

Häufigkeit und Sicherheit kleiner Radian auf autobahnähnlichen Bundesstraßen im Großraum Stuttgart

Jürgen Holzwarth
Leiter Straßenplanung
Stuttgart, den 10. Oktober 2018



Baden-Württemberg
REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTGART

Vorwort

Mit der Richtlinie für die Anlage von Autobahnen - RAA 2008 - wurde eine neue Entwurfsklasse EKA 2 geschaffen, auf deren Grundlage seither zweibahnige planfreie Bundesstraßen geplant werden. Deren Linienführung wurde aus den vorangehenden Richtlinien für die Straßenplanung entwickelt, welche unabhängig von der Straßenkategorie die Entwurfsgeschwindigkeit als maßgebliches Entwurfskriterium kannten. Anhand eines konkreten Beispiels des Ausbaus einer einbahnigen Straße zu einer autobahnähnlichen zweibahnigen Straße kamen Zweifel, ob diese Vorgehensweise im Bereich der Mindestelemente zur Linienführung im Hinblick auf die „Vision Zero“ zu einem gewünscht hohen Sicherheitsniveau bei Straßen der Entwurfsklasse EKA 2 führt. Dies war Anlass für die nachstehende Untersuchung.

Bei der Auswertung der Datenbanken haben mich die Mitarbeiter des Referats Straßenplanung im Regierungspräsidium Stuttgart engagiert unterstützt und mir wertvolle Hinweise gegeben, wofür ich Ihnen recht herzlich danke. Ebenso danke ich Herrn Martin Pozybill vom Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, der mir seine Sonderauswertungen zum Unfallgeschehen auf Bundesfernstraßen in Baden-Württemberg zur Verfügung stellte und damit eine Untersuchung auf breiter Datenbasis ermöglichte.

Mein Dank gilt auch den Kolleginnen und Kollegen im Arbeitsausschuss „Autobahnen“ der Forschungsgesellschaft für Straßenwesen unter Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Andreas Bark und des Leiters der Arbeitsgruppe Straßenentwurf Herrn Prof. Dr.-Ing. Christian Lippold, die mich bei dieser Untersuchung mit fachlichen Hinweisen unterstützten. Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Thomas Jählig, damals Bundesanstalt für Straßenwesen, der mir sehr wertvolle Hinweise insbesondere zur Methodik der Untersuchung gegeben hat.

Ebenso bedanken möchte ich mich bei den Kollegen des Instituts für Straßen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart, insbesondere Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfram Ressel und Herrn Dr.-Ing. Stefan Alber, die sich spontan bereit erklärten diese Untersuchung über die Universität Stuttgart zu veröffentlichen.

Jürgen Holzwarth
Leiter Straßenplanung im
Regierungspräsidium Stuttgart

0	Zusammenfassung.....	- 1 -
1	Problemstellung	- 4 -
2	Untersuchung an ausgewählten Bestandsstrecken	- 5 -
2.1	Untersuchungsmethodik.....	- 5 -
2.2	Ergebnisse	- 8 -
2.2.1	Häufigkeit von Kreisbögen mit kleinen Radien	- 8 -
2.2.2	Statistische Unfallkenngrößen von Streckenzügen und sehr kleinen Kreisbögen	- 9 -
2.2.2.1	Vorbemerkung	- 9 -
2.2.2.2	Statistische Unfallkenngrößen der untersuchten Streckenzüge..	- 9 -
2.2.2.3	Sicherheitsrisiko von Kreisbögen mit $R \leq 1000\text{m}$	- 10 -
2.2.2.4	Einfluss der Radienrelation	- 13 -
2.2.2.5	Gesamtwertung.....	- 14 -
2.2.3	Auswertung Unfalltypensteckkarte	- 15 -
2.2.3.1	Vorbemerkung	- 15 -
2.2.3.2	Kreisbögen mit Radien $R < 600\text{m}$	- 15 -
2.2.3.3	Kreisbögen mit Radien von $R = 600\text{m}$ bis $R < 700\text{m}$	- 16 -
2.2.3.4	Abfolge von Kreisbögen zwischen $R = 700\text{m}$ und $R \leq 800\text{m}$	- 16 -
2.2.3.5	Kreisbögen mit $R = 900\text{m}$ auf B 29 bei Winterbach	- 17 -
2.2.3.6	Kreisbogen mit $R = 1000\text{m}$ nach langer Gerade.....	- 17 -
2.2.3.7	Folge von Kreisbögen $R = 600\text{m}$ auf Autobahn A 8.....	- 18 -
2.2.3.8	Schlussfolgerungen	- 18 -
3	Empfehlungen	- 19 -
4	Mathematische Beschreibung der Untersuchungsmethodik	A
4.1	Auswertebereich der Unfallkostenrate eines Kreisbogens	A
4.2	Unfallrisiko eines Kreisbogens relativ zur Vergleichsstrecke.....	A
5	Tabellen und Abbildungen.....	B
6	Abbildungen	H
7	Literaturverzeichnis	Q

0 Zusammenfassung

Anhand des im weiteren Großraum Stuttgart bestehenden rd. 200 Kilometer langen Netzes autobahnähnlich ausgebauter Bundesstraßen sollte überprüft werden, ob für den im Bedarfsplan 2016 vorgesehenen weiteren Ausbau dieses Netzes, unter dem Gesichtspunkt der Verkehrssicherheit, für die Entwurfsklasse EKA 2 größere als die in der RAA 2008 in Tabelle 12 aufgeführten Mindestradien erforderlich sind. Auf dieser Grundlage sollten Mindestradien vorgeschlagen werden, deren Anwendung neben weiteren Randbedingungen empfohlen wird.

Hierzu wurden im Bestandsnetz der autobahnähnlichen Bundesstraßen im erweiterten Großraum Stuttgart geeignete Streckenabschnitte mit ähnlichen Standards wie diejenigen der EKA 2 gemäß RAA 2008 ausgewählt. Die dort vorhandenen Kurvenradien wurden nach Häufigkeit ihres Vorkommens und nach deren Unfallrisiko ausgewertet. Die Untersuchung konzentrierte sich dabei auf Kurven mit Radien $R \leq 1000\text{m}$, da bei diesen nach früheren Forschungen [1] ein höheres Unfallrisiko nachgewiesen werden konnte. Zur besseren Identifizierung von unfallrisikobehafteten Radien wurden für die statistischen Auswertungen Radiengruppen mit einem maximalen Unterschied in der Radiengröße von $\Delta R \leq 100\text{m}$ gebildet. Diese Einteilung war möglich, weil Kreisbögen mit kleinen Radien im untersuchten autobahnähnlichen Bundesstraßennetz häufiger vorkommen als auf Autobahnen des Landes Baden-Württemberg.

Die Untersuchung der Linienführung im Lageplan erfolgte anhand der in der Straßendatenbank (TT-SIB/Infosys) hinterlegten Straßendaten. Ausgewertet wurde die Häufigkeit von Kreisbögen mit Radien $R \leq 1000\text{m}$ und bei Kreisbögen mit identifiziertem höherem Unfallrisiko auch die Relation der Radien von aufeinanderfolgenden Kreisbögen und im Anschluss an eine lange Gerade.

Die Untersuchung des Unfallrisikos der ausgewählten Kreisbögen mit $R \leq 1000\text{m}$ erfolgte mithilfe der im Verkehrssicherheitsscreening Baden-Württemberg hinterlegten Unfalldaten und statistischen Unfallkenngrößen pro 100m-Streckenabschnitt. Für die Einzelbetrachtung wurden die im Verkehrssicherheitsscreening angebotenen Auswertemöglichkeiten genutzt, insbesondere die elektronischen Unfallkarten und zugeordneten Videobilder aus der Zustandserfassung und Bewertung von Straßen (ZEB 2015).

In die Untersuchung konnten 173 km autobahnähnlich ausgebaute Bundesstraßen einbezogen werden. Diese weisen insgesamt 213 Kreisbögen auf. Davon haben

72 Kreisbögen Radien mit $R < 1000\text{m}$ (33,8%), für die nach [1] ein erhöhtes Unfallrisiko vermutet werden kann. Kreisbögen mit kleinen Radien mit $R \leq 750\text{m}$ sind mit 33 vertreten (15,5%), darunter 16 Kreisbögen mit $R < 650\text{m}$ (7,5%). Alle Kreisbögen mit Radien $R \leq 650\text{m}$ wurden sowohl nach ihrem statistischen Unfallrisiko als auch mit Hilfe der elektronischen Unfallkarten und Videobildern qualitativ bewertet.

Die Untersuchungen ergaben, dass Kreisbögen mit Radien $R < 650\text{m}$ insbesondere in Linkskurven trotz zum Teil drastischer Geschwindigkeitsbeschränkungen stets Unfallhäufungen und statistisch im Mittel ein rd. doppelt so hohes Unfallrisiko aufweisen als Radien mit $R \geq 650\text{m}$. Dies gilt tendenziell auch, wenn das Radienverhältnis $R_1/R_2 \leq 1,5$ eingehalten ist.

Kreisbögen mit Radien zwischen $R \geq 650\text{m}$ und $R = 900\text{m}$ weisen im Untersuchungskollektiv im Mittel ein sehr viel kleineres Unfallrisiko und seltener Unfallhäufungen im Längsverkehr auf, wenn die Radienfolge $R_1/R_2 \leq 1,5$ annähernd eingehalten ist. Eine Differenzierung des Unfallrisikos von Kreisbögen mit Radien zwischen $R \geq 650\text{m}$ und $R = 900\text{m}$ ist statistisch nicht nachweisbar.

Aufgrund des sehr deutlich erkennbaren Unterschieds im Unfallrisiko von sehr kleinen Radien mit $R < 650\text{m}$ und größeren Radien mit $R \geq 650\text{m}$ sollte der Mindestradius bei der Entwurfsklasse EKA 2 auf $R = 650\text{m}$ festgelegt werden. Da Radien $R \leq 600\text{m}$ in der EKA 2 vergleichsweise selten auftreten, dürften eventuelle höhere Baukosten auch gesamtwirtschaftlich zu vertreten sein.

Zusätzlich scheint eine Empfehlung nach Möglichkeit Kreisbögen mit Radien von $R \geq 800\text{m}$ zu verwenden sinnvoll.

Kreisbögen mit Radien ab $R = 1000\text{m}$ können im untersuchten Streckennetz generell als sicher eingestuft werden, unabhängig vom Verhältnis zum anschließenden Radius. Daraus können die Forderungen nach einer Relationstrassierung mit $R_1/R_2 \leq 1,5$ bis zu einem Radius $R_1 \leq 1000\text{m}$ und eines Mindestradius von $R = 1000\text{m}$ im Anschluss an eine lange Gerade abgeleitet werden.

Für den weiteren Ausbau des autobahnähnlichen Straßennetzes und die Fortschreibung der RAA 2008 werden deshalb folgende Änderungen vorgeschlagen:

- Der Mindestradius für autobahnähnliche Bundesstraßen der Entwurfsklasse EKA 2 sollte auf $R=650\text{m}$ angehoben werden.
- Zusätzlich zum Mindestradius von $R=650\text{m}$ sollte die neue RAA noch eine Empfehlung enthalten, auch bei der EKA 2 Radien von $R\leq 900\text{m}$, in Ausnahmefällen $R=800\text{m}$, möglichst nicht zu unterschreiten.
- Die Radienrelation für kleinere aufeinanderfolgende Radien von $R_1/R_2\leq 1,5$ sollte bis zu einem Radius $R_1\leq 1000\text{m}$ zwingend vorgeschrieben werden.
- Der Mindestradius im Anschluss an eine lange Gerade sollte $R=1000\text{m}$ betragen.
- Die Planungsgeschwindigkeit der EKA2 sollte der Realität angepasst werden und auf $V=110\text{ km/h}$ angehoben werden. Damit passen sich auch die anderen Elemente der Linienführung besser an die aus Sicherheitsgründen empfohlenen größeren Mindestradien im Lageplan an. Die in der RAL 2012 ebenfalls vorgegebene Planungsgeschwindigkeit $V=110\text{ km/h}$ für die EKL 1 unterstreicht diese Empfehlung.

1 Problemstellung

Im erweiterten Großraum Stuttgart bestehen rd. 200 Kilometer autobahnähnlich ausgebaute Bundesstraßen, deren Netzfunktion und Streckencharakteristik zum größten Teil der Entwurfsklasse EKA 2 gemäß den Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA 2008) entspricht. Diese autobahnähnlich ausgebauten Bundesstraßen bilden ein weitgehend zusammenhängendes Netz, von dem der Straßennutzer einen gleichartigen Ausbaustandard und die Verkehrspolitik mit Blick auf die „Vision Zero“ ein Höchstmaß an baulicher Verkehrssicherheit erwartet.

Im neuen Bedarfsplan 2016 des Bundes sind sowohl die Erweiterung dieses Netzes durch den Ausbau einbahniger 2-streifiger Bundesstraßen zu 2-bahnig 4-streifigen Bundesstraßen als auch die Erweiterung bestehender autobahnähnlicher Bundesstraßen von 4 auf 6 Fahrstreifen vorgesehen. Anlässlich der Planung eines Ausbaus einer einbahnig 2-streifigen Bundesstraße zu einer 2-bahnig 4-streifigen autobahnähnlichen Bundesstraße sollte im Hinblick auf die Ergebnisse der Forschungsarbeit „Sicherheitswirkung geringer Sichtweiten in Linkskurven von Autobahnen“ (veröffentlicht in Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 886, BMVBS 2004 [1]) geprüft werden, wie häufig an bestehenden autobahnähnlichen Bundesstraßen kleine Kreisbögen mit $R < 1000\text{m}$, die nach den Ergebnissen in [1] ein erhöhtes Unfallrisiko aufweisen, vorkommen. Außerdem sollte untersucht werden, ob Kreisbögen mit $R < 1000\text{m}$ generell ein höheres Unfallrisiko aufweisen oder ob innerhalb dieser Gruppe weiter differenziert werden kann, insbesondere bei den in [1] als besonders kritisch ermittelten sehr kleinen Kurvenradien unter $R < 750\text{m}$. Ergänzend sollte untersucht werden, ob die Relation zwischen aufeinanderfolgenden Kreisbögen mit kleinen Radien und benachbarten größeren Radien die Sicherheit beeinflusst.

Mit der Untersuchung sollte festgestellt werden, ob für den geplanten Ausbau unter dem Gesichtspunkt der Verkehrssicherheit für die Entwurfsklasse EKA 2 größere Mindestradien als die in den RAA 2008 in Tabelle 12 aufgeführten erforderlich sind und welche Mindestradien und Randbedingungen ggf. dafür angewendet werden sollten.

2 Untersuchung an ausgewählten Bestandsstrecken

2.1 Untersuchungsmethodik

Aus dem rd. 200 km langen Streckennetz der autobahnähnlich ausgebauten Bundesstraßen im weiteren Großraum Stuttgart wurden nur diejenigen Strecken ausgewählt, deren Querschnitte denjenigen der EKA 2 am ehesten entsprechen (Fahrstreifenbreiten $\geq 3,50\text{m}$ und weitgehend mit Seitenstreifen). Ausgeschlossen wurden isolierte kurze Abschnitte mit weniger als 5 km Länge und Strecken, die nur eine Fahrbreite von 3,25m aufweisen. Konkret wurden folgende Strecken mit einer Gesamtlänge von 167 km ausgewertet:

1. B 10 Stuttgart – Plochingen – Süßen/Fils (48 km)
2. B 14 Stuttgart – Waiblingen – Winnenden-Süd (18 km)
3. B 27 Stuttgart-Degerloch – Tübingen (36 km),
4. B27 Tü-Dusslingen (6,5 km), Bodelshausen – Balingen-Süd (19 km)
5. B 29 Waiblingen-Schwäbisch Gmünd (36 km)
6. B 313 Plochingen – Nürtingen (10 km)

Die Lage des untersuchten Streckennetzes ist in Abb. 1 dargestellt.

Die Untersuchung der Linienführung erfolgte anhand der in der Straßendatenbank (TT-SIB/Infosys) hinterlegten geometrischen Straßendaten. Ausgewertet wurde die Häufigkeit von Kurvenradien mit $R=1000\text{m}$ und kleineren Radien $R<1000\text{m}$, die nach den Ergebnissen in [1] ein erhöhtes Unfallrisiko aufweisen. Da in [1] lediglich zwei Gruppen von Kreisbögen mit Radien von $R<1000\text{m}$ bis $R\geq 750\text{m}$ und besonders kleinen Radien von $R<750\text{m}$ ohne weitere Differenzierung gebildet wurden, erfolgte die Auswertung in Gruppen von Radien mit einer Differenz im Radius von maximal $\Delta R \leq 100\text{m}$. Damit kann die Häufigkeit kleiner und sehr kleiner Radien und deren Unfallrisiko wesentlich genauer bewertet werden. Die größere Differenzierung ist möglich, weil Kurven mit kleinen Radien im untersuchten autobahnähnlichen Netz häufiger vorkommen als auf Autobahnen.

Mit der Untersuchung sollte auch festgestellt werden, ob kleine und sehr kleine Radien regelmäßig oder nur ausnahmsweise vorkommen. Daraus lässt sich abschätzen, ob ein erheblicher Mehraufwand besteht, wenn kleine Radien vermieden oder sehr kleine Radien aus Gründen der Verkehrssicherheit ggf. gänzlich ausgeschlossen werden.

Alle Kurven mit Radien $R \leq 1000\text{m}$ wurden mithilfe des Verkehrssicherheitsscreening Baden-Württemberg [6] auf ihr spezifisches Unfallrisiko hin untersucht. Im Verkehrssicherheitsscreening Baden-Württemberg sind die Unfalldaten aller erfassten Unfälle auf klassifizierten Straßen ab dem Jahr 2010 hinterlegt und können mit speziell entwickelten Werkzeugen ausgewertet werden. Für die statistische Auswertung wurden die im Jahr 2016 aus der Datenbank des Verkehrssicherheitsscreenings in 100m Intervallen errechneten mittleren Unfallkostenraten des klassifizierten Netzes in Baden-Württemberg der 3-Jahres-Periode 2014-2016 verwendet [8]. Die Unfallkostenraten bei 2-bahnigen Straßen beinhalten alle Unfälle, die regelmäßig auf Richtungsfahrbahnen, die ausschließlich dem Kfz-Verkehr vorbehalten sind, auftreten (Fahrunfälle Typ 1, Unfälle im Längsverkehr Typ 6, und sonstige Unfälle Typ 7). Vorteil dieser Vorgehensweise ist die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus [1], bei der auch alle vorkommenden Unfälle auf Richtungsfahrbahnen einbezogen wurden.

Zur Beurteilung des Unfallrisikos von Kreisbögen mit kleinen Radien wurde für jeden Kreisbogen die Unfallkostenrate aus der Datenbank des Verkehrssicherheitsscreenings ermittelt und mit der Unfallkostenrate eines möglichst langen homogenen Streckenzugs verglichen („Unfallkostenrate Vergleichsstrecke UKR_{vgl} “). Die Bildung wesentlich längerer Vergleichsstrecken als in [1] ermöglichte die umfassende Unfalldatenbank des Verkehrssicherheitsscreenings [6] [8].

Kriterien für die Bildung homogener Vergleichsstrecken waren die Verkehrsbelastung, gleichartige Tempolimits und die Inbetriebnahme der Streckenabschnitte (in der sich die unterschiedlichen Planungsgrundsätze und Regelwerke zur Linienführung und Knotenpunktgestaltung über den Zeithorizont der Jahre 1960-2000 widerspiegeln). Letztlich blieb es bei der eingangs dargestellten Einteilung der sechs Vergleichsstrecken. Die Häufigkeit und Intensität mit der die Unfallkostenrate einzelner Kreisbögen innerhalb einer Radienklasse die Unfallkostenrate der Vergleichsstrecke überschreitet, diente als Sicherheitsindikator für die jeweilige Radienklasse.

Grundsätzlich ermöglicht die Datenbank des Verkehrssicherheitsscreenings die Auswertung nach allen statistischen Unfallkenngrößen. Um die Einflüsse unterschiedlicher Verkehrsmengen innerhalb der Vergleichsstrecken zu vermeiden, wurde für die vorliegende Untersuchung die Unfallkostenrate zur Bewertung ausgewählt. Da im gesamten Unfallkollektiv wenige Unfälle mit Schwerverletzten zu finden waren, wurde vom Einbeziehen der Unfallkosten ein deutlicherer Hinweis auf das von der Unfallkostenrate der Vergleichsstrecke abweichende Sicherheitsrisiko einzelner Kreisbögen erwartet.

Ergänzend zur monokausalen Erklärung des Unfallrisikos eines Kreisbogens aufgrund dessen Radius wurde auch das Radienverhältnis zwischen dem kleinen Kreisbogen und dem davorliegenden Kreisbogen inkl. des Sonderfalls der Geraden als mögliche Ursache bewertet. Dies erfolgte durch Auswertung der Radienfolge anhand der Straßeninformationsbank.

Ein Nachteil der Auswertung der hinterlegten statischen Unfallkennwerte für Richtungsfahrbahnen autobahnähnlicher Bundesstraßen mit allen dort vorkommenden Unfalltypen (Fahrunfälle, Unfälle im Längsverkehr und sonstige Unfälle) ist eine mögliche Vermischung mit Unfallursachen, die nicht zwingend auf einen kleinen Kurvenradius zurückzuführen sind. Um dieses Problem zu beheben erfolgte eine weitere Auswertung der statistisch auffälligen Kurvenbereiche anhand von elektronische Unfallkarte im Verkehrssicherheitscreening. Hierbei wurden nur die Fahrunfälle (Unfalltyp 1 gemäß Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen [7]) ausgewertet. Geprüft wurde, ob eine augenscheinliche Häufung von Fahrunfällen im Kurvenbereich im Vergleich zur davorliegenden und anschließenden Strecke auftritt. Ergänzend dazu wurden die Sichtverhältnisse anhand der ebenfalls hinterlegten Videosequenzen aus der Befahrung zur Zustandserfassung und -bewertung 2015 (ZEB 2015) betrachtet. Hierbei war zu berücksichtigen, dass die erzeugten Videobilder einen insgesamt zu günstigen Eindruck von den Sichtverhältnissen vermitteln, da sie aus größerer Höhe und immer vom rechten Fahrstreifen aus aufgenommen werden und es sich lediglich um eine qualitative Bewertung der vorhandenen Sichtverhältnisse handelt. Mit dieser augenscheinlichen Prüfung lassen sich die statistisch ermittelten Ergebnisse verifizieren und zusätzliche Erkenntnisse zu Unfallursachen gewinnen, die allein aus der Betrachtung der statistischen Unfallkenngrößen möglicherweise nicht erkannt worden wären.

2.2 Ergebnisse

2.2.1 Häufigkeit von Kreisbögen mit kleinen Radien

Eine Übersicht der ausgewerteten Strecken und einzelner besonders kleiner Radien mit $R \leq 600\text{m}$ in diesem Streckennetz gibt Abbildung 1 im Anhang.

Die Auflistung aller vorkommenden Radien auf den ausgewählten Bestandsstrecken ist in den Tabellen 4-10 im Anhang ersichtlich. Die Häufigkeit von Kreisbögen mit $R \leq 1000\text{m}$ unterteilt nach Radiengruppen ist in Tabelle 1 wiedergegeben. Bereinigt um Kreisbögen, die über Netzknoten reichen und deshalb in Infosys doppelt aufgelistet sind, finden sich auf den ausgewerteten Strecken insgesamt 213 Kreisbögen. Davon haben 72 Kreisbögen Radien mit $R < 1000\text{m}$ (33,8%), für die nach [1] ein erhöhtes Unfallrisiko vermutet werden kann. Radien mit $R \leq 750\text{m}$, die nach [1] besonders unfallrisikobehaftet sind, weisen 33 Kreisbögen auf (15,5%), darunter 16 Kreisbögen mit $R < 650\text{m}$ (7,5%).

141 Kreisbögen (66%) haben größere Radien mit $R > 900\text{m}$, wobei nur ein einziger Radius unter $R = 1000\text{m}$ vorkommt. Der Kreisbögen mit $R = 1000\text{m}$ sind mit 8,4% dagegen häufig vertreten.

Tabelle 1: Vorkommen von Radien an Kreisbögen autobahnähnlicher Bundesstraßen

Vergleichstrecke	Anzahl Kreisbögen	davon mit					
		R=1000m	1000m < R ≥ 900m	900m > R > 750m	750m ≥ R ≥ 650m	650m < R ≥ 600m	R < 600m
B10 Stuttgart-Plochingen	39	5	1	2	3	0	3
B10 Plochingen-Süßen	42	3	3	6	5	3	0
B14 Stuttgart-Winnenden-Süd	17	4	0	4	1	1	0
B27 Stuttgart-Tübingen	24	2	1	5	1	1	0
B27 südl. Tübingen	34	2	3	3	3	3	1
B29 Waiblingen-Schw. Gmünd	41	2	2	6	3	1	0
B313 Plochingen-Nürtingen	16	0	1	2	1	1	2
Σ	213 (100%)	18 (8,4%)	11 (5,2%)	28 (13,1%)	17 (8,0%)	10 (4,7%)	6 (2,8%)

Das Ergebnis überrascht insofern nicht, als für diese Straßen in der Regel nach den früheren Entwurfsrichtlinien zur Linienführung eine Entwurfsgeschwindigkeit von $v_E = 100\text{km/h}$ verwendet wurde. Während in der RAL-L 1959 dafür noch ein Mindestradius von $R = 800\text{m}$ galt, der sich in vielen der untersuchten Bestandsstrecken

wiederfindet, wurde dieser schrittweise zunächst auf $R=500$ m (RAS-L-1 1984 [4]) und mit der RAS-L 1995 schließlich auf $R=450$ m [5] abgesenkt. Der Mindestradius der RAA 2008 für die EKA 2 von $R=470$ m wird nur an zwei Stellen auf der B 10 am Dreieck Plochingen und der B 313 bei Köngen unterschritten. Auf der B 10 bei Plochingen wurde der schon vor dem autobahnähnlichen Ausbau vorhandene Radius $R=400$ m belassen.

2.2.2 Statistische Unfallkenngrößen von Streckenzügen und sehr kleinen Kreisbögen

2.2.2.1 Vorbemerkung

Nach [1] weisen Linkskurven von Autobahnen mit Radien unterhalb $R=1000$ m ein höheres Unfallrisiko auf. Da dieser Wert auf den untersuchten autobahnähnlichen Bundesstraßen bei immerhin 34% aller vorkommenden Kreisbögen unterschritten wurde, sollte geprüft werden, ob diese Kreisbögen generell ein höheres Unfallrisiko aufweisen oder ob innerhalb dieser Gruppe weiter differenziert werden kann.

2.2.2.2 Statistische Unfallkenngrößen der untersuchten Streckenzüge

Wie in Ziff. 2.1 dargelegt wurden sechs homogene Vergleichsstrecken gebildet, deren durchschnittliche Unfallkostenraten (UKR_{vgl}) in Tabelle 2 zusammengefasst sind:

Tabelle 2: Unfallkostenrate der bewerteten Vergleichsstrecken (UKR_{Vgl})

autobahnähnlicher Streckenzug	Länge [km]	Tempolimit [km/h]	Unfallkostenrate Vergleichsstrecke UKR _{Vgl} [€/1000Kfzkm]
B 10 Stuttgart - Plochingen	20	80	3,16
B 10 Plochingen-Süßen	28	120	7,81
B 14 Stuttgart - Winnenden	18	80 – 120 ¹⁾	4,52
B 27 Stuttgart - Tübingen	36	120 ²⁾	3,58
B 27 Bodelshausen - Balingen	19	120	4,62
B 29 Waiblingen – Schwäbisch Gmünd	36	120	4,78
B 313 Plochingen – Autobahn A 8	6	80	3,61
B 313 Autobahn A 8 - Nürtingen	4	120	15,20
<u>Zum Vergleich:</u>			
• Durchschnitt der bewerteten Vergleichsstrecken			4,72
• Alle Autobahnen in Baden-Württemberg			8,53

¹⁾ Auf Teilstück Streckenbeeinflussungsanlage

²⁾ Auf Teilstück Streckenbeeinflussungsanlage mit Zuflussdosierung

Erkennbar wird, dass die autobahnähnlichen Bundesstraßen im Großraum Stuttgart im Vergleich zu Autobahnen in Baden-Württemberg sehr niedrige Unfallkostenraten aufweisen. Dies dürfte an der Verkehrszusammensetzung mit deutlich niedrigerem SV-Anteil, dem höheren Anteil ortskundiger Fahrer und den teilweise sehr niedrigen Tempolimits aus Umweltgründen liegen. Auffällig ist, dass die mit Tempolimit 120 km/h betriebene Vergleichsstrecke B 27 Stuttgart – Tübingen eine annähernd so niedrige Unfallkostenrate aufweist wie die beiden mit Tempolimit 80 km/h betriebenen Vergleichsstrecken der B 10 und B 313. Eine einfache Erklärung für die unterschiedlichen Unfallkostenraten der Vergleichsstrecken autobahnähnlicher Bundesstraßen gibt es nicht. Für die B 10 Stuttgart – Plochingen und die B 313 Plochingen – Autobahn könnte eine wesentliche Ursache das Tempolimit von 80 km/h sein. Die niedrige Unfallkostenrate der B 27 Stuttgart – Tübingen kann dadurch erklärt werden, dass diese Strecke, obwohl vor 2008 bereits fertiggestellt weitgehend den Anforderungen der EKA 2 der RAA 2008 entspricht. Die höheren Unfallkostenraten der Vergleichsstrecken B 10 Plochingen-Süßen und B 313 Autobahn – Nürtingen können sich aus der zum Teil un stetigen Linienführung erklären.

2.2.2.3 Sicherheitsrisiko von Kreisbögen mit $R \leq 1000\text{m}$

Anhand der in der Datenbank aus [8] hinterlegten Unfallkostenraten für jeweils 100m-Intervalle des klassifizierten Straßennetzes für die Jahre 2014-2016 wurden die Un-

fallkostenraten aller Kreisbögen mit Radien von $R \leq 1000\text{m}$ der ausgewählten Vergleichsstrecken ermittelt. Kreisbögen auf Vergleichsstrecken ohne hinterlegte Unfallkostenraten und solche am Anfang der autobahnähnlichen Strecke wurden nicht berücksichtigt. Die Unfallkostenrate jedes Kreisbogens wurde aus dem arithmetischen Mittel der hinterlegten Unfallkostenraten aller 100m-Intervalle, die sich im Kreisbogen befinden, ermittelt. Die mathematische Beschreibung der Untersuchungsmethodik findet sich im Kapitel 4 des Anhangs auf Seite A.

Das Sicherheitsrisiko jedes Kreisbogens wurde durch Vergleich der individuellen Unfallkostenrate mit der zugehörigen Unfallkostenrate der Vergleichsstrecke nach Kap. 2.2.2.2 bewertet. Kreisbögen mit einer Unfallkostenrate über der Unfallkostenrate der Vergleichsstrecke wurden als überdurchschnittlich risikobehaftet eingestuft. Zur Beurteilung der Ursachen von überdurchschnittlich risikobehafteten Kreisbögen wurde ergänzend das Radienverhältnis zum größeren anschließenden Kreisbogen ermittelt. Kreisbögen mit einer unterdurchschnittlichen Unfallkostenrate oder ohne aufgetretenen Unfall wurden als nicht risikobehaftet bewertet.

Von den insgesamt vorkommenden 91 Kreisbögen mit $R \leq 1000\text{m}$ konnten 68 Kreisbögen (75%) in die Bewertung einbezogen werden, darunter alle Kreisbögen mit $R \leq 650\text{m}$. Die Einzelbewertungen sind in den Tabellen 11 bis 13 im Anhang ersichtlich.

Das Gesamtergebnis der Risikobewertung ist in der Tabelle 3 und als Diagramm in Abb. 2a ersichtlich.

Tabelle 3: Bewertungsergebnisse zum Unfallrisiko kleiner Kurvenradien mit R≤1000m

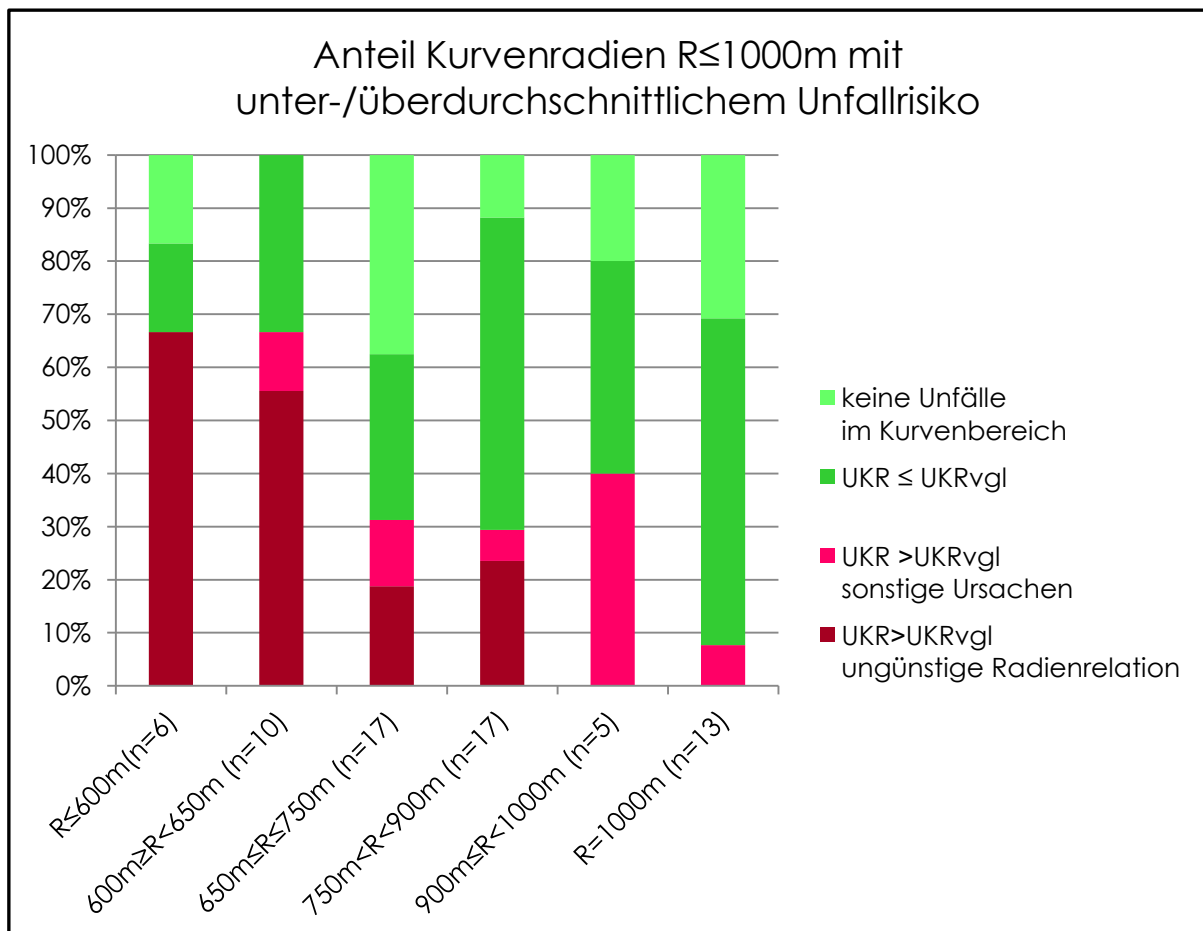
Radiengruppe Radius	Anzahl gesamt	Anzahl Kreisbögen UKR ¹⁾ < UKR _{vgl} ²⁾		Anteil	Anzahl Kreisbögen UKR ¹⁾ < UKR _{vgl} ²⁾		Anteil
		Kein Unfall	UKR ¹⁾ ≤ UKR _{vgl} ²⁾		Ungünstige Radienfolge (R ₁ /R ₂ >1,5)	Andere Gründe	
R<600m	6	1	1	33%	4	-	67%
600m ≤R<650m	10 ³⁾	-	4	40%	6	1	60%
650m ≤R≤750m	16	6	5	69%	3	2	31%
750m <R<900m	17	2	10	71%	4	1	29%
900m ≤R<1000m	5	1	2	60%	2	0	40%
R=1000m	13	4	8	92%		1	8%

¹⁾ UKR = Unfallkostenrate [Euro/1000 Kfzkm];

²⁾ UKR_{vgl} =Unfallkostenrate der Vergleichsstrecke [Euro/1000 Kfzkm];

³⁾ inkl. Radienfolge 600m/600m/(750m) B 10 bei Ebersbach

Abb. 2a: Anteil Kurvenradien R≤1000m mit unter-/überdurchschnittlichem Unfallrisiko



Das Ergebnis lässt sich folgendermaßen beschreiben:

- Von den vorkommenden 6 Kreisbögen mit $R < 600\text{m}$ weisen 4 Kreisbögen (67%) ein deutlich überdurchschnittliches Unfallrisiko in Bezug auf die Vergleichsstrecke aus, obwohl diese zum Teil mit einem Tempolimit von 80 km/h belegt sind.
- In der Radiengruppe $600\text{m} \leq R < 650\text{m}$ kommen 10 Kreisbögen ausschließlich mit $R = 600\text{m}$ vor. Von diesen weisen 6 Kreisbögen (60%) ein zum Teil deutlich höheres Unfallrisiko als die Vergleichsstrecke auf.
- Kreisbögen mit Radien von $650\text{m} \leq R \leq 1000\text{m}$ weisen ein deutlich geringeres Unfallrisiko aus als die Kreisbögen mit sehr kleinen Radien $R \leq 600\text{m}$. Nur noch rd. 30% der Kreisbögen zeigen eine überdurchschnittliche Unfallkostenrate, meist im Zusammenhang mit einer ungünstigen Radienrelation. Eine Differenzierung des Unfallrisikos der einzelnen Radiengruppen von $R \leq 650\text{m}$ bis $R \leq 900\text{m}$ ist statistisch nicht nachweisbar.
- Eine Besonderheit zeigt sich bei 2 Kreisbögen mit $R = 900\text{m}$, die jeweils an eine Gerade anschließen. Diese Kreisbögen weisen weit überdurchschnittliche Unfallkostenraten auf, alle anderen Kreisbögen mit $R = 900\text{m}$ dagegen ein weit unterdurchschnittliches Unfallrisiko. Zur Bewertung dieses Ergebnisses wurde eine Analyse der einzelnen Fahrurfälle der beiden Kreisbögen mit weit überdurchschnittlichen Unfallkostenraten durchgeführt, die in Kap. 2.1.3.5 dargestellt ist.
- Als insgesamt sehr sicher zeigen sich die 13 auswertbaren Kreisbögen mit $R = 1000\text{m}$, von denen nur einer geringfügig über dem Durchschnitt der Vergleichsstrecke liegt.

2.2.2.4 Einfluss der Radienrelation

Im Bestandsnetz der autobahnähnlichen Bundesstraßen schließen nahezu alle Kreisbögen mit sehr kleinen Radien von $R < 650\text{m}$ und kleinen Radien von $650\text{m} \leq R < 1000\text{m}$ zumindest in eine Richtung an Kreisbögen an, deren Radius mehr als das 1,5-fache des kleinen Radius betragen. Dies ist dadurch zu erklären, dass es in den früheren Richtlinien zur Linienführung vor der RAA 2008 keine spezielle Regel zum Radienverhältnis an zweibahnigen autobahnähnlichen Bundesstraßen gab.

Es sollte daher geprüft werden, ob ein höheres Unfallrisiko von Kreisbögen mit kleinen Radien allein auf den kleinen Kurvenradius oder auf die ungünstige Radienrelation zurückzuführen ist. Hierzu musste im Bestandsnetz ein Streckenabschnitt mit einer Folge von kleinen Kreisbögen gesucht werden, bei der das Radienverhältnis von $R_1/R_2 \leq 1,5$ zumindest annähernd eingehalten wird und die frei von sonstigen Einflüssen Unfallursachen wie Anschlussstellen ist. Sofern das Unfallrisiko dieses Stre-

ckenabschnitts ein ähnlich hohes Unfallrisiko wie die Einzelradien aufweist, kann dies als Indikator dafür gewertet werden, dass das Unfallrisiko maßgeblich vom kleinen Radius bestimmt wird.

Im gesamten untersuchten Streckennetz konnten nur zwei Folgen von Kreisbögen mit kleinen Radien gefunden werden, die die vorgenannten Bedingungen erfüllen (siehe Tabelle 13 im Anhang):

- Die B 10 bei Ebersbach weist drei gegensinnige Kreisbögen mit $R=600\text{m}/600\text{m}/750\text{m}$ in Folge auf. Die Unfallkostenrate über die Gesamtstrecke liegt 50% über der Unfallkostenrate der Vergleichsstrecke, obwohl ein günstiges Radienverhältnis vorliegt.
- Auf dem 4 km langen als „kurvig“ empfundenen Abschnitt der B 29 bei Lorch, auf dem 6 von 7 Kreisbögen Radien zwischen $R=700\text{m}$ und $R=800\text{m}$ aufweisen, ist die Unfallkostenrate der Gesamtstrecke $UKR=4,76$ identisch mit dem Unfallkostenrate der Vergleichsstrecke ($UKR_{\text{vgl}}=4,78$).

Diese Ergebnisse zeigen in der Tendenz, dass Kreisbögen mit $R \leq 600\text{m}$ selbst dann ein deutlich höheres Unfallrisiko aufweisen als größere Radien, wenn das Radienverhältnis $R_1/R_2 \leq 1,5$ eingehalten wird. Radien von $R \geq 700\text{m}$ bis $R=900\text{m}$ weisen dagegen sehr viel seltener ein überdurchschnittliches Unfallrisiko auf, wenn das Radienverhältnis $R_1/R_2 \leq 1,5$ eingehalten wird.

Der Einfluss der Radienfolge bei Radien von $R \geq 1000\text{m}$ kann am Beispiel einer Folge von Kreisbögen auf der B 27 zwischen der Schlaitdorf und Aichtal abgeschätzt werden. Die 4,5 km lange Strecke weist eine Folge von Kreisbögen mit einer

Radienfolge von $R=3000\text{m}/2500\text{m}/1500\text{m}/1600\text{m}$

ohne Anschlussstelle auf (ein Kleinparkplatz auf der Strecke wird wegen des geringen Verkehrsaufkommens im Vergleich zur Hauptstrecke vernachlässigt). Die Ergebnisse der statistischen Unfalluntersuchung sind ebenfalls in Tab. 13 im Anhang dargestellt. Die Unfallkostenrate dieses Streckenzugs liegt mit einer $UKR=2,26$ bei nur zwei Dritteln der Unfallkostenrate der Vergleichsstrecke ($UKR_{\text{vgl}}=3,58$). Damit bestätigt sich die bereits in [1] gewonnene Erkenntnis, dass größere Radien ab $R \geq 1000\text{m}$ kein erhöhtes Unfallrisiko aufweisen, selbst wenn das Radienverhältnis $R_1/R_2 > 1,5$ ist.

2.2.2.5 Gesamtwertung

Sowohl die Einzelbewertung des Sicherheitsrisikos von kleinen Kreisbögen als auch die Betrachtung von Radienfolgen kleiner Kreisbögen deuten darauf hin, dass Radien unter $R=650\text{m}$ aus Sicherheitsgründen nicht verwendet werden sollen und ab Ra-

dien von $R \geq 650\text{m}$ ein deutlicher Sicherheitsgewinn zu erzielen ist. Der Mindestradius der Entwurfsklasse EKA2 sollte deshalb $R_{\min} = 650\text{m}$ betragen.

Radienfolgen mit $R \geq 1000\text{m}$ können generell als sicher gelten, unabhängig vom Verhältnis zum anschließenden Radius. Daraus ergibt sich auch die Forderung nach einem Mindestradius von $R = 1000\text{m}$ im Anschluss an eine längere Zwischengerade.

Kreisbögen zwischen $R = 650\text{m}$ und $R = 900\text{m}$ können unter dem Gesichtspunkt der Verkehrssicherheit akzeptiert werden, wenn das Radienverhältnis $R_1/R_2 \leq 1,5$ eingehalten wird. Allerdings liegt das Sicherheitsrisiko tendenziell über dem von Kreisbögen mit $R \geq 1000\text{m}$.

2.2.3 Auswertung Unfalltypensteckarte

2.2.3.1 Vorbemerkung

Wie bereits im Kapitel 2.2.2.3 begründet wurden zusätzlich zu den statistischen Auswertungen visuelle Bewertungen zum Sicherheitsrisiko von sehr kleinen Kreisbögen mit Radien von $R \leq 600\text{m}$ anhand der elektronischen Unfallkarte des Verkehrssicherheitsscreening und den Videobildern aus der Zustandserfassung und -bewertung von Straßen (ZEB) durchgeführt. Hierbei wurden nur Fahrurfälle (Unfalltyp 1) berücksichtigt, allerdings über den gesamten verfügbaren Zeitraum und durch ein charakteristisches Einzelbild aus den Videosequenzen der Befahrung zur ZEB ergänzt. Die einzelnen Unfallkarten und Videobilder sind im Anhang in den Abbildungen 3-32 dargestellt. Zur Erklärung des Unfallbildes wurde ergänzend die Linienführung mit den benachbarten Kreisbögen bewertet.

2.2.3.2 Kreisbögen mit Radien $R < 600\text{m}$

Obwohl auf dem gesamten Streckenzug der B 10 von Stuttgart nach Plochingen eine Beschränkung auf 80 km/h aus Gründen der Luftreinhaltung mit Radarkontrolle besteht, weisen die darin vorkommenden 3 sehr kleinen Radien bei Esslingen-Weil, Esslingen-Mitte (beide $R = 500\text{m}$) und der Minimalradius von $R = 400\text{m}$ vor dem Dreieck Plochingen ($R = 400\text{m}$) erkennbare Unfallhäufungen insbesondere in den Linkskurven auf (Abbildungen 3a und 3b, 6 und 7, 8 und 9). Die statistischen Ergebnisse für die beiden Radien $R = 500\text{m}$ an der B 10 bei Esslingen-Weil und Esslingen-Mitte können sehr gut nachvollzogen werden. Ein Einfluss der Anschlussstelle Esslingen-Mitte auf die Fahrurfälle ist nicht erkennbar. Das erhöhte Sicherheitsrisiko des bei der Auswertung der Unfallkostenrate nicht auffälligen Kreisbogens mit $R = 400\text{m}$ bei Plochingen ist erst aus der Unfallkarte ablesbar.

Auch in der visuellen Betrachtung ist das Unfallrisiko an der Doppelkurve auf der B 313 bei Köngen mit der Radienfolge von $R=600\text{m}$ und $R=450\text{m}$ schwerer zu bewerten. Im Bereich um die beiden Kurvenradien befindet sich die nach heutigen Standards nicht regelkonform ausgebaute Doppelanschlussstelle Kreuz Wendlingen (A8) und AS Köngen. Zudem ist hier die Geschwindigkeit aus Gründen der Verkehrssicherheit auf 80 km/h (Abbildungen 4 und 5) beschränkt. Die wenigen Fahrurfälle können nicht eindeutig nur den engen Kurvenradien zugeordnet werden.

Besonders deutlich traten Unfallhäufungen an der B 27 bei Bisingen (Engstlatt) im eher ländlichen Raum auf. Dort folgt der enge Radius $R=500\text{m}$ zudem auf einen $R=1500\text{m}$, was nach den damaligen Richtlinien möglich war. Diese Radienfolge von $R_1/R_2 > 1,5$ wird in den RAA 2008 ausdrücklich nicht empfohlen (Abbildungen 6 bis 11).

Eindeutig erkennbar sind die Unfallhäufungen am $R=550\text{m}$ bei Nürtingen-Zizishausen, wobei dieser Radius in der Linkskurve auf einen $R=10.000\text{m}$ folgt (Abbildungen 12 und 13). Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Unfallkostenraten werden bestätigt.

2.2.3.3 Kreisbögen mit Radien von $R=600\text{m}$ bis $R<700\text{m}$

Alle untersuchten Kreisbögen mit Radien $R=600\text{m}$ (B 27 Hechingen, B 27 Kirchentellinsfurt, B 29 Remshalden, B 10 Ebersbach und B 10 Göppingen-Faurndau weisen in den Unfallkarten deutlich erkennbare Häufungen von Unfällen auf, insbesondere dort, wo die Sichtverhältnisse im Mittelstreifen durch Bewuchs schlecht sind (Abbildungen 14 bis 24). Besonders ungünstig wirkt sich die Radienfolge $R=10.000\text{m}/R=600\text{m}$ bei Hechingen in südlicher Richtung aus.

2.2.3.4 Abfolge von Kreisbögen zwischen $R=700\text{m}$ und $R\leq 800\text{m}$

Bei Radien zwischen $R=700\text{m}$ bis $R=800\text{m}$ können kaum noch Unfallhäufungen erkannt werden, insbesondere wenn sich die Radien aufeinanderfolgender Kreisbögen nur geringfügig unterscheiden. Dies zeigt sich an einem rd. 4 km langen Abschnitt der B 29 im Bereich Lorch. Dort wechselt sich eine Abfolge von Links- und Rechtskurven mit Radien von 700m bis 800 m ab. Die Geschwindigkeit ist auf 120 km/h beschränkt. Lediglich in Fahrtrichtung Ost kommt es in der letzten Rechtskurve vermehrt zu Unfällen, deren Ursachen nicht offenkundig sind. Möglicherweise sind es Sichthindernisse in der Rechtskurve durch den Hang und dessen Bepflanzung, die Unfälle begünstigen (Abbildungen 30 und 31).

2.2.3.5 Kreisbögen mit $R=900\text{m}$ auf B 29 bei Winterbach

Von den 5 bewerteten Kreisbögen mit $R=900\text{m}$ im Bestand weisen nach der statistischen Unfallauswertung zwei aufeinanderfolgende Kreisbögen bei Winterbach Unfallkostenraten sehr deutlich über der Unfallkostenrate der Vergleichsstrecke und derjenigen der anderen 3 Kreisbögen mit $R=900\text{m}$ auf (siehe Kap. 2.2.2.5 und Tabelle 12). Deshalb wurde anhand der elektronischen Unfalltypenkarte geprüft, ob das erhöhte Unfallrisiko im Zusammenhang mit den Kurvenradien steht oder ob dafür andere Gründe zu finden sind. Der Streckenzug, in dem diese die beiden Kreisbögen liegen, besteht aus einer Abfolge von Kreisbögen und Geraden mit dazwischengeschalteten Übergangsbögen mit folgenden Kurvenradien und Längen der Geraden:

$$R=1513\text{m}/R=887\text{m}/R=\infty(L=220\text{m})/R=913\text{m}/R=\infty(L\sim 1000\text{m})$$

Alle Unfälle des Typs 1 im Bereich der beiden Kreisbögen mit $R\sim 900\text{m}$ sind in Abb. 27 dargestellt. Die Einzelauswertung der insgesamt 11 Unfälle auf den Richtungsfahrbahnen ergab, dass nur bei 5 Unfällen der Kurvenbereich in der Unfallursache vermerkt ist. Drei dieser Unfälle der Kategorien 1, 2 und 5 ereigneten sich unmittelbar im Anschluss an die lange Gerade mit $L\sim 1000\text{m}$ in Fahrtrichtung Stuttgart. Nur je einer dagegen im Anschluss an die kürzere Gerade ($L=220\text{m}$) in beiden Richtungen. Daraus lässt sich ableiten, dass auch bei autobahnähnlichen Straßen im Anschluss an eine lange Gerade ein Kreisbogen mit einem Radius größer als $R=900\text{m}$ folgen und auch kurze Geraden vermieden werden sollten. 6 Unfälle hatten Ursachen, die nicht eindeutig in einen Zusammenhang mit dem Kurvenradius zu bringen sind (Alkoholeinfluss, Übermüdung, Rechtsüberholen, falsches Wiedereinscheren).

2.2.3.6 Kreisbogen mit $R=1000\text{m}$ nach langer Gerade

Wie in Kap. 2.2.3.5 bereits dargestellt findet sich auf der B 29 zwischen Winterbach und Schorndorf eine sehr lange Gerade ($L=1033\text{m}$). An diese lange Gerade schließt im Westen bei Winterbach ein $R=900\text{m}$ und im Osten bei Schorndorf ein $R=1000\text{m}$ an (Tab. 12, $R=1000\text{m}$, lfd. Nr. 13). Während der westlich anschließende $R=900\text{m}$ ein weit überdurchschnittliches Unfallrisiko aufweist (siehe Kap. 2.2.3.5), ist der östlich als Linkskurve anschließende $R=1000\text{m}$ völlig unauffällig. Nach der statistischen Auswertung der Unfallkostenrate für die Jahre 2014 bis 2016 hat sich kein Unfall ereignet. Eine ergänzende Einzelauswertung aller im Verkehrssicherheitscreening verfügbaren Fahrurfälle des Unfalltyp1 ab dem Jahr 2010 bis Juni 2018 zeigte, dass sich in der östlich anschließenden Linkskurve mit $R=1000\text{m}$ nur 2 Fahrurfälle ereigneten. Nur bei einem kann die Unfallursache dem Kurvenbereich zugeordnet werden (Abbildungen 28 und 29). Dies unterstreicht die aus der gesamten Untersuchung ab-

geleitete Tendenz, dass bei Straßen der EKA 2 Radien mit $R \geq 1000\text{m}$ auch im Anschluss an eine lange Gerade sicher sind.

2.2.3.7 Folge von Kreisbögen $R=600\text{m}$ auf Autobahn A 8

Im Zuge der Autobahn A 8 erfolgte in den 70-er Jahren eine Neutrassierung der Vorkriegsautobahn mit einer Radienfolge gegensinniger Kreisbögen:

- $R=1175\text{m}/580\text{m}/580\text{m}/609\text{m}/580\text{m}/1200\text{m}/700\text{m}/800\text{m}/1500\text{m}$

und einer Steigung von rd. 5%. Dies ist die einzige Referenzstrecke mit derart kleinen Radien an einer Autobahnstrecke in Baden-Württemberg, die nach 1970 gebaut wurde. Die Strecke wies vor dem 6-streifigen Ausbau, der 2016 fertiggestellt wurde, 3 Fahrstreifen bergauf und 2 Fahrstreifen bergab auf. Wegen des 6-streifigen Ausbaus sind für die Strecke derzeit keine Unfallkostenraten einer 3-Jahres-Periode verfügbar. Deshalb wurden nur die vorhandenen Unfalldaten zu Fahrunfällen des Unfalltyps 1 vor dem Ausbau ausgewertet. Die Geschwindigkeit war auf 100km/h beschränkt.

Das Ergebnis ist in Abb. 32 dargestellt. Am Beginn der 600m -Radien treten gehäuft Unfälle auf, obwohl die Trassierung völlig gleichförmig erfolgte. Die größere Radienrelation von 1,85 führt auch bei einem Radien von $R=800\text{m}$ zu Unfalhäufungen. Auch hier bestätigt sich der Befund für die kleinen Radien an autobahnähnlichen Bundesstraßen.

2.2.3.8 Schlussfolgerungen

Die Bewertung anhand von elektronischen Unfallkarten und Videobildern bestätigt das Ergebnis der statistischen Unfallauswertung, dass sehr kleine Radien von $R \leq 600\text{m}$ ein deutlich höheres Unfallrisiko aufweisen als die anschließenden Strecken. Noch deutlicher wird dies nach der visuellen Auswertung von Unfallkarten und Videobildern, wenn auch die benachbarte Linienführung mit einbezogen wird. Die bereits aus der statistischen Betrachtung abgeleitete Empfehlung den Mindestradius der EKA 2 auf $R=650\text{m}$ festzulegen, wird mit der Einzeluntersuchung anhand der elektronischen Unfallkarte bestätigt.

Die Einzelauswertung einer längeren Strecke mit aufeinanderfolgenden Radien von $R \geq 700\text{m}$ bis $R=800\text{m}$ bestätigt auch, dass in dieser Radiengruppe selten Unfalhäufungen im Längsverkehr auftreten, wenn die Radienfolge $R_1/R_2 \leq 1,5$ annähernd eingehalten wird. Im Anschluss an eine lange Gerade sollten nur Kreisbögen mit einem Radius mit mindestens $R=1000\text{m}$ folgen. Auch kürzere Geraden sollten möglichst vermieden werden.

3 Empfehlungen

Kreisbögen mit sehr kleinen Radien von $R \leq 600\text{m}$ weisen insbesondere in Linkskurven trotz Geschwindigkeitsbeschränkungen vermehrt Unfälle und damit ein überdurchschnittliches Sicherheitsrisiko auf. Radien im Bereich zwischen $R \geq 650\text{m}$ und $R = 900\text{m}$ weisen dagegen ein deutlich geringeres Unfallrisiko auf, wenn die Radienrelation $R_1/R_2 \leq 1,5$ eingehalten wird. Kreisbögen mit $R \geq 1000\text{m}$ können generell als sicher eingestuft werden.

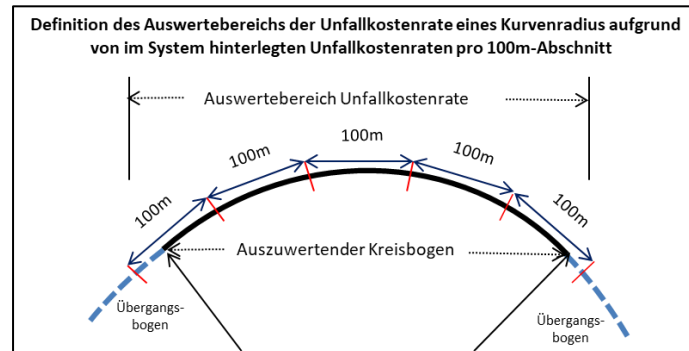
Für den weiteren Ausbau des autobahnähnlichen Straßennetzes und die Fortschreibung der RAA 2008 werden auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse folgende Änderungen vorgeschlagen:

- Der Mindestradius für autobahnähnliche Bundesstraßen der Entwurfsklasse EKA 2 sollte auf $R = 650\text{m}$ angehoben werden.
- Zusätzlich zum Mindestradius von $R = 650\text{m}$ sollte die neue RAA noch eine Empfehlung enthalten, auch bei der EKA2 Radien von $R \leq 900\text{m}$, in Ausnahmefällen $R = 800\text{m}$, nicht zu unterschreiten.
- Die Radienrelation für kleinere aufeinanderfolgende Radien von $R_1/R_2 \leq 1,5$ sollte bis zu einem Radius $R_1 \leq 1000\text{m}$ zwingend vorgeschrieben werden.
- Der Mindestradius im Anschluss an eine lange Gerade soll $R = 1000\text{m}$ betragen.
- Die Planungsgeschwindigkeit der EKA2 sollte dem tatsächlichen Fahrverhalten angepasst und auf $V = 110\text{ km/h}$ angehoben werden. Damit passen sich auch die anderen Elemente der Linienführung besser an die aus Sicherheitsgründen empfohlenen größeren Mindestradien im Lageplan an. Die in der RAL 2012 [10] ebenfalls vorgegebene Planungsgeschwindigkeit $V = 110\text{ km/h}$ für die EKL 1 unterstreicht diese Empfehlung.

4 Mathematische Beschreibung der Untersuchungsmethodik

4.1 Auswertebereich der Unfallkostenrate eines Kreisbogens

Abb. 2b Auswertebereich Unfallkostenrate eines Kreisbogens



4.2 Unfallrisiko eines Kreisbogens relativ zur Vergleichsstrecke

$$S_r = \frac{\sum_{i=1}^n UKR(100m)_i}{n \cdot UKR_{vgl}} \quad [1]$$

S_r = relatives Unfallrisiko eines Kreisbogens zum Unfallrisiko der Vergleichsstrecke
 $UKR(100m)_i$ = Unfallkostenrate des i -ten 100m-Abschnitts innerhalb und am Rande des Kreisbogens
 n = Anzahl der 100m-Abschnitte innerhalb und am Rande des Kreisbogens
 UKR_{vgl} = Unfallkostenrate der Referenzstrecke

$S_r > 1$ = Kreisbogen mit erhöhtem Unfallrisiko

$$S_{koll} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_r > 1)}{n} \quad [2]$$

S_{koll} = Anteil aller Kreisbögen mit erhöhtem Unfallrisiko in einer Radiengruppe
 $S_r > 1$ = Kreisbogen mit erhöhtem Unfallrisiko (siehe oben)
 n = Anzahl der Kreisbögen innerhalb einer Radiengruppe

5 Tabellen und Abbildungen

Tabelle 4: B 10 Stuttgart – Plochingen - Kurvenradien

Table with columns: Strasse, VNK, NNK, VST, BST, VNK-Name, NNK-Name, Länge, Art(A), Beschreibung(A), Radius(A), Ausrichtung, Beschreibung(A)SORT, ABLAENGE. It lists 37 rows of road curve data for Stuttgart to Plochingen.

Tabelle 5: B 10 Plochingen – Süßen Kurvenradien

Table with columns: Strasse, VNK, NNK, VST, BST, VNK-Name, NNK-Name, Länge, Art(A), Beschreibung(A), Radius(A), Beschreibung(A), SORT, ABLAENGE. It lists 70 rows of road curve data for Plochingen to Süßen.

Tabelle 6: B 14 Stuttgart – Winnenden Kurvenradien

Table with columns: VNK, NNN, VST, BST, VNK-Name, NNN-Name, Länge, Art(A), Beschreibung(A), Ausricht, Beschreit, Radius(A), SORT, ABLAENGE. Contains data for Stuttgart to Winnenden route.

Tabelle 7: B 27 Tübingen – Stuttgart Kurvenradien

Table with columns: Strasse, VNK, NNN, VST, BST, VNK-Name, NNN-Name, Länge, Beschreibung(A), Radius(A), Beschreibung(A), SORT, ABLAENGE. Contains data for Tübingen to Stuttgart route.

Tabelle 8: B 27 Balingen - Tübingen Kurvenradien

Table with columns: Strasse, Abschnitt, VNK, NNN, VST, BST, Von KM, Nach KM, VNK-Name, NNN-Name, Länge, GV, S, Radius(A), Art(A), Beschreibung(A), Stützrad, Ausricht, Beschreit, SORT, ABLAENGE. Contains data for Balingen to Tübingen route.

Tabelle 11: Unfallkostenraten kleiner Kreisbögen mit $R \leq 750m$ an autobahnähnlichen Straßen

Lfd. Nr.	Ort	Radius [m]	Unfallkostenrate Einzelradius [€/1000kfzkm]	Unfallkostenrate Vergleichstrecke UKR_{vgl} [€/1000kfzkm]	Abweichung [%]	Radienverhältnis (R1/R2)
R<600m						
1	B10 Plochingen	400	1,19	3,16	-63	
2	B313 Köngen	450	Kein Unfall			
3	B10 Esslingen-Weil	500	3,86	3,16	+22	6
4	B10 Esslingen-Mitte	500	3,42	3,16	+8	2
5	B27 Engslatt	500	6,26	4,26	+47	
6	B313 NT-Zizishausen	550	51,21	15,20	+237	
R=600m						
1	B10 Faurndau	600	2,40	7,81	-70	
2	B14 Fellbach-Ost	600	3,17	4,52	-30	
3	B27 Kirchentellinsfurt	600	10,51	3,58	+194	2,0
4	B27 Bisingen	600	3,90	4,62	-16	
5	B27 Hohenzollern	600	10,6	4,62	+129	2,3
6	B27 Hechingen	600	5,20	4,62	+13	
7	B29 Remshalden	600	29,98	4,78	+527	2,1
8	B313 Wendlingen (A8)	600	3,41	3,61	-5	
9/10	B10 Ebersbach	600/600	17,20	7,81	+120	16,7
R=650m						
11	B10 Faurndau	650	6,0	7,81	-24	
R>650m-R=750m						
1	B10 Oberesslingen	700	14,22	3,16	+350	11,4
2	B10 Plochingen 1	750	1,88	3,16	-40	
3	B10 Plochingen 2	750	kein Unfall			
4	B10 Plochingen 3	750	kein Unfall			
5	B10 Dreieck Plochingen	750	10,49	7,81	+34	1,6
6	B10 Reichenbach 1	750	kein Unfall			
7	B10 Reichenbach 2	750	19,75	7,81	+152	2,67
8	B10 Ebersbach	750	59,65	7,81	+663	1,16
9	B14 Fellbach-Ost	725	1,99	4,52	-56	
10	B27 Kirchentellinsfurt	752	kein Unfall			
11	B27 Bisingen	700	1,04	4,62	-73	
12	B27 Hohenzollern	700	53,95	4,62	+1067	14,28
13	B29 Lorch 1	700	1,4	4,62	-70	
14	B29 Lorch 2	750	kein Unfall			
15	B29 Lorch Ost	700	kein Unfall			
16	B313 NT-Zizishausen	750	6,98	15,20	-65	

Tabelle 12: Unfallkostenraten kleiner Kreisbögen mit $R > 750\text{m}$ an autobahnähnlichen Straßen

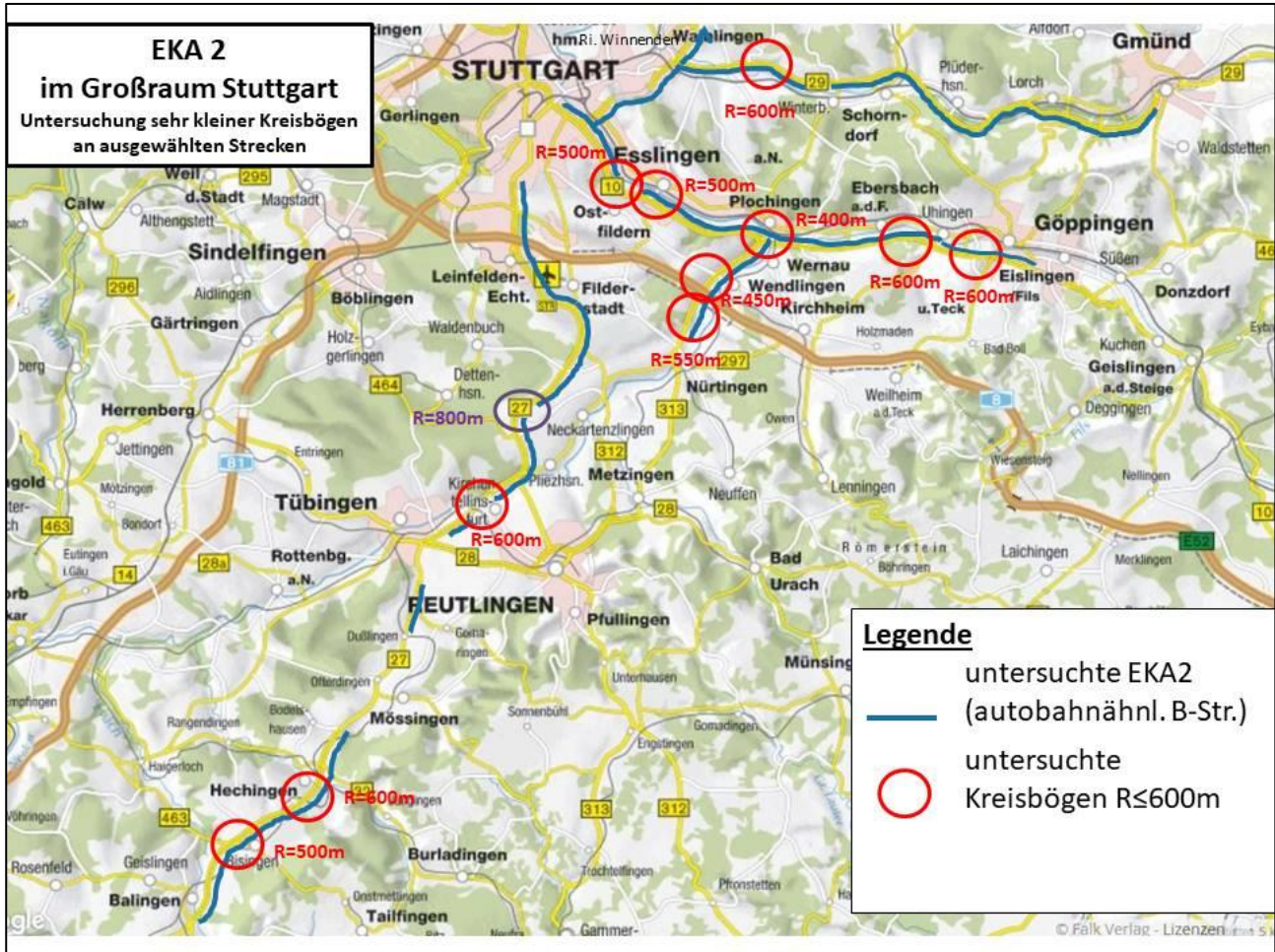
Lfd. Nr.	Ort	Radius [m]	Unfallkostenrate Einzelradius [€/1000kfzkm]	Unfallkostenrate Vergleichstrecke UKR_{vgl} [€/1000kfzkm]	Abweichung [%]	Radienverhältnis (R_1/R_2)
R=800m						
1	B10 Esslingen-Mitte	800	36,81	3,16	+1064	2,5
2	B10 Reichenbach 1	800	53,27	7,81	+582	1,5
3	B10 Reichenbach 2	800	3,29	7,81	-58	
4	B10 Uhingen	800	kein Unfall			
5	B14 S-Wangen	800	1,45	4,52	-66	
6	B14 Waiblingen Dreieck	800	0,14	4,52	-97	
7	B14 Waiblingen Dreieck	800	1,41	4,52	-69	
8	B27 Walddorfhäslach	800	0,55	3,58	.. -85	
9	B27 Echterdingen	800	2,46	3,58	-30	
10	B27 Echterdingen (A8)	800	16,68	3,58	+369	
11	B27 Hohenzollern	800	13,23	4,62	+186	3,8
12	B29 Lorch-West	800	kein Unfall			
13	B29 Lorch-Ost 1	800	1,20	4,78	-75	
14	B29 Lorch-Ost 2	800	2,62	4,78	-46	
15	B313 Köngen Postfra.1	800	2,87	3,61	-20	
16	B313 Köngen Postfra. 2	800	8,22	3,61	+128	5,0
17	B313 NT-Zizishausen	800	0,01	15,20	-99	
R=900m						
1	B27 Echterdingen (A8)	900	0,93	3,58	-74	
2	B27 Balingen-Süd	900	2,14	4,62	-54	
3	B29 Winterbach 1	887	14,91	4,78	+211	einseitig an $R=\infty$ (L=220m)
4	B29 Winterbach 2	913	20,74	4,78	+334	beidseitig an $R=\infty$ (L ₁ =220m) (L ₂ =1033m)
5	B29 Lorch-Ost	900	kein Unfall			
R=1000m						
1	B10 S-Wangen	1000	1,84	3,16	-42	
2	B10 Sirnau	1000	kein Unfall			
3	B10 Ebersbach	1000	0,15	7,81	-81	
4	B14 AS Benzstr. 1	1000	5,21	4,52	+15	
5	B14 AS Benzstr. 2	1000	1,27	4,52	-72	
6	B14 Winnenden-Süd 1	1000	0,48	4,52	-89	
7	B14 Winnenden-Süd 2	1000	1,34	4,52	-70	
8	B27 Lustnau	1000	2,35	3,58	-34	
9	B27 Plattenhardt	1000	0,99	3,58	-72	
10	B27 Bisingen 1	1000	2,79	4,62	-40	
11	B27 Bisingen 2	1000	kein Unfall			
12	B29 Endersbach	1000	kein Unfall			
13	B29 Schorndorf	1000	kein Unfall			einseitig an $R=\infty$ (L=1033m)

Tabelle 13 Unfallkostenraten von Radienfolgen an autobahnähnlichen Straßen

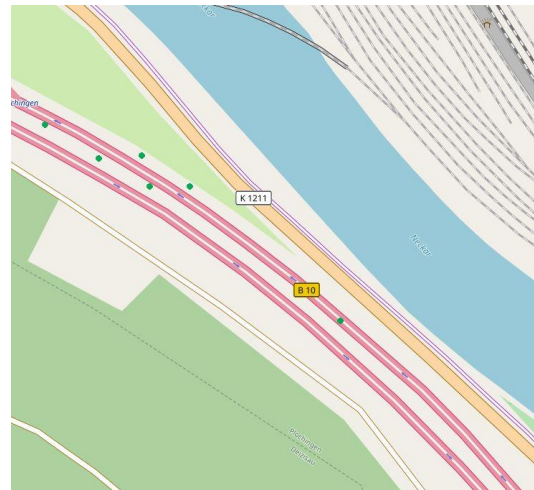
Radienfolgen		Unfallkostenrate Einzelradius [€/1000kfzkm]	Unfallkostenrate Vergleichstrecke UKR _{vgl} [€/1000kfzkm]	Abweichung [%]
B10 Ebersbach	600/600/750	12,24	7,81	+56
B29 Lorch	800/700/750/ 2500/700/800	4,76	4,78	keine Abweichung
B27 Lkr.-grenze Tü/ES bis Abzweig Aichtal (4,5 km)	3000/2500/ 1500/1800	2,28	3,58	-34%

6 Abbildungen

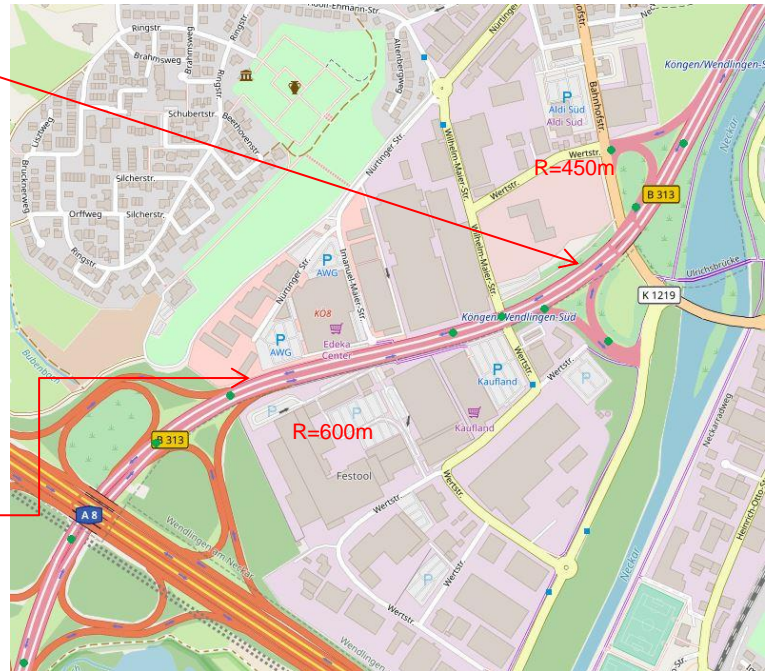
Abbildung 1: Übersichtskarte zu untersuchten Strecken und Einzelradien



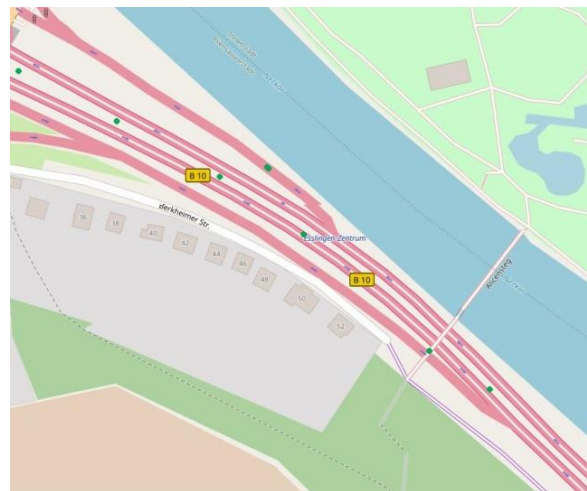
Abbildungen 3a und 3b: Radius $R=400 m$ auf B 10 bei Plochingen



Abbildungen 4 und 5: Radius $R=450\text{ m}$ und $R=600\text{ m}$ auf B 313 bei Köngen



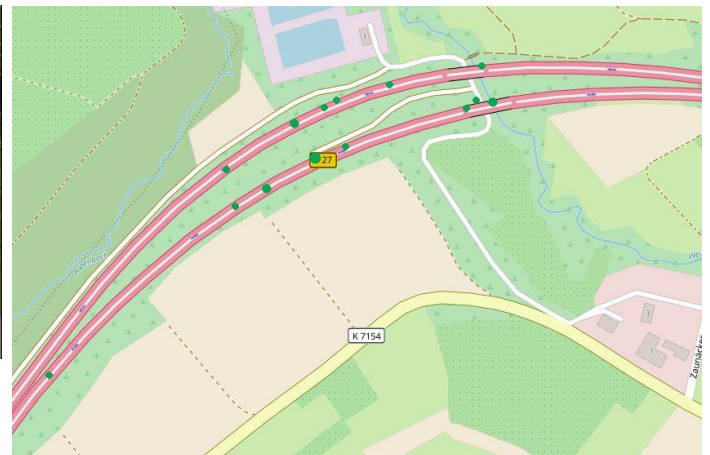
Abbildungen 6 und 7: Radius $R=500\text{ m}$ auf B 10 bei Esslingen-Mitte



Abbildungen 8 und 9: Radius R=500 m auf B 10 bei Esslingen-Weil

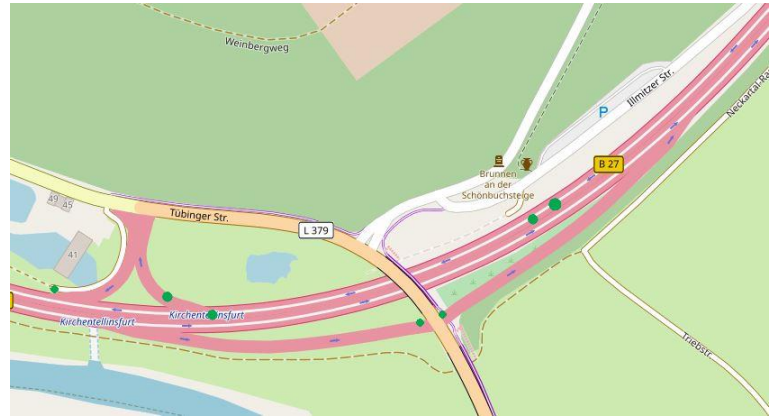


Abbildungen 10 und 11: Radius R=500 m auf B 27 bei Bisingen (Engstlatt)

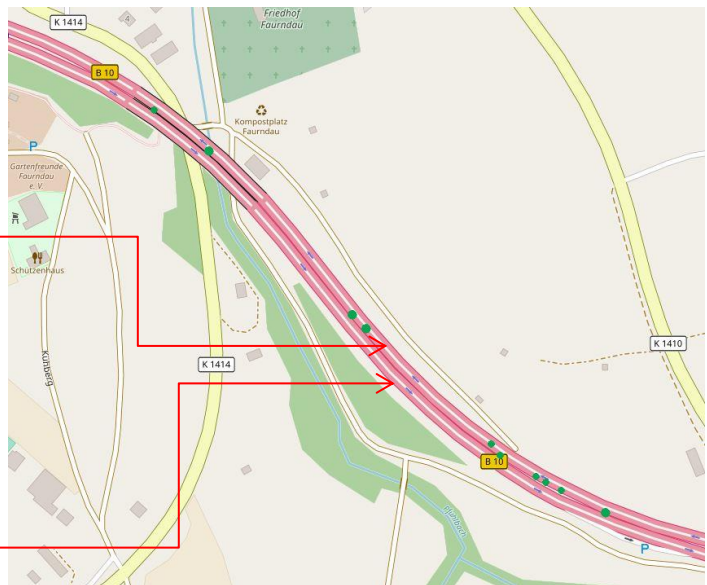


Abbildungen 12 und 13: Radius $R=550$ m auf B 313 bei Nürtingen (Zizishausen)Abbildungen 14 und 15: Radius $R=600$ m auf B 27 bei Hechingen

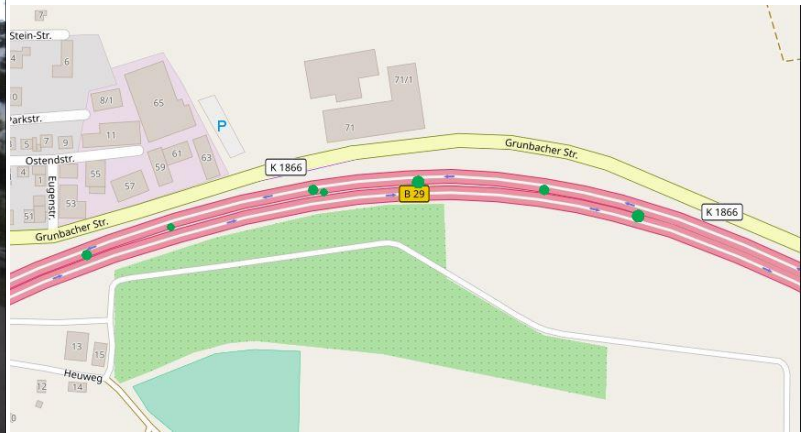
Abbildungen 16 und 17: Radius $R=600$ m auf B 27 bei Kirchentellinsfurt



Abbildungen 18, 19 und 20: Radienfolge $R=600$ m/ $R=650$ m auf B 10 bei Göppingen



Abbildungen 21 und 22: Radius R=600 m auf B 29 bei Remshalden



Abbildungen 23 und 24: Radius R=600 m auf B 10 bei Ebersbach



Abbildungen 25, 26 und 27:
 Radius $R=900\text{ m}$ nach langer Geraden auf B 29 bei Winterbach Ri. Stuttgart



Blick rückwärts auf lange Gerade

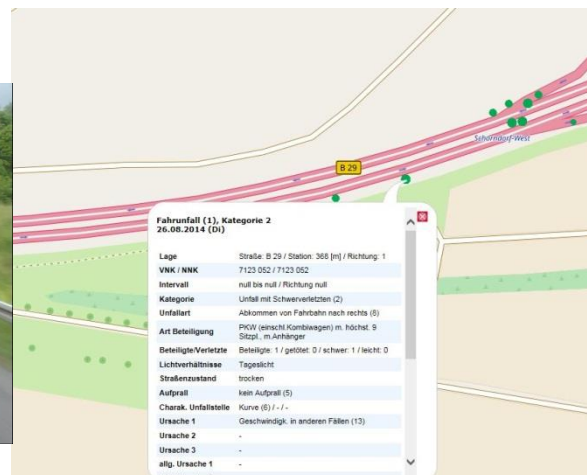


Blick vorwärts auf $R=900\text{ m}$



Abbildungen 28 und 29:

Radius $R=1000\text{ m}$ nach langer Geraden auf B 29 bei Schorndorf Ri. Schwäbisch Gmünd



Abbildungen 30: Radienfolge zwischen R=700m und R=800m bei Lorch

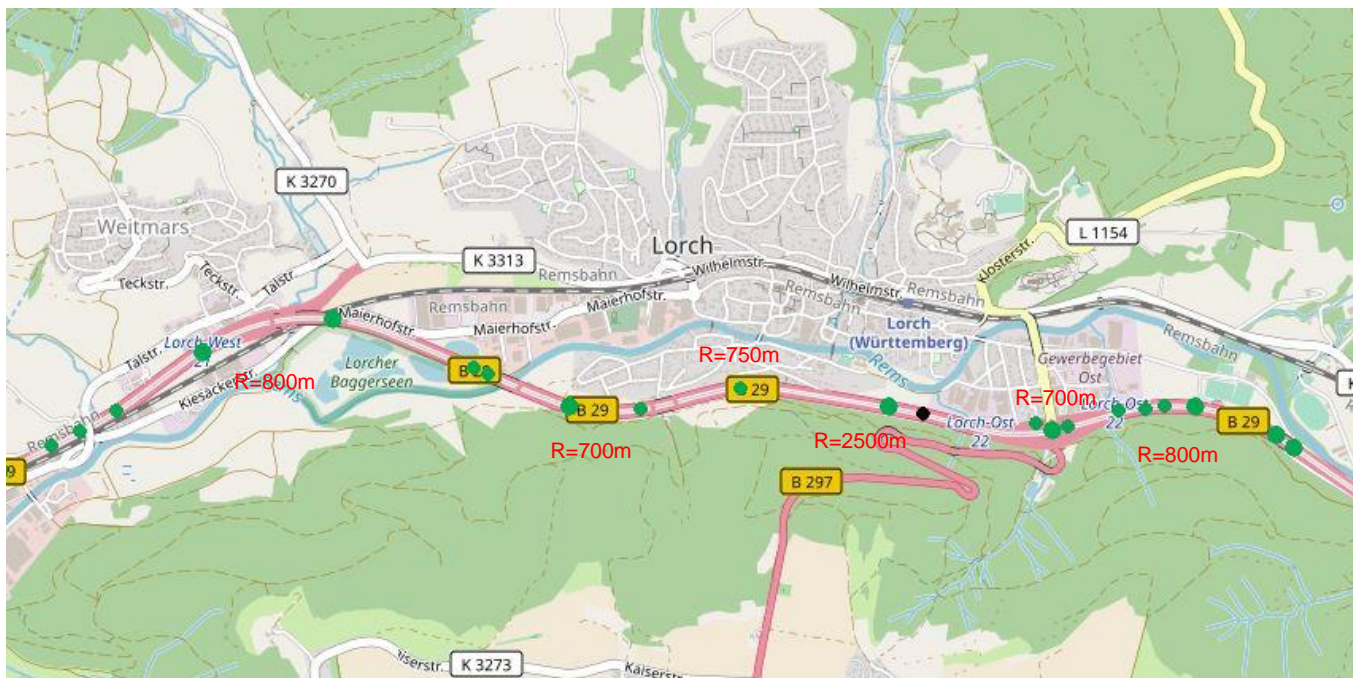
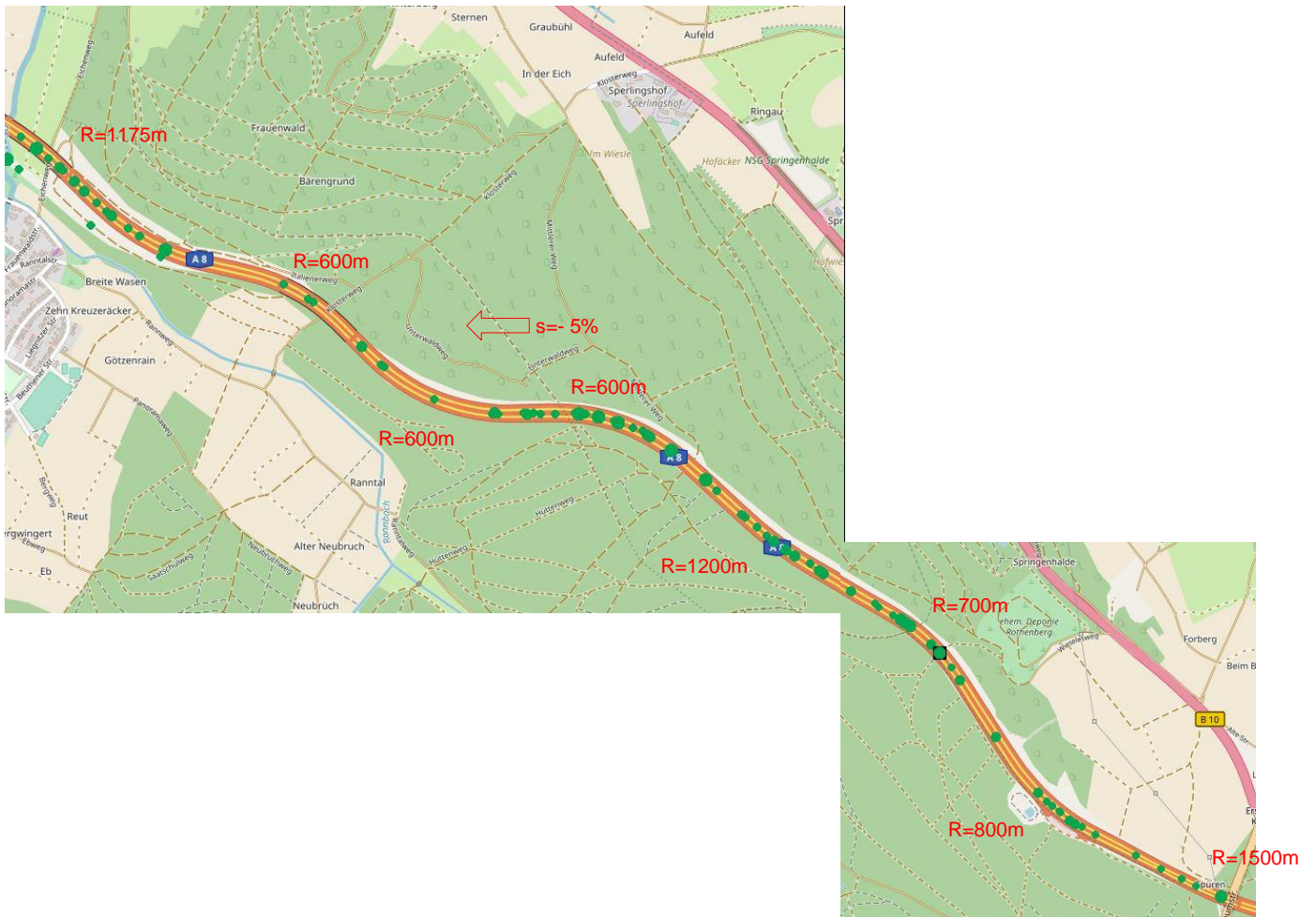


Abbildung 31: Sicht in Rechtskurve R=800m bei Lorch (östl. B 297)



Abbildung 32: Radienfolge mehrerer R=600m, R=700m und R=800m an der A 8 bei Remchingen („Nöttinger Hang“)



7 Literaturverzeichnis

- [1] Sicherheitswirkung geringer Sichtweiten in Linkskurven von Autobahnen, hrsg. BMVBS in Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 886, 2004
- [2] Richtlinie für die Anlage von Autobahnen – RAA 2008, Hrsg. FGSV
- [3] Entwurf der Richtlinie für die Anlage von Landstraßen – (RAL, Fassung 1959) in Straße und Autobahn, Heft 12/1959, Seiten 465-597
- [4] Richtlinie für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung, Abschnitt 1: Elemente der Linienführung, RAS-L-1, Ausgabe 1984, Hrsg. FGSV
- [5] Richtlinie für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung, RAS-L-1, Ausgabe 1995, Hrsg. FGSV
- [6] T. Kathmann, H. Ziegler, M. Pozybill; Einführung eines Verkehrssicherheitscreenings – Sicherheit auf baden-württembergischen Straßen, in Straßenverkehrstechnik, Heft 11/2014, Seiten 767-775
- [7] Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten, Ausgabe 2003, Hrsg. FGSV
- [8] Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM BW) (2016): Breitenanalyse und Berechnung der mittleren Unfallkostenraten in BW (unveröffentlicht), 31 Mai 2016
- [9] M. Pozybill, A. Wolff; Verkehrssicherheitscreening – Mit der gläsernen Straße zur Vision Zero, (geplant in Straßenverkehrstechnik, Heft 11/2018)
- [10] Richtlinien für die Anlage von Landstraßen, Ausgabe 2012, (RAL 2012) Hrsg. FGSV