist die durchschnittliche Anzahl Unfälle bei der Einfahrt. Der Effekt ist aber sehr klein: pro zusätzlichem Meter eine Erhöhung um 0.06 Unfälle pro Jahr.

### 5.3.6 Modell 5, Ausfahrt



Modell 5

 $U/J = f(\text{Fahrbahnbreite Ausfahrt, Ausfahradius, Inselbreite, Insellänge und DTVA})$ 
Ausfahrt  
(alle Kreisel)

Für das Modell 5 werden die folgenden Kovariablen betrachtet:

**Tab. 19** Kovariablen Ausfahrtsbereich

Faktor	Bezeichnung	Einheit
Durchschnittliche tägliche Verkehrsmenge Ausfahrt	DTVA	
Fahrbahnbreite Ausfahrt	Ba	m
Radius Ausfahrt	Ra	m
Inselbreite Einfahrt	Bine	m
Insellänge Zufahrt	Linz	m

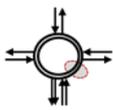
Die folgende Tabelle zeigt die Auswertung des zugehörigen Regressionsmodells:

**Tab. 20** Parameterschätzungen und stat. Signifikanz bei Unfälle Ausfahrt

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	-8.3701987	1.9859949	-4.215	2.5e-05 ***
log(DTVA)	0.7267041	0.2240805	3.243	0.00118 **
Ba	-0.0005783	0.1033230	0.694	0.48790
Ra	-0.0005783	0.0025616	-0.226	0.82140
Bine	0.0513167	0.0198693	2.583	0.00980 **
Linz	-0.0043311	0.0040402	-1.072	0.28372

Einen Einfluss auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr hat der DTVA. Je höher der DTVA ist, umso höher ist die durchschnittliche Anzahl Unfälle bei der Ausfahrt. Bis auf den Parameter zu Bine sind alle anderen Parameter sehr unpräzise bestimmt (also statistisch nicht signifikant). Ihre Vorzeichen und damit ihre Wirkung auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr sind unklar. Bine hat einen kleinen Einfluss auf die Unfälle: pro zusätzlichem Meter eine Erhöhung um 0.05 Unfälle pro Jahr.

### 5.3.7 Modell 6, Kreisfahrbahn



Modell 6

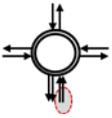
 $U/J = f(\text{Fahrbahnbreite Kreis, Kurvenradius Fb-mitte, kleinste Verflechtungslänge und DTVK})$ 

 Kreisfahrbahn  
 (alle Kreisel)
**Tab. 21** Kovariablen Kreisfahrbahn

Faktor	Bezeichnung	Einheit
Durch. tägliche Verkehrsmenge Kreisfahrbahn	DTVK	
Breite Kreisfahrbahn	Bk	m
Kurvenradius Fahrbahnmitte	KrM	m
Kleinste Verflechtungslänge	MLvf	m

Das Regressionsmodell zeigt, dass nur der DTVK einen wesentlichen Einfluss auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr hat. Die geometrischen Faktoren haben keinen nachweisbaren (d.h. nicht statistisch signifikanten) Einfluss auf die Anzahl Unfälle (Einfluss sehr klein und nicht signifikant).

### 5.3.8 Modell 7, Zufahrt

	Modell 7	$U/J = f$ (Fahrbahnbreite Zufahrt, Krümmungsradius Zufahrt, Einfahrwinkel $\alpha$ , Insellänge, Inselbreite und DTVE)
	Zufahrt (alle Kreisel)	

**Tab. 22** Kovariablen Zufahrtsbereich

Faktor	Bezeichnung	Einheit
Durch. tägliche Verkehrsmenge Zufahrt (entspricht dem DTV der Einfahrt)	DTVE	
Fahrbahnbreite Zufahrt	Fbz	m
Radius Zufahrt	Rz	m
Einfahrwinkel innen	a1	°
Einfahrwinkel aussen	a2	°
Inselbreite Einfahrt	Bine	m
Insellänge Zufahrt	Linz	m

Das Regressionsmodell zeigt, dass nur der Faktor DTVE einen Einfluss die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr hat. Der mögliche Einfluss der geometrischen Faktoren auf die Unfallzahlen im Bereich der Zufahrt konnte statistisch nicht nachgewiesen werden.

## 5.4 Veranschaulichung der Ergebnisse des Modells Z

Zur Veranschaulichung und Interpretation der Ergebnisse wurden Wertetabellen verwendet, welche die Wertebereiche der einzelnen Anlagegrößen auf die geometrisch resp. verkehrstechnisch möglichen begrenzen. Die in diesem Kapitel gezeigten Auswertungen erfolgten auf Basis des Teilmodells Z (Sample der zweistreifigen Kreisel mit zweistreifiger Kreiselfahrbahn) gemäss Poisson-Regressionsmodell (ohne Berücksichtigung der Kreisel TI02 und VD07).

Nachstehend werden Sensitivitäten zu folgenden Zusammenhängen aufgezeigt. Hierbei werden die 95%-Vertrauensbänder nicht dargestellt.

1. Auswirkungen von Verkehrsstärke (DTV) und Aussendurchmesser auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr (bei durchschnittlichen Geometriegrößen)
2. Auswirkungen der Anzahl zweistreifiger Zufahrten und der Anzahl zweistreifiger Ausfahrten auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr (bei durchschnittlichen Verkehrsbedingungen und durchschnittlichen Geometriegrößen)
3. Auswirkungen vom Ablenkungswinkel auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr (bei durchschnittlichen Verkehrsbedingungen (DTV) und Geometriegrößen unter Berücksichtigung verschiedener Aussendurchmesser)
4. Auswirkungen der Fahrbahnbreite der Einfahrt auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr (bei durchschnittlichen Geometriegrößen unter Berücksichtigung verschiedener Verkehrsstärken (DTV))
5. Auswirkungen der Breite der Kreiselfahrbahn auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle (bei durchschnittlichen Verkehrsbedingungen und Geometriegrößen unter Berücksichtigung verschiedener Aussendurchmesser resp. bei verschiedenen Verkehrsstärken (DTV))

Für das volle Modell und das Teilmodell Typ Z wurden für die relevanten Wertebereiche der Größen Wertetabellen erstellt. Die den folgenden Zusammenhängen zugehörigen Wertetabellen sind im Anhang IV enthalten.

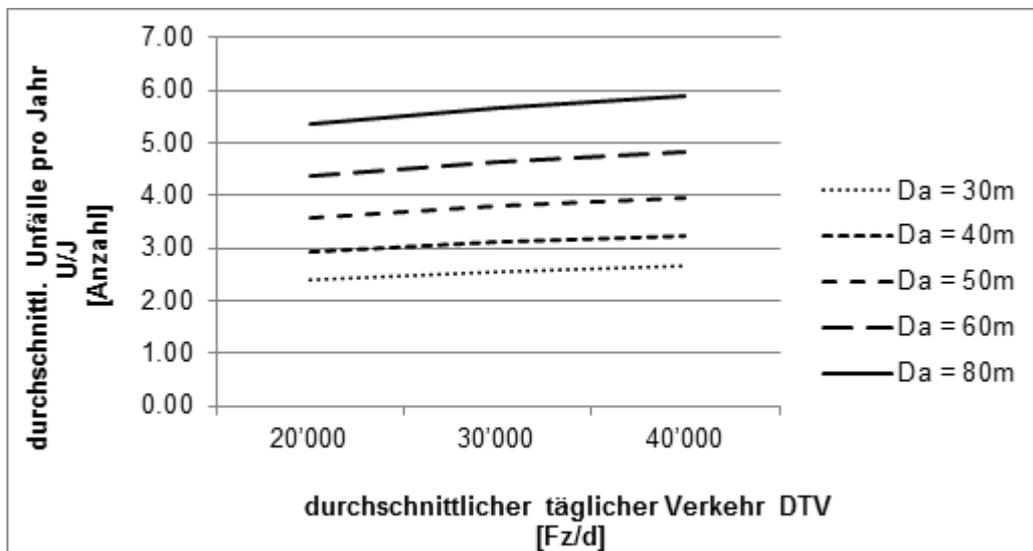
### 1. Auswirkungen von Verkehrsstärke (DTV) und Aussendurchmesser auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr (bei durchschnittlichen Geometriegrößen)

Ausgangslage:

4 Arme, 2 zweistreifige Zufahrten, 1 zweistreifige Ausfahrt, Fahrbahnbreite Einfahrt 6.0m, Einfahrtswinkel innen 70 Grad, Breite Kreisfahrbahn 10 m, Ablenkwinkel innen 40 Grad

**Tab. 23** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Verkehrsstärke DTV

DTV (Fz/T)	20'000	30'000	40'000
U/J (Da 30m)	2.17	2.30	2.40
U/J (Da 40m)	2.66	2.81	2.93
U/J (Da 50m)	3.24	3.43	3.57
U/J (Da 60m)	3.96	4.19	4.36
U/J (Da 70m)	4.84	5.12	5.33

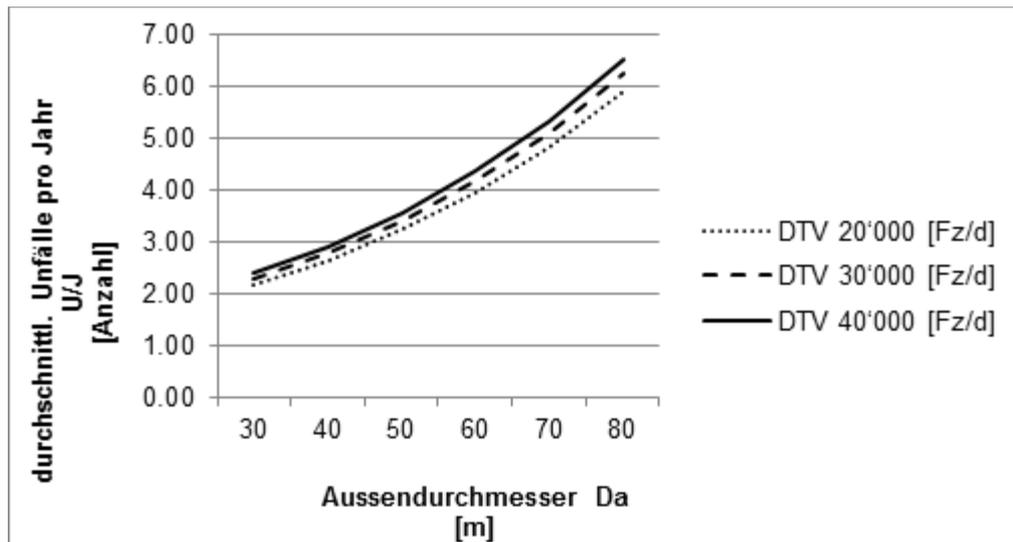


**Abb. 10** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Verkehrsstärke DTV (bei unterschiedlichen Aussendurchmessern).

Bei konstanten Zunahmen des DTV wächst die Zahl Unfälle pro Jahr leicht unterproportional. Das Niveau der Unfälle pro Jahr ist bei grösseren Aussendurchmessern höher als bei kleineren.

**Tab. 24** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit des Aussendurchmessers Da

Da(m)	30	40	50	60	70	80
U/J, (DTV 20'000)	2.17	2.66	3.24	3.96	4.84	5.91
U/J, (DTV 30'000)	2.30	2.81	3.43	4.19	5.12	6.25
U/J, (DTV 40'000)	2.40	2.93	3.57	4.36	5.33	6.51



**Abb. 11** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit des Aussendurchmessers (bei unterschiedlichem DTV).

Bei konstanten Zunahmen des Aussendurchmessers wächst die Zahl der Unfälle pro Jahr überproportional. Das Niveau der Unfälle pro Jahr ist praktisch unabhängig von den Verkehrsstärken.

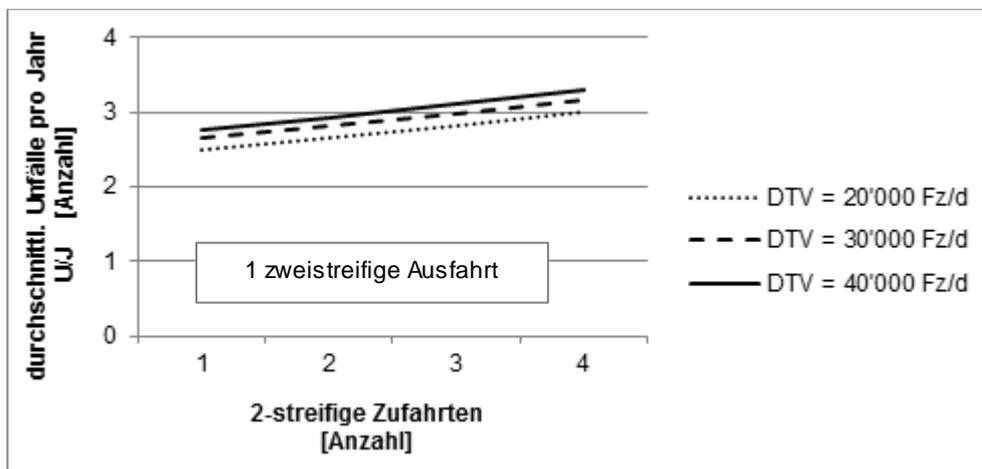
## 2. Auswirkungen der Anzahl zweistreifiger Zufahrten und zweistreifiger Ausfahrten auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr

Ausgangslage:

4 Arme, Aussendurchmesser 40m, Fahrbahnbreite Einfahrt 6 m, Einfahrtswinkel innen 70 Grad, Breite Kreisfahrbahn 10 m, Ablenkwinkel 40 Grad

**Tab. 25** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Anzahl zweistreifiger Zufahrten Zu2 bei einer zweistreifigen Ausfahrt Aus2

Anzahl 2-streifige Zufahrten (Zu2)	1	2	3	4
Anzahl 2-streifige Ausfahrten (Aus2)	1	1	1	1
U/J (DTV 20'000 Fz)	2.50	2.66	2.82	2.99
U/J (DTV 30'000 Fz)	2.65	2.81	2.98	3.17
U/J (DTV 40'000 Fz)	2.76	2.93	3.11	3.30

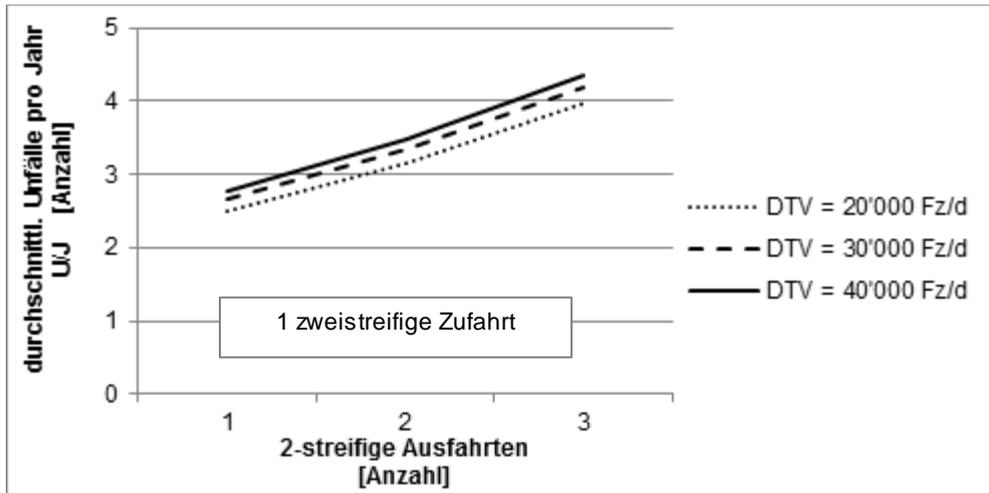


**Abb. 12** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Anzahl zweistreifiger Zufahrten bei einer zweistreifigen Ausfahrt (bei unterschiedlichem DTV).

Bei Zunahmen der Zahl zweistreifiger Zufahrten und Beibehaltung einer zweistreifigen Ausfahrt wächst die Zahl der Unfälle pro Jahr im dargestellten Bereich in etwa linear an.

**Tab. 26** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit einer zweistreifigen Zufahrt Zu2 und steigender Anzahl zweistreifiger Ausfahrten Aus2

Anzahl 2-streifige Zufahrten (Zu2)	1	1	1
Anzahl 2-streifige Ausfahrten (Aus2)	1	(2)	(3)
U/J (DTV 20'000 Fz)	2.50	3.15	3.96
U/J (DTV 30'000 Fz)	2.65	3.33	4.19
U/J (DTV 40'000 Fz)	2.76	3.47	4.36

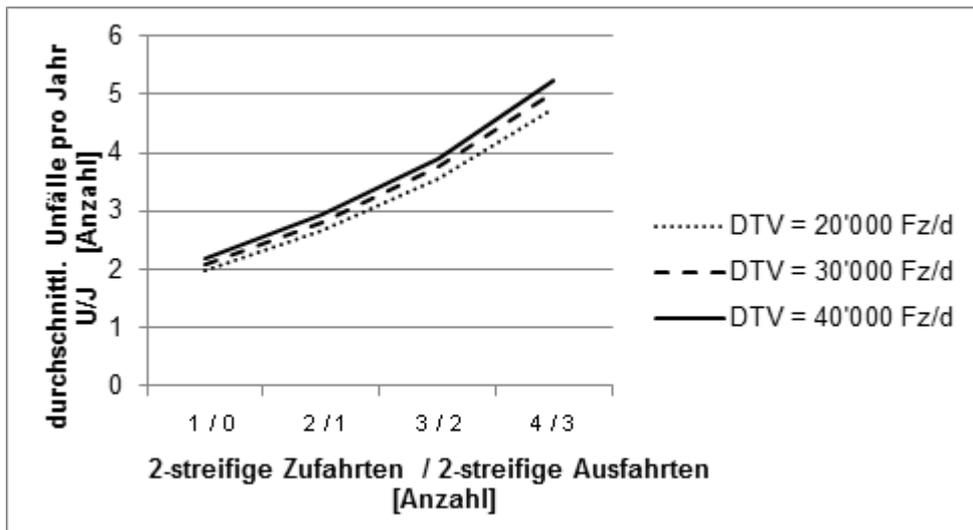


**Abb. 13** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit einer zweistreifigen Zufahrt und steigender Anzahl zweistreifiger Ausfahrten (bei unterschiedlichem DTV).

Bei, theoretisch, nur einer zweistreifigen Zufahrt jedoch Zunahme der Anzahl zweistreifiger Ausfahrten wächst die Zahl der Unfälle pro Jahr überproportional an.

**Tab. 27** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Anzahl zweistreifiger Zufahrten Zu2 und Anzahl zweistreifiger Ausfahrten Aus2

Anzahl 2-streifige Zufahrten (Zu2)	1	2	3	4
Anzahl 2-streifige Ausfahrten (Aus2)	0	1	2	3
U/J (DTV 20'000 Fz)	1.99	2.66	3.55	4.74
U/J (DTV 30'000 Fz)	2.10	2.81	3.76	5.02
U/J (DTV 40'000 Fz)	2.19	2.93	3.91	5.23



**Abb. 14** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Anzahl zweistreifiger Zufahrten und der Anzahl zweistreifiger Ausfahrten (bei unterschiedlichem DTV).

Bei Zunahmen der Anzahl zweistreifiger Zufahrten und Zunahmen von zweistreifigen Ausfahrten wächst die Zahl der Unfälle ebenfalls überproportional.

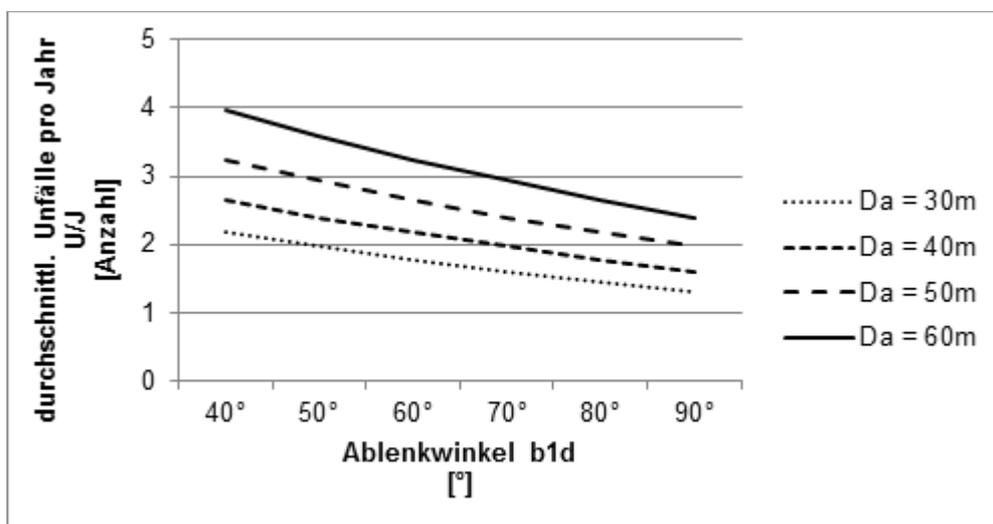
### 3. Auswirkungen des Ablenk winkels auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr

Ausgangslage:

DTV 20'000 Fz, 4 Arme, 2 zweistreifige Zufahrten, 1 zweistreifige Ausfahrt, Fahrbahnbreite zweistreifige Einfahrt 6 m, Einfahrtswinkel 70 Grad, Breite Kreisfahrbahn 10 m.

**Tab. 28** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit des Ablenk winkels b1d

Ablenk winkel b1d	40°	50°	60°	70°	80°	90°
U/J (Da 30m)	2.17	1.97	1.78	1.61	1.46	1.32
U/J (Da 40m)	2.66	2.40	2.17	1.97	1.78	1.61
U/J (Da 50m)	3.24	2.93	2.66	2.40	2.17	1.97
U/J (Da 60m)	3.96	3.58	3.24	2.93	2.66	2.40



**Abb. 15** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit des Ablenk winkels (bei unterschiedlichen Aussendurchmessern).

Bei konstanten Zunahmen der Grösse des Ablenk winkels klingt die Zahl Unfälle pro Jahr ab. Die Abnahmestärke ist praktisch unabhängig vom Aussendurchmesser des Kreisels. Das Niveau der Unfälle pro Jahr liegt bei grösseren Aussendurchmessern höher als bei kleineren.

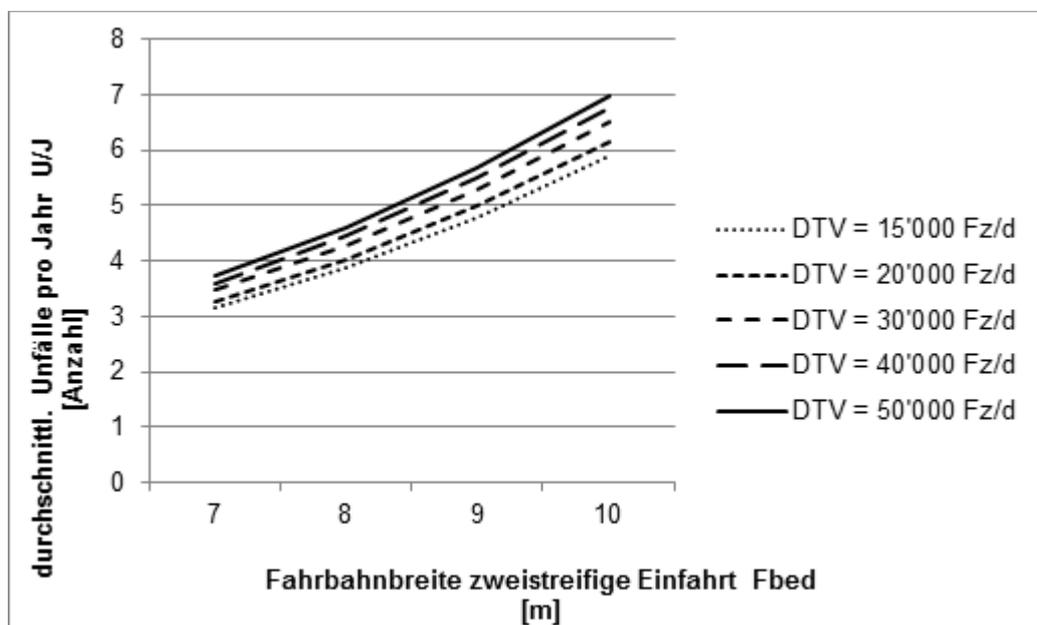
#### 4. Auswirkungen der Fahrbahnbreite in der Einfahrt auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr

Ausgangslage:

4 Arme, 2 zweistreifige Zufahrten, 1 einstreifige Ausfahrt, Einfahrtswinkel 70 Grad, Aussendurchmesser 40 m, Breite Kreisfahrbahn 10.0 m, Ablenkwinkel 40 Grad.

**Tab. 29** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite der Einfahrt  $F_{bed}$

$F_{bed}$ (m)	7	8	9	10
U/J,15'000Fz/T	3.15	3.88	4.79	5.91
U/J,20'000Fz/T	3.28	4.04	4.99	6.15
U/J,30'000Fz/T	3.47	4.28	5.28	6.51
U/J,40'000Fz/T	3.61	4.45	5.49	6.78
U/J,50'000Fz/T	3.72	4.59	5.67	6.99



**Abb. 16** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite der Einfahrt (bei unterschiedlichem DTV)

Bei zunehmender Fahrbahnbreite der Einfahrt wächst die Zahl der Unfälle pro Jahr leicht überproportional. Das Niveau der Unfälle pro Jahr ist bei kleineren DTV kleiner als bei grösseren.

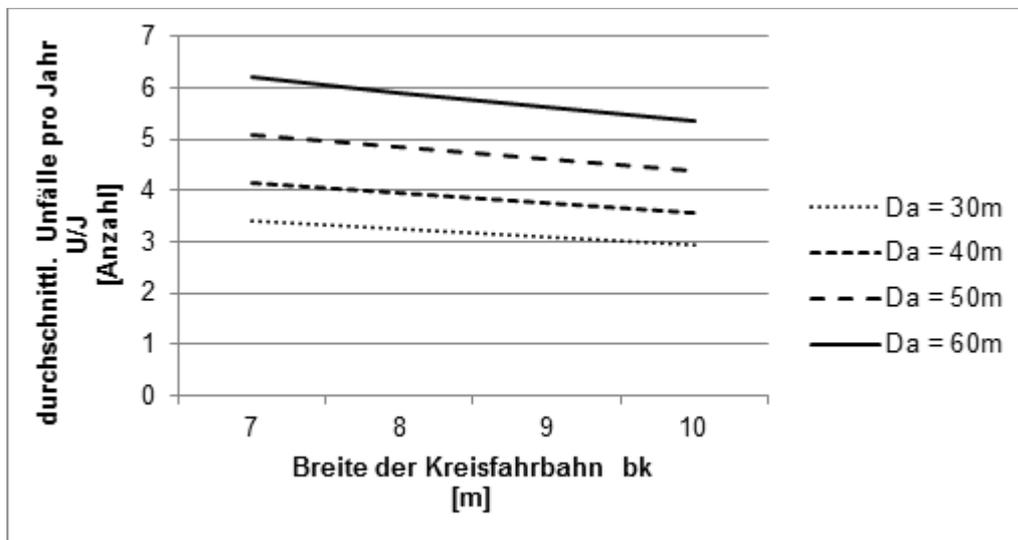
## 5. Auswirkungen der Breite der Kreisfahrbahn auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr

Ausgangslage:

4 Arme, 2 zweistreifige Zufahrten, 1 einstreifige Ausfahrt, Fahrbahnbreite Einfahrt 6.0 m, Einfahrtwinkel 70 Grad, Ablenkwinkel 40 Grad.

**Tab. 30** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Breite der Kreisfahrbahn  $b_k$  (bei unterschiedlichen Aussendurchmessern  $D_a$ )

$b_k$	7	8	9	10
U/J ( $D_a$ 30m)	3.41	3.24	3.08	2.93
U/J ( $D_a$ 40m)	4.16	3.96	3.77	3.58
U/J ( $D_a$ 50m)	5.09	4.84	4.60	4.38
U/J ( $D_a$ 60m)	6.21	5.91	5.62	5.35

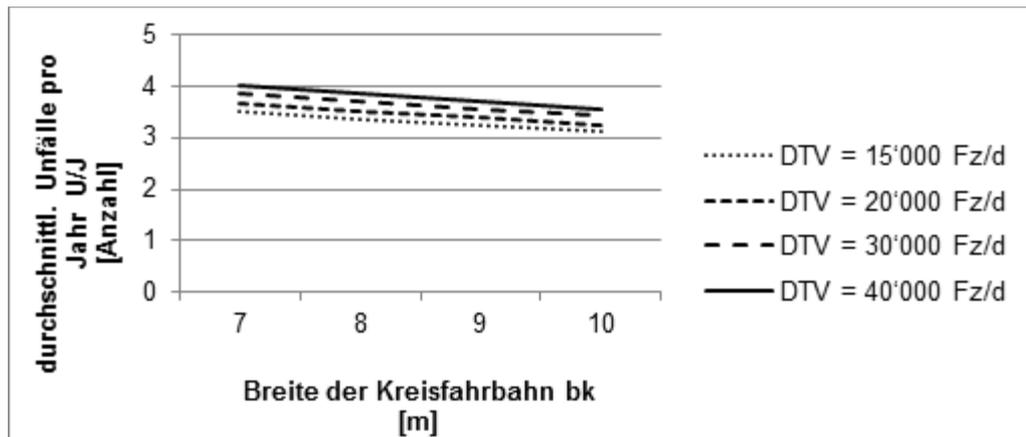


**Abb. 17** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Breite der Kreisfahrbahn  $b_k$  (bei unterschiedlichen Aussendurchmessern  $D_a$ )

Bei konstanter Zunahme der Breite der Kreisfahrbahn ergeben sich im dargestellten Bereich sehr kleine, in etwa lineare Abnahmen der Zahl der Unfälle pro Jahr, unabhängig vom Aussendurchmesser des Kreisels. Das Niveau der Zahl der Unfälle pro Jahr liegt bei kleinen Aussendurchmessern tiefer als bei grossen.

**Tab. 31** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Breite der Kreisfahrbahn  $b_k$  (bei unterschiedlichem DTV)

$B_k$	7	8	9	10	11	12
U/J (15'000)	3.51	3.37	3.24	3.11		
U/J (20'000)	3.66	3.51	3.38	3.24		
U/J (30'000)	3.87	3.72	3.57	3.43		
U/J (40'000)	4.03	3.87	3.72	3.57		



**Abb. 18** Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Breite der Kreisfahrbahn (bei unterschiedlichem DTV)

Bei konstanter Zunahme der Breite der Kreisfahrbahn ergibt sich im dargestellten Bereich eine sehr kleine, ungefähr lineare Abnahme der Zahl der Unfälle pro Jahr, unabhängig von der Verkehrsstärke (DTV). Das Niveau der Zahl der Unfälle pro Jahr liegt bei kleineren DTV tiefer als bei grösseren.

## 6 Erkenntnisse

### 6.1 Erkenntnisse zum Sicherheitsniveau

#### 6.1.1 Sicherheitsniveau

Das Sicherheitsniveau von Knoten wird grundsätzlich mit der relativen Unfallkenngrösse Unfallziffer  $U_z$  angegeben. Bei dieser Unfallkenngrösse wird das Unfallgeschehen einer bestimmten Zeitperiode als Verhältnis zur auf dem Kreisell erbrachten Verkehrsleistung bestimmt. Damit lässt sich das Sicherheitsniveau mit anderen Kreisellen und Knotenformen vergleichen. Zusätzlich wird die Unfallschwere des Unfallgeschehens als Beurteilungsgrösse mitberücksichtigt. Die Unfallschwere ist als Quotient aus Zahl der Verunfallten und Zahl der Unfälle definiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass zweistreifige Kreisell mit einer Unfallziffer von 0.42 (Basis alle Kreisell; 0.37 ohne die zwei Kreisell mit hoher Unfallziffer) grundsätzlich ein gutes Sicherheitsniveau aufweisen. Es ist gleich gross wie das Sicherheitsniveau einstreifiger Kreisell (0.42) in [12]. Auf zweistreifigen Kreisellen ereignen sich zwar mehr Unfälle als auf einstreifigen, dabei wird aber auch eine höhere Leistung verarbeitet.

Die grundsätzliche Beurteilung gilt für alle drei Betriebsformen Z, U und S, und ist sogar noch positiver, wenn bei der Betrachtung die zwei Kreisell mit aussergewöhnlich hoher Unfallziffer ausgeschlossen werden.

Dennoch sind aber die drei verschiedenen Betriebsformen Z, U und S zu unterscheiden. Während die zweistreifigen Kreisell mit zweistreifiger Kreiselfahrbahn Z zwar die ungünstigere Unfallziffer von 0.50 (0.41 ohne die zwei Kreisell mit hoher Unfallziffer) als die Kreisell mit überbreiten Fahrbahn U (0.34) und auch als die Sonderformen S (0.22) aufweisen, ist aber deren Unfallschwere (0.25) deutlich geringer als die bei den andern beiden Kreiselformen (0.42, 0.45).

Dies zeigt generell, dass die Betriebsform zweistreifig mit zweistreifig ausgebildeter Kreiselfahrbahn den beiden andern Betriebsformen sicherheitsmässig überlegen ist. Bei der Beurteilung ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der in die Untersuchung einbezogenen Sonderformen relativ klein war.

Als weitere Grösse zur Beurteilung des Unfallgeschehens dient die Zahl der Unfälle pro Jahr auf einem Knoten. Die geringen Zahlen von Unfällen pro Jahr auf zweistreifigen Kreisellen (Basis alle Kreisell) mit im Durchschnitt lediglich 3.5 erhärten ebenfalls die hohe Verkehrssicherheit von zweistreifigen Kreisellanlagen.

#### 6.1.2 Unfallort und Unfalltyp

Die Ergebnisse zeigen, dass die Unfällhäufigkeit ( $U/J$ ) auf der Kreiselfahrbahn am grössten ist (1.09), gefolgt von der Häufigkeit im Einfahrtbereich (0.98), der Ausfahrt (0.50) und der Zufahrt (0.27). Als ausgeprägte Ausnahme erwies sich dabei der absolut ungünstigste Häufigkeitswert auf den zweistreifig ausgebildeten Kreiselfahrbahnen. Dieser ungünstige Wert im Vergleich mit den anderen Betriebsformen der Kreiselfahrbahn ist naturgemäss höher, weil die andern Betriebsformen meist keine in zwei Fahrstreifen separierte Kreiselfahrbahn haben.

Bei der Verteilung der Unfälle nach Unfalltypen zeigt sich die grösste Häufigkeit der Einbiegeunfälle zusammen mit den Auffahrunfällen in der Kreiseleinfahrt (Anteil 50 %). Die Unfälle beim Vorbeifahren oder Fahrstreifenwechsel auf der Kreiselfahrbahn sind deutlich geringer (Anteil 25 %). Den kleinsten Anteil haben die Schleuder-/Selbstunfälle (18 %), welche an allen verschiedenen Orten der Kreisellanlage auftreten.

Während die Unfälle auf der Kreisfahrbahn und die Abbiegeunfälle bei der Ausfahrt (0.14 resp. 0.19) eine relativ geringe Unfallschwere aufweisen, fällt die deutlich höhere Unfallschwere der Unfälle bei der Einfahrt (Auffahrunfälle 0.14 und Einbiegeunfälle mit 0.34 und 0.32) besonders auf. Sie muss im Zusammenhang mit höheren Fahrgeschwindigkeit in der Zu- und Einfahrt gesehen werden.

## 6.2 Erkenntnisse aus den statistischen Modellberechnungen und den Analysen der Wertetabellen

### 6.2.1 Grundsatz

Die statistischen Berechnungen wurden einerseits für die Gesamtheit aller in die Untersuchung einbezogenen Kreisel und andererseits aufgeteilt in die drei Typen Z (zweistreifige Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn), Typ U (zweistreifige Kreisel mit überbreiter Kreisfahrbahn) und Typ S (Kreiselsonderformen) durchgeführt. Wie bereits erwähnt, ist die Aussagekraft aus statistischer Sicherheit im Gesamtmodell befriedigend, im Teilmodell Z teilweise befriedigend, während sie in den beiden Teilmodellen U und S unbefriedigend ausfielen. Aus diesem Grunde wurden die beiden ersteren Modelle auch näher ausgewertet und analysiert.

Grundsätzlich erbrachten die Berechnungen für beide Modelle ähnliche Ergebnisse, wobei sich die Ausprägungen der einzelnen Faktoren zwischen den beiden Modellen in keinem einzigen Fall widersprechen (keine anderen Vorzeichen der Parameter) und sich aber die Parameter in ihren Grössen unterscheiden, d.h. dass die Einflüsse der einzelnen Faktoren in der Regel kleine, ausnahmsweise auch etwas grössere Unterschiede auf die massgebende Grösse Zahl der Unfälle pro Jahr ausmachen.

Durch die Vermischung vor allem der geometrischen Eigenschaften der Kreisel der drei verschiedenen Typen Z, U und S im Gesamtmodell erschwert sich naturgemäss die Beurteilung der Auswerteergebnisse des Gesamtmodells gegenüber denen des Teilmodells Z. Die Kreisel des Teilmodells Z sind relativ homogen in ihrer Ausgestaltung, obwohl ebenfalls eine grosse Bandbreite der geometrischen Abmessungen vorliegt. Im Hinblick auf die Verwendung der Erkenntnisse zur Ableitung von Folgerungen für die Projektierung und Ausgestaltung von zweistreifigen Kreiseln eignen sich deshalb die Ergebnisse des Teilmodells Z besser als jene des Gesamtmodells. Deshalb wird im Folgenden für die Darstellung der Erkenntnisse aus den statistischen Berechnungen das Teilmodell Z verwendet.

### 6.2.2 Erkenntnisse aus dem Teilmodell Z

Während sich die Parameter DTV, Anzahl zweistreifiger Zufahrten und Breite der Kreisfahrbahn im Teilmodell Z als unsicher zeigten, erwiesen sich die Grössen Aussen-durchmesser, Anzahl Arme, Zahl zweistreifige Ausfahrten, Ablenkwinkel, Fahrbahnbreite der Einfahrt und Einfahrtswinkel als sicher. Immerhin erwiesen sich die beiden Parameter DTV und Anzahl zweistreifige Zufahrten im Gesamtmodell noch sicher, so dass sich die im Teilmodell ausgewiesene Unsicherheit dieser beiden Parameter etwas relativieren lässt.

Im Folgenden sind nun die Einflüsse der verschiedenen Grössen auf die Zahl Unfälle pro Jahr für das Teilmodell Z einzeln aufgeführt und die sich daraus ergebenden Erkenntnisse hinsichtlich Verkehrssicherheit abgeleitet.

- Je höher der DTV ist, umso höher ist die erwartbare durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr. Mit steigendem DTV nimmt die durchschnittliche Anzahl Unfälle unterproportional zu, mit einer Verdreifachung der Verkehrsmenge muss mit einer Verdoppelung der durchschnittlichen Anzahl Unfälle pro Jahr gerechnet werden.

Der DTV ist bei der Planung eine feste nicht variable Grösse. Er ist grundsätzlich massgebend für die Leistungsnachweise und damit indirekt für die Notwendigkeit der

Ausgestaltung eines Kreisels in der zweistreifigen Form. Aufgrund der Verkehrsbelastung muss eine gewisse Anzahl von Unfällen pro Jahr erwartet werden.

- Je mehr Arme der Kreisels aufweist, desto geringer ist die Zahl der Unfälle pro Jahr. Eine Einfahrt mehr reduziert die erwartete Unfallzahl um 23 %.  
Die Anzahl Arme ist bei der Planung der Kreiselanlage in der Regel durch die entsprechenden Verkehrsbeziehungen vorgegeben. Wenn aber möglich, sind vierarmige zweistreifige Kreisels den dreiarmligen vorzuziehen.
- Je kleiner die Anzahl zweistreifiger Zufahrten, desto geringer die Zahl Unfälle pro Jahr. Eine zweistreifige Zufahrt mehr erhöht die Zahl Unfälle pro Jahr um 6 %.  
Es ist wenn möglich nur eine zweistreifige Zufahrt anzustreben. Weitere zweistreifige Einfahrten sollen nur vorgesehen werden, wenn sie aus Leistungsgründen oder Rückstausituationen zusätzlich zwingend erforderlich ausgewiesen sind.
- Je kleiner die Anzahl zweistreifiger Ausfahrten, umso kleiner die erwartete Zahl von Unfällen pro Jahr. Der Einfluss ist sehr gross. Eine zweistreifige Ausfahrt mehr erhöht die erwartete Zahl von Unfällen um 26 %.
- Je kleiner der Aussendurchmesser des Kreisels, desto geringer ist die erwartete Zahl Unfälle pro Jahr. Der Einfluss ist gross. Je 10 m kleinerer Aussendurchmesser sind 18 % weniger Unfällen pro Jahr zu erwarten (bei Zunahme um 10 m Erhöhung der durchschnittlichen Zahl Unfälle um 24 %)  
Es sind daher möglichst kleine Aussendurchmesser anzustreben. Der minimale Aussendurchmesser beträgt 32 m. Auch bei mittleren und grossen Verkehrsmengen sollte der Aussendurchmesser klein gewählt werden.
- Je grösser der Ablenkwinkel, desto geringer die erwartete Zahl Unfälle pro Jahr. Der Einfluss ist bedeutend. Je 10 Grad, die der Ablenkwinkel vergrössert wird, reduziert sich die erwartete Unfallzahl pro Jahr um 9 %.  
Es sind möglichst grosse Ablenkwinkel im Bereich von 45 Grad und mehr anzustreben. Die Ablenkwinkel sind durch die gegebene Situation und deren Randbedingungen mitbestimmt. Zudem ist anzustreben, wenn immer möglich die grösstmögliche Ablenkung bei kleinst möglichem Aussendurchmesser zu wählen.
- Je schmaler die Fahrbahnbreite der Einfahrt, desto geringer die Zahl der Unfälle pro Jahr. Der Einfluss ist bedeutend. Je 0.5 m weniger Fahrbahnbreite reduziert sich die tendentiell erwartete Unfallzahl pro Jahr um 10 %.  
Schmalere Fahrbahnen in der Einfahrt sind sicherer als breite. Als Minimalbreite gelten 6 m.
- Je breiter die Kreisfahrbahn, desto geringer die tendentiell erwartete Zahl von Unfällen pro Jahr. Der Einfluss ist sehr gering. Je 0.5 m Mehrbreite der Kreisfahrbahn sinkt die Zahl der Unfälle pro Jahr um 2 %.  
Es sind zwei genügend breite Fahrstreifen unter Berücksichtigung der Kurvenverbreiterung vorzusehen. Mehrbreiten erhöhen die Verkehrssicherheit marginal.
- Grössere Einfahrtswinkel bei der Einfahrt führen zu mehr Unfällen pro Jahr. Dieser Zusammenhang widerspricht den technischen Erwartungen. In der Regel ergeben sich aus geometrischen Gründen Winkel zwischen 70 bis 90 Grad. Der Zusammenhang bleibt unerklärlich.

### 6.2.3 Erkenntnisse aus den statistischen Modellberechnungen zum lokalen Unfallort

Auch wenn die Ergebnisse der statistischen Auswertungen zum lokalen Unfallort nur Tendenzen aufzeigen, geben sie zumindest Hinweise zur sicherheitsmässig besseren Ausgestaltung der betreffenden Anlageorte.

**Einfahrt:**

Bei aller Unsicherheit der Parameterbestimmung zeigt sich wie erwartet, dass mit grösserer Verkehrsstärke (DTV) in der zweistreifigen Einfahrt die Zahl der Unfälle pro Jahr grösser wird. Der DTV ist aber als gegebene Grösse zu betrachten und kann durch die Ausgestaltung der Anlage kaum beeinflusst werden. Hingegen bestätigt sich die in der Literatur erwähnte Tendenz, dass schmalere Fahrbahnbreiten in der Einfahrt eher günstiger sind als breite. Zudem zeigt sich, dass bei breiteren Leitinseln die Unfälle pro Jahr zunehmen, die Zunahmen sind jedoch sehr klein. Alle anderen geometrischen Faktoren sind unsicher bestimmt und lassen keine zusätzlichen Rückschlüsse auf die geometrische Ausgestaltung zu.

**Ausfahrt:**

Hier konnte festgestellt werden, dass eine gesicherte Abhängigkeit zwischen der Zahl der Unfälle pro Jahr in der zweistreifigen Ausfahrt und der Verkehrsstärke (DTV) besteht. Mit zunehmender Verkehrsstärke nimmt die Zahl der Unfälle pro Jahr zu. Der DTV ist auch hier als gegeben zu betrachten und durch die Ausgestaltung kaum beeinflussbar. Alle anderen geometrischen Faktoren sind unsicher bestimmt und lassen keine Rückschlüsse auf die geometrische Ausgestaltung zu.

**Kreisfahrbahn:**

Hier konnte ebenfalls festgestellt werden, dass eine gesicherte Abhängigkeit zwischen der Zahl der Unfälle pro Jahr und der Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn besteht. Mit zunehmender Verkehrsstärke (DTV) auf der Kreisfahrbahn nimmt die Zahl der Unfälle auf der Kreisfahrbahn zu. Der DTV ist auch hier als gegeben zu betrachten und ergibt sich aus den Verkehrsstärken der Zufahrten und den Fahrbeziehungen. Alle anderen geometrischen Faktoren sind unsicher bestimmt und lassen auch hier keine Rückschlüsse auf die geometrische Ausgestaltung zu.

**Zufahrt:**

Hier lässt sich festhalten, dass nur die Verkehrsstärke einen gesicherten Zusammenhang mit der Zahl der Unfälle pro Jahr hat, indem mit zunehmender Verkehrsstärke (DTV) auf der Zufahrt die Zahl der Unfälle pro Jahr steigt. Alle andern geometrischen Faktoren sind unsicher bestimmt und lassen keine Rückschlüsse auf die geometrische Ausgestaltung zu.

## 6.3 Bewertung der Hypothesen

Im Folgenden werden die zu Beginn der Forschungsarbeit aufgestellten Hypothesen anhand der Ergebnisse (Kapitel 5) und der Erkenntnisse (Kapitel 6) bewertet. Die Bewertung ist eine Annahme (Verifikation) oder eine Ablehnung (Falsifikation) der Hypothesen.

### 6.3.1 Bewertung der generellen Hypothesen

1. Kleinere Aussendurchmesser von zweistreifigen Kreiseln sind infolge des tieferen Geschwindigkeitsniveaus sicherer und weisen geringere Unfallhäufigkeiten und geringere Unfallschweren auf.

Die Hypothese wird für die Gesamtheit der Kreisel und für den Typ Z hinsichtlich Unfallhäufigkeit angenommen. Die Zunahme der Zahl der Unfälle pro Jahr ist signifikant für die Gesamtheit der Kreisel sowie für den Typ Z.

2. Nicht zu nahe nacheinander liegende Einfahrten sind infolge grösserer Verflechtungslängen auf der Kreisfahrbahn zweistreifiger Kreisell sicherer, und führen zu einer geringeren Unfallhäufigkeit auf der Kreisfahrbahn.

Die Hypothese konnte weder bestätigt noch verworfen werden. Die Ergebnisse zeigen ein unsicheres Resultat.

3. Die zu sicherstellenden Sichtweiten nach links in der Einfahrt sind nicht zu frühzeitig auf der Zufahrtsstrecke anzubieten. Zur Reduktion der Zufahrtsgeschwindigkeiten soll die Sicht nach links erst offen sein auf Anhaltedistanz. Durch Sichtbegrenzungen resultieren geringere Unfallhäufigkeiten und vor allem Unfallschweren in der Einfahrt und auf der Kreisfahrbahn nach der Einfahrt.

Die Hypothese konnte weder bestätigt noch verworfen werden. Der Parameter der Sichtweite nach links ist sehr unsicher bestimmt. Es ergibt sich jedoch zumindest der Hinweis, dass vermutet werden darf, dass zu hohe Fahrgeschwindigkeiten in den Zufahrten auftreten. Diese Vermutung basiert auf dem Ergebnis, dass die Unfallschweren bei Einbiege- und Auffahrunfällen in der Zufahrt höher sind als der Durchschnitt aller Unfalltypen.

4. Die flüssige Zufahrt mit zu wenig verminderter Geschwindigkeit zum Kreisell ist durch Verhindern der Durchsicht durch den Kreisell zu reduzieren, was zu geringerer Unfallhäufigkeit und vor allem Unfallschwere in der Zufahrt (Auffahren) und in der Einfahrt führt.

Die Hypothese bezüglich Durchsicht konnte wegen fehlender Untersuchungsergebnisse weder bestätigt noch verworfen werden. Die Ergebnisse liefern jedoch mindestens den Hinweis, dass die Unfallschwere der Auffahrunfälle höher als die durchschnittliche Unfallschwere ist, was vermutlich im Zusammenhang mit höheren Zufahrtsgeschwindigkeit oder spätem Einsetzen der Verzögerung steht.

### 6.3.2 Bewertung der Einzelhypothesen

Kreisellzufahrt:

5. Stark kanalisierte Zufahrten (Minimale Fahrbahnbreiten, gekrümmte Linienführung, kanalisierte Inselform, kurze Inselflänge) führen infolge geringerer Geschwindigkeiten zu geringeren Häufigkeiten und Schwere der Auffahrunfälle in der Zufahrt und der Einfahrt.

Die Hypothese konnte zu einem Teil angenommen werden. Schmalere Fahrbahnen in der Einfahrt führen tendentiell zu geringeren Zahlen von Unfällen pro Jahr in der Einfahrt. Die Zunahmen sind signifikant für die Gesamtheit der Kreisell sowie für den Typ Z. Zur Beurteilung der Schwere liegen keine Ergebnisse vor.

6. Wo möglich sind Fahrstreifensignalisationen bezüglich Zielorte vorzuziehen und/oder entsprechende Markierungen vorzusehen, um die Einordnung in den richtigen Fahrstreifen frühzeitig zu ermöglichen.

Die Hypothese konnte wegen fehlender Daten nicht geprüft werden. Es konnten die entsprechenden Signalisations- und Markierungspläne nicht beigebracht werden.

Kreiselleinfahrt.

7. Geringe (minimale) Fahrstreifenbreiten in der zweistreifigen Zufahrt sind infolge kanalisiender Wirkung und reduzierter Fahrgeschwindigkeiten sicherer und führen zu geringerer Unfallhäufigkeit (Einbiegen) in der Zufahrt und der unmittelbar anschließenden Einfahrt in die Kreisfahrbahn.

Die Hypothese konnte angenommen werden. Schmalere Fahrbahnen in der Zufahrt führen tendentiell zu geringeren Zahlen von Unfällen pro Jahr in der Einfahrt. Die Zunahmen sind signifikant für die Gesamtheit der Kreisel sowie für den Typ Z (vgl. Ergebnisse zu Hypothese 5).

8. Eine möglichst senkrechte Zuführung der Einfahrt zum Kreisel ist zum Anzeigen und Verdeutlichen der Vortrittsbelastung und zum Brechen der flüssigen Verkehrsablaufes beim Zufahren sicherer und führt zur Reduktion der Unfallhäufigkeit (Einbiegen, Fahrnfall) im Einfahrtsbereich.

Die Hypothese musste aufgrund der Ergebnisse verworfen werden. Die Forschungsergebnisse zeigen in der Tat, dass flachere (kleinere) Einfahrwinkel eine geringere Unfallhäufigkeiten als grössere zur Folge haben. Die Abnahmen mit der Zahl der Unfälle pro Jahr bei kleineren Einfahrwinkeln sind aber wertmässig äusserst gering, signifikant bei der Gesamtheit der Kreisel und beim Typ Z.

9. Durch eine kurze, eventuell schmale Leitlinse lässt sich die senkrechte Einführung der Einfahrt verstärken und damit die Flüssigkeit der Einfahrt verkleinern, wodurch die Unfallhäufigkeit beim Einbiegen und Einordnen auf den Fahrstreifen reduziert wird.

Die Hypothese konnte aufgrund der Ergebnisse der Untersuchung zu den Unfallorten angenommen werden. Bei Zunahmen der Inselkopfbreiten nimmt die Zahl der Unfälle pro Jahr zu. Die Zunahmen sind wertmässig marginal, der Zusammenhang aber signifikant. Gleichzeitig widerspricht dieser Zusammenhang der in Hypothese 8 gezeigten Tendenz.

Kreisfahrbahn:

10. Kleinere Fahrstreifenbreiten sind infolge besserer Kanalisierung und Führung sicherer und führen zu geringerer Unfallhäufigkeit (Fahrstreifenwechsel im Verflechtungsbereich) im Verflechtungsbereich der Kreisfahrbahn.

Die Hypothese muss verworfen werden. Die Ergebnisse zeigen mit zunehmender Fahrbahnbreite der Kreisfahrbahn zumindest in der Tendenz abnehmende Zahl der Unfälle pro Jahr auf der Kreisfahrbahn. Wertmässig sind die Abnahmen aber sehr gering. Die Parameter sind sowohl bei der Gesamtheit der Kreisel, als auch beim Typ Z und bei den lokalen Unfallorten unsicher.

Ausfahrt:

11. Geringere Ausfahrdradien verfolgen reduzierte Ausfahrgeschwindigkeiten und führen zur Reduktion der Unfallhäufigkeit und Unfallschwere in der Ausfahrt.

Die Hypothese konnte weder bestätigt noch verworfen werden. Der Parameter des Ausfahradius ist sehr unsicher bestimmt und wertmässig marginal.

12. Zweistreifige Ausfahrten bei zweistreifiger Fortsetzung der Richtungsfahrbahn aufgrund von Leistungsanforderungen sind dann sicher, wenn die Fahrstreifen eindeutige Zuweisungen vor und nach dem Kreisel aufweisen und der Abbiegeradius klein ist.

Die Hypothese konnte wegen fehlenden Daten nicht geprüft werden.

Bypässe

13. Bypässe bei zweistreifigen Kreiseln sind infolge der Verflechtungsabschnitte nach dem Kreisel unsicher und führen zu Unfallhäufungen infolge höheren Geschwindigkeiten und zu Unfällen mit hoher Unfallschwere in den Verflechtungsbereichen.

Die Hypothese konnte wegen ungenügender Daten nicht geprüft werden. Die höhere Unfallziffer der Kreisell mit Bypass könnte aber darauf hindeuten, dass an Kreiseln mit Bypass eine höhere Unfallhäufigkeit zu erwarten ist.

#### Zweiradverkehr

14. Schmale Fahrbahnbreiten ohne Radstreifenmarkierung in der Einfahrt sind sicherer als durch Radstreifen ausgeweitete Einfahrtbereiche.

Die Hypothese konnte wegen ungenügender Datenlage nicht geprüft werden

#### Fussverkehr

15. Fussgängerstreifen über einstreifige Ausfahrten sind sicherer als über zweistreifige Ausfahrten.

Die Hypothese konnte wegen ungenügender Datenlage nicht geprüft werden.

Zu verschiedenen Hypothesen gibt es Bestätigungen aus anderweitig durchgeführten Forschungsarbeiten und Untersuchungen. Bestätigt oder teilweise bestätigt werden die Ergebnisse zu den folgenden Hypothesen durch die referenzierten Literaturquellen (siehe auch Kap. 3):

- Das Ergebnis, dass kleinere Aussendurchmesser sicherer sind als grössere, wird in der Literatur unterschiedlich bewertet. Einige Quellen bestätigen das Ergebnis, andere widersprechen.
- Das Ergebnis, wonach schmalere Kreiseleinfahrten und schmale Trenninseln (am Kreisrand) sicherer sind als breite wird in verschiedenen Quellen bestätigt.
- Das Ergebnis, dass die Breite der Kreisfahrbahn einen geringen Einfluss auf die Sicherheit hat, dass aber tendentiell breitere sicherer sind als schmale, wird durch die Literatur bestätigt.
- Das Ergebnis, dass grundsätzlich auf zweistreifige Ausfahrten verzichtet werden soll, wird durch verschiedene Quellen bestätigt.
- Das Ergebnis, wonach kleinere Einfahrtwinkel in der Einfahrt sicherer seien als grössere, kann durch die Literatur weder bestätigt noch widerlegt werden.



## 7 Folgerungen und Empfehlungen

### 7.1 Vorbemerkungen

Die umfassende Erhebung der Daten von zweistreifigen Kreiseln in der Schweiz stellt eine immense Datenmenge und wertvolle Datengrundlage dar. Damit liessen sich entscheidende Fragen der Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisel analysieren und beantworten. Gleichzeitig gelang es die anfangs gestellten Hypothesen zu einem grossen Teil anhand von statistischen Berechnungen und der Bestimmung von Signifikanzen zu bewerten. Damit lassen sich Folgerungen und Empfehlungen, entsprechend den Fragen des Forschungsauftrages, ableiten beziehungsweise angeben. Es sind dies insbesondere Empfehlungen zur Projektierung und Ausgestaltung von zweistreifigen Kreiselanlagen, für welche heute noch keine Normierungen bestehen. Auch wurden verschiedenste Erkenntnisse zur, bezogen auf die Verkehrssicherheit, günstigsten Betriebsform und betrieblichen Ausgestaltung zweistreifiger Kreisel gewonnen.

Die Vielfalt der unterschiedlichen Ausgestaltungen der bis heute gebauten zweistreifigen Kreisel führten, wie die Datengrundlagen zeigten, aber auch zu einer grossen Bandbreite der angewendeten Geometriegrössen. Durch diese grosse Heterogenität der Daten erwiesen sich viele statistische Berechnungsergebnisse als nicht signifikant und damit unsicher. Obwohl bei den Analysen der Gesamtheit aller Kreisel zusammen zwar wohl meistens signifikante Resultate anfielen, ist doch zu bedenken, dass durch die Vielfalt der Daten und deren grosse Bandbreite die direkte Ableitung von Empfehlungen auf dieser Basis zurückhaltend vorgenommen werden muss. Hingegen liessen sich zweckmässige und sichere Empfehlungen anhand der Auswertungen und Analysen zum Kreiseltyp Z, zweistreifige Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn, ableiten. Hier ist auch die Aussagekraft als ausreichend zu bewerten.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsauftrages liessen sich nicht alle erfassten Daten auswerten und analysieren. Es musste eine Beschränkung auf diejenigen Analysen auferlegt werden, welche zur Beantwortung der Fragen dienen. Demzufolge bestehen weitere Möglichkeiten einer verfeinerten Datenauswertung, welche noch zusätzliche Erkenntnisse erbringen können.

### 7.2 Folgerungen und Empfehlungen zur Betriebsform und zur geometrischen Ausgestaltung

#### 7.2.1 Wahl der Betriebsform

a. Wie klar aus den Unterschieden im Sicherheitsniveau hervorgeht, soll im Normalfall stets die Betriebsform Typ Z, zweistreifige Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn dann gewählt werden, wenn dies die Leistungsnachweise erfordern. Nur in diesen Fällen soll nicht der einstreifige Kreisel angewendet werden.

b. Obwohl die Anzahl der Kreiselarme in der Regel Folge der verkehrsplanerischen Situation ist, sind Kreisel mit vier Armen zweckmässiger als Kreisel mit drei Armen.

c. Auf die Betriebsform Typ S, zweistreifige Kreisel mit Sonderform, ist vorläufig, bis schlüssigere Erkenntnisse vorliegen, zu verzichten. Dies weil die Kreisel mit Sonderformen ein deutlich höhere Unfallschwere ausweisen als die beiden andern Betriebsformen.

d. Bei zweistreifigen Kreiseln mit zweistreifiger Kreisfahrbahn soll die Zahl der zweistreifigen Zufahrten möglichst auf die aus Leistungsgründen ausgewiesene Zahl, und möglichst auf eine, beschränkt bleiben. Auf zweistreifige Ausfahrten ist wenn immer möglich zu verzichten. Sie lassen sich aus Leistungsgründen kaum begründen.

## 7.2.2 Geometriegrößen

### 1. Aussendurchmesser:

Kleinere Aussendurchmesser sind besser als grosse Aussendurchmesser. Insbesondere sollen auch bei mittleren und grossen Verkehrsmengen kleinere Aussendurchmesser gewählt werden. Der minimale Aussendurchmesser kann 32 m betragen. Aussendurchmesser von mehr als 50 m sind unbegründet.

### 2. Ablenkwinkel:

Es sind möglichst grosse Ablenkwinkel anzuwenden. Es sind Ablenkwinkel von 45 Grad und mehr anzustreben. Minimal soll ein Winkel von 35 Grad gewährleistet werden.

### 3. Fahrbahnbreite in der Einfahrt:

Die Fahrbahnbreite zweistreifiger Einfahrten ist möglichst klein zu wählen. Die minimale Breite beträgt 6.00 m. Sie ist auch bei kleinen Aussendurchmessern und auch bei grösseren Verkehrsmengen klein zu wählen.

### 4. Breite der Kreisfahrbahn:

Die Breite der zweistreifigen Kreisfahrbahn ist aufgrund der erforderlichen Fahrstreifenbreiten inklusive Kurvenverbreiterung unter Berücksichtigung der Schleppkurven zu wählen. Mehrbreiten können zugelassen werden.

### 5. Breite der Trenninsel in der Ein-/Ausfahrt:

Schmale Trenninseln in der Ein-/Ausfahrt sind günstiger als breite. Es ist aber eine genügende physische Trennwirkung zu gewährleisten.

### 6. Einfahrtswinkel:

Für die Grösse des Einfahrtswinkels in der Einfahrt kann keine Empfehlung abgegeben werden, da sich die Ergebnisse bezüglich Breite der Trenninsel in der Einfahrt und Grösse des Einfahrtswinkels widersprechen.

### 7. Kreiselzufahrt

Besondere Aufmerksamkeit ist der Kreiselzufahrt aufgrund der Erkenntnisse aus dem Unfallgeschehen (Unfalltypen) zu schenken: die geometrische Ausgestaltung der Zufahrt soll durch schmale (ein- oder zweistreifig) Fahrstreifen und kanalisierende Elemente (Sicherheitslinien, physische Trennelemente der Gegenrichtungsfahrstreifen, Krümmung der Linienführung) dazu beitragen, dass die Zufahrtsgeschwindigkeiten zur Kreiselfahrt reduziert werden können. Diese Empfehlung basiert lediglich auf Hinweisen der vorliegenden Forschungsergebnisse, wird aber in der Literatur ähnlich beurteilt.

## 7.3 Weitere Folgerungen

8. Die bisherigen Befürchtungen, dass zweistreifige Kreisel eine sehr ungünstige Verkehrssicherheit aufweisen würden, werden durch die vorliegenden Erkenntnisse widerlegt. Das Sicherheitsniveau ist gleich hoch wie bei einstreifigen Kreiseln. Im Vergleich zu andern Knotenpunktbetriebsformen sind demnach nebst den einstreifigen Kreiseln auch die zweistreifigen Kreisel mit zweistreifiger Kreisfahrbahn und zweistreifigen Zufahrten sicherer. Diese Knotenform kann angewendet werden, dort wo die Notwendigkeit aus Leistungsgründen nachgewiesen ist. Es sind besondere Nutzungsansprüche (ÖV, Velo; FG) zu berücksichtigen. Hingegen sollte zurzeit auf die Planung und Realisierung aller Sonderformen verzichtet werden, bis nähere Kenntnisse über deren Sicherheitsniveau, insbesondere deren Unfallschwere vorliegen.

9. Mehrere im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit gefundene Erkenntnisse, mit Ausnahme des Einfahrwinkels, werden in gleicher oder zumindest ähnlicher Weise durch anderweitig durchgeführte Untersuchungen bestätigt.

10. Es drängt sich eine Anpassung der Definition der Unfalltypen auf, mit der Absicht, Unfallauswertungen zielgerichteter durchführen zu können. Sie bilden die Grundlage für die Ableitung von Massnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisell.

## 7.4 Anwendung der Forschungserkenntnisse

Das Forschungsziel war primär die Frage, welche Grössen der geometrischen Ausgestaltung von zweistreifigen Kreisell welchen Einfluss auf die Unfallhäufigkeit und Unfallschwere haben. Dies mit der Absicht, Grundlagen für die bisher fehlenden Normen zur Ausgestaltung von zweistreifigen Kreisell zu erarbeiten.

Diese Grundlagen konnten einerseits mit einem Modell zur Analyse der Einflüsse von den das Unfallgeschehen beeinflussenden verkehrstechnischen und geometrischen Faktoren untersucht und die Grösse der Einflüsse der einzelnen Faktoren auf das Gesamtunfallgeschehen quantifiziert werden. Anhand von Sensitivitätsuntersuchungen mittels Wertetabellen liessen sich andererseits die Auswirkungen von Veränderungen einzelner Grössen unter Berücksichtigung aller einbezogenen Faktoren bestimmen und so ihr Reagieren und ihre Bedeutung abschätzen.

Die Forschungsergebnisse können für folgende Anwendungen genutzt werden:

- Direkt als quantitativ generelle Hinweise bei der Projektierung von neuen zweistreifigen Kreisell solange bis die entsprechende Norm zu Ausgestaltung von zweistreifigen Kreisell erlassen wird. Es betrifft dies die Erkenntnisse zu den geometrischen Anlagegrössen, soweit sie Auskunft geben.
- Die Erkenntnisse zur betrieblichen Ausgestaltung von zweistreifigen Kreisell können fortan für Beurteilungen von verkehrsplanerischen Fragen herangezogen werden.
- Die Ergebnisse zu Unfallziffer, Unfallschwere und Verteilung der Unfalltypen können zur Beurteilung des generellen Sicherheitsniveaus bestehender zweistreifiger Kreisell dienen.

Die Forschungsergebnisse sind für folgende Anwendungen nicht geeignet:

- Zur Verwendung der umfassenden Detailausgestaltung der Kreisellzufahrt, Kreisell-einfahrt und der Kreisellausfahrt sind die gefundenen Erkenntnisse zu unsicher.
- Die Erkenntnisse dürfen nicht direkt für die Sanierung von bestehenden Kreisell verwendet werden, weil jeder Kreisell eine individuelle Geometrie und Ausgestaltung aufweist, welche zur entsprechenden Ausprägung des Unfallgeschehens führen kann. Es ist jedem Fall bei bestehenden Anlagen die Ableitung von Verbesserungsmassnahmen zu Verkehrssicherheit anhand einer verkehrstechnischen Unfallanalyse durchzuführen. Die Erkenntnisse der vorliegenden Forschungsarbeit liefern Hinweise für die Auswahl von Massnahmen.
- Das für die Untersuchung der Einflüsse von geometrischen und betrieblichen Einflüssen auf das Unfallgeschehen verwendete Modell kann nur bedingt für die Abschätzung zukünftiger Unfallhäufigkeiten verwendet werden. Dies, weil insbesondere die Verkehrsmengen zu einem Teil Schätzungen sind, zudem auch einzelne geometrische Grössen nicht im Modell vorhanden sind (z.B. Durchsicht).

## 7.5 Empfehlungen

1. Wenn sich aus Leistungsgründen ein zweistreifiger Kreisel aufdrängt, soll dieser möglichst die Betriebsform mit zweistreifiger Kreisfahrbahn (2/2) aufweisen, wie aus den Unterschieden im Sicherheitsniveau, insbesondere der Unfallschwere der drei untersuchten zweistreifigen Betriebsformen hervorgeht. Dabei soll die Zahl der zweistreifigen Zufahrten möglichst auf die aus Leistungsgründen ausgewiesene Zahl beschränkt bleiben. Auf zweistreifige Ausfahrten ist wenn immer möglich zu verzichten.
2. Auf der Basis der im Rahmen dieser Forschungsarbeit generierten Erkenntnisse zum Betrieb und zur geometrischen Ausgestaltung wird empfohlen, umgehend eine Norm zur Projektierung und Ausgestaltung von zweistreifigen Kreiseln mit zweistreifiger Kreisfahrbahn und zweistreifiger Einfahrt (Normaltyp) zu erarbeiten und zu erlassen. Damit kann rasch Abhilfe bei der Unsicherheit der Wahl der betrieblichen Ausgestaltung und der geometrischen Grössen geschaffen werden.
3. Die Sicherheit von zweistreifigen Kreiseln, ausgestaltet als Sonderformen (Turbokeisel etc.), sollte umgehend vertieft untersucht werden, weil sich im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit Defizite im Sicherheitsniveau, insbesondere bei der Unfallschwere, angedeutet haben. Die geringe Zahl und die Unterschiedlichkeit der in der vorliegenden Untersuchung einbezogenen zweistreifigen Kreisel mit Sonderformen liessen hier dazu keine schlüssigen Ergebnisse zu.
4. Die immense Fülle von erfassten Daten der zweistreifigen Kreisel kann für weitere Untersuchungen im Zusammenhang mit Verkehrssicherheit und unter Beizug grösserer Datenmengen Verwendung finden. Dies wird empfohlen, weil die Datenerfassung mit grossem Aufwand verbunden war.

## 8 Danksagungen

Von den Tiefbauämtern, den Kantonspolizeien und dem Bundesamt für Strassen ASTRA wurden Datengrundlagen zur Verfügung gestellt. Die Autoren danken ihnen allen für ihre Unterstützung und die sehr gute Zusammenarbeit.

Darüber hinaus gilt ein grosser Dank Studierenden der Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau, Studiengang Bauingenieurwesen, die wesentlich zur umfangreichen Datensammlung und -erhebung beigetragen haben. Namentlich zu erwähnen sind Lorenz Schneider, Nadja F. Stucki, Michael A. Meyer, Philipp Jenni und Christian Ackeret. Ein grosser Dank geht an Patrizia Ringgenberg für die ausgezeichnete Unterstützung bei der Literaturlauswertung. Inzwischen haben die Studierenden ihr Studium erfolgreich als Bachelor of Science abgeschlossen.

Ein Dank gilt zudem Viola Schlienger, Dipl.-Bauing., wissenschaftliche Mitarbeiterin im Studiengang Bauingenieurwesen an der Berner Fachhochschule, für die grosse Unterstützung im Zuge des Schlusspurts.



## Anhänge

<b>I</b>	<b>Untersuchungsobjekte .....</b>	<b>83</b>
I.1	Anfrage Grundlagen (Kantone) .....	83
I.2	Anfrage Grundlagen (Kantonspolizeien und ASTRA).....	84
I.3	Anzahl Kreisel nach Kantonen .....	85
<b>II</b>	<b>Datenerhebung .....</b>	<b>87</b>
II.1	Schema Erhebung Geometriedaten .....	87
II.2	Formular Erhebung Geometriedaten .....	89
II.3	Unfalltypen, Übersicht Unfalltypengruppen .....	90
<b>III</b>	<b>Auswertegrößen und Datenbereiche.....</b>	<b>91</b>
III.1	Daten Unfallgeschehen .....	91
III.2	Datenbereiche Verkehrsstärken und Lastwagenanteil .....	91
III.3	Geometriedaten.....	92
<b>IV</b>	<b>Auszug Wertetabellen.....</b>	<b>93</b>



# I Untersuchungsobjekte

## I.1 Anfrage Grundlagen (Kantone)

### **Forschungsauftrag VSS2010/301: Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisel** **Anfrage Grundlagedaten**

Anrede

In jüngster Zeit sind viele Kreisel mit zweistreifigen Kreisfahrbahnen und zweistreifigen Einfahrten, insbesondere aus Gründen höherer Leistungsfähigkeit gegenüber einstreifigen Kreiseln, realisiert worden. Erste grobe Auswertungen zum Unfallgeschehen (FA VSS 2005/301) führten zur Erkenntnis, dass zwar die Zahl der Unfälle bei zweistreifigen Kreiseln höher ist als bei einstreifigen Kreiseln, dass sich aber das an der Verkehrsleistung gemessene Unfallgeschehen (Unfallziffer) als ähnlich erweist. Diese Untersuchung hat ebenfalls gezeigt, dass bei zweistreifigen Kreiseln im Vergleich zu einstreifigen Kreiseln neue ungünstige Auffälligkeiten im Unfallgeschehen auftreten. Diese Unfälle stehen vermutlich u.a. im Zusammenhang mit den geometrischen Anlagegrössen.

Mit dem laufenden Forschungsvorhaben „Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisel“ (VSS 2010/301) soll dieser Vermutung nachgegangen werden. Zur Ergründung der Ursachen der Auffälligkeiten im Unfallgeschehen werden die örtliche Lage der Unfälle, deren Typen und Schwere und ihre allfällige Abhängigkeit von den geometrischen Anlagegrössen aller zur Verfügung stehenden Kreisel analysiert.

Aufgrund der bisherigen Abklärungen sollte es möglich sein, eine Mehrheit der in der Schweiz bestehenden zweistreifigen Kreisel in die Untersuchung einzubeziehen.

Wir möchten mit der Erfassung der erforderlichen Verkehrs-, Geometrie- und Unfalldaten baldmöglichst beginnen. Dazu benötigen wir zwingend Ihre Unterstützung.

Die gemäss unseren Abklärungen vorhandenen zweistreifigen\* Kreisel haben wir in einer Datenbank gespeichert. Diejenigen Kreisel, welche in Ihrem Zuständigkeitsbereich liegen, sind unten aufgeführt.

- \* · Zweistreifige Kreisel (2/2): Zweistreifig markierte Kreisfahrbahn (2 Fahrstreifen) und mindestens eine oder mehrere zweistreifige Einfahrten mit ein- oder zweistreifigen Ausfahrten oder
- Zweistreifige Kreisel (2/1+): Einstreifige, überbreite Kreisfahrbahn (1 Fahrstreifen) und mindestens eine oder mehrere zweistreifige Einfahrten mit ein- oder zweistreifigen Ausfahrten.

#### **Liste der ausgewählten Kreisel aus dem Kanton Solothurn**

«Kreisel»

#### **Liste der erforderlichen Unterlagen**

- Verkehrsdaten: Stromzählungen in Fz/h und DTV in Fz/Tag aller Kreiselarme
- Situationspläne (Massstab 1:200) und Längenprofile des ausgeführten Bauwerkes mit Angaben aller geometrischen Anlagegrössen; ersatzweise Projektpläne
- Signalisations- und Markierungspläne der Kreisel, soweit vorhanden

Die Unterlagen werden vertraulich behandelt und ausschliesslich für diesen Forschungsauftrag verwendet. Sämtliche Daten werden, wenn gewünscht, während des Arbeitsprozesses von uns anonymisiert. Für eine seriöse Forschung sind diese detaillierten Unterlagen unerlässlich.

Wir wären Ihnen sehr verbunden, wenn Sie uns die erforderlichen Unterlagen bis Mitte April 2012 zukommen lassen. Sollte Ihnen die Mithilfe an dem Forschungsauftrag nicht zusagen, bitten wir Sie um eine kurze Rückmeldung.

Die Unterlagen können digital oder auf dem Postweg bei uns eingereicht werden. Bitte zögern Sie nicht, uns für Fragen, Anmerkungen oder auch Korrekturen zu kontaktieren.

Im Namen des Forschungsteams danke ich Ihnen vielmals für Ihre Unterstützung.

## I.2 Anfrage Grundlagen (Kantonspolizeien und ASTRA)

### **Forschungsauftrag VSS2010/301: Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisel**

#### **Anfrage Grundlagedaten**

«Anrede»

In jüngster Zeit sind viele Kreisel mit zweistreifigen Kreisfahrbahnen und zweistreifigen Einfahrten, insbesondere aus Gründen höherer Leistungsfähigkeit gegenüber einstreifigen Kreiseln, realisiert worden. Erste grobe Auswertungen zum Unfallgeschehen (FA VSS 2005/301) führten zur Erkenntnis, dass zwar die Zahl der Unfälle bei zweistreifigen Kreiseln höher ist als bei einstreifigen Kreiseln, dass sich aber das an der Verkehrsleistung gemessene Unfallgeschehen (Unfallziffer) als ähnlich erweist. Diese Untersuchung hat ebenfalls gezeigt, dass bei zweistreifigen Kreiseln im Vergleich zu einstreifigen Kreiseln neue ungünstige Auffälligkeiten im Unfallgeschehen auftreten. Diese Unfälle stehen vermutlich u.a. im Zusammenhang mit den geometrischen Anlagegrössen.

Mit dem laufenden Forschungsvorhaben „Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisel“ (VSS 2010/301) soll dieser Vermutung nachgegangen werden. Zur Ergründung der Ursachen der Auffälligkeiten im Unfallgeschehen werden die örtliche Lage der Unfälle, deren Typen und Schwere und ihre allfällige Abhängigkeit von den geometrischen Anlagegrössen aller zur Verfügung stehenden Kreisel analysiert.

Aufgrund der bisherigen Abklärungen sollte es möglich sein, eine Mehrheit der in der Schweiz bestehenden zweistreifigen Kreisel in die Untersuchung einzubeziehen.

Wir möchten mit der Erfassung der erforderlichen Verkehrs-, Geometrie- und Unfalldaten baldmöglichst beginnen. Dazu benötigen wir zwingend Ihre Unterstützung.

Die gemäss unseren Abklärungen vorhandenen zweistreifigen\* Kreisel haben wir in einer Datenbank gespeichert. Diejenigen Kreisel, welche in Ihrem Zuständigkeitsbereich liegen, sind unten aufgeführt.

- \*
- Zweistreifige Kreisel (2/2): Zweistreifig markierte Kreisfahrbahn (2 Fahrstreifen) und mindestens eine oder mehrere zweistreifige Einfahrten mit ein- oder zweistreifigen Ausfahrten oder
  - Zweistreifige Kreisel (2/1+): Einstreifige, überbreite Kreisfahrbahn (1 Fahrstreifen) und mindestens eine oder mehrere zweistreifige Einfahrten mit ein- oder zweistreifigen Ausfahrten.

#### **Liste der Kreisel aus dem Kanton «Kanton»**

«Kreisel»

#### **Liste der erforderlichen Unterlagen**

- Situationsplan der genannten Kreisel (massstäblich) mit Lage aller Unfälle (mit Symbolen gekennzeichnet), die den Ort des Unfalls genau zeigen, seine Schwere (Unfall oder Unfall mit Verunfallten) und Unfalltyp für 2006 bis 2010/11 (oder, falls Inbetriebnahme jünger, Zeitraum seit Betriebsaufnahme)
- Wenn möglich, zusätzlich Unfallaufnahmeprotokolle jedes Unfalls inkl. Beschrieb und Skizzenblatt (leihweise)

Die Unterlagen werden vertraulich behandelt und ausschliesslich für diesen Forschungsauftrag verwendet. Sämtliche Daten werden während des Arbeitsprozesses von uns anonymisiert. Für eine seriöse Forschung sind die Daten in dieser Form unerlässlich.

Wir wären Ihnen sehr verbunden, wenn Sie uns die erforderlichen Unterlagen bis Mitte April 2012 zukommen lassen. Sollte Ihnen die Mithilfe an dem Forschungsauftrag nicht zusagen, bitten wir Sie um eine kurze Rückmeldung.

Die Unterlagen können digital oder auf dem Postweg bei uns eingereicht werden. Bitte zögern Sie nicht, uns für Fragen, Anmerkungen oder auch Korrekturen zu kontaktieren.

Im Namen des Forschungsteams danke ich Ihnen vielmals für Ihre Unterstützung.

## I.3 Anzahl Kreisel nach Kantonen

**Anhang Tab. 1** Anzahl (einbezogener) Kreisel nach Kantonen

Kanton	Anzahl	Anzahl Typ (z, u, s)		
		z (zw eistreifige Kreiselbahn)	u (überbreite Kreiselbahn)	s (Sonderformen)
Aargau	7	3	1	3
Bern	2	2	0	0
Basel-Land	6	1	5	0
Fribourg	11	8	3	0
Genève	2	1	1	0
Jura	2	0	0	2
Luzern	6	3	1	2
Neuchâtel	20	6	14	0
Nidwalden	2	2	0	0
St. Gallen	2	2	0	0
Solothurn	3	0	3	0
Schwyz	2	1	0	1
Thurgau	1	1	0	0
Ticino	9	5	4	0
Vaud	12	11	1	0
Valais	3	3	0	0
Zug	1	1	0	0
Zürich	6	0	6	0



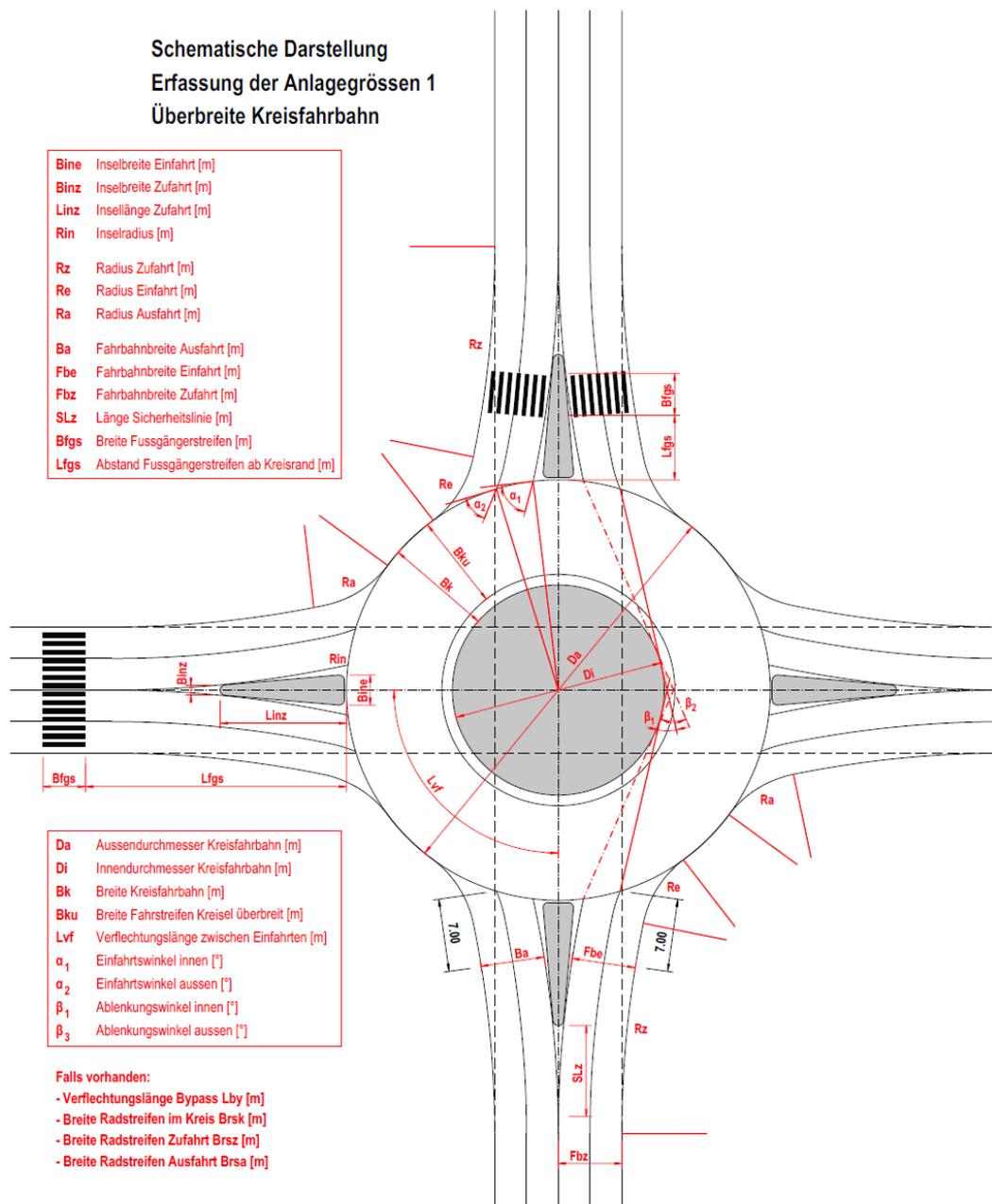
## II Datenerhebung

### II.1 Schema Erhebung Geometriedaten

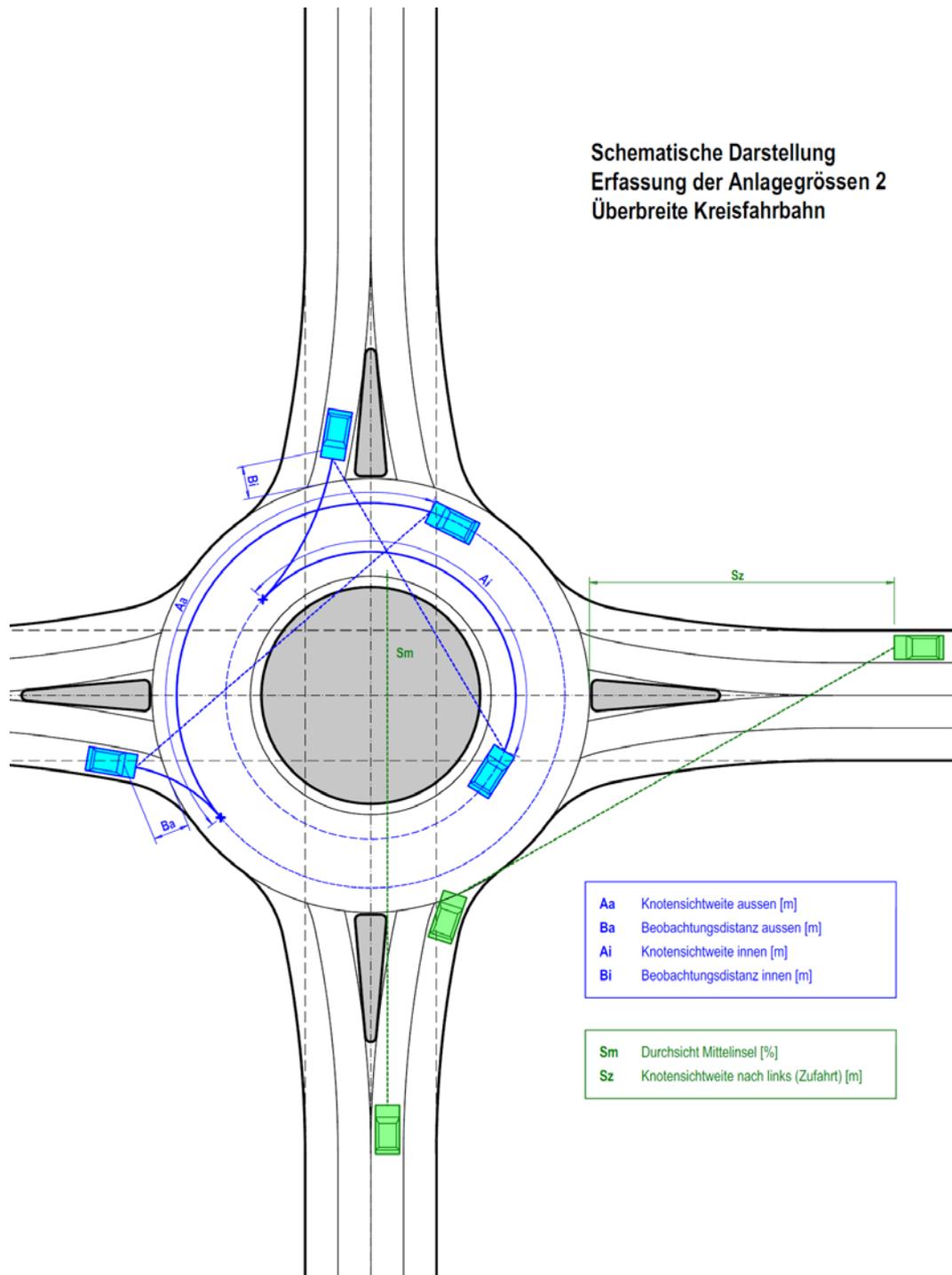
Die Angaben zu den erfassten Anlagegrößen bei der Betriebsform Kreisell mit zweistreifiger Kreisfahrbahn 2/2 (Typ Z) wurden bereits in Kapitel 4.2.1 dargestellt.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen nun schematisch die erfassten Anlagegrößen für die Betriebsform Kreisell mit überbreiter Kreisfahrbahn 2/1+ (Typ U).

Die Skizzen dienen lediglich als Hilfsmittel zur Datenerfassung!



**Anhang Abb. 1** Erfassung der Anlagegrößen 1 an Kreiseln mit überbreiter Kreisfahrbahn (2/1+) (nur Hilfsmittel zur Datenerfassung)



**Anhang Abb. 2** Erfassung der Anlagegrößen 2 an Kreiseln mit überbreiter Kreisfahrbahn (2/1+) (nur Hilfsmittel zur Datenerfassung)

## II.2 Formular Erhebung Geometriedaten

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Erfassungsformular für die Anlagegrößen 1.

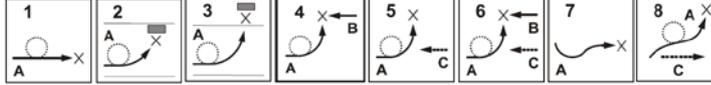
VSS 2010/301: Erfassung Anlagegrößen 1					
Kreisel [Interne Nummer]		Kreisel [Bezeichnung/Name]			
Typ [Überbreit/Zweistreifig]	<input type="checkbox"/> 0 <input type="checkbox"/> Z	Bypass [Ja/Nein]	<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein		
Kreiselstandort [Innerorts/Ausserorts]	<input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> A	Arm 3 [Strassenname/Richtung]			
Arm 1 [Strassenname/Richtung]		Arm 4 [Strassenname/Richtung]			
Arm 2 [Strassenname/Richtung]		Arm 5 [Strassenname/Richtung]			
Anzahl einstreifige Zufahrten [-]		Anzahl einstreifige Ausfahrten [-]			
Anzahl zweistreifige Zufahrten [-]		Anzahl zweistreifige Ausfahrten [-]			
Anzahl Arme N [-]					
Aussendurchmesser Kreisfahrbahn $D_a$ [m]		Innendurchmesser Kreisfahrbahn $D_i$ [m]			
Breite Fahrstreifen Kreisel aussen $B_{ka}$ [m]		Breite Fahrstreifen Kreisel innen $B_{ki}$ [m]			
Breite Kreisfahrbahn $B_k$ [m]		Breite Fahrstreifen Kreisel überbreit $B_{ku}$ [m]			
	<b>Arm 1</b>	<b>Arm 2</b>	<b>Arm 3</b>	<b>Arm 4</b>	<b>Arm 5</b>
Inselbreite Einfahrt $B_{ine}$ [m]					
Inselbreite Zufahrt $B_{inz}$ [m]					
Insellänge Zufahrt $L_{inz}$ [m]					
Inselradius $R_{in}$ [m]					
Radius Zufahrt $R_z$ [m]					
Radius Einfahrt $R_e$ [m]					
Radius Ausfahrt $R_a$ [m]					
Fahrbahnbreite Ausfahrt $B_a$ [m]					
Fahrbahnbreite Einfahrt $B_{be}$ [m]					
Fahrbahnbreite Zufahrt $B_{bz}$ [m]					
Länge Sicherheitslinie $SL_z$ [m]					
Breite Fussgängerstreifen $B_{fgs}$ [m]					
Abstand Fussgängerstreifen ab Kreisrand $L_{fga}$ [m]					
Verflechtungslänge zwischen Einfahrten $L_{vf}$ [m]					
Einfahrtswinkel innen $\alpha_1$ [°]					
Einfahrtswinkel aussen $\alpha_2$ [°]					
Ablenkungswinkel innen $\beta_1$ [°]					
Ablenkungswinkel aussen $\beta_2$ [°]					
Ablenkungswinkel aussen $\beta_3$ [°]					

**Anhang Abb. 3** Formular zur Erfassung der Anlagegrößen 1

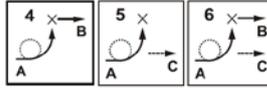
## II.3 Unfalltypen, Übersicht Unfalltypengruppen

### ÜBERSICHT DER UNFALLTYPENGRUPPEN (A = Hauptverursacher)

#### 0. Schleuder- oder Selbstunfall

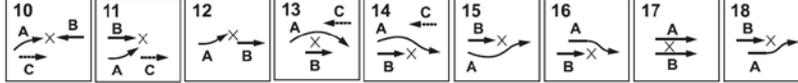


Darstellung für Unfälle auf  
Autobahn und Autostrasse



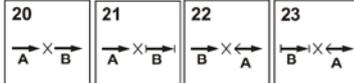
9  
Andere

#### 1. Überholunfall, Fahrstreifenwechsel



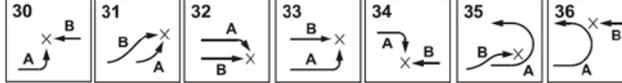
19  
Andere

#### 2. Auffahrunfall



29  
Andere

#### 3. Abbiegeunfall



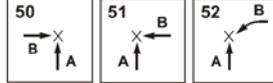
39  
Andere

#### 4. Einbiegeunfall



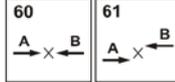
49  
Andere

#### 5. Überqueren der Fahrbahn



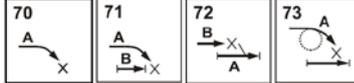
59  
Andere

#### 6. Frontalkollision



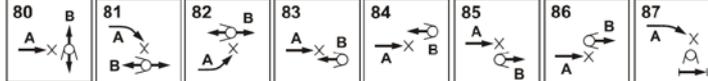
69  
Andere

#### 7. Parkierunfall



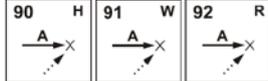
79  
Andere

#### 8. Fußgängerunfall



Fußgänger  
89  
Andere

#### 9. Tierunfall



H = Haustier  
W = Wildtier  
R = Reiter

99  
Andere

#### 00. Andere

0  
?

Anhang Abb. 4 Unfalltypen, Auszug aus [36]

### III Auswertegrößen und Datenbereiche

#### III.1 Daten Unfallgeschehen

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die ausgewerteten Daten zum Unfallgeschehen und zeigt je Einzelgrösse die zugehörige Abkürzung und die Werte Mittelwert, Minimalwert und Maximalwert.

**Anhang Tab. 2** Daten Unfallgeschehen (Auszug)

Daten	Abk.	Enh.	Mittelwert	Minima	Maxima
Zeitperiode Unfallregistrierung	Zeit	-	40.1	12	84
Anzahl Unfälle am Knoten(total)	Utot	-	11.8	0	86
Zahl Unfälle im ersten Jahr	Usub1	-	4.0	0	55
Zahl Unfälle im zweiten Jahr	Usub2	-	3.5	0	24
Zahl Unfälle im dritten Jahr	Usub3	-	3.1	0	10
Zahl Unfälle im vierten Jahr	Usub4	-	3.3	0	16
Zahl Unfälle im fünften Jahr	Usub5	-	3.2	0	19
Zahl Unfälle im sechsten Jahr	Usub6	-	2.8	0	10
Zahl Unfälle je Knotenelement	Ui	-	2.8	0	57
Zahl Unfälle auf der Zufahrt	Uzi	-	0.3	0	8
Zahl Unfälle im Einfahrtsbereich	Uei	-	1.2	0	14
Zahl Unfälle auf der Kreisfahrbahn	Ukfb	-	2.8	0	57
Zahl Unfälle im Ausfahrtsbereich	Uai	-	0.7	0	7
Zahl Verunfallte (Tote, Verletzte) am Knoten	Vtot	-	3.8	0	35

#### III.2 Datenbereiche Verkehrsstärken und Lastwagenanteil

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die ausgewerteten Daten zu den Verkehrsstärken und zeigt je Einzelgrösse die zugehörige Abkürzung und die Werte Mittelwert, Minimalwert und Maximalwert.

**Anhang Tab. 3** Vorliegende Datenbereiche Verkehrsstärken und Lastwagenanteil (Auszug)

Daten	Abk.	Enh.	Mittel	Minima	Maxima
Durchschnitt des durchschnittlichen DTV der Einfahrten je Kreis	DTV ED	Fz/T	6157	1850	16020
Durchschnittlicher DTV an der Einfahrt	DTVE	Fz/T	6054	0	20400
Durchschnittlicher DTV an der Ausfahrt	DTVA	Fz/T	6054	0	20400
Lastwagenanteil Einfahrt	LWE	%	5.64	2.3	12
Lastwagenanteil Ausfahrt	LWA	%	5.5	2.3	12

### III.3 Geometriedaten

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die ausgewerteten geometrischen Daten und zeigt je Einzelgrösse die zugehörige Abkürzung und die Werte Mittelwert, Minimalwert und Maximalwert.

**Anhang Tab. 4 Datenbereiche geometrische Grössen (Auswahl)**

Daten	Abk.	Einh.	Mittel	Minima	Maxima
Zahl Kreisalarml	Arme	-	4	3	7
Zahl einstreifige Zufahrten	Zu1	-	2	0	5
Zahl zw eistreifige Zufahrten	Zu2	-	2	0	5
Zahl einstreifige Ausfahrten	Aus1	-	3	0	6
Zahl zw eistreifige Ausfahrten	Aus2	-	1	0	3
Aussendurchmesser Kreisfahrbahn	Da	m	41.2	26	149
Innendurchmesser Kreisfahrbahn	Di	m	21.1	5	119
Breite Kreisfahrbahn	Bk	m	10.13	5.40	15.00
Breite Kreisfahrstreifen aussen	Bka	m	4.95	3.35	6.50
Breite Kreisfahrstreifen innen	Bki	m	4.96	3.35	8.00
Breite Kreisfahrbahn überbreit	Bku	m	9.06	5.40	16.00
Inselbreite Einfahrt	Bine	m	6.16	1.40	34.80
Inselbreite Zufahrt	Binz	m	1.80	0.50	22.00
Insellänge Zufahrt	Linz	m	23.83	2.10	162.00
Inselradius (Leitinsel)	Rin	m	67.19	-100.0	250.00
Radius Zufahrt	Rz	m	81.46	-300.0	600.00
Radius Einfahrt	Re	m	24.77	5.00	225.00
Radius Ausfahrt	Ra	m	27.08	-88.00	420.00
Fahrbahnbreite Einfahrt Durchschnitt alle Einfahrten/Kreis	Fbed	m	6.97	5.50	9.03
Länge Sicherheitslinie Zufahrt	SLz	m	28.76	0.00	150.00
Breite Fussgängerstreifen	Bfgs	m	3.80	2.00	700
Abstand FG-Streifen von Kreis	Lfgs	m	7.38	2.00	42.00
Verflechtungslänge zw . Einfahrten	Lvf	m	27.08	9.50	151.80
Einfahrtswinkel innen	a1	gon	68.30	34.20	92.00
Einfahrtswinkel Durchschnitt alle Einf.	a1d	gon	69.02	50.10	87.00
Einfahrtswinkel aussen	a2	gon	54.42	13.40	85.00
Ablenkwinkel Durchschnitt alle Einfahrten	b1d	gon	38.07	-13.10	90.00
Verflechtungslänge Bypass	Lby	m	65.38	23.00	162.00
Breite Radstreifen Zufahrt	Brsz	m	1.42	1.20	1.80
Breite Radstreifen Ausfahrt	Brsa	m	1.55	1.25	2.60
Knotensichtweite aussen	Aa	m	42.60	0.0	92.50
Knotensichtweite nach Links Zuf.	Sz	m	45	0?	130

## IV Auszug Wertetabellen

Für das volle Modell und das Teilmodell Typ Z wurden für die relevanten Wertebereiche der Grössen Wertetabellen erstellt. Die hier gezeigten Wertetabellen beschränken sich auf die im Kapitel 5.4 gezeigten Grafiken.

### 1. Auswirkungen von Verkehrsstärke (DTV) und Aussendurchmesser auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr (bei durchschnittlichen Geometriegrössen)

#### Kreisell Typ Z, Unfälle pro Jahr abhängig vom DTV und Aussendurchmesser

Anzahl Unfälle pro Jahr für einen Kreisell mit folgenden Grundkonstanten

Anzahl Kreisellarme [Arme]	4 [-]
Anzahl zweistreifige Zufahrten [Zu2]	2 [-]
Anzahl zweistreifige Ausfahrten [Aus2]	1 [-]
Fahrbahnbreite Einfahrt [Fbed]	6.0 [m]
Einfahrtswinkel innen [a1d]	70.0 [°]
Breite Kreisfahrbahn [bk]	10.0 [m]
Ablenkungswinkel innen [b1d]	40.0 [°]

Formel:  $\ln(U/a) = -3.78 + 0.14 \cdot \ln(DTV) + 0.02 \cdot Da - 0.26 \cdot Arme + 0.06 \cdot Zu2 + 0.23 \cdot Aus2 - 0.01 \cdot b1d - 0.04 \cdot Bk + 0.21 \cdot Fbed + 0.04 \cdot a1d$

		Durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr (U/a)																						
Durchschnittlicher täglicher Verkehr DTV	15000	1.71	1.89	2.09	2.31	2.55	2.82	3.11	3.44	3.80	4.20	4.65	5.14	5.68	6.27	6.93	7.66	8.47	9.36	10.34	11.43	12.63	13.96	15.43
	20000	1.78	1.97	2.17	2.40	2.66	2.93	3.24	3.58	3.96	4.38	4.84	5.35	5.91	6.53	7.22	7.98	8.82	9.74	10.77	11.90	13.15	14.53	16.06
	25000	1.84	2.03	2.24	2.48	2.74	3.03	3.35	3.70	4.09	4.52	4.99	5.52	6.10	6.74	7.45	8.23	9.10	10.05	11.11	12.28	13.57	15.00	16.57
	30000	1.88	2.08	2.30	2.54	2.81	3.11	3.43	3.79	4.19	4.63	5.12	5.66	6.25	6.91	7.64	8.44	9.33	10.31	11.40	12.59	13.92	15.38	17.00
	35000	1.92	2.13	2.35	2.60	2.87	3.17	3.51	3.88	4.28	4.73	5.23	5.78	6.39	7.06	7.81	8.63	9.53	10.54	11.64	12.87	14.22	15.72	17.37
	40000	1.96	2.17	2.40	2.65	2.93	3.23	3.57	3.95	4.36	4.82	5.33	5.89	6.51	7.20	7.95	8.79	9.71	10.74	11.86	13.11	14.49	16.03	17.70
			20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0	65.0	70.0	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0	105.0	110.0	115.0	120.0	125.0
		Aussendurchmesser Da [m]																						

Bsp.:  
2.09 für diese Zelle sieht die Formel wie folgt aus:

$$=2.71828^{(-3.78+0.14 \cdot \ln(17)+0.02 \cdot E23-0.26 \cdot G5+0.06 \cdot G6+0.23 \cdot G7-0.01 \cdot G11-0.04 \cdot G10+0.21 \cdot G8+0.04 \cdot G9)}$$

## 2. Auswirkungen der Anzahl zweistreifiger Zufahrten und zweistreifiger Ausfahrten auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr

- Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Anzahl zweistreifiger Zufahrten Zu2 bei einer zweistreifigen Ausfahrt Aus2

### Unfälle pro Jahr abhängig von Zu2 und DTV

Anzahl Unfälle pro Jahr für einen Kreisel mit folgenden Grundkonstanten:

Anzahl Kreiselarme [Arme]	4	[-]
Aussendurchmesser [Da]	40	[m]
Anzahl zweistreifige Ausfahrten [Aus2]	1	[-]
Fahrbahnbreite Einfahrt [Fbed]	6.0	[m]
Einfahrtswinkel innen [a1d]	70.0	[°]
Breite Kreisfahrbahn [bk]	10.0	[m]
Ablenkungswinkel innen [b1d]	40.0	[°]

Formel:  $\ln(U/a) = -3.78 + 0.14 * \ln(DTV) + 0.02 * Da - 0.26 * Arme + 0.06 * Zu2 + 0.23 * Aus2 - 0.01 * b1d - 0.04 * Bk + 0.21 * Fbed + 0.04 * a1d$

Durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr									
zweistreifige Zufahrten Zu2 [Anzahl]	1	2.40	2.50	2.58	2.65	2.70	2.76	2.80	2.84
	2	2.55	2.66	2.74	2.81	2.87	2.93	2.97	3.02
	3	2.71	2.82	2.91	2.98	3.05	3.11	3.16	3.21
	4	2.88	2.99	3.09	3.17	3.24	3.30	3.35	3.40
		15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000
Durchschnittlicher täglicher Verkehr DTV [Fz/d]									

- Unfälle/Jahr in Abhängigkeit einer zweistreifigen Zufahrt Zu2 und steigender Anzahl zweistreifiger Ausfahrten Aus2

### Unfälle pro Jahr abhängig von Aus2 und DTV

Anzahl Unfälle pro Jahr für einen Kreisel mit folgenden Grundkonstanten:

Anzahl Kreiselarme [Arme]	4	[-]
Aussendurchmesser [Da]	40	[m]
Anzahl zweistreifige Zufahrten [Zu2]	1	[-]
Fahrbahnbreite Einfahrt [Fbed]	6.0	[m]
Einfahrtswinkel innen [a1d]	70.0	[°]
Breite Kreisfahrbahn [bk]	10.0	[m]
Ablenkungswinkel innen [b1d]	40.0	[°]

Formel:  $\ln(U/a) = -3.78 + 0.14 * \ln(DTV) + 0.02 * Da - 0.26 * Arme + 0.06 * Zu2 + 0.23 * Aus2 - 0.01 * b1d - 0.04 * Bk + 0.21 * Fbed + 0.04 * a1d$

Durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr									
zweistreifige Ausfahrten Aus2 [Anzahl]	1	2.40	2.50	2.58	2.65	2.70	2.76	2.80	2.84
	2	3.02	3.15	3.25	3.33	3.40	3.47	3.53	3.58
	3	3.80	3.96	4.09	4.19	4.28	4.36	4.44	4.50
		15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000
Durchschnittlicher täglicher Verkehr DTV [Fz/d]									

- Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Anzahl zweistreifiger Zufahrten Zu2 und Anzahl zweistreifiger Ausfahrten Aus2

Anzahl Kreiselarme [Arme]	4 [-]	Anzahl Kreiselarme [Arme]	4 [-]
Aussendurchmesser [Da]	40 [m]	Aussendurchmesser [Da]	40 [m]
Anzahl zweistreifige Ausfahrten [Aus2]	0 [-]	Anzahl zweistreifige Ausfahrten [Aus2]	1 [-]
Fahrbahnbreite Einfahrt [Fbed]	6,0 [m]	Fahrbahnbreite Einfahrt [Fbed]	6,0 [m]
Einfahrtswinkel innen [a1d]	70,0 [°]	Einfahrtswinkel innen [a1d]	70,0 [°]
Breite Kreisfahrbahn [bk]	10,0 [m]	Breite Kreisfahrbahn [bk]	10,0 [m]
Ablenkungswinkel innen [b1d]	40,0 [°]	Ablenkungswinkel innen [b1d]	40,0 [°]

Durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr										
zweistreifige Zufahrten Zu2 [Anzahl]	1	1.91	1.99	2.05	2.10	2.15	2.19	2.23	2.26	
	2	2.03	2.11	2.18	2.23	2.28	2.32	2.36	2.40	
	3	2.15	2.24	2.31	2.37	2.42	2.47	2.51	2.55	
	4	2.28	2.38	2.45	2.52	2.57	2.62	2.66	2.70	
		15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	
Durchschnittlicher täglicher Verkehr DTV [Fz/d]										

Anzahl Kreiselarme [Arme]	4 [-]	Anzahl Kreiselarme [Arme]	4 [-]
Aussendurchmesser [Da]	40 [m]	Aussendurchmesser [Da]	40 [m]
Anzahl zweistreifige Ausfahrten [Aus2]	2 [-]	Anzahl zweistreifige Ausfahrten [Aus2]	3 [-]
Fahrbahnbreite Einfahrt [Fbed]	6,0 [m]	Fahrbahnbreite Einfahrt [Fbed]	6,0 [m]
Einfahrtswinkel innen [a1d]	70,0 [°]	Einfahrtswinkel innen [a1d]	70,0 [°]
Breite Kreisfahrbahn [bk]	10,0 [m]	Breite Kreisfahrbahn [bk]	10,0 [m]
Ablenkungswinkel innen [b1d]	40,0 [°]	Ablenkungswinkel innen [b1d]	40,0 [°]

Durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr										
zweistreifige Zufahrten Zu2 [Anzahl]	1	3.02	3.15	3.25	3.33	3.40	3.47	3.53	3.58	
	2	3.21	3.34	3.45	3.54	3.61	3.68	3.74	3.80	
	3	3.41	3.55	3.66	3.76	3.84	3.91	3.97	4.03	
	4	3.62	3.77	3.89	3.99	4.07	4.15	4.22	4.28	
		15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	
Durchschnittlicher täglicher Verkehr DTV [Fz/d]										

### 3. Auswirkungen des Ablenkungswinkels auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr

#### Unfälle pro Jahr abhängig von b1d und Da

Anzahl Unfälle pro Jahr für einen Kreisel mit folgenden Grundkonstanten:

Anzahl Kreiselarme [Arme]	4 [-]
Anzahl zweistreifige Zufahrten [Zu2]	2 [-]
Anzahl zweistreifige Ausfahrten [Aus2]	1 [-]
Fahrbahnbreite Einfahrt [Fbed]	6,0 [m]
Einfahrtswinkel innen [a1d]	70,0 [°]
Breite Kreisfahrbahn [bk]	10,0 [m]
Durchschnittlicher tägl. Verkehr [DTV]	20000 [Fz/d]

Formel:  $\ln(U/a) = -3.78 + 0.14 * \ln(DTV) + 0.02 * Da - 0.26 * Arme + 0.06 * Zu2 + 0.23 * Aus2 - 0.01 * b1d - 0.04 * Bk + 0.21 * Fbed + 0.04 * a1d$

Durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr										
Ablenkungswinkel innen b1d [°]	40	1.78	1.97	2.17	2.40	2.66	2.93	3.24	3.58	3.96
	50	1.61	1.78	1.97	2.17	2.40	2.66	2.93	3.24	3.58
	60	1.46	1.61	1.78	1.97	2.17	2.40	2.66	2.93	3.24
	70	1.32	1.46	1.61	1.78	1.97	2.17	2.40	2.66	2.93
	80	1.19	1.32	1.46	1.61	1.78	1.97	2.17	2.40	2.66
	90	1.08	1.19	1.32	1.46	1.61	1.78	1.97	2.17	2.40
		20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0
Aussendurchmesser Da [m]										

#### 4. Auswirkungen der Fahrbahnbreite in der Einfahrt auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr

##### Unfälle pro Jahr abhängig von Fbed und DTV

Anzahl Unfälle pro Jahr für einen Kreisel mit folgenden Grundkonstanten:

Anzahl Kreiselarme [Arme]	4	[-]
Aussendurchmesser [Da]	40	[m]
Anzahl zweistreifige Ausfahrten [Aus2]	1	[-]
Anzahl zweistreifige Zufahrten [Zu2]	2	[-]
Einfahrtswinkel innen [a1d]	70.0	[°]
Breite Kreisfahrbahn [bk]	10.0	[m]
Ablenkungswinkel innen [b1d]	40.0	[°]

Formel:  $\ln(U/a) = -3.78 + 0.14 \cdot \ln(DTV) + 0.02 \cdot Da - 0.26 \cdot Arme + 0.06 \cdot Zu2 + 0.23 \cdot Aus2 - 0.01 \cdot b1d - 0.04 \cdot Bk + 0.21 \cdot Fbed + 0.04 \cdot a1d$

Durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr									
Fahrbahnbreite Einfahrt Fbed [m]	7	3.15	3.28	3.38	3.47	3.54	3.61	3.67	3.72
	8	3.88	4.04	4.17	4.28	4.37	4.45	4.53	4.59
	9	4.79	4.99	5.14	5.28	5.39	5.49	5.58	5.67
	10	5.91	6.15	6.35	6.51	6.65	6.78	6.89	6.99
		15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000
Durchschnittlicher täglicher Verkehr DTV [Fz/d]									

#### 5. Auswirkungen der Breite der Kreisfahrbahn auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr

- Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Breite der Kreisfahrbahn bk (bei unterschiedlichen Aussendurchmessern Da)

##### Unfälle pro Jahr abhängig von bk und Da

Anzahl Unfälle pro Jahr für einen Kreisel mit folgenden Grundkonstanten:

Anzahl Kreiselarme [Arme]	4	[-]
Anzahl zweistreifige Zufahrten [Zu2]	2	[-]
Anzahl zweistreifige Ausfahrten [Aus2]	1	[-]
Fahrbahnbreite Einfahrt [Fbed]	6.0	[m]
Einfahrtswinkel innen [a1d]	70.0	[°]
Ablenkungswinkel innen [b1d]	40.0	[°]
Durchschnittlicher tägl. Verkehr [DTV]	20000	[Fz/d]

Formel:  $\ln(U/a) = -3.78 + 0.14 \cdot \ln(DTV) + 0.02 \cdot Da - 0.26 \cdot Arme + 0.06 \cdot Zu2 + 0.23 \cdot Aus2 - 0.01 \cdot b1d - 0.04 \cdot Bk + 0.21 \cdot Fbed + 0.04 \cdot a1d$

Durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr										
Breite Kreisfahrbahn bk [m]	5	3.08	3.41	3.77	4.16	4.60	5.09	5.62	6.21	6.87
	6	2.93	3.24	3.58	3.96	4.38	4.84	5.35	5.91	6.53
	7	2.79	3.08	3.41	3.77	4.16	4.60	5.09	5.62	6.21
	8	2.66	2.93	3.24	3.58	3.96	4.38	4.84	5.35	5.91
	9	2.53	2.79	3.08	3.41	3.77	4.16	4.60	5.09	5.62
	10	2.40	2.66	2.93	3.24	3.58	3.96	4.38	4.84	5.35
		20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0	55.0	60.0
Aussendurchmesser Da [m]										

- Unfälle/Jahr in Abhängigkeit der Breite der Kreisfahrbahn bk (bei unterschiedlichem DTV)

**Unfälle pro Jahr abhängig von bk und DTV**

Anzahl Unfälle pro Jahr für einen Kreisel mit folgenden Grundkonstanten:

Anzahl Kreiselarmer [Arme]	4 [-]
Aussendurchmesser [Da]	50 [m]
Anzahl zweistreifige Ausfahrten [Aus2]	1 [-]
Anzahl zweistreifige Zufahrten [Zu2]	2 [-]
Einfahrtswinkel innen [a1d]	70.0 [°]
Fahrbahnbreite Einfahrt [Fbed]	6.0 [m]
Ablenkungswinkel innen [b1d]	40.0 [°]

Formel:  $\ln(U/a) = -3.78 + 0.14 * \ln(DTV) + 0.02 * Da - 0.26 * Arme + 0.06 * Zu2 + 0.23 * Aus2 - 0.01 * b1d - 0.04 * Bk + 0.21 * Fbed + 0.04 * a1d$

Durchschnittliche Anzahl Unfälle pro Jahr									
Breite Kreisfahrbahn bk [m]	7	3.51	3.66	3.77	3.87	3.95	4.03	4.10	4.16
	8	3.37	3.51	3.62	3.72	3.80	3.87	3.94	3.99
	9	3.24	3.38	3.48	3.57	3.65	3.72	3.78	3.84
	10	3.11	3.24	3.35	3.43	3.51	3.57	3.63	3.69
		15000	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000
		Durchschnittlicher täglicher Verkehr DTV [Fz/d]							



## Literaturverzeichnis

- 
- [1] Leisi, R. (1996): **Kreisverkehrstechnik, die Bieler Versuche**, R. Leisi; Leisi + Partner, Biel; *strasse und verkehr*, Nr. 9, September 1996
- 
- [2] Tiefbauamt des Kantons Bern (1988): **Arbeitspapier Kreisell**, 1. Auflage, Bern, Mai 1988
- 
- [3] Tiefbauamt des Kantons Zürich (1991): **Kreisell, Beispielsammlung**, VSS, Fachtagung „Kreisell“, Eidgenössisch Technische Hochschule Zürich ETH – Zürich, 1991
- 
- [4] Huber, C.A., Bühlmann, F. (1994): **Sicherheit von Kreisellanlagen – Erfahrungen und vorläufige Empfehlungen, Pilotstudie**, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu, Bern 1994
- 
- [5] Bühlmann, F. und Spacek, P. (1997): **Unfallgeschehen und Geometrie der Kreisellanlagen**, Schriftenreihe Nr. 382 des EVED, Forschungsauftrag Nr. 17/93, Ingenieur- und Planungsbüro Bühlmann und IVT-ETH Zürich
- 
- [6] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1999): **Knoten, Knoten mit Kreisverkehr**, Schweizerische Norm SN 640 263, Zürich
- 
- [7] Bovy, P. H., Henderson, N. (1995): **Les giratoires en Suisse: on les compte plus!**, *Strasse und Verkehr*, 11 1995
- 
- [8] Lindenmann, H.P. (1996): **Der Kreisell, Möglichkeiten und Grenzen**, VESTRA Tagung 24./25.1.1996, Tagungsband mit den Referaten, Verband Schweizerischer Strassenbauunternehmer VESTRA, Zürich.
- 
- [9] Departement Bau, Verkehr und Umwelt Kanton Aargau (2013): **(K)Reise durch den Aargau**, Aarau
- 
- [10] Jenni, P. (2013) **Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisell, Anforderungen an die Projektierung**, Bachelorthesis, Verteidigung, Berner Fachhochschule, Departement Architektur, Holz und Bau, Burgdorf, unveröffentlicht
- 
- [11] Bundesamt für Statistik (BFS) (2012): **Mobilität und Verkehr**, *Taschenstatistik 2012*, Neuenburg, 2012.
- 
- [12] Lindenmann, H. P., Spacek, P., Belopitov, I., Shojaati, M., Brilon, W. und A. Gepert (2009): **Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisell**, FA VSS 2005/301, Schlussbericht 1279, UVEK, Bern
- 
- [13] Lindenmann, H.P. (2006): **Capacity of Small Roundabouts with Two-Lane Entries**, *TRB Records No. 1988*, Washington D.C., 2006, pp 119-126
- 
- [14] Lindenmann, H. P. (2010): **Unfalltypen zweistreifiger Kreisell, Ergänzung des Typenkatalogs, Vorschlag**, Seengen, unveröffentlicht
- 
- [15] Arndt, O.K. et al.(1995): **Relationship Between Roundabout Geometry and Accident Rates**, *International Symposium on Highway Geometric Design Practice*, Boston 1995
- 
- [16] Brilon, W. et al. (2004): **Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik – Überprüfung von Kreisverkehren mit zweistreifig markierter oder einstreifig markierter, aber zweistreifig befahrbarer Kreisfahrbahn**, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn 2004
- 
- [17] Brilon, W. et al. (2004): **Kompakte zweistreifig befahrbare Kreisverkehre**, *Strassenverkehrstechnik*, 7(2004), 333-340
- 
- [18] Brilon, W. et al. (1993): **Sicherheit und Leistungsfähigkeit von Kreisverkehrsplätzen**, *Schlussbericht zum Forschungsauftrag FE NR. 773559/91 des Bundesministers für Verkehr*, Lehrstuhl für Verkehrswesen Ruhr- Universität Bochum, 1993
- 
- [19] Brilon, W. (2008): **Roundabouts in Germany – A State of the Art Report**, Lehrstuhl Verkehrswesen Ruhr-Universität Bochum, 2008
- 
- [20] Kjemtrup, K. S. (2010) **Country Report for the 4th International Symposium on Highway Geometric Design Valencia**, Report Denmark, June 2010
- 
- [21] ITE (2008) **Enhancing Intersection Safety Through Roundabouts – an ITE Informational Report**, Institute of Transportation Engineers, USA 2008
- 
- [22] **Geometric Design of Roundabouts, Design Manual for Roads and Bridges**, Volume 6, Department of Transport, UK 2007
- 
- [23] Kennedy, J.: **International Comparison of Roundabout Design Guidelines**, *Published Project Report PPR206*, Transport Research Laboratory, 2007
- 
- [24] Layfield, R. et al.: **Pedal-Cyclists at Roundabouts – Transport and Road Research Laboratory**, *Traffic Engineering and Control*, 1986, 343-349
- 
- [25] McLean, J.: **Review of Accidents and Rural Arterials Cross-Section Elements Including Roadsides**, *Research Report ARR No 297*, ARRB Transport Research Ltd., Australia 1996
- 
- [26] McLean, J.: **Roundabouts – an Informational Guide**, *Federal Highway Administration*, Washington 2000
-

- 
- [27] **Queensland Road Planning and Design Manual – Chapter 14 – Roundabouts**, *Main Roads Department Queensland, Australia 2002*
- 
- [28] PIARC (2003) **Road Safety Manual – Recommendations From the World Road Association**, *PIARC Technical Committee on Road Safety, Version 1.00, 2003*
- 
- [29] Rodegerdts, I. et al.: **NCHRP Web-Only Document 94 - Appendixes to NCHRP Report 572**, *National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of the National Academies, Washington 2007*
- 
- [30] Rodegerdts, I. et al.: **NCHRP Report 572 – Roundabouts in the United States**, *National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of the National Academies, Washington 2007*
- 
- [31] Rohloff, M.: **Einsatzmöglichkeiten und Gestaltung von Kreisverkehrsplätzen an Bundesstrassen ausserhalb bebauter Gebiete**, *Strassenverkehrstechnik, 8(1995), 349-351*
- 
- [32] The Safety of Roundabouts and Traffic Lights in Belgium, Reference 301.0, Walloon Ministry of Equipment and Transports, Department of Motorways and Highways, 2003
- 
- [33] Turner, S. et al.: **Roundabout Crash Prediction Models**, *Transport Agency Research Report 386, New Zealand 2009*
- 
- [34] VTI (2000) **What Roundabout Design Provides the Highest Possible Safety?**, *Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), Nordic Road & Transport Research No. 2, 2000, 17-21*
- 
- [35] Stijn, D. et al.: **Traffic Safety Effects of Roundabouts – A Review with Emphasis on Bicyclist's Safety**, *18th ICTCT workshop, Finland 2005*
- 
- [36] Bundesamt für Strassen ASTRA (2014) **Instruktionen zum Ausfüllen des Unfallaufnahmeprotokolls (UAP), Anhang 1: Unfalltypen**. Aktualisiert am: 24.09.2014
- 
- [37] Bättig, D. (2014): **Modellierung der Anzahl Strassenunfälle pro Jahr für zweispurige Kreisel in der Schweiz**. *Institut für Risiko- und Extremwertanalyse i-REX, Berner Fachhochschule, Departement Technik und Informatik, Burgdorf, 2014, unveröffentlicht*
- 
- [38] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2013), „**Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr - Unfallraten und Unfallkostensätze**“, *Schweizerische Norm N 641 824, Zürich 2013*
- 
- [39] Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (1997), „**Auswertung von Strassenverkehrsunfällen; Kopfnorm**“, *Schweizerische Norm N 640 006, Zürich 1997*
- 
- [40] Doerfel, M., Bättig, D., Lindenmann, H. P., Huber, Ch. A., Berger, N. (2015) **Literatur zweistreifige Kreisel, Konsultierte Quellen während Bearbeitung FA VSS 2010/301**. *Berner Fachhochschule AHB, Burgdorf, unveröffentlicht*
- 
- [41] Daniels, S., Brijs, T., Nuyts, E., Wets, G. (2010) **Explaining variation in safety performance of roundabouts**. *Accident Analysis and Prevention 42, 393 - 402*
-

# Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

## FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

### Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 23.11.2015

#### Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2010/301  
 Projekttitel: Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisell  
 Enddatum: 30/11/2015

#### Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Die vorliegende Forschung bezweckte, das Sicherheitsniveau zweistreifiger Kreisell in der Schweiz zu bestimmen und Aufschluss darüber zu geben, ob und welche geometrischen Variablen das Unfallgeschehen an zweistreifigen Kreisellen beeinflussen. Zudem sind Auffälligkeiten sowie Unterschiede bei den Betriebsformen 2/2 (zweistreifige Kreisell mit zweistreifiger Kreiselfahrbahn) und 2/1+ (zweistreifige Kreisell mit einer einstreifigen, überbreiten Kreiselfahrbahn) zu ermitteln. Aus den Erkenntnissen sollen Empfehlungen zur Wahl der geometrischen Abmessungen abgeleitet werden.

Der Forschung liegen 97 zweistreifige Kreisell zugrunde. Zum Datensatz zählen sowohl Kreisell der Betriebsformen 2/2 und 2/1+ als auch eine kleine Anzahl von Sonderformen, welche ebenfalls die Forschungsbedingungen erfüllen.

Die bisherigen Befürchtungen, dass zweistreifige Kreisell eine sehr ungünstige Verkehrssicherheit aufweisen würden, werden durch die vorliegenden Erkenntnisse widerlegt. Das Sicherheitsniveau ist gleich gross wie bei einstreifigen Kreisellen. Wenn sich aus Leistungsgründen ein zweistreifiger Kreisell aufdrängt, soll dieser möglichst die Betriebsform mit zweistreifiger Kreiselfahrbahn (2/2) aufweisen, wie aus den Unterschieden der drei untersuchten zweistreifigen Betriebsformen, insbesondere hinsichtlich Unfallschwere, hervorgeht. Dabei soll die Zahl der zweistreifigen Zufahrten möglichst auf die aus Leistungsgründen ausgewiesene Zahl beschränkt bleiben. Auf zweistreifige Ausfahrten ist wenn immer möglich zu verzichten. Die Forschungsergebnisse weisen ferner aus, dass Kreisell mit vier Armen sicherer sind als mit drei Armen. Allerdings ist anzumerken, dass die im Datensatz enthaltenen dreiarmligen Kreisell eine ungleichmässig verteilte Anordnung der Arme (Durchschuss) aufweisen. Die Anzahl Arme ist zudem kaum beeinflussbar, da sie in der Regel Folge der verkehrsplanerischen Situation ist.

Hinsichtlich des Einflusses weiterer geometrischer Parameter hat sich gezeigt, dass der Aussendurchmesser, gefolgt vom Ablenkwinkel, den stärksten Einfluss auf die erwartbare durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr hat. Kleinere Aussendurchmesser sind sicherer als grosse Aussendurchmesser. Insbesondere sollen bei eher geringeren Verkehrsstärken kleinere Aussendurchmesser gewählt werden. Der minimale Aussendurchmesser kann 32 m betragen. Aussendurchmesser von mehr als 50 m sind unbegründet. Es sind möglichst grosse Ablenkwinkel anzuwenden. Es wird empfohlen, Ablenkwinkel von 45 Grad und mehr anzustreben. Minimal soll ein Winkel von 35 Grad gewährleistet werden.

Aus den Ergebnissen lassen sich zumindest Hinweise ableiten, dass sowohl die Fahrbahnbreite im zweistreifigen Einfahrtbereich und auch die Breite der Kreiselfahrbahn einen Einfluss auf die durchschnittliche Anzahl Unfälle/Jahr haben. Mit zunehmender Fahrbahnbreite in der Einfahrt erhöht sich die Anzahl Unfälle, mit zunehmender Breite der Kreiselfahrbahn nehmen sie minimal ab. Die Fahrbahnbreite zweistreifiger Einfahrten soll daher möglichst klein gewählt werden. Die minimale Breite beträgt 6 m. Sie ist auch bei kleinen Aussendurchmessern klein zu wählen. Die Breite der zweistreifigen Kreiselfahrbahn ist aufgrund der erforderlichen Fahrstreifenbreiten inkl. Kurvenverbreiterung unter Berücksichtigung der Schleppkurven zu wählen, Mehrbreiten können zugelassen werden.

Schmale Trenninseln in der Ein-/Ausfahrt tendieren dazu, günstiger zu sein als breite. Für die Grösse des Einfahrtwinkels in der Einfahrt kann keine Empfehlung gemacht werden, da sich die Ergebnisse bezüglich Breite der Trenninsel in der Einfahrt und Grösse des Einfahrtwinkels widersprechen. Besondere Aufmerksamkeit ist der Kreiselfahrt aufgrund der Erkenntnisse aus dem Unfallgeschehen (Unfalltypen) zu schenken: die geometrische Ausgestaltung der Zufahrt soll durch schmale Fahrstreifen und kanalisierende Elemente dazu beitragen, dass die Zufahrtsgeschwindigkeiten zur Kreiselfahrt reduziert werden können.



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

#### Zielerreichung:

Mit der Forschungsarbeit werden die gestellten Forschungsziele vollumfänglich erreicht. Die Arbeit liefert Angaben zum Sicherheitsniveau zweistreifiger Kreisel in der Schweiz, dies sowohl für die Gesamtheit der zweistreifigen Kreisel, für die unterschiedlichen Betriebsformen als auch differenziert nach Kreiselementen. Die Forschungsarbeit zeigt, welche Zusammenhänge zwischen geometrischen Anlagegrössen und Unfallgeschehen bestehen und leitet aus den Erkenntnissen Empfehlungen zur Wahl der geometrischen Elemente und der Betriebsform ab.

#### Folgerungen und Empfehlungen:

1. Wenn sich aus Leistungsgründen ein zweistreifiger Kreisel aufdrängt, soll dieser möglichst die Betriebsform mit zweistreifiger Kreisfahrbahn (2/2) aufweisen, wie aus den Unterschieden im Sicherheitsniveau, insbesondere der Unfallschwere der drei untersuchten zweistreifigen Betriebsformen hervorgeht. Dabei soll die Zahl der zweistreifigen Zufahrten möglichst auf die aus Leistungsgründen ausgewiesene Zahl beschränkt bleiben. Auf zweistreifige Ausfahrten ist wenn immer möglich zu verzichten.
2. Auf der Basis der im Rahmen dieser Forschungsarbeit generierten Erkenntnisse zum Betrieb und zur geometrischen Ausgestaltung wird empfohlen, umgehend eine Norm zur Projektierung und Ausgestaltung von zweistreifigen Kreiseln mit zweistreifiger Kreisfahrbahn und zweistreifiger Einfahrt zu erlassen. Damit kann rasch der Unsicherheit bei der Wahl der betrieblichen Ausgestaltung und der geometrischen Grössen bei entsprechenden Projektierungsarbeiten Abhilfe geschaffen werden.
3. Die Sicherheit von zweistreifigen Kreiseln, ausgestaltet als Sonderformen (Turbokreisel etc.), sollte umgehend vertieft untersucht werden, weil sich im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit Defizite im Sicherheitsniveau, insbesondere bei der Unfallschwere, angedeutet haben.

#### Publikationen:

Doerfel, M., Bättig, D., Lindenmann, H. P., Huber, Ch. A., Berger, N. (2015)  
Verkehrssicherheit zweistreifiger Kreisel. Schlussbericht VSS 2010/301, Schriftenreihe XXXX,  
UVEK, Bern

#### Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Doerfel

Vorname: Marion

Amt, Firma, Institut: Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

Forschung im Strassenwesen des UVEK: Formular 3

Seite 2 / 3



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:

Die vorhandene Forschungsarbeit schliesst eine Lücke in der Projektierung von Kreisverkehrsanlagen indem gezeigt wird, dass zweistreifige Kreisel nicht gefährlicher sind als einfache. Mit dem vorliegenden Bericht wurden die Zielsetzungen im Forschungsvorhaben vollumfänglich erreicht. Es liegen unter anderem Empfehlungen vor über die Gestaltung der Kreisein- und ausfahrten sowie Kreiselfahrbahn, die sofort in die Praxis umgesetzt werden können. Dazu bilden die Ergebnisse eine zweckmässige Grundlage für die Erarbeitung einer entsprechenden Norm.

##### Umsetzung:

Die Umsetzung der Empfehlungen der Forschungsergebnisse ist bei der Projektierung von neuen zweistreifigen Kreiseln ab sofort möglich. Die Anwendung dieser Empfehlungen dürfte die Verkehrssicherheit dieser Art Knoten erhöhen und helfen, grobe Fehler, wie sie heute bei der Projektierung zweistreifiger Kreisel anzutreffen sind, zu vermeiden. Parallel dazu sollte die Erarbeitung einer entsprechenden Schweizer Norm SN 640 2xx oder eine Ergänzung der SN 640 263 durch die entsprechende Normungs- und Forschungskommission der VSS erfolgen.

##### weitergehender Forschungsbedarf:

Es besteht weiterer Forschungsbedarf zur Sicherheit von zweistreifigen Kreiseln, die als "Sonderform" (Turbokreisel etc.) geplant und gebaut werden.

##### Einfluss auf Normenwerk:

Die Forschungsergebnisse bilden die Grundlage für eine neue Norm SN 641 2xx oder für eine Ergänzung der bestehenden Norm SN 641 263 Knoten mit Kreisverkehr.

#### Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Gerber

Vorname: Franz

Amt, Firma, Institut: ams Société de Projets Sàrl, Lausanne

#### Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Forschung im Strassenwesen des UVEK: Formular 3

Seite 3 / 3



# Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 01.10.2015, [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch) (Dienstleistung --> Forschung im Strassenwesen --> Downloads --> Formulare)

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1522	VSS 2011/106	Normierte gesamtverkehrliche Erschliessungsqualitäten - Grundlagenbericht	2015
1520	ASTRA 2008/013_OBF	Nächtliche Immissionsprognosen von Strassenlärm (Hochleistungsstrassen)	2015
1519	VSS 2009/201	Lärmimmissionen bei Knoten und Kreiseln	2015
1518	SVI 2011/024	Langsamverkehrsfreundliche Lichtsignalanlagen	2015
1517	VSS 2011/103	Bemessungsverkehrsstärken: Ein neuer Ansatz	2015
1516	VSS 2011/711	Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP1: Zeitaspekte und Historisierung	2015
1514	VSS 2006/513_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP3 - Langzeitverhalten des Verbundes	2015
1513	VSS 2005/403	Fließkoeffizienten von feinen Gesteinskörnungen aus der Schweiz	2015
1512	SVI 2004/069	Veloverkehr in den Agglomerationen - Einflussfaktoren, Massnahmen und Potenziale	2015
1511	VSS 2012/601	Die Physik zwischen Salz, Schnee und Reifen	2015
1510	VSS 2005/453	Forschungspaket Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut: EP2: Mehrfachrecycling von Strassenbelägen	2015
1509	ASTRA 2010/022	Markt- und Nutzermonitoring Elektromobilität (MANUEL)	2015
1508	VSS 2011/716	Forschungspaket Nutzensteigerung für die Anwender des SIS: EP6: Schnittstellen aus den Auswertungssystemen SIS (SIS-DWH)	2015
1507	FGU 2007/004	TBM Tunneling in Faulted and Folded Rocks	2015
1506	VSS 2006/512_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP2 - Flüssigkunststoff-Abdichtungen, Erfassen der Verbundproblematik	2015
1505	VSS 2006/509	Abdichtungssysteme und bitumenhaltige Schichten auf Betonbrücken - Initialprojekt	2014
1504	VSS 2005/504	Druckschwellversuch zur Beurteilung des Verformungsverhaltens von Belägen	2014
1503	VSS 2006/515_OBF	Research Package on Bridge Deck Waterproofing Systems: EP5-Mechanisms of Blister Formation	2014
1502	VSS 2010/502	Road – landside interaction : Applications	2014
1501	VSS 2011/705	Grundlagen zur Anwendung von Lebenszykluskosten im Erhaltungsmanagement von Strassenverkehrsanlagen	2014
1500	ASTRA 2010/007	SURPRICE (Sustainable mobility through road user charging) - Swiss contribution: Equity effects of congestion charges and intra-individual variation in preferences	2015
1499	ASTRA 2011/010	Stauprognoseverfahren und -systeme	2014
1498	VSS 2011/914	Coordinated Ramp Metering Control with Variable Speed Limits for Swiss Freeways	2014
1497	VSS 2009/705	Verfahren zur Bildung von homogenen Abschnitten der Strassenverkehrsanlage für das Erhaltungsmanagement Fahrbahnen	2014
1496	VSS 2010/601	Einfluss von Lärmschutzwänden auf das Raumnutzungsverhalten von Reptilien	2014
1495	VSS 2009/703	Zusammenhang Textur und Griffigkeit von Fahrbahnen und Einflüsse auf die Lärmemission	2014
1494	VSS 2010/704	Erhaltungsmanagement der Strassen - Erarbeiten der Grundlagen und Schadenkataloge zur systematischen Zustandserhebung und -bewertung von zusätzlichen Objekten der Strassen	2014
1493	VSS 2006/001	Neue Methoden zur Beurteilung der Tieftemperatureigenschaften von bitumenhaltigen Bindemitteln	2014
1492	SVI 2004/029	Kombiniertes Verkehrsmittel- und Routenwahlmodell	2014
1491	VSS 2007/704	Gesamtbewertung von Kunstbauten	2014
1490	FGU 2004/002	Langzeit-Beständigkeit von Tunnel-Abdichtungssystemen aus Kunststoffen (Best TASK)	2014
1489	VSS 2006/516_OBF	Forschungspaket Brückenabdichtungen: EP6 - Anschlüsse von Brückenabdichtungen	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1488	SVI 2007/020	Methodik zur Nutzenermittlung von Verkehrsdosierungen	2014
1487	SVI 2008/001	Erfahrungsbericht Forschungsbündel	2014
1486	SVI 2004/005	Partizipation in Verkehrsprojekten	2014
1485	VSS 2007/401	Anforderungen an Anschlussfugensysteme in Asphaltdecken - Teil 1: Praxiserfahrung	2014
1484	FGU 2010/003	Misestimating time of collision in the tunnel entrance due to a disturbed adaptation	2014
1483	VSS 2005/452	Forschungspaket Recycling von Ausbausphal in Heissmischgut: EP1: Optimaler Anteil an Ausbausphal	2014
1482	ASTRA 2010/018	SURPRICE: Sustainable mobility through road user charges Swiss contribution: Comprehensive road user charging (RUC)	2015
1481	VSS 2001/702	Application des méthodes de représentation aux données routières	2014
1480	ASTRA 2008/004	Prozess- und wirkungsorientiertes Management im betrieblichen Strassenunterhalt Modell eines siedlungsübergreifenden Unterhalts	2014
1479	ASTRA 2005/004	Entscheidungsgrundlagen & Empfehlungen für ein nachhaltiges Baustoffmanagement	2014
1478	VSS 2005/455	Research Package on Recycling of Reclaimed Asphalt in Hot Mixes - EP4: Evaluation of Durability	2014
1477	VSS 2008/503	Feldversuch mit verschiedenen Pflästerungen und Plattendecken	2014
1476	VSS 2011/202	Projet initial pour la conception multi-usagers des carrefours	2014
1475	VSS 1999/125	Ringversuch "Eindringtiefe eines ebenen Stempels, statische Prüfung an Gussasphalt"	2014
1474	VSS 2009/704	Wechselwirkung zwischen Aufgrabungen, Zustand und Alterungsverhalten im kommunalen Strassenetz-Entwicklung eines nachhaltigen Aufgrabungsmanagement	2014
1473	VSS 2011/401	Forschungspaket "POLIGRIP - Einfluss der Polierbarkeit von Gesteinskörnungen auf die Griffbarkeit von Deckschichten - Initialprojekt"	2014
1472	SVI 2010/003	Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten	2014
1471	ASTRA 2008/011	Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr Forschungspaket UVEK/ASTRA - Synthese	2014
1470	VSS 2011/907	Initialprojekt für ein Forschungspaket "Kooperative Systeme für Fahrzeug und Strasse"	2014
1469	VSS 2008/902	Untersuchungen zum Einsatz von Bewegungssensoren für fahrzeitbezogene Verkehrstelematik-Anwendungen	2014
1468	VSS 2010/503	Utilisation des géostructures énergétiques pour la régulation thermique et l'optimisation énergétique des infrastructures routières et ouvrages d'art	2014
1467	ASTRA 2010/021	Sekundärer Feinstaub vom Verkehr	2014
1466	VSS 2010/701	Grundlagen zur Revision der Normen über die visuelle Erhebung des Oberflächenzustands	2014
1465	ASTRA 2000/417	Erfahrungen mit der Sanierung und Erhaltung von Betonoberflächen	2014
1462	ASTRA 2011/004	Ermittlung der Versagensgrenze eines T2 Norm-Belages mit der mobiles Grossversuchsanlage MLS10	2014
1460	SVI 2007/017	Nutzen der Verkehrsinformation für die Verkehrssicherheit	2014
1459	VSS 2002/501	Leichtes Fallgewichtsgerät für die Verdichtungskontrolle von Foundationsschichten	2014
1458	VSS 2010/703	Umsetzung Erhaltungsmanagement für Strassen in Gemeinden - Arbeitshilfen als Anhang zur Norm 640 980	2014
1457	SVI 2012/006	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens	2014
1456	SVI 2012/005	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 4: Einflüsse des Wetters auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1455	SVI 2012/004	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 3: Einflüsse von Fahrzeugeigenschaften auf das Strassenunfallgeschehen	2014
1454	SVI 2012/003	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 2: Einflüsse von Situation und Infrastruktur auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1453	SVI 2012/002	Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 1: Einflüsse von Mensch und Gesellschaft auf das Strassenunfallgeschehen: Phase 1	2014
1452	SVI 2012/001	Forschungspaket VeSPA: Synthesebericht Phase 1	2014
1451	FGU 2010/006	Gasanalytik zur frühzeitigen Branddetektion in Tunneln	2013
1450	VSS 2002/401	Kaltrecycling von Ausbausphal mit bituminösen Bindemitteln	2014

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1449	ASTRA 2010/024	E-Scooter - Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz	2013
1448	SVI 2009/008	Anforderungen der Güterlogistik an die Netzinfrastruktur und die langfristige Netzentwicklung in der Schweiz. Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt C	2014
1447	SVI 2009/005	Informationstechnologien in der zukünftigen Gütertransportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA "Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz", Teilprojekt E	2013
1446	VSS 2005/454	Forschungspaket Recycling von Ausbausphal in Heissmischgut: EP3: Stofffluss- und Nachhaltigkeitsbeurteilung	2013
1445	VSS 2009/301	Öffnung der Busstreifen für weitere Verkehrsteilnehmende	2013
1444	VSS 2007/306	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs	2013
1443	VSS 2007/305	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit des strassengebundenen ÖV	2013
1442	SVI 2010/004	Messen des Nutzens von Massnahmen mit Auswirkungen auf den Langsamverkehr - Vorstudie	2013
1441_2	SVI 2009/010	Zielsystem im Güterverkehr. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz - Teilprojekt G	2013
1441_1	SVI 2009/010	Effizienzsteigerungspotenziale in der Transportwirtschaft durch integrierte Bewirtschaftungsinstrumente aus Sicht der Infrastrukturbetreiber Synthese der Teilprojekte B3, C, D, E und F des Forschungspakets Güterverkehr anhand eines Zielsystems für den Güterverkehr	2013
1440	SVI 2009/006	Benchmarking-Ansätze im Verkehrswesen	2013
1439	SVI 2009/002	Konzept zur effizienten Erfassung und Analyse der Güterverkehrsdaten Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz von Verkehrsmitteln im Güterverkehr der Schweiz TPA	2013
1438_2	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 2. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TPH	2013
1438_1	SVI 2009/011	Ortsbezogene Massnahmen zur Reduktion der Auswirkungen des Güterverkehrs - Teil 1. Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TPH	2013
1437	VSS 2008/203	Trottoirüberfahrten und punktuelle Querungen ohne Vortritt für den Langsamverkehr	2013
1436	VSS 2010/401	Auswirkungen verschiedener Recyclinganteile in ungebundenen Gemischen	2013
1435	FGU 2008/007_OBF	Schadstoff- und Rauchkurzschlüsse bei Strassentunneln	2013
1434	VSS 2006/503	Performance Oriented Requirements for Bituminous Mixtures	2013
1433	ASTRA 2010/001	Güterverkehr mit Lieferwagen: Entwicklungen und Massnahmen Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TPB3	2013
1432	ASTRA 2007/011	Praxis-Kalibrierung der neuen mobilen Grossversuchsanlage MLS10 für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen in der Schweiz	2013
1431	ASTRA 2011/015	TeVeNOx - Testing of SCR-Systems on HD-Vehicles	2013
1430	ASTRA 2009/004	Impact des conditions météorologiques extrêmes sur la chaussée	2013
1429	SVI 2009/009	Einschätzungen der Infrastrukturnutzer zur Weiterentwicklung des Regulativs Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TPF	2013
1428	SVI 2010/005	Branchenspezifische Logistikkonzepte und Güterverkehrsaufkommen sowie deren Trends Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TPB2	2013
1427	SVI 2006/002	Begegnungszonen - eine Werkschau mit Empfehlungen für die Realisierung	2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1426	ASTRA 2010/025_OBF	Luftströmungsmessung in Strassentunneln	2013
1425	VSS 2005/401	Résistance à l'altération des granulats et des roches	2013
1424	ASTRA 2006/007	Optimierung der Baustellenplanung an Autobahnen	2013
1423	ASTRA 2010/012	Forschungspaket: Lärmarme Beläge innerorts EP3: Betrieb und Unterhalt lärmarmen Beläge	2013
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDA Trafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1418	VSS 2008/402	Anforderungen an hydraulische Eigenschaften von Geokunststoffen	2012
1417	FGU 2009/002	Heat Exchanger Anchors for Thermo-active Tunnels	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Vieillissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSA IN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fw i)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweißnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TPD	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologientransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labormassstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeurückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeiterfahrungen im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeit in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemittelleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrs-unfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeugrückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDA in SVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Plotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Plotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kapitalstellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmaßnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauasphalt in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmaßnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
667	AGB 2008/004	Résistance au déversement des poutres métalliques de pont	2015
666	AGB 2012/015	Structural Identification for Condition Assessment of Swiss Bridges	2015
665	AGB 2011/001	Wirksamkeit und Prüfung der Nachbehandlungsmethoden von Beton	2014
664	AGB 2009/005	Charges de trafic actualisées pour les dalles de roulement en béton des ponts existants	2014
663	AGB 2003/014	Seismic Safety of Existing Bridges	2014
662	AGB 2008/001	Seismic Safety of Existing Bridges - Cyclic Inelastic Behaviour of Bridge Piers	2014
661	AGB 2010/002	Fatigue limit state of shear studs in steel-concrete composite road bridges	2014
660	AGB 2008/002	Indirekt gelagerte Betonbrücken - Sachstandsbericht	2014
659	AGB 2009/014	Suizidprävention bei Brücken: Follow -Up	2014
658	AGB 2006/015_OBF	Querkraftwiderstand vorgespannter Brücken mit ungenügender Querkraftbewehrung	2014
657	AGB 2003/012	Brücken in Holz: Möglichkeiten und Grenzen	2013
656	AGB 2009/015	Experimental verification of integral bridge abutments	2013
655	AGB 2007/004	Fatigue Life Assessment of Roadway Bridges Based on Actual Traffic Loads	2013
654	AGB 2005-008	Thermophysical and Thermomechanical Behavior of Cold-Curing Structural Adhesives in Bridge Construction	2013
653	AGB 2007/002	Poinçonnement des pontsdalles précontraints	2013
652	AGB 2009/006	Detektion von Betonstahlbrüchen mit der magnetischen Streufeldmethode	2013
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow -Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlagschutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009