

**Entwicklung eines Rahmenkonzeptes zur Bewertung der  
Linienführung von Außerortsstraßen nach der Zielfunktion  
Fahrsicherheit**

**Dissertation**

Zur Erlangung des akademischen Grades Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegt der Fakultät Verkehrswissenschaften "Friedrich List"  
der Technischen Universität Dresden

von

**Dipl.-Ing. André Just Sossoumihen**

geboren am 10.11.1960 in Covè (Republik Benin)

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. G. Weise, Technische Universität Dresden

Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Durth, Technische Universität Darmstadt

Dr.-Ing. Th. Räder-Großmann, Ingenieurbüro INVER Erfurt

Tag der Einreichung: 13.10.2000

Tag der Verteidigung: 25.05.2001

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Hintergrund und Zielstellung</b>	<b>4</b>
2.1	Gegenwärtige Situation in der Straßenverkehrssicherheit	4
2.2	Zielstellung und Abgrenzung	10
<b>3</b>	<b>Datengrundlage</b>	<b>13</b>
3.1	Allgemeines	13
3.2	Auswahl der Untersuchungsstrecken und Aufnahme der Streckencharakteristik	13
3.3	Geschwindigkeitsmessungen	18
3.3.1	Verfolgungsfahrten	18
3.3.2	Einsatzfahrten	19
3.4	Auswertung der Meßdaten	20
3.4.1	Fahrdynamische Daten	20
3.4.2	Psycho-physiologische Daten	23
<b>4</b>	<b>Das System Fahrer - Fahrzeug - Straße</b>	<b>25</b>
4.1	Die Glieder des Systems	25
4.1.1	Der Fahrer (Regler)	26
4.1.2	Das Fahrzeug (Regelstrecke)	27
4.1.3	Die Straße (Führungsgröße)	28
4.2.	Der Informationsfluß von der Straße zum Fahrer und Folgerungen für die Sicherheit	29
4.3	Streckencharakteristik und Fahrverhalten	31
4.3.1	Begriffserläuterungen	31
4.3.1.1	Streckencharakteristik	31
4.3.1.2	Fahrverhalten	32
4.3.2	Einfluß ausgewählter Merkmale der Streckencharakteristik auf das Fahrverhalten	33
4.3.2.1	Kurvenradius	33
4.3.2.2	Richtungsänderungswinkel	35
4.3.2.3	Kurvigkeit	36
4.3.2.4	Längsneigung	38
4.3.2.5	Sichtweite	39
4.3.2.6	Querschnittsausbildung	40
4.3.2.7	Zusammenfassung	40

<b>5</b>	<b>Streckencharakteristik und Unfallgeschehen</b>	<b>43</b>
5.1	Unfallkenngrößen	43
5.2	Der Einfluß baulicher Merkmale der Streckencharakteristik auf das Unfallgeschehen	46
5.2.1	Kurvenradius	48
5.2.2	Kurvigkeit	49
5.2.3	Elementfolge	50
5.2.4	Längsneigung	54
5.2.5	Sichtweite	55
5.2.6	Fahrbahnbreite	56
5.3	Zusammenfassung	57
<b>6</b>	<b>Methoden und Ansätze zur Bewertung der Sicherheit von Straßen</b>	<b>59</b>
6.1	Bewertung mit Hilfe von Unfallkenngrößen	59
6.1.1	Querschnittsbezogene Ansätze	59
6.1.2	Bewertung mit Hilfe kritischer Unfallmaßzahlen	62
6.1.3	Bewertung der Sicherheit von Straßennetzen	66
6.1.4	Schlußfolgerungen	68
6.2	Stochastische Bewertungsmethoden	69
6.2.1	Verkehrskonflikttechnik	69
6.2.2	Risikoanalysen	71
6.3	Deterministische Bewertungsmethoden mit Hilfe mittelbarer Kenngrößen	74
6.3.1	Bewertung mit Hilfe von Merkmalen der Streckencharakteristik	74
6.3.2	Bewertung der räumlichen Linienführung	78
6.3.3	Bewertung mit Hilfe von Merkmalen der Fahrverhaltens	83
6.4	Straßensicherheitsaudits	88
6.4.1	Hintergründe, Definition und Ziele	88
6.4.2	Verfahren	89
6.5	Schlußfolgerungen	90

<b>7</b>	<b>Rahmenkonzept für die Bewertung der Fahrsicherheit einbahniger Außerortsstraßen</b>	<b>92</b>
7.1	Anforderungen an ein Bewertungsverfahren für die Fahrsicherheit	92
7.2	Bewertungsphilosophie	94
7.3	Bewertungskriterien	101
7.3.1	Objektiv vorhandene Streckencharakteristik	101
7.3.2	Wahrnehmung der Streckencharakteristik	106
7.3.3	Fahrverhalten	108
7.3.3.1	Geschwindigkeit und daraus abgeleitete Größen	108
7.3.3.2	Gefahrenere Krümmungslinie	113
7.3.3.3	Zusammenfassung	119
7.3.4	Fahrdynamik	120
7.3.4.1	Bewertungsrahmen	120
7.3.4.2	Bewertungskriterium	121
7.4	Zusammenfassung	122
<b>8</b>	<b>Überprüfung der vorgeschlagenen Bewertungsgrößen anhand des Unfallgeschehens</b>	<b>124</b>
8.1	Ermittlung der Bewertungsgrößen	124
8.1.1	Stetigkeit im Lageplan	124
8.1.2	Fahrverhalten	125
8.1.2.1	Geschwindigkeitsverhalten	125
8.1.2.2	Gefahrenere Krümmungslinie	125
8.2	Das Unfallgeschehen auf den Untersuchungsstrecken	126
8.3	Gegenüberstellung der Bewertungsergebnisse mit dem Unfallgeschehen	127
8.3.1	Streckenbezogene Betrachtung	127
8.3.2	Betrachtung einzelner Kurven	133
<b>9</b>	<b>Schlußfolgerungen und Ausblick</b>	<b>136</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	

## **Anhänge**

### **Anhang 1**

- 1.1: Lage der Untersuchungsstrecken im Netz
- 1.2: Vergleich zweier, zeitlich versetzter Sichtweitenmessungen
- 1.3: Sichtweitenbänder
- 1.4: Geschwindigkeits- und Radialbeschleunigungsprofile
- 1.5: Trocken-Naß-Vergleich
- 1.6: Auswertung des Befindlichkeitsfragebogens
- 1.7: Verlauf von Herzfrequenz und Geschwindigkeit

### **Anhang 2**

- 2.1: gebaute und gefahrene Krümmungslinien
- 2.2: Zusammenhang zwischen gefahrenem Kurvenradius ( $R_f$ ) und ausgewählten gebauten Parametern

### **Anhang 3**

- 3.1 Ermittlung der Bewertungsgrößen für die Untersuchungsstrecken
- 3.2 Bewertung der Stetigkeit im Lageplan
- 3.3 Bewertung des Geschwindigkeitsverhaltens
- 3.4 Bewertung der gefahrenen Krümmungslinie

## Verzeichnis der verwendeten Symbole und Abkürzungen

<b>a:</b>	Längsbeschleunigung [ $\text{m/s}^2$ ]
<b>b:</b>	Querb beschleunigung [ $\text{m/s}^2$ ]
<b>EW:</b>	Einwohner
<b><math>f_R</math>:</b>	radialer Kraftschlussbeiwert [-]
<b>g:</b>	Erdbeschleunigung [ $\text{m/s}^2$ ]
<b>K:</b>	Krümmung [ $\text{m}^{-1}$ ]
<b><math>K_E</math>:</b>	Kurvigkeit des Einzelements (Einzelbogen) [gon/km]
<b><math>K_G</math>:</b>	mittlere gewichtete Kurvigkeit [gon/km]
<b>KR:</b>	Konfliktrate [-]
<b>KU:</b>	Kurvigkeit [gon/km]
<b>L:</b>	Streckenlänge [km]
<b><math>L_K</math>:</b>	Länge des Kreisbogens [m]
<b><math>L_{\ddot{U}}</math>:</b>	Länge der Klothoide [m]
<b>Ln:</b>	natürlicher Logarithmus
<b>n:</b>	Anzahl Ausnutzungsgrad des radialen Kraftschlußbeiwertes
<b>P:</b>	Wertung der Stetigkeit für eine Einzelkurve
<b><math>P_{aL}</math>:</b>	Wertung der Längsbeschleunigung
<b><math>P_{vL}</math>:</b>	Wertung der Größe einer Geschwindigkeitsänderung
<b>q:</b>	Querneigung [%]
<b>R:</b>	Kurvenradius [m]
<b><math>R_f</math>:</b>	Radius der gefahrenen Linie [m]
<b><math>R_g</math>:</b>	vorhandener Kurvenradius [m]
<b><math>S_k</math>:</b>	Wertung der gefahrenen Krümmungslinie für eine Einzelkurve
<b><math>S_{K}</math>:</b>	Wertung der gefahrenen Krümmungslinie für einen Streckenabschnitt
<b>SN:</b>	Sicherheitsnote
<b><math>S_{St}</math>:</b>	Wertung der Stetigkeit eines Streckenabschnittes

- STN:** Sicherheitsteilnote
- S<sub>v</sub>:** Wertung des Geschwindigkeitsverhaltens
- S<sub>vL</sub>:** Wertung einer lokalen Geschwindigkeitsänderung
- Tsd:** Tausend
- UD:** Unfalldichte [Unf/(km•a)]
- UKD:** Unfallkostendichte [DM/(km•a)]
- UKR:** Unfallkostenrate [DM/(Tsd.Kfz•km)]
- UR:** Unfallrate [Unf/(Mio Fz•km)]
- α:** Öffnungswinkel des Kreisbogens [gon]
- τ:** Richtungsänderung der Klothoide [gon]
- γ:** Winkeländerung [gon]

## Abbildungsverzeichnis

### Kapitel 1

- Abb. 1.1:** Straßennetzdichten und Einwohnerdichten in ausgewählten europäischen Ländern (klassifiziertes Gesamtnetz)
- Abb. 1.2:** Straßennetzdichten und Einwohnerdichten in den Flächenländern der BRD sowie in ausgewählten europäischen Ländern (Bundes- und Landesstraßen)

### Kapitel 2

- Abb. 2.1:** Unfallrate der Unfälle mit Personenschaden in ausgewählten europäischen Ländern - Stand 1997 -
- Abb. 2.2:** Getötetenrate in ausgewählten europäischen Ländern - Stand 1997 -
- Abb. 2.3:** Entwicklung der Unfälle mit Personenschaden von 1980 bis 1997 in der Bundesrepublik Deutschland
- Abb. 2.4:** Entwicklung der Unfallbelastung (Unfälle mit Personenschaden) von 1980 bis 1997 in der Bundesrepublik Deutschland
- Abb. 2.5:** Entwicklung des Geschwindigkeitsverhaltens in den Neuen Bundesländern am Beispiel einer Staatstraße in Sachsen (Vergleich 1988 / 1994)
- Abb. 2.6:** Verteilung der Unfälle mit Personenschaden auf die Straßenklassen in der Bundesrepublik Deutschland (Stand 1998)
- Abb. 2.7:** Verteilung der Getöteten auf die Straßenklassen in der Bundesrepublik Deutschland (Stand 1998)
- Abb. 2.8:** Verteilung von Unfallzahl und Unfallkosten auf die Unfalltypen in der Bundesrepublik Deutschland (1995)
- Abb. 2.9:** Verteilung von Unfallzahl und Unfallkosten auf die Unfallarten in der Bundesrepublik Deutschland (1995)
- Abb. 2.10:** Geltungsbereiche der Begriffe Fahrsicherheit und Verkehrssicherheit

### Kapitel 3

- Abb. 3:** Häufigkeitsverteilung der gemessenen Sichtweiten

### Kapitel 4

- Abb. 4.1:** Das kybernetische System Fahrer-Fahrzeug-Straße nach DURTH (1972)
- Abb. 4.2:** 3-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung nach DONGES (1978)
- Abb. 4.3:** Größenordnung der Zuflußkapazitäten zum menschlichen Gehirn nach DURTH (1972)
- Abb. 4.4:** MILLER-Diagramm zur Darstellung von Informationsgehalten nach BRINGIOTI (1967)
- Abb. 4.5:** Mögliche Überlagerungen der Informationsgehalte nach DURTH (1972)
- Abb. 4.6:** Zusammenhang Geschwindigkeit  $V_{85}$  Kurvenradius R
- Abb. 4.7:** Zusammenhang zwischen Kurvenradius und Bemessungsgeschwindigkeit in Richtlinien ausgewählter europäischer Länder



- Abb. 4.8:** Zusammenhang Geschwindigkeit  $V_{85}$  - spezifische Richtungsänderung  $\alpha/R$
- Abb. 4.9:** Zusammenhang Geschwindigkeit  $V_{85}$  - Kurvigkeit
- Abb. 4.10:** Zusammenhang zwischen Kurvigkeit  $KU$ , Fahrbahnbreite  $B$  und Geschwindigkeit  $V_{85}$  bei einbahnig zweistreifigen Straßen der Kategoriengruppe A (FGSV 1995)
- Abb. 4.11:** Zusammenhang zwischen Längsneigung und Bemessungsgeschwindigkeit in den Entwurfsrichtlinien Frankreichs und Österreichs

## Kapitel 5

- Abb. 5.1:** Unfallrate in den einzelnen Radienklassen nach KREBS / KLÖCKNER (1977) und LEUTZBACH / ZOELLMER (1989)
- Abb. 5.2:** Unfallrate in den einzelnen Kurvigkeitsklassen nach KREBS / KLÖCKNER (1977) und LEUTZBACH / ZOELLMER (1989)
- Abb. 5.3:** Unfallrate in Abhängigkeit vom Radienverhältnis nach LEUTZBACH / ZOELLMER (1989)
- Abb. 5.4:** Unfallrate in Abhängigkeit der Elementfolge Gerade - Kurve nach LEUTZBACH / ZOELLMER (1989)
- Abb. 5.5:** Unfälle in Kurvenfolgen (DURTH / WEISE ET AL, 1995)
- Abb. 5.6:** Unfallrate in den einzelnen Längsneigungsklassen nach KREBS / KLÖCKNER (1977) und LEUTZBACH / ZOELLMER (1989)
- Abb. 5.7:** Unfallrate in den einzelnen Sichtweitenklassen nach KREBS / KLÖCKNER (1977)
- Abb. 5.8:** Unfallrate in den einzelnen Fahrbahnbreitenklassen nach KREBS / KLÖCKNER (1977) und LEUTZBACH / ZOELLMER (1989)

## Kapitel 6

- Abb. 6.1:** Unfallkostenrate (UKR) der verschiedenen Regelquerschnitte nach RAS-Q 96 (Preisstand 1995)
- Abb. 6.2:** Barwerte der längenbezogenen Unfallkosten (UKL) der verschiedenen Regelquerschnitte in Abhängigkeit des DTV für Streckenabschnitte nach RAS-Q 96 (Preisstand 1995)
- Abb. 6.3:** Die Verkehrsbegegnungen und ihre Indikatoren (ZIMOLONG, 1982)
- Abb. 6.4:** Phasen der Unfallentstehung nach BALD (1991)
- Abb. 6.5:** Prozeßablauf am Beispiel „Hindernis auf der Fahrbahn“ (DURTH / BALD 1987)
- Abb. 6.6:** Ermittlung der Streckenqualität nach DURTH, WEISE ET AL. (1996)
- Abb. 6.7:** Einordnung der Abbildungsverzerrung in den Planungsablauf nach APPELT (1998)
- Abb. 6.8:** Modulares Bewertungssystem für die Linienführung von Straßen nach WEISE (1987)

## Kapitel 7

- Abb. 7.1:** Modellierung der Bewegung eines unbehinderten Fahrzeuges nach SOSSOUMIHEN / BAKABA (1999)
- Abb. 7.2:** Planungsphasen und Planungsziele nach RAS-L, 1995
- Abb. 7.3:** Die Komponenten des Regelkreises Fahrer-Fahrzeug-Straße und ihre Beziehungen
- Abb. 7.4:** Bewertungsebenen und mögliche Bewertungskriterien
- Abb. 7.5:** Grundschemata für die Bewertung der Linienführung nach der Zielfunktion Fahrsicherheit
- Abb. 7.6:** Transformation von Indikatorwerten zur Beschreibung eines Zustandes nach STEIERWALD / SCHÖNHARTING ET AL (1986)
- Abb. 7.7:** Definition des Anspruchsniveaus in Abhängigkeit der Straßenkategorie
- Abb. 7.8:** Zusammenhang zwischen Kurvengeschwindigkeit und Kurvigkeit der Einzelkurve nach STEYER / SOSSOUMIHEN (1997)
- Abb. 7.9:** Zusammenhang zwischen Annäherungsgeschwindigkeit und mittlerer gewichteter Kurvigkeit nach STEYER / SOSSOUMIHEN (1997)
- Abb. 7.10:** Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsverhältnis und Kurvigkeitsdifferenz
- Abb. 7.11:** Transformation der Indikatorwerte zur Bewertung der Stetigkeit im Lageplan
- Abb. 7.12:** Transformation der Indikatorwerte zur Bewertung der Abbildungsverzerrung
- Abb. 7.13:** Transformation der Indikatorwerte zur Bewertung der Stetigkeit im Geschwindigkeitsverlauf
- Abb. 7.14:** Häufigkeitsverteilung gemessener Längsbeschleunigungen (Verfolgungsfahrten)  
(Datenquelle: DURTH / WEISE ET AL., 1995)
- Abb. 7.15:** Häufigkeitsverteilung gemessener Längsverzögerungen (Verfolgungsfahrten)  
(Datenquelle: DURTH / WEISE ET AL., 1995)
- Abb. 7.16:** Transformation der Indikatorwerte zur Bewertung der Längsverzögerung
- Abb. 7.17:** Bewertungsschema Geschwindigkeitsverhalten
- Abb. 7.18:** Häufigkeitsverteilung des Verhältnisses  $R_f / R_g$
- Abb. 7.19:** Transformation der Indikatorwerte zur Bewertung der gefahrenen Krümmungslinie
- Abb. 7.20:** Transformation der Indikatorwerte zur Bewertung der Kraftschlußausnutzung
- Abb. 7.21:** Zusammenfassung der behandelten Bewertungskriterien

## **Kapitel 8**

- Abb. 8.1:** Stetigkeit im Lageplan und Unfallgeschehen (streckenbezogene Betrachtung)
- Abb. 8.2:** Geschwindigkeitsdifferenz und Unfallgeschehen (streckenbezogene Betrachtung)
- Abb. 8.3:** Längsverzögerung und Unfallgeschehen (streckenbezogene Betrachtung)
- Abb. 8.4:** Geschwindigkeitsverhalten und Unfallgeschehen (streckenbezogene Betrachtung)
- Abb. 8.5:** Gefahrene Krümmungslinie und Unfallgeschehen (streckenbezogene Betrachtung)
- Abb. 8.6:** Bewertungsgrößen und Unfallgeschehen (Einzelkurven)
- Abb. 8.7:** Gütebereiche und Unfallgeschehen (Einzelkurven)

## **Kapitel 9**

- Abb. 9:** Gesamtrahmen für die Bewertung der Linienführung von Außerortsstraßen nach der Zielfunktion Fahrsicherheit

## **Tabellenverzeichnis**

### **Kapitel 2**

**Tab. 2:** Modellvorstellungen zum unbehindert fahrenden Pkw

### **Kapitel 3**

**Tab. 3.1:** Zusammenstellung der Untersuchungsstrecken in Sachsen

**Tab. 3.2:** vorhabensrelevante Probandendaten

**Tab. 3.3:** Zusammenstellung der Mittelwerte der Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Einsatz- und Verfolgungsfahrten

### **Kapitel 4**

**Tab. 4:** Einflußgrößen für die Geschwindigkeitsermittlung aus verschiedenen Quellen

### **Kapitel 5**

**Tab. 5.1:** Unfalltypen nach FGSV, 1991

**Tab. 5.2:** Unfallbegünstigende Elementgrößen bzw. -kombinationen

### **Kapitel 6**

**Tab. 6.1:** Sicherheitsgrade der Straßentypen nach BITZL (1964)

**Tab. 6.2:** Arten von Unfallhäufungen, maßgebende Karten und Kriterien für das Erkennen von Auffälligkeiten (ECKSTEIN / MEEWES, 1998)

**Tab. 6.3:** Grenzwerte für Unfallhäufungsstellen UHS (ECKSTEIN / MEEWES, 1998)

**Tab. 6.4:** Unfallhäufungsstellenkategorien sowie Unterscheidungen in Massenhäufungsstellen und "normale Unfallhäufungsstellen" (ECKSTEIN / MEEWES, 1998)

**Tab. 6.5:** Zuordnung von Unfallkosten(dichte)-Differenz und VSQ-Stufe

**Tab. 6.6:** Arbeitsschritte und Kenngrößen im Rahmen der VSP nach MEEWES/ BUTTERWEGGE (1996)

**Tab. 6.7:** Klassifizierungsvorschlag für das erste Sicherheitskriterium nach LAMM / GÜNTHER / STEFFEN (1992)

**Tab. 6.8:** Klassifizierungsvorschlag für das zweite Sicherheitskriterium nach LAMM / GÜNTHER / STEFFEN (1992)

**Tab. 6.9:** Klassifizierungsvorschlag für das dritte Sicherheitskriterium nach LAMM et Al. (1995)

**Tab. 6.10:** Der übergeordnete Sicherheitsmodul nach LAMM / GÜNTHER / STEFFEN (1992)

**Tab. 6.11:** Beteiligte am Auditverfahren und ihre Verantwortungsbereiche

## **Kapitel 7**

**Tab. 7.1:** Wertung der Stetigkeit für eine Lageplankurve

**Tab. 7.2:** Wertung der Abbildungsverzerrung

**Tab. 7.3:** Wertung der Stetigkeit im Geschwindigkeitsverlauf

**Tab. 7.4:** Wertung der Längsverzögerung

**Tab. 7.5:** Korrelationskoeffizienten zwischen gefahrenem Kurvenradius und ausgewählten gebauten Parametern

**Tab. 7.6:** Wertung der gefahrenen Krümmungslinie

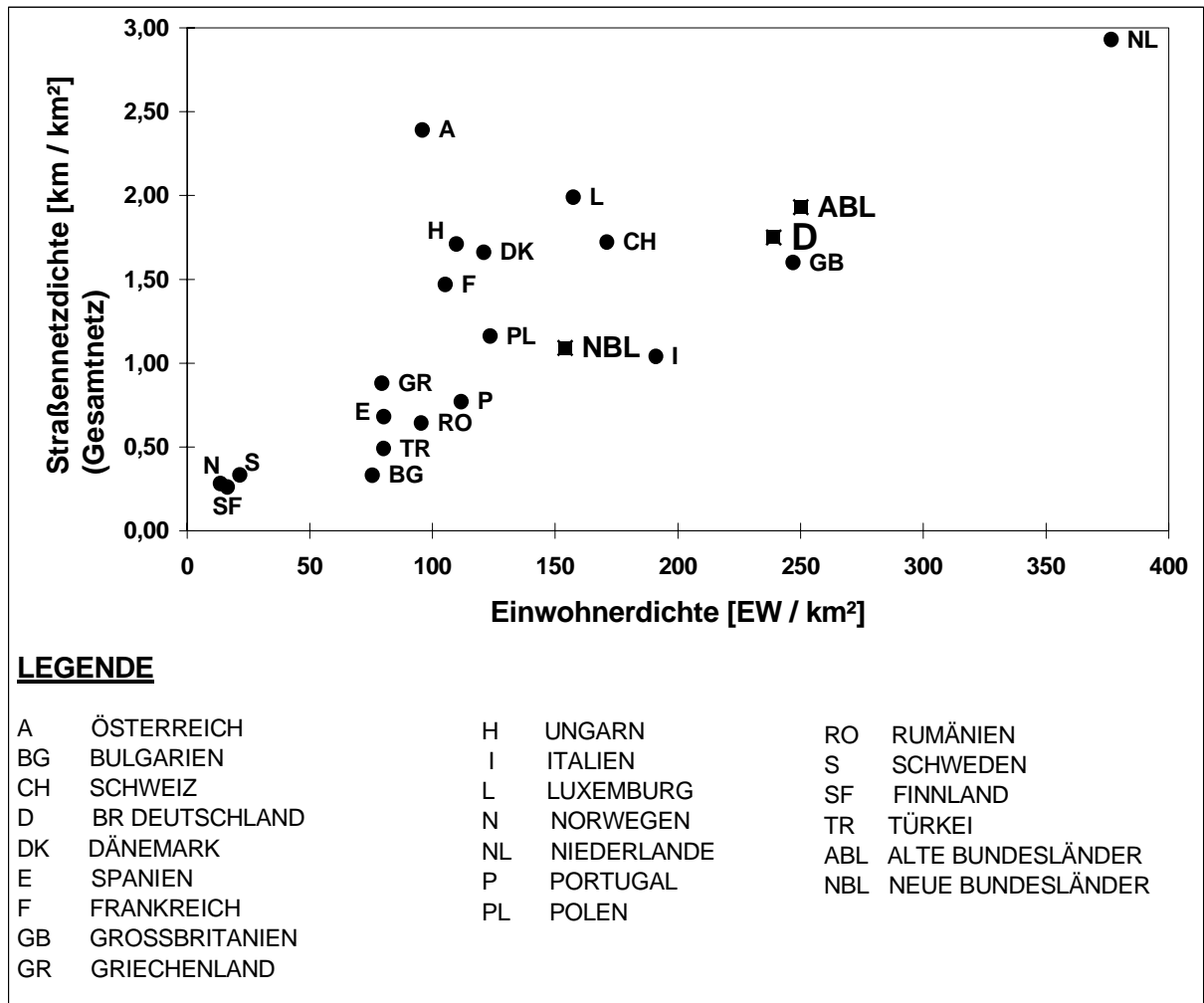
**Tab. 7.7:** Wertung der Kraftschlußausnutzung

## **Kapitel 8**

**Tab. 8:** Allgemeine Unfallcharakteristik der Untersuchungsstrecken

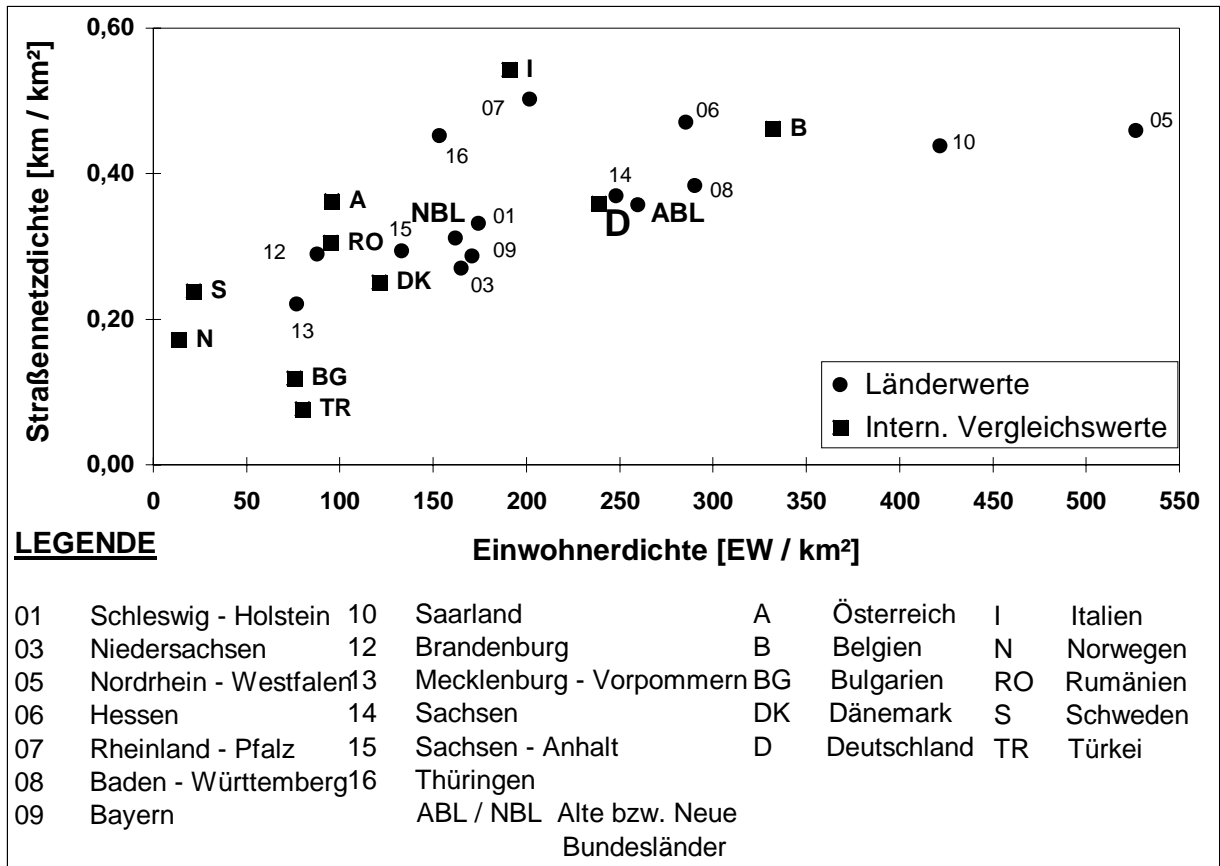
## 1. Einleitung

Das Straßennetz der Bundesrepublik Deutschland hat eine Gesamtlänge von 626 065 km (DER ELSNER, 2000). Das entspricht einer Dichte von ca. 1,75 km Straße pro km<sup>2</sup> Fläche, die einen relativ hohen Erschließungsgrad ausdrückt. Daß dieses Netz europäischen Ansprüchen genügt, kann mit Abb. 1.1 belegt werden, in der die Straßennetzdichte (km/km<sup>2</sup>) der Einwohnerdichte (EW/km<sup>2</sup>) gegenübergestellt ist (WEISE, 1987; WEISE, KLEINSCHMIDT, SOSSOUMIHEN, 1998).



**Abb. 1.1:** Straßennetzdichten und Einwohnerdichten in ausgewählten europäischen Ländern (klassifiziertes Gesamtnetz)  
(Datenquelle: DER ELSNER, 1998)

Das Ergebnis ist ebenso eindeutig, wenn ausschließlich die klassifizierten Außerortsstraßen (Bundes-, Staats- bzw. Landesstraßen) miteinander verglichen werden (Abb. 1.2). Mit 0,36 km/km<sup>2</sup> liegt die Bundesrepublik Deutschland auch hier im Trend ausgewählter europäischer Länder, ebenso wie die Neuen Bundesländer mit ca. 0,32 km/km<sup>2</sup> (WEISE, 1987; WEISE, KLEINSCHMIDT, SOSSOUMIHEN, 1998).



**Abb. 1.2:** Straßennetzdichten und Einwohnerdichten in den Flächenländern der BRD sowie in ausgewählten europäischen Ländern (Bundes- und Landesstraßen) (Datenquelle: DER ELSNER, 1998)

Schlußfolgernd aus dieser kurzen Netz betrachtung kann generell gesagt werden, daß sowohl das Gesamtstraßennetz als auch das Netz der klassifizierten Außerortsstraßen ausreichend dicht ist, um die verkehrlichen Erschließungs- und Verbindungsfunktionen zu gewährleisten. Das gilt gleichermaßen für die Alten wie für die Neuen Bundesländer.

Bis auf einige infolge der deutschen Einigung erforderlich gewordene Lückenschlüsse im Autobahn- und Schnellstraßennetz vor allem auf den Ost-West-Achsen, sind umfangreiche Netzerweiterungen nicht notwendig. Außerhalb des Autobahnnetzes wird das Hauptaugenmerk im Straßenbau künftig auf der Anpassung bestehender Straßen an die modernen Verkehrsbedürfnisse und einer geringfügigen Ergänzung des bestehenden Netzes (Ortsumfahrungen, Erschließung von Wohn- und Industriestandorten) liegen. Diesbezüglich besteht in den Neuen Bundesländern gegenüber dem früheren Bundesgebiet ein erheblicher Nachholbedarf (WEISE, 1990; WEISE, KLEINSCHMIDT, SOSSOUMIHEN, 1998).

Die dramatische Entwicklung des Unfallgeschehens in den Neuen Bundesländern nach 1990 verleiht dieser Aufgabe eine besondere Bedeutung, denn diese Entwicklung ist unter anderem ein Ausdruck für die Diskrepanz zwischen Anlagengestaltung (Linienführung, Fahrbahneigenschaften) und den Anforderungen des modernen Straßenverkehrs. Hier sind Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit dringend erforderlich.

Dazu müssen, neben den restriktiven und erzieherischen Maßnahmen, auch Verbesserungen an der geometrischen und räumlichen Gestaltung erfolgen. Diese Verbesserungen sollen sich nicht nur auf die Beseitigung der durch hohe Unfallkonzentrationen erkennbaren neuralgischen Punkte beschränken, sondern darauf orientiert sein, auf einem durchgehenden Straßenzug eine möglichst gleichbleibend hohe Sicherheit unter Berücksichtigung der Wertigkeit der entsprechenden Straße im Netz zu sichern.

Dem Ziel der Verbesserung der Sicherheit auf Außerortsstraßen wurden in den letzten Jahren international eine große Anzahl von Forschungsarbeiten gewidmet. In der Bundesrepublik Deutschland nehmen sie sogar den größten Umfang der Forschung im Straßenentwurf ein. Trotzdem gibt es weder einen Sicherheitsvergleich Vorher/Nachher, noch einen Sicherheitsnachweis in den Entwurfsvorschriften, weder für Neubau-, noch für Ausbaustrecken (DURTH, LIPPOLD, 1993).

Während richtliniengerechte Neubaustrecken ein relativ hohes Sicherheitsniveau aufweisen, ist ein solcher Nachweis insbesondere für vorhandene Strecken, die in absehbarer Zeit nicht richtliniengerecht ausgebaut werden können, dringend erforderlich. Nur über diesen Weg können die Gefahren, die die bisherige Ausbaupraxis (Wiederherstellung der Befahrbarkeit durch Deckenerneuerung und geringfügige Fahrbahnverbreiterung) in sich bergen kann, objektiv eingeschätzt und abgewendet werden.

Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab, hierzu ein Rahmenkonzept aufzustellen. Als Sicherheitsstandard wird die „Fahrsicherheit“ definiert. Damit werden bewußt alle dichtebezogenen Einflußgrößen auf den Fahrablauf ausgeklammert, so daß ausschließlich die Zusammenhänge zwischen Linienführung und Fahreigenschaften unbehinderter Pkw betrachtet werden.

Im ersten Teilkomplex der Arbeit werden das kybernetische System Fahrer-Fahrzeug-Straße als Ausgangsmodell sowie der Informationsverarbeitungsprozeß beim Fahrvorgang analysiert und entsprechende Folgerungen für die Fahrsicherheit abgeleitet.

Der zweite Teilkomplex befaßt sich mit einer kritischen Betrachtung bisheriger Bewertungsverfahren bzw. -ansätze. Daraus werden die Anforderungen an das angestrebte Bewertungsverfahren formuliert.

Im dritten Teilkomplex der Arbeit wird ein Rahmenkonzept vorgeschlagen. Darin werden Bewertungsphilosophie sowie Bewertungsebenen und mögliche Bewertungskriterien vorgestellt.

Die Arbeit schließt mit einer praktischen Anwendung des vorgeschlagenen Konzeptes an ausgewählten Strecken ab. Hierzu werden Daten verwendet, die im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte des Lehrstuhls Planung und Entwurf von Straßenverkehrsanlagen und Anlagen des Luftverkehrs der Technischen Universität Dresden erhoben wurden.



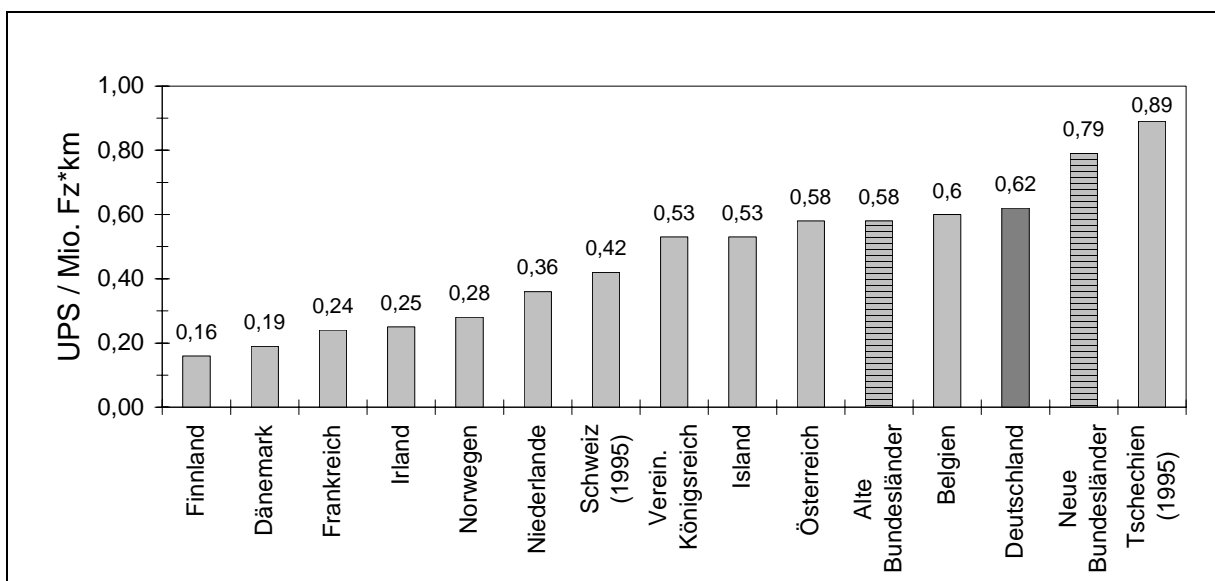
## 2. Hintergrund und Zielstellung

### 2.1 Gegenwärtige Situation in der Straßenverkehrssicherheit

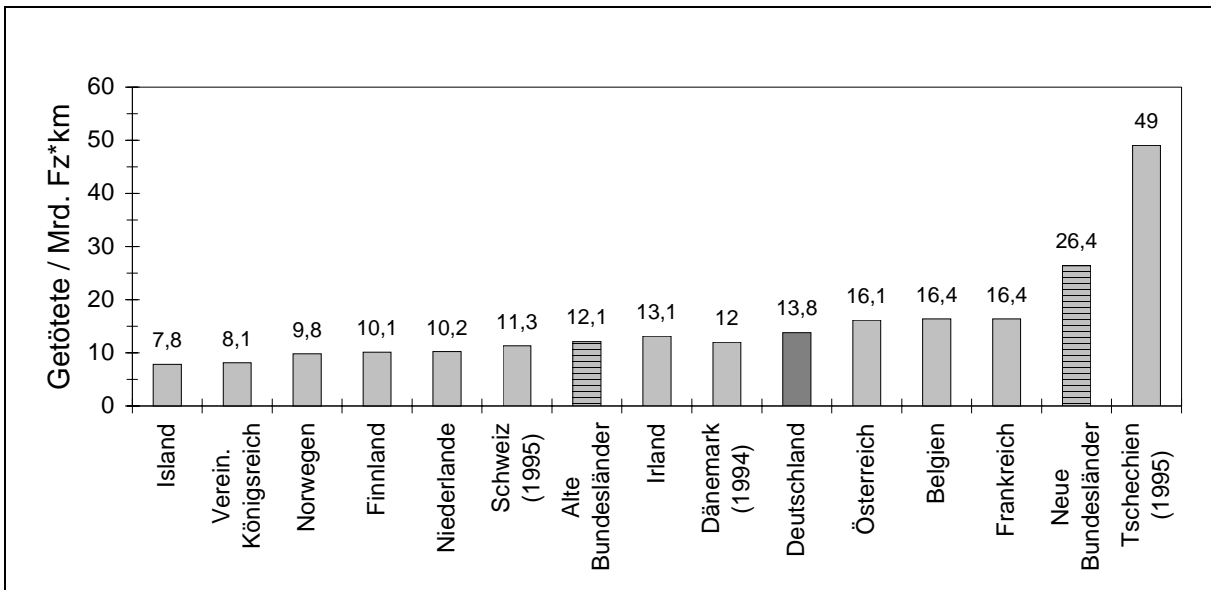
In der ganzen Welt werden jährlich über 500.000 Tote und mehr als 50 Millionen Schwerverletzte im Straßenverkehr beklagt (WEGMAN ET AL., 1996). In den Ländern der Europäischen Gemeinschaft gab es 1993 etwa 46.000 Getötete im Straßenverkehr (Der ELSNER, 1998). 1997 geschahen in der Bundesrepublik Deutschland nach Angaben im statistischen Jahrbuch 1999 (STATISTISCHES BUNDESAMT, 1999) über zwei Millionen Straßenverkehrsunfälle, bei denen 7792 Menschen starben.

Abb. 2.1 zeigt die Unfallrate der Unfälle mit Personenschaden, Abb. 2.2 die Getötetenrate in ausgewählten europäischen Ländern für das Jahr 1997. Grundlage für die angeführten Getötetenzahlen ist der 30-Tage Erfassungszeitraum. Einzelne Abweichungen hiervon wurden durch entsprechende Korrekturfaktoren angeglichen. Bei Betrachtung der Unfälle mit Personenschaden (Abb. 2.1) zeigen Tschechien, die Bundesrepublik Deutschland und Belgien die schlechtesten Werte.

Bei den Getötetenzahlen (Abb. 2.2) belegt die Bundesrepublik Deutschland Rang 9 von 13. Die beiden Bilder machen deutlich, daß die Verkehrssicherheitssituation der Bundesrepublik Deutschland, im europäischen Kontext betrachtet, nicht befriedigend ist. Sie machen aber zugleich große Unterschiede zwischen den Alten und den Neuen Bundesländern, vor allem bei den Getötetenzahlen, deutlich. Während die Getötetenrate in den Alten Bundesländern um ca. 16% niedriger liegt, ist sie in den Neuen Bundesländern fast doppelt so hoch wie im bundesdeutschen Durchschnitt. Dieses Verhältnis ist ein Beleg dafür, daß in den Neuen Bundesländern ein großer Nachholbedarf in der Verkehrssicherheitsarbeit besteht.

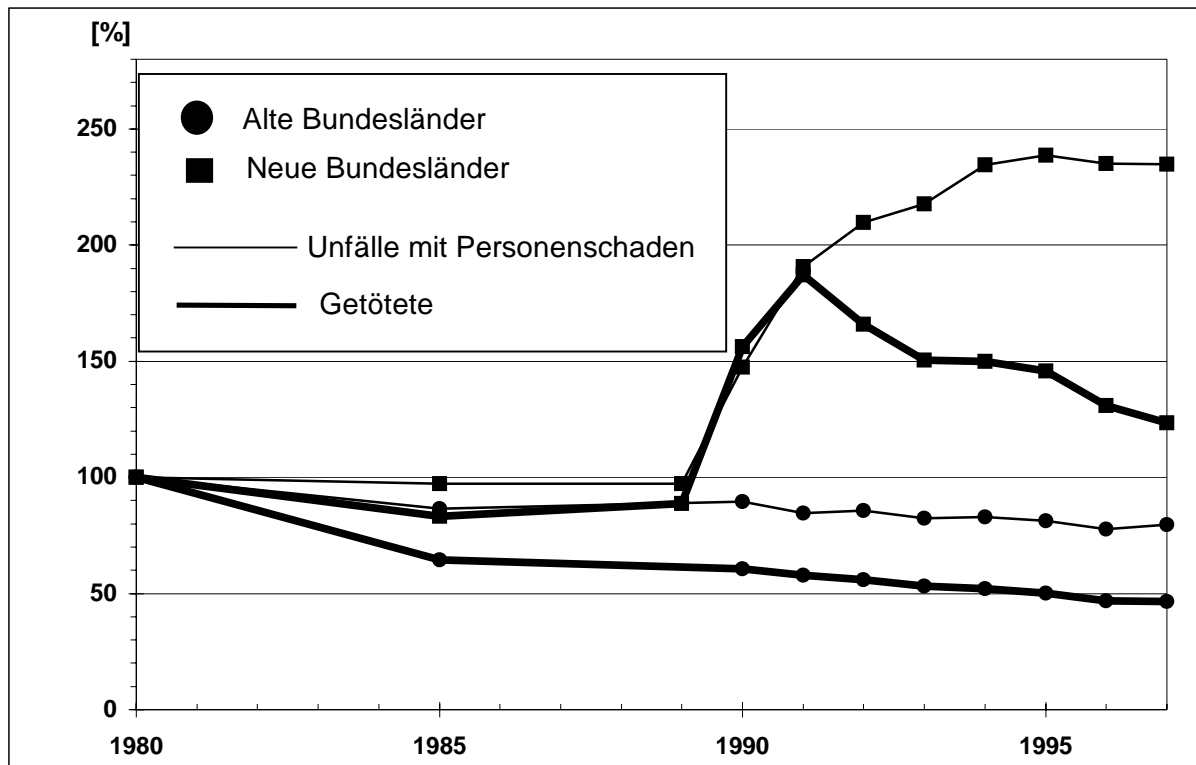


**Abb. 2.1:** Unfallrate der Unfälle mit Personenschaden in ausgewählten europäischen Ländern - Stand 1997 - (Datenquelle: OECD, 1999)



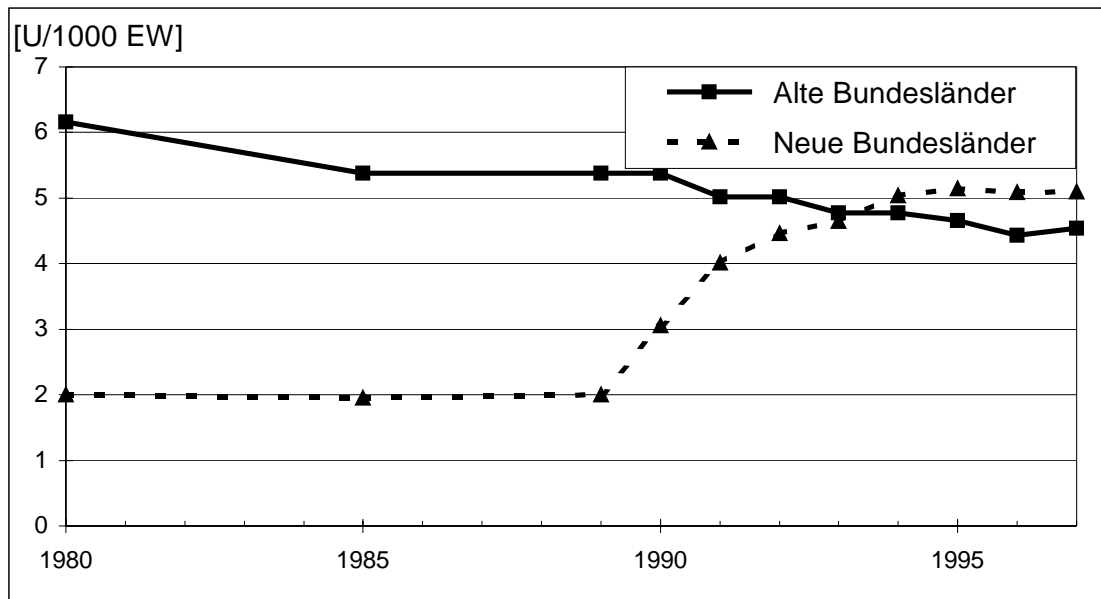
**Abb. 2.2:** Getötetenrate in ausgewählten europäischen Ländern - Stand 1997 - (Datenquelle: OECD, 1999)

In Abb. 2.3 ist die Entwicklung der Unfälle mit Personenschaden und in Abb. 2.4 die Entwicklung der Unfallbelastung für die Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1980 bis 1997 dargestellt. Während für das frühere Bundesgebiet alle angegebenen Größen einen relativ stetigen Rückgang aufweisen, zeigt sich für die Neuen Bundesländer zunächst eine gewisse Stabilität bis 1989. Für WEISE (1990) ist diese Stabilität jedoch nur der Ausdruck für ein kritisches und damit labiles Gleichgewicht im kybernetischen Regelsystem. Nach seiner Auffassung hatten geringe Fahrbahn- und Fahrtraumbreiten in Verbindung mit einem ungenügenden Fahrbahnzustand und einem veralteten Fahrzeugpark ein relativ niedriges Geschwindigkeitsniveau zur Folge, bei dem die Mängel der Linienführung (zu geringe Parameter, unausgewogene Geometrie) nicht oder nur in begrenztem Maße risikofördernd wirkten. Ausgehend von der Annahme, daß eine Änderung nur einer Komponente dieses Regelsystems zwangsläufig zur Störung des bezeichneten Gleichgewichtes führen müßte, formulierte er die Hypothese, daß mit dem sprunghaften Anstieg leistungsstarker Pkw nach Öffnung der innerdeutschen Grenzen eine Erhöhung des Unfallrisikos als Ausdruck der Gleichgewichtsstörung eintreten würde. Die Entwicklung der Unfallzahlen nach 1989 (Abb. 2.3 und 2.4) bestätigt diese Hypothese.

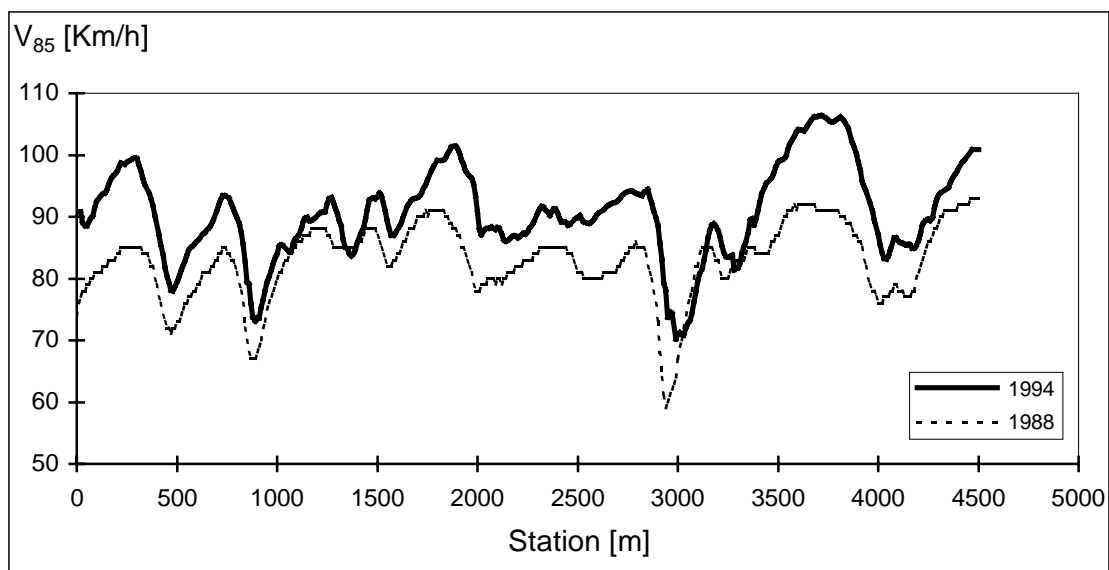


**Abb. 2.3:** Entwicklung der Unfälle mit Personenschaden von 1980 bis 1997 in der Bundesrepublik Deutschland (1980 = 100%)  
Datenquellen: - Der ELSNER, 1998  
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 1999

Der sprunghafte Anstieg der dargestellten Größen dürfte, wie von WEISE 1990 vermutet, unter anderem von einer drastischen Erhöhung der gefahrenen Geschwindigkeiten herrühren. Abb. 2.5 zeigt diese Entwicklung im Geschwindigkeitsverhalten am Beispiel einer Staatsstraße in Sachsen. Die Eingangsdaten wurden jeweils aus Einsatzfahrten mit einem vergleichbaren Probandenkollektiv (Studenten) erhoben. Die Entwicklung des Geschwindigkeitsverhaltens und des Unfallgeschehens deutet auf eine starke Wechselwirkung zwischen Fahrgeschwindigkeit und Sicherheit bei Infrastrukturmerkmalen mit niedrigen Parametern hin. Für die vorliegende Arbeit bilden diese Erkenntnisse eine entscheidende Grundlage.



**Abb. 2.4:** Entwicklung der Unfallbelastung (Unfälle mit Personenschaden) von 1980 bis 1997 in der Bundesrepublik Deutschland  
Datenquellen: - Der ELSNER, 1998  
- STATISTISCHES BUNDESAMT, 1999

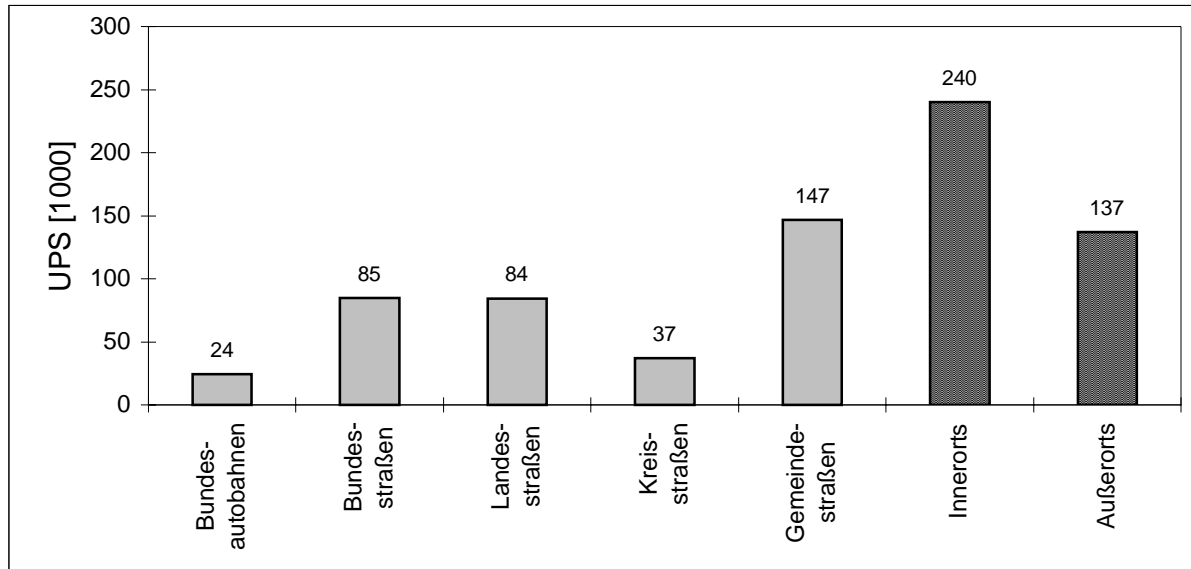


**Abb. 2.5:** Entwicklung des Geschwindigkeitsverhaltens in den Neuen Bundesländern am Beispiel einer Staatstraße in Sachsen (Vergleich 1988 / 1994) (WEISE, KLEINSCHMIDT, SOSSOUMIHEN, 1998)

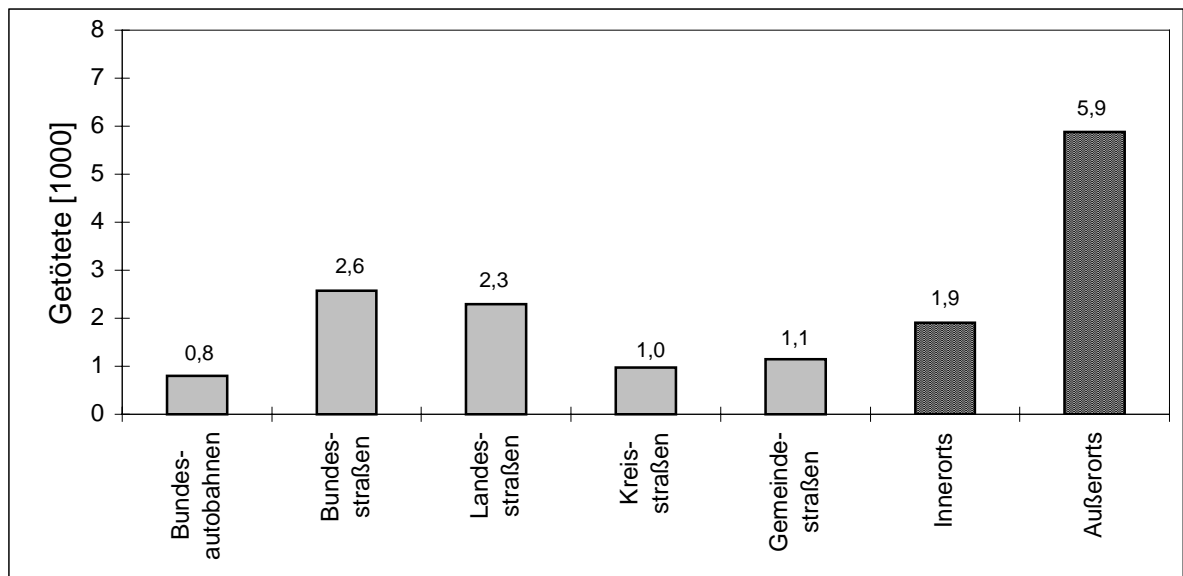
Dem Rückgang der Getötetenzahlen in den Neuen Bundesländer nach 1991 (Abb. 2.3) steht ein weiterer Anstieg der Anzahl der Unfälle mit Personenschaden bis 1995 gegenüber. Erst von da an scheint sich eine gewisse Stabilisierung abzuzeichnen.

Hinsichtlich der Unfallbelastung (Abb. 2.4) ist 1993 die „Angleichung“ der Neuen Bundesländer an das Niveau des früheren Bundesgebietes erfolgt, so daß beide Teile Deutschlands gegenwärtig eine annähernd gleich hohe Unfallbelastung aufweisen.

Abb. 2.6 zeigt die Verteilung der Unfälle mit Personenschaden und Abb. 2.7 die Verteilung der Getöteten über die Straßenklassen in der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 1998.



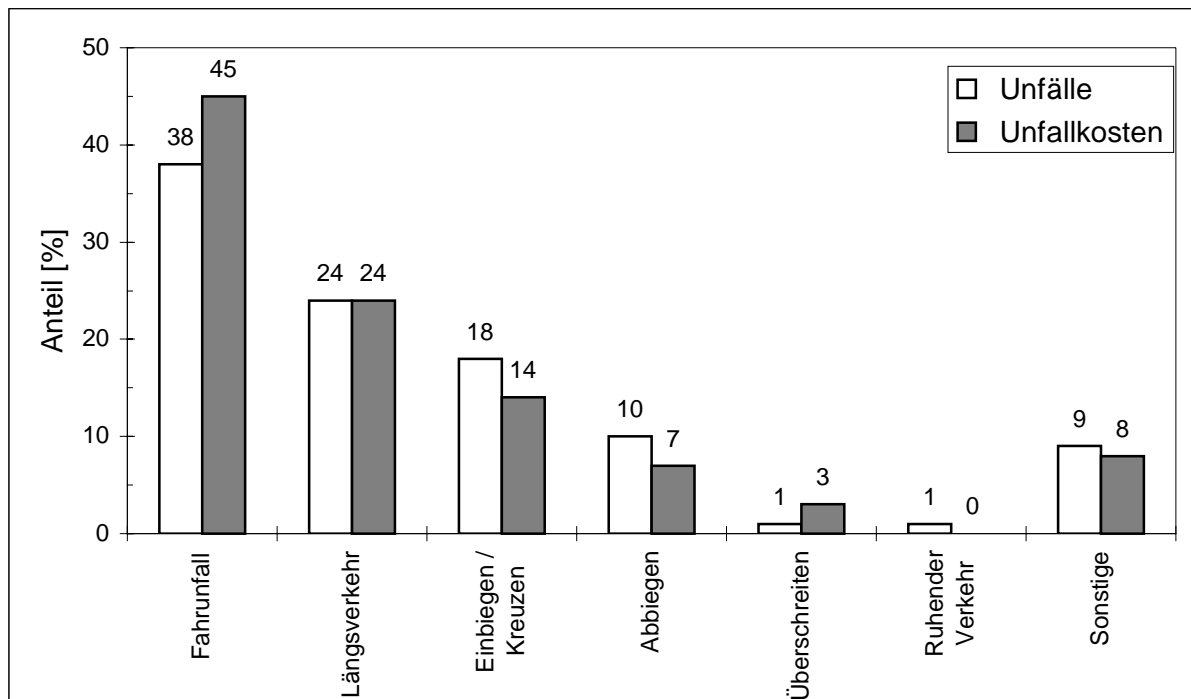
**Abb. 2.6:** Verteilung der Unfälle mit Personenschaden auf die Straßenklassen in der Bundesrepublik Deutschland (Stand 1998)  
(Datenquelle: DER ELSNER, 2000)



**Abb. 2.7:** Verteilung der Getöteten auf die Straßenklassen in der Bundesrepublik Deutschland (Stand 1998)  
(Datenquelle: DER ELSNER, 2000)

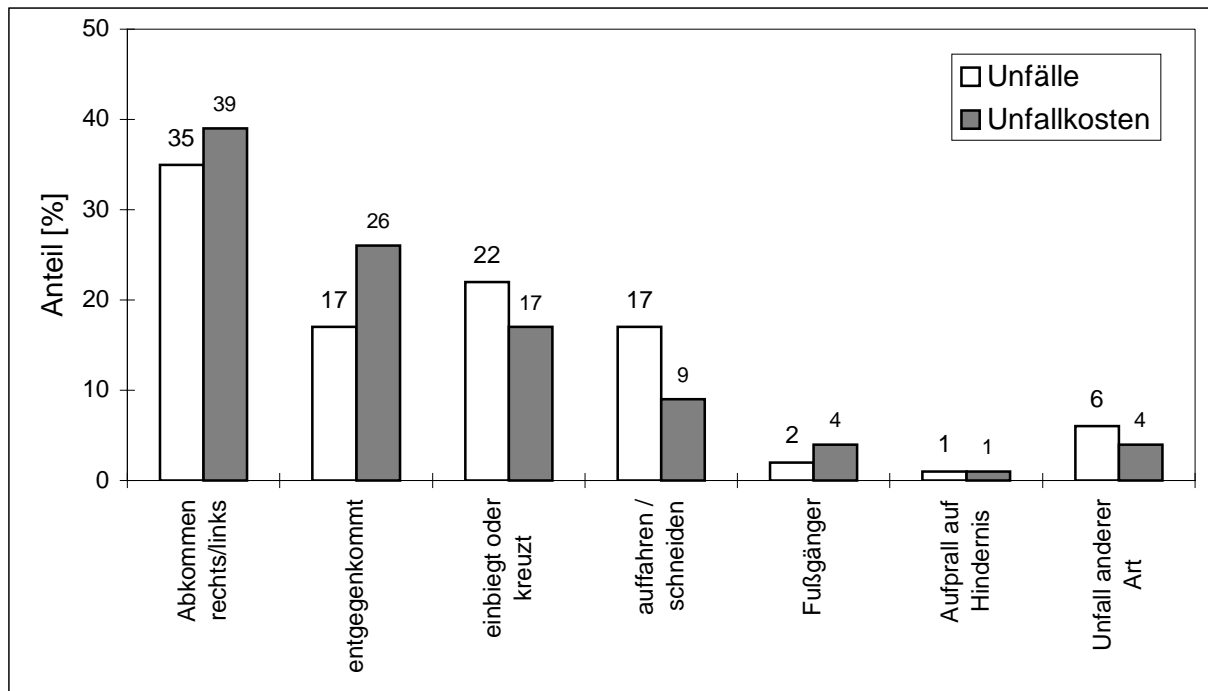
Während die meisten Unfälle mit Personenschaden sich auf Innerortsstraßen ereignen, sind die tödlichen Unfälle in der Mehrzahl außerorts zu beklagen. Von den 7800 Straßenverkehrstoten 1998 in der Bundesrepublik Deutschland starben 5900, d. h. rund 76% auf Außerortsstraßen. In den Ländern der Europäischen Union geschehen 50 bis 70% der tödlichen Verkehrsunfälle auf Außerortsstraßen. Den größeren Anteil am Unfallgeschehen außerorts weisen die Bundes- und Landesstraßen auf. Diesen ist demzufolge in der Verkehrssicherheitsarbeit eine besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

Die Verteilung von Unfallzahl und Unfallkosten auf die Unfalltypen (Abb. 2.8) weist den Unfalltyp „Fahrerunfall“ als häufigsten Unfalltyp auf Außerortsstraßen aus, gefolgt von den Unfällen im Längsverkehr. 38% bzw. 45% der Unfälle und 45% bzw. 24% der Unfallkosten entfallen auf diese Unfalltypen. Der Unterschied zwischen Unfallanteil und Unfallkostenanteil bei den Fahrerunfällen macht darüber hinaus deutlich, daß diese Unfälle überdurchschnittlich schwer sind.



**Abb. 2.8:** Verteilung von Unfallzahl und Unfallkosten auf die Unfalltypen in der Bundesrepublik Deutschland (1995) Quelle: GDV, 1996

Die Verteilung von Unfallzahl und Unfallkosten auf die Unfallarten (Abb. 2.9) zeigt, daß die Unfallart „Abkommen von der Fahrbahn“ dominiert. Ihr Anteil am Gesamtunfallgeschehen in der Bundesrepublik Deutschland beträgt 35%. Der Durchschnitt für die Länder der Europäischen Union wird mit 30% angegeben.



**Abb. 2.9:** Verteilung von Unfallzahl und Unfallkosten auf die Unfallarten in der Bundesrepublik Deutschland (1995) Quelle: GDV, 1996

## 2.2 Zielstellung und Abgrenzung

Sicherheit ist ein hohes Ziel in allen Bereichen des menschlichen Lebens, so auch im Straßenwesen und im Straßenverkehr. Ihre Förderung ist ein volkswirtschaftliches und ethisches gesamtgesellschaftliches Anliegen.

Die vorstehenden Ausführungen zum Unfallgeschehen weisen nach, daß die höherklassifizierten einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (Bundes- und Landesstraßen) hinsichtlich der Sicherheit die problemträchtigsten sind. Die Sicherheitssituation auf diesen Straßen ist überwiegend durch die Streckenunfälle (Fahrnfälle und Unfälle im Längsverkehr) geprägt, wobei Fahrnfälle in der Art des Abkommens von der Fahrbahn am häufigsten geschehen. Solche Unfälle sind bekanntlich in den meisten Fällen „Alleinunfälle“, d. h. ohne Mitwirkung anderer Verkehrsteilnehmer. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, daß ihre Ursachen teilweise in der Gestaltung der Straßenverkehrsanlage selbst, vor allem in deren Linienführung liegen.

Aus diesem Grund wird die vorliegende Arbeit auf die Bewertung der Linienführung einbahnig zweistreifiger Außerortsstraßen nach der Zielfunktion Fahrsicherheit ausgerichtet.

Als fahrsicher wird hier der Zustand definiert, bei dem angenommen werden kann, daß ein unbehindert fahrender Pkw keinen durch die Gestalt der Straßenverkehrsanlage und ihre Wahrnehmbarkeit induzierten Risiken ausgesetzt ist. Unter unbehindert fahrend wird ein Pkw verstanden, dessen Fahrer sein Verhalten unabhängig vom übrigen Verkehr wählen kann. Zur Charakterisierung des unbehindert fahrenden Pkw gibt es in der Literatur

verschiedene Modellvorstellungen und unterschiedliche Angaben zur erforderlichen Mindestzeitlücke zum vorausfahrenden und zum nachfolgenden Fahrzeug (Tab. 2). Neuerdings werden die Angaben von STEIERWALD/ BUCK (1992) als ausreichend erachtet.

Autor (Jahr)	Zeitlücke [s]		Bezeichnung
	zurück	voraus	
TRAPP (1971)	-	< 7	Kolonne
DILLING (1972)	-	> 6	unbehindert
LAMM (1973)	-	6 ... 8	freifahrend
PROJEKTGRUPPE "TEMPO 100"	-	≥ 5 ( $\Delta V \leq 10$ km/h)	beeinflusst
KÖPPEL/ BOCK (1979)	≥ 4	≥ 7	unbehindert
STEIERWALD/ BUCK (1992)	≥ 4	≥ 4	unbehindert

**Tab. 2:** Modellvorstellungen zum unbehindert fahrenden Pkw

Der Bezug auf den unbehindert fahrenden Pkw macht deutlich, daß die nachfolgenden Betrachtungen eine hauptsächlich durch die Wahrnehmung der Straßenverkehrsanlage bedingte Wahl des Fahrverhaltens voraussetzen. Somit wird die Fahrsicherheit von der Verkehrssicherheit abgegrenzt, wie Abb. 2.10 zeigt. In diesem Zusammenhang stellt die Fahrsicherheit eine notwendige Voraussetzung, aber nicht die alleinige Bedingung für die Verkehrssicherheit dar.

In der Arbeit werden zunächst die theoretischen Bewertungsgrundlagen ausgearbeitet und ein Konzept für die praktische Umsetzung entwickelt. Schließlich wird die praktische Anwendbarkeit der vorgeschlagen Methode an Beispielstrecken gezeigt.

Als Datenbasis dazu werden die Erhebungen im Rahmen der Untersuchungen zur Überprüfung der Relationstrassierung von Straßen der Kategoriengruppe A (DURTH, WEISE ET AL., 1995) verwendet. Teile davon, die unmittelbar in die vorliegende Arbeit eingeflossen sind, sind im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

Diese Daten werden in einigen Fällen durch Ergebnisse weiterer Forschungsprojekte des Lehrstuhls Planung und Entwurf von Straßenverkehrsanlagen und Anlagen des Luftverkehrs der Technischen Universität Dresden (WEISE, STEYER, 1998; RICHTER, WEISE ET AL., 1996) ergänzt. Alle genannten Daten beziehen sich ausschließlich auf solche Bundes- und Landesstraßen, die historisch gewachsen sind und deren Ausbaustandard nicht den Forderungen des aktuellen Regelwerkes entspricht





Abb. 2.10: Geltungsbereiche der Begriffe Fahrsicherheit und Verkehrssicherheit

### **3. Datengrundlage**

#### **3.1 Allgemeines**

1994 wurde vom Bundesminister für Verkehr das Forschungsprojekt "Überprüfung der Relationstrassierung von Straßen der Kategoriengruppe A" in Auftrag gegeben. Der Hauptgrund für diesen Auftrag bestand darin, daß die in den RAS-L-1 (FGSV, 1984) angegebenen zulässigen Radianrelationen auf einer veralteten, den heutigen Verhältnissen nicht mehr entsprechenden Datenbasis beruhten.

Das Ziel der Untersuchung bestand darin, dem aktuellen Stand der Technik Rechnung zu tragen und die zulässigen Radiensprünge auf eine größere Flexibilität hin zu untersuchen. Angestrebt wurde weiterhin, bei Um- und Ausbaumaßnahmen Verbesserungseffekte unterhalb des bislang gültigen Regelwerkniveaus bei gleichzeitiger Wahrung der Verkehrssicherheit zu erzielen. Dadurch ließen sich die Eingriffe in Natur und Landschaft durch Straßenbaumaßnahmen verringern, die Baukosten senken und damit die Durchsetzbarkeit fördern. Die hauptsächlich angewandte Untersuchungsmethode ist die Analyse der Geschwindigkeitsdifferenzen in Verbindung mit dem Unfallgeschehen in unterschiedlichen Elementfolgen an ausgewählten Untersuchungsstrecken.

Das Forschungsprojekt wurde gemeinsam durch das Institut für Verkehrswegebau der Technischen Universität Dresden und das Fachgebiet Straßenentwurf/Straßenbetrieb der Technischen Hochschule Darmstadt bearbeitet. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich hauptsächlich auf die an der Technischen Universität Dresden unter Federführung des Verfassers bearbeiteten Schwerpunkte.

#### **3.2 Auswahl der Untersuchungsstrecken und Aufnahme der Streckencharakteristik**

Für die Ableitung günstiger Radianrelationen aus den Geschwindigkeitsdifferenzen sollten nur Strecken zur Auswahl kommen, welche diejenigen Radiensprünge enthalten, die für die Vergrößerung der Radianrelationen angestrebt wurden.

Entsprechend dem Untersuchungsansatz kamen nur einbahnig zweistreifige Außerortsstraßen in Betracht. Das schränkt die Untersuchungen auf das Netz der Bundes-, Landes- bzw. Staats- und Kreisstraßen ein.

Die Untersuchungsstrecken sollten ausreichend lang sein und keine bzw. möglichst wenige Knotenpunkte enthalten. Des weiteren sollten sie einen guten Fahrbahnzustand, eine flache Gradienten und möglichst keine Geschwindigkeitsbeschränkungen aufweisen.

Auf dieser Grundlagen wurden die Straßenbauverwaltungen der Länder Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz und Sachsen gebeten, anhand folgender Kriterien geeignete Strecken zu benennen:

- Einbahnig zweistreifige Außerortsstraßen
- Streckenlänge:  $L \geq 5 \text{ km}$
- Kurvenradien:  $R \leq 500 \text{ m}$
- Öffnungswinkel der Kreisbögen:  $\alpha \geq 3,5 \text{ gon}$
- Radienfolgen:  $0,5 \cdot R_1 \leq R_2 \leq 2 \cdot R_1$
- Längsneigungen  $s \leq 4,0 \%$
- Fahrbahnbreiten:  $5,50 \text{ m} \leq B \leq 8,00 \text{ m}$

Von den insgesamt 35 vorgeschlagenen Strecken gelangten nach Durchsicht der entsprechenden Unterlagen und Streckenbesichtigungen schließlich 26 in die Auswahl. Sie haben eine Gesamtlänge von 220 km.

Von diesen 26 ausgewählten Strecken befinden sich 6 im Freistaat Sachsen. Auf diese beziehen sich die nachfolgenden Ausführungen, weil es sich um historisch gewachsene Strecken handelt, die noch keine Modernisierung (Um- und Ausbau) erfahren hatten. Anhang 1.1 zeigt ihre Lage im Netz

Für diese Strecken standen nur im geringen Umfang Pläne mit Trassierungsparametern zur Verfügung. Hier waren die Angaben in den Straßenbüchern häufig unvollständig und teilweise unzuverlässig, so daß sie neu aufgemessen werden mußten.

Tab. 3.1 gibt eine Übersicht über die Untersuchungsstrecken im Freistaat Sachsen. Sie beinhaltet die Streckenbezeichnung, die der jeweiligen Untersuchungsstrecke angrenzenden Orte, die Straßenkategorie nach RAS-N (FGSV, 1988), die Streckenlänge, die mittlere Kurvigkeit und die mittlere Fahrbahnbreite.

Die in den Streckendokumentationen nicht bzw. unzureichend enthaltenen Angaben zu den Sichtweiten erforderten eine Aufnahme dieses Parameters vor Ort.

Auf den sächsischen Untersuchungsstrecken wurden die vorhandenen Sichtweiten teilweise in zwei Durchgängen erfaßt. Im ersten Durchgang wurden alle Untersuchungsstrecken einbezogen. Der zweite Durchgang bezog sich lediglich auf die Untersuchungsstrecken 5 und 6 und sollte ursächlich der Überprüfung des Einflusses der Vegetation auf die vorhandenen Sichtweiten dienen.

Für die Messungen wurden folgende Festlegungen getroffen:

- Die Messungen erfolgen unter Verkehr, da eine Sperrung der Meßstrecken zu umständlich gewesen wäre
- Die Aughöhe beträgt im ersten Durchgang 1,15 m  
Diese Festlegung entspricht den in der Regel auftretenden Aughöhen von Pkw-Führern (im Durchschnitt 1,11 m nach DURTH / LEVIN (1991) )

Im zweiten Durchgang beträgt die Aughöhe 1,00 m

Diese Festlegung entspricht den Vorgaben der RAS-L 95.

- Die Hindernishöhe beträgt 5 bis 45 cm, in Abhängigkeit der durchschnittlichen Geschwindigkeit  $V_{85}$  der jeweiligen Meßstrecke entsprechend der Vorgaben der RAS-L-1 84 bzw. RAS-L 95.
- Beobachtungs- und Zielpunkt befinden sich im gleichen Richtungsfahrstreifen
- Der Stationsabstand zwischen den Meßquerschnitten beträgt in gestreckten Abschnitten 25 m und in Kurven 12,5 m (Orientierung an Leitpfosten)

Nr.	Strecke	Abschnitt	Kategorie	Länge [km]	KU [gon/km]	B [m]
1	S 95 <sup>*)</sup>	Dresden - Radeberg	A III	4,0	115	6,50
2	S 174	Bad Gottleuba - Breitenau	A III	4,4	275	6,50
3	S 178	Glashütte - Bärenhecke	A III	3,2	350	7,00
4	S 190	Ruppendorf - Reichstädt	A III	2,7	145	6,00
5	S 194	Hartha -Grillenburg	A III	2,7	80	5,50
6	S 194	Grillenburg - Naundorf	A III	4,5	150	5,50

**Tab. 3.1:** Zusammenstellung der Untersuchungsstrecken in Sachsen

<sup>\*)</sup> diese Strecke wurde umbenannt. Zum Zeitpunkt der Messungen trug sie die Bezeichnung S 103

Als Meßgerät wurde das Laser-Verkehrsgeschwindigkeits-Meßgerät LAVEG der Jenoptik Technologie GmbH verwendet. Dieses Gerät arbeitet auf der Basis der Laufzeitmessung von sehr kurzen Laserimpulsen, die mit Lichtgeschwindigkeit zum Ziel und zurück laufen. In einer Meßzeit von 0,1 s werden mehrere Impulse gemessen. Die Meßwerte werden dann intern durch Mittelwertbildung zusammengefaßt. Die Reichweite für eine störungsfreie Messung ist mit 300 m angegeben. Das Gerät wurde vor dem Beifahrersitz des Beobachtungsfahrzeuges auf einem Stativ mit verstellbarer Höhe befestigt und an einen Notebook angeschlossen. Der Fahrer des Beobachtungsfahrzeuges wurde angewiesen, möglichst links im Fahrstreifen zu fahren, damit das Beobachtungsgerät annähernd in die Fahrstreifenachse positioniert wird.

Zur Wegmessung wurde ein CORREVIT S-CE - Sensor verwendet. Dieses Gerät ist ein kompakter Schräglaufwinkelsensor mit integrierter Optik und Elektronik, der zur berührungslosen und schlupffreien Längen- und Geschwindigkeitsmessung in Längs- und Querrichtung sowie zur Bestimmung des Querwinkels eingesetzt werden kann. Er wurde an der linken

Seite des Beobachtungsfahrzeuges mittels Vakuumhalterung befestigt und ebenfalls an den Notebook angeschlossen. Durch die oben angegebene Lage des Fahrzeuges im Fahrstreifen erfolgt somit die Längenmessung annähernd in der Fahrbahnachse.

Als Zielobjekt wurde ein 40 x 40 cm großes Schild verwendet, welches mit reflektierendem Farbband beschichtet und farblich in drei Höhensegmente geteilt war. Je nach vorgegebener Zielpunkthöhe wird bei der Messung das entsprechende Segment anvisiert. Das Schild wurde an der linken Ecke der Stoßstange des Zielfahrzeuges befestigt. Der Fahrer wurde angewiesen, möglichst rechts zu fahren, damit das Zielobjekt annähernd in die Fahrstreifenachse positioniert wird. Diese Lage des Zielfahrzeuges ermöglicht außerdem ein schnelles Überholen bzw. Vorbeifahren für den fließenden Verkehr. Dieser Umstand vermindert die Beeinträchtigung der Messungen durch den normalen Verkehr.

An jedem Meßquerschnitt steht das Beobachtungsfahrzeug und der Fahrer des Zielfahrzeuges wird über Funk zur Positionierung eingewiesen. Erst wenn das anvisierte Segment des Zielobjektes gerade noch durch das Suchrohr des Meßgerätes zu sehen ist, erfolgt die Messung und anschließend der Versatz zum nächsten Meßquerschnitt. An jedem Querschnitt werden mindestens drei Messungen durchgeführt. Alle Meßwerte werden automatisch auf dem Notebook gespeichert.

Die oben beschriebene Meßmethode weist folgende Vorzüge auf:

- die Sichtstrahllängen können direkt am Meßgerät abgelesen und gleichzeitig auf dem Notebook abgelegt werden
- die Wegmessung erfolgt elektronisch
- relativ große Meßgeschwindigkeit im Vergleich zu anderen gleichartigen Meßmethoden. Die höchste Meßgeschwindigkeit von 4 km/h wurde auf der Meßstrecke 2 (DTV: 1260 Kfz/24h), die kleinste (2 km/h) auf der Meßstrecke 1 (DTV: 11950 Kfz/24h) erreicht

Als Nachteile können folgen Punkte aufgeführt werden:

- die genaue Einweisung des Zielfahrzeuges erfordert einige Erfahrung, da die Reaktionsgeschwindigkeit dessen Fahrers zu berücksichtigen ist
- bei sehr großer Verkehrsbelegung behindern sich Messung und Verkehr gegenseitig. Hierbei ist aber die Behinderung des Verkehrs durch die Messung größer, da durch die Lage des Beobachtungsfahrzeuges ein Vorbeifahren bei Gegenverkehr nicht möglich ist. Das Vorbeifahren am Zielfahrzeug ist hingegen viel leichter, so daß der Raum zwischen beiden Fahrzeugen meist frei ist und die Messung störungsfrei erfolgen kann
- die exakte Einhaltung einer vorgegebenen Zielpunkthöhe ist nicht möglich

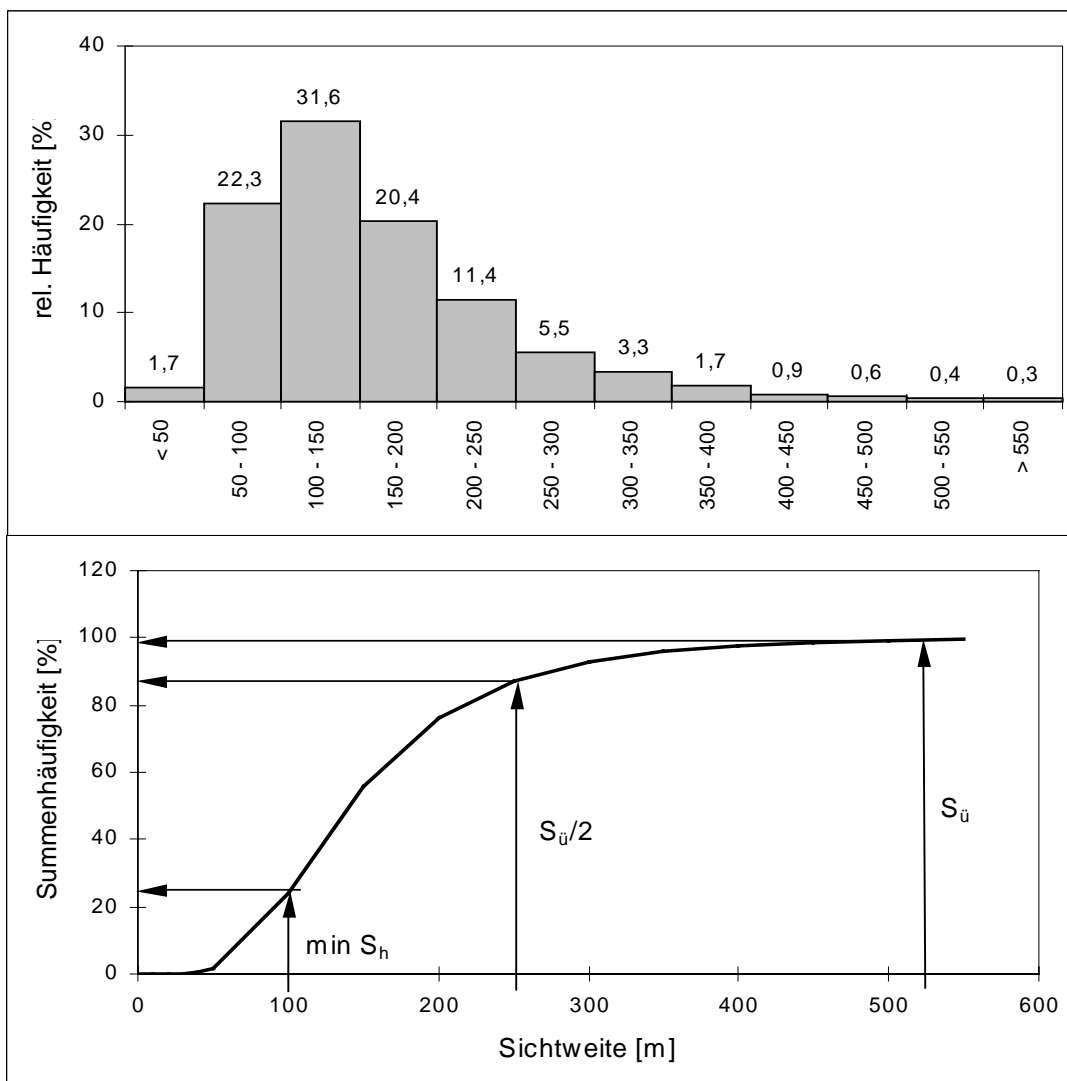
Anhang 1.2 zeigt eine Gegenüberstellung der zwei zeitlich versetzten Messungen auf den Untersuchungsstrecken 5 und 6. Die sehr gute Übereinstimmung der Meßwerte ist ein Zeugnis für die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit des Meßszenarios.

Anhang 1.3 enthält die Sichtweitenbänder für alle Untersuchungsstrecken. Die Mindesthaltesichtweiten wurden mit den empirisch ermittelten 85%-Geschwindigkeiten (vgl. 3.3.1 und Anhang 1.4, Bl. 1 bis 5) nach dem Modell der RAS-L 95 bestimmt.

Abb. 3 zeigt die Häufigkeitsverteilung der gemessenen Werte über alle Untersuchungsstrecken.

Im unteren Bild der Abb. 3 sind die Mindesthaltesichtweite sowie die halbe und die volle erforderliche Überholsichtweite nach RAS-L 95 (FGSV, 1995) für eine Geschwindigkeit von 80 km/h, die der mittleren  $V_{85}$  über alle Untersuchungsstrecken entspricht, eingetragen.

Danach beträgt die vorhandene Sichtweite auf ca. 24% der Strecken weniger als 100 m. Auf ca. 30% der Streckenlänge ist die Mindesthaltesichtweite nicht gewährleistet und ca. 60% weisen Sichtweiten zwischen der halben und der vollen erforderlichen Überholsichtweite auf. Die volle Überholsichtweite ist auf lediglich 0,5% der Streckenlänge vorhanden. Die vorstehenden Angaben unterstreichen den ungenügenden Ausbaustandard der hier betrachteten Strecken.



**Abb. 3:** Häufigkeitsverteilung der gemessenen Sichtweiten

### **3.3 Geschwindigkeitsmessungen**

Zur Geschwindigkeitserfassung wurden folgende Aufzeichnungsmethoden angewandt:

- Verfolgungsfahrten
- Einsatzfahrten
- Querschnittsmessungen

Da die Ergebnisse der Querschnittsmessungen nicht in der vorliegenden Arbeit verwendet werden, wird nachstehend nur auf die Verfolgungs- und Einsatzfahrten eingegangen.

#### **3.3.1 Verfolgungsfahrten**

Hinsichtlich der Zielstellung der hier Betrachteten Forschungsarbeit (DURTH / WEISE ET AL., 1995), der Ableitung zulässiger Radienfolgen, wurden die Verfolgungsfahrten als maßgebende Aufzeichnungsmethode des Fahrverhaltens angesehen.

Bei dieser Aufzeichnungsmethode erfolgte die Geschwindigkeitsmessung durch einen an dem hinteren Stoßfänger des Meßfahrzeuges (VW PASSAT) angebrachten optischen Sensor CORREVIT L. Die Meßimpulse wurden in regelmäßigen Abständen (jede Sekunde) mittels eines mobilen Kleinrechners auf Datenträgern abgespeichert.

Die Messungen wurden in der Regel bei freiem Verkehrsfluß durchgeführt. Bei gegebenenfalls auftretenden kurzzeitigen Behinderungen wurden deren Beginn und Ende erfaßt, so daß bei der späteren Auswertung die Unterscheidung zwischen Abschnitten mit und ohne Behinderung möglich war. Abschnitte mit behinderter Fahrt wurden nicht in die Auswertung einbezogen. Gleichfalls war das Setzen von Marken an charakteristischen Einzelpunkten zur späteren Zuordnung und Überprüfung von Geschwindigkeit und Weg (Stationierung) Bestandteil der Meßanordnung.

Obwohl in den Entwurfsrichtlinien als Bemessungsgrundlage von einer nassen Fahrbahn ausgegangen wird, fanden alle Verfolgungsfahrten bei trockenem Fahrbahnzustand statt. Dies ist aber kein Widerspruch, denn Untersuchungen von KÖPPEL / BOCK (1979) haben gezeigt, daß in dem für die hier betrachtete Untersuchung maßgebenden Geschwindigkeitsbereich bis 100 km/h die Geschwindigkeiten auf nasser Fahrbahn nicht abnehmen. Nach MEEWES / LIPPHARD (1994) wurden sogar geringfügige Anstiege beobachtet. Auch die im Rahmen der hier betrachteten Untersuchung durchgeführten Trocken-Naß-Vergleiche auf der Grundlage von Einsatzfahrten (vgl. 3.3.2 bzw. Anh. 1.5) widersprechen diese Feststellungen nicht.

Je Strecke wurden mindestens 30 Verfolgungsfahrten in jeder Richtung durchgeführt. Aus den aufgezeichneten Daten wurden die 15%-, 50%- und 85%-Geschwindigkeiten berechnet ( $V_{15}$ ,  $V_{50}$  und  $V_{85}$ ) und anschließend die entsprechenden Geschwindigkeitsprofile für jede Fahrt über den Streckenverlauf dargestellt. Voraussetzung hierfür war die Umrechnung der zeitabhängigen Meßwerte des CORREVIT L in wegabhängige Geschwindigkeitswerte in 10 m - Intervallen.

### 3.3.2 Einsatzfahrten

Einsatzfahrten wurden im Rahmen der hier beschriebenen Untersuchung durchgeführt, weil neben der Geschwindigkeit fahrerspezifische Merkmale (z. B. physisches Befinden und physiologische Reaktionen.) miteinfaßt werden sollen.

Dazu wurden aus einer Gruppe von 25 Studenten nach einer Statusdiagnostik im Labor 15 Probanden ausgewählt, deren für das Vorhaben relevanten Daten in Tab. 3.2 dargestellt ist.

Nr.	Alter [a]	Fahrpraxis [a]	Fahrleistung 1993 [1000 km]
01	22	4	25
02	23	4	15
03	23	5	25
04	23	6	10
05	22	4	20
06	22	4	25
07	24	6	14
08	22	3	25
09	24	5	8
10	25	7	18
11	23	4	12
12	23	5	20
13	23	4	20
14	23	5	8
15	24	4	25

**Tab. 3.2:** Vorhabensrelevante Probandendaten

Die Einsatzfahrten waren auf die Meßstrecken in Sachsen beschränkt.

Als Meßfahrzeug kam ein PKW Golf Variant zum Einsatz.

Die Geschwindigkeitserfassung erfolgte mit einem Mikrowellen-Doppler-Sensor "JANUS", welcher an der Anhängerkupplung des Meßfahrzeuges befestigt wird. Eine Parallelmessung mit dem optischen Sensor "CORREVIT L", der bei den Verfolgungsfahrten eingesetzt wurde, ergab eine sehr gute Übereinstimmung.

Der Sensor wird an ein Datenerfassungssystem gekoppelt, das seinerseits in einem Notebook integriert ist. Dieser Notebook enthält die Software zur Erfassung sowie Vorauswertung der gemessenen Daten (ME3

Unter der Rückbank ist ein Beschleunigungsaufnehmer B12/1000 quer zur Längsachse des Meßfahrzeuges befestigt. Da dieser Aufnehmer in der eigenen Längsachse mißt, werden



über diesem Wege Querbeschleunigungen aufgenommen. Die Aufnahme erfolgt absolut zeitsynchron mit den Geschwindigkeiten (Abtastrate 0,1 s) über die gleiche Software ME3.

Jede Meßfahrt wird vom Meßfahrzeug aus auf einem Videoband dokumentiert.

Jeder Proband befuhr die Meßstrecken 2 bis 6 (vgl. Tab. 3.1 und Anh. 1.1) in dieser Reihenfolge und zurück. Die Meßstrecke 1 wurde nicht in diese Schleife integriert, weil sie etwas abgelegen ist (vgl. Anh. 1.1). Außerdem war aufgrund der hohen Belegung vor Beginn jeder Meßfahrt eine kurzfristige Absperrung mit polizeilicher Unterstützung notwendig. Sie mußte demzufolge gesondert befahren werden.

Geplant waren zwei Durchgänge. Objektiv bedingte Ausfälle (Wetter, Meßtechnik) machten jedoch in einigen Fällen einen dritten Durchgang erforderlich.

Zwischen zwei Einsätzen des gleichen Probanden wird ein zeitlicher Abstand von mindestens einer Woche eingehalten.

### **3.4 Auswertung der Meßdaten**

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf die Einsatzfahrten. Die Verfolgungsfahrten wurden durch den Kooperationspartner (TH Darmstadt) durchgeführt und ausgewertet.

In einem ersten Schritt wurden die Meßfahrten anhand der Videoaufzeichnungen auf Plausibilität und Auswertbarkeit überprüft. Fahrten, bei denen Behinderungen über mehr als die Hälfte der Strecke aufgetreten sind, wurden ganz von der Auswertung ausgeschlossen. Bei kurzzeitigen Behinderungen wurden nur die jeweils betroffenen Abschnitte ausgeklammert. Ebenso wie bei den Verfolgungsfahrten mußten im weiteren Schritt die zeitbezogenen Meßwerte der verschiedenen Aufzeichnungsgeräte in Wegabhängige Größen umgewandelt werden. Die Meßwerte wurden im 10 m-Raster ausgegeben.

Die weitere Auswertung der Meßdaten erfolgte getrennt nach den fahrdynamischen und den psycho-physiologischen Daten.

#### **3.4.1 Fahrdynamische Daten**

Voraussetzung für die weitere Betrachtung der Geschwindigkeitsdaten aus den Einsatzfahrten ist die Gegenüberstellung mit den Ergebnissen der Verfolgungsfahrten und die Prüfung, ob tatsächlich das obere Geschwindigkeitsspektrum erfaßt wurde. Zu diesem Zweck wurden hier ebenfalls die 15%-, 50%- und 85%-Werte ermittelt. In Anhang 1.4 ist die Gegenüberstellung der Geschwindigkeitsprofile enthalten. Zur Ergänzung sind die gemessenen Radialbeschleunigungen aufgetragen. Sie entstammen den gemessenen Querbeschleunigungen (vgl. 3.3.2), die um die Einflüsse der Querneigung der Fahrbahn bereinigt wurden.

Es zeigte sich, daß die Werte aus den Einsatzfahrten durchweg höher liegen als die aus den Verfolgungsfahrten. Die Differenz der jeweiligen 85%-Geschwindigkeiten erreicht stellenweise sogar Werte bis 31 km/h.

Tab. 3.3 enthält einen Vergleich aller Quantilwerte untereinander für die Untersuchungsstrecken 1 und 3 bis 5 (Mittelwert und Streuung). Auf der Untersuchungsstrecke 2 konnten die Verfolgungsfahrten aufgrund des sehr geringen Verkehrsaufkommens nicht im ausreichenden Maße durchgeführt werden.

Der Mittelwert der  $V_{85}$ -Differenzen über alle Strecken beträgt 7,02 km/h bei einer Streuung von 4,75 km/h. Die beste Annäherung besteht zwischen der  $V_{15}$  der Einsatzfahrten und der  $V_{50}$  der Verfolgungsfahrten bzw. der  $V_{50}$  der Einsatzfahrten und der  $V_{85}$  der Verfolgungsfahrten. Die jeweiligen Mittelwerte der Differenzen betragen 0,43 bzw. 0,48 km/h bei Streuungen von 4,83 bzw. 4,28 km/h.

Somit scheint ein Quantilwert der Einsatzfahrten dem nächsthöheren Quantilwert der Verfolgungsfahrten zu entsprechen. Dieser Sachverhalt ist bei der Interpretation der Ergebnisse der Einsatzfahrten zu bedenken.

Einige Einsatzfahrten wurden bei nasser Fahrbahn durchgeführt. Anhang 1.5 enthält die Gegenüberstellung mit den Trockengeschwindigkeiten an einigen Beispielen. Obwohl die statistische Basis auch hier gering ist, zeigt sich tendenziell, daß bei nasser Fahrbahn in der Regel nicht schneller gefahren wird. Eine quantitative Bewertung dieses Sachverhaltes erfolgte jedoch nur insofern, daß die mittleren Geschwindigkeitsdifferenzen über den jeweiligen Strecken ermittelt wurden. Eine genauere Betrachtung ist hier aufgrund der geringen Stichprobe nicht sinnvoll.

Tatsache ist jedoch, daß die Differenzen zwischen Trocken- und Naßgeschwindigkeiten mit abnehmendem Kurvenradius ebenfalls zurückgehen. Bei engen Kurven liegen die Trockengeschwindigkeiten aufgrund der fahrdynamischen Grenzen offensichtlich schon so niedrig, daß bei nasser Fahrbahn nicht noch langsamer gefahren werden muß.

Strecke	Richtung	Differenz V15 Eins - V15 Verf		Differenz V15 Eins - V50 Verf		Differenz V15 Eins - V85 Verf	
		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
		Mittelwert	Streuung	Mittelwert	Streuung	Mittelwert	Streuung
S95	Dresden - Radeberg	12,61	5,33	5,27	5,02	-4,07	4,04
	Radeberg - Dresden	14,78	4,82	6,62	4,64	-1,66	5,33
S178	Glashütte - Bärenhecke	8,38	4,51	1,14	3,91	-6,68	4,02
	Bärenhecke - Glashütte	3,46	7,04	-4,60	7,76	-12,79	9,38
S190	Ruppendorf - Reichstädt	13,16	9,80	4,05	9,40	-6,25	7,26
	Reichstädt - Ruppendorf	8,74	5,59	-1,19	3,89	-11,08	4,13
S194_1	Hartha - Grillenburg	2,77	4,55	-5,14	3,92	-12,68	3,20
	Grillenburg - Hartha	5,30	3,21	-4,18	2,71	-14,03	3,38
S194_2	Grillenburg-Naundorf	10,67	4,38	0,56	4,51	-11,75	4,77
	Naundorf - Grillenburg	11,22	3,36	1,80	2,57	-9,28	3,52
<b>Mittelwerte:</b>		<b>9,11</b>	<b>5,26</b>	<b>0,43</b>	<b>4,83</b>	<b>-9,03</b>	<b>4,90</b>

Strecke	Richtung	Differenz V50 Eins - V15 Verf		Differenz V50 Eins - V50 Verf		Differenz V50 Eins - V85 Verf	
		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
		Mittelwert	Streuung	Mittelwert	Streuung	Mittelwert	Streuung
S95	Dresden - Radeberg	19,84	5,53	12,50	5,11	3,17	4,09
	Radeberg - Dresden	20,98	5,21	12,82	4,86	4,53	5,28
S178	Glashütte - Bärenhecke	14,61	4,58	7,36	3,48	-0,46	3,33
	Bärenhecke - Glashütte	10,32	5,31	2,27	5,63	-5,92	7,16
S190	Ruppendorf - Reichstädt	23,64	8,91	14,54	8,70	4,23	6,89
	Reichstädt - Ruppendorf	19,80	6,45	9,87	4,88	-0,02	4,66
S194_1	Hartha - Grillenburg	13,10	4,18	5,19	3,81	-2,36	3,16
	Grillenburg - Hartha	13,66	4,42	4,18	3,05	-5,67	2,73
S194_2	Grillenburg-Naundorf	19,78	3,83	9,67	3,96	-2,64	2,56
	Naundorf - Grillenburg	20,88	3,57	11,46	3,18	0,38	2,98
<b>Mittelwerte:</b>		<b>17,66</b>	<b>5,20</b>	<b>8,99</b>	<b>4,67</b>	<b>-0,48</b>	<b>4,28</b>

Strecke	Richtung	Differenz V85 Eins - V15 Verf		Differenz V85 Eins - V50 Verf		Differenz V85 Eins - V85 Verf	
		[km/h]		[km/h]		[km/h]	
		Mittelwert	Streuung	Mittelwert	Streuung	Mittelwert	Streuung
S95	Dresden - Radeberg	27,22	6,34	19,88	5,93	10,55	4,81
	Radeberg - Dresden	28,28	6,73	20,13	6,29	11,84	6,59
S178	Glashütte - Bärenhecke	20,02	5,39	12,77	4,02	4,95	3,70
	Bärenhecke - Glashütte	16,21	4,42	8,16	3,95	-0,03	5,14
S190	Ruppendorf - Reichstädt	30,87	9,70	21,76	9,44	11,46	7,62
	Reichstädt - Ruppendorf	29,44	7,83	19,51	6,45	9,62	5,79
S194_1	Hartha - Grillenburg	20,93	5,51	13,02	4,82	5,48	3,74
	Grillenburg - Hartha	21,44	5,06	11,96	3,57	2,11	3,27
S194_2	Grillenburg-Naundorf	28,18	4,36	18,07	4,36	5,76	3,10
	Naundorf - Grillenburg	29,00	4,88	19,58	4,72	8,50	3,77
<b>Mittelwerte:</b>		<b>25,16</b>	<b>6,02</b>	<b>16,48</b>	<b>5,36</b>	<b>7,02</b>	<b>4,75</b>

**Tab. 3.3:** Zusammenstellung der Mittelwerte der Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Einsatz- und Verfolgungsfahrten

### 3.4.2 Psycho-physiologische Daten

Die Befindlichkeitsfragebögen konnten nur in Bezug auf die Untersuchungsstrecken insgesamt ausgewertet werden, weil die Fragestellungen einen Zeitrahmen vorgaben (5 min), der der Durchfahrzeit einer gesamten Strecke entsprach. Für diese Streckenbezogene Auswertung wurde ein Maß zugrundegelegt, das die Streckencharakteristik entsprechend der Zielstellung am besten zum Ausdruck bringt. Die Kurvigkeit erschien als der geeigneteste Parameter. So wurden die Mittelwerte der Bewertungszahlen für die Fragestellungen 1, 2 und 4 (vgl. Anh. 1.6) für die Ruhephase, die physische Belastung durch Treppensteigen und für die Untersuchungsstrecken 2 bis 6 berechnet und in Beziehung zur Kurvigkeit der jeweiligen Strecke gesetzt. Die übrigen Fragestellungen wurden ausgelassen, weil sie mehr Persönlichkeitsmerkmale betreffen, als daß sie die Wirkung der Streckencharakteristik auf das Befinden der Probanden zum Ausdruck bringen können. Die Untersuchungsstrecke 1 wurde generell nicht in die Auswertung der psycho-physiologischen Daten einbezogen, weil sie in einem ganz anderen Regime befahren wurde (vgl. 3.3.2). Das Ergebnis der Befragung ist in Anhang. 1.6 dargestellt.

Bei der Frage 1 ("Ist die momentane Situation für Sie anstrengend, belastend?") ist ein steigender Trend über alle Meßsequenzen hinweg zu verzeichnen, wobei die stärkeren Anstiege jeweils zwischen Ruhe und Strecke bzw. zwischen Strecke und Treppe liegen. Zwischen den einzelnen Strecken ist der Anstieg relativ flach. Diese Zusammenhänge scheinen zunächst die These zu bestätigen, daß Autofahren eine physische Belastung darstellt, die jedoch weit unter der Belastung durch körperliche Anstrengung liegt.

Bei der Frage 4 ("Wie stark fühlen Sie sich geistig angespannt?") ist der Verlauf über die Streckensequenzen konstant. Lediglich die Ruhe- und die Treppensequenz zeigen deutlich niedrigere Werte. Das bedeutet, daß Autofahren, ungeachtet der Schwierigkeit der Fahrstrecke, eine höhere geistige Anspannung als in Ruhe bzw. bei körperlicher Anstrengung verursacht. Eine Abhängigkeit ihres Maßes vom Schwierigkeitsgrad der Fahrstrecke konnte hier jedoch nicht nachgewiesen werden.

Im Gegensatz zu den beiden oben erläuterten Fragestellungen zeigt die Beantwortung der Frage 2 ("Glauben Sie die momentane Situation im Griff zu haben?") über alle Sequenzen hinweg einen konstanten positiven Trend. Eine abweichende Tendenz wäre auch aus psychologischer Sicht sehr verwunderlich.

Die hier dargestellten Ergebnisse lassen sich sicher nicht ebenso maßstabbezogen wie die physikalischen Größen bewerten. Sie dienen lediglich dazu, mögliche Tendenzen zu erkennen, auf deren Grundlage die Sinnfälligkeit einer Fortführung diskutiert werden sollte.

Anhang 1.7 zeigt an drei Beispielen den Verlauf der Herzfrequenz im Vergleich zum Geschwindigkeitsprofil für jeweils zwei Fahrten eines gleichen Probanden. Es wird deutlich, daß die Höhe der Herzfrequenz beim gleichen Probanden auf der gleichen Strecke bei

verschiedenen Fahrten teilweise große Unterschiede aufweist. Da diese Unterschiedlichkeit keine prinzipielle Tendenz zeigt - etwa daß die Herzfrequenz bei der ersten Fahrt stets höher liegt als bei Folgefahrten - ist der bei solchen Untersuchungen befürchtete Eingewöhnungseffekt als Ursache auszuschließen, zumal zwischen zwei Einsätzen eines gleichen Probanden ein Zeitabstand von wenigstens einer Woche eingehalten wurde. Es wird eher vermutet, daß die geistige und physische Verfassung des Probanden sowie äußere Einflüsse wie Lufttemperatur und Luftdruck die Höhe der Herzfrequenz bestimmen.

Aber nicht nur die Höhe, sondern auch der Verlauf der Herzfrequenz über der Strecke ist von Fahrt zu Fahrt unterschiedlich. Dies deutet darauf hin, daß nicht nur die Streckenführung (wenn überhaupt), sondern ebenfalls äußere Einflüsse wie etwa Gegenverkehr eine große Rolle spielen.

Entgegen der Ausführungen in der Literatur (HOYOS / KASTNER 1986) ist hier in Bezug auf das Einzelelement kein eindeutiger Zusammenhang mit der gefahrenen Geschwindigkeit zu erkennen. Sonst müßte sich bei jeder größeren Geschwindigkeitsänderung die Herzfrequenz ebenfalls merklich ändern. Eine solche Änderung ist hier aber nicht zu verzeichnen. Als Beispiel wird auf die zweite Fahrt des Probanden 09 auf der Untersuchungsstrecke 6 (Anhang 1.7, Bl. 1) verwiesen. Dort ist zwischen den Fahrtkilometern 1,5 und 2,0 aufgrund einer Behinderung ein Geschwindigkeitsrückgang um ca. 30 km/h aufgetreten, während die Herzfrequenz in diesem Bereich kaum eine Änderung zeigt.

Die geschilderten Sachverhalte lassen den Schluß zu, daß die Herzfrequenz als alleiniger Parameter für den vorliegenden Untersuchungsansatz (Untersuchung der physiologischen Wirkungen einzelner Elemente und Elementkombinationen) ein zu grober Beanspruchungsindikator ist. Möglicherweise ist sie für die Beurteilung eines gesamten Streckenabschnittes ein durchaus geeigneter Parameter. Dies sollte im Rahmen weiterführender Arbeiten überprüft werden.

## 4. Das System Fahrer - Fahrzeug - Straße

### 4.1 Die Glieder des Systems

Das Straßenverkehrssystem ist gekennzeichnet durch das Zusammenwirken der Faktoren

- Mensch als Verkehrsteilnehmer,
- Fahrzeug sowie
- Straße

Diese Faktoren bilden jedoch kein isoliertes System. Sie unterliegen im Gegenteil Einflüssen aus der Umwelt (Straßenumfeld, Witterung) und sind zudem in den Rahmen der gesellschaftlichen Normen und Wertvorstellungen eingebettet.

Der Fahrprozeß wird als eine Steuerungs- und Regelungstätigkeit mit kontinuierlichen, sowohl systeminneren als auch von außen einwirkenden Signaleinflüssen verstanden. Die Beziehungen innerhalb des Systems lassen sich als Regelkreis beschreiben (DURTH 1972; DILLING 1973). Abb. 4.1 zeigt das Modell nach DURTH (1972). Die Vielzahl der Einflußfaktoren sowie deren Verknüpfungen verdeutlichen die Komplexität des Systems.

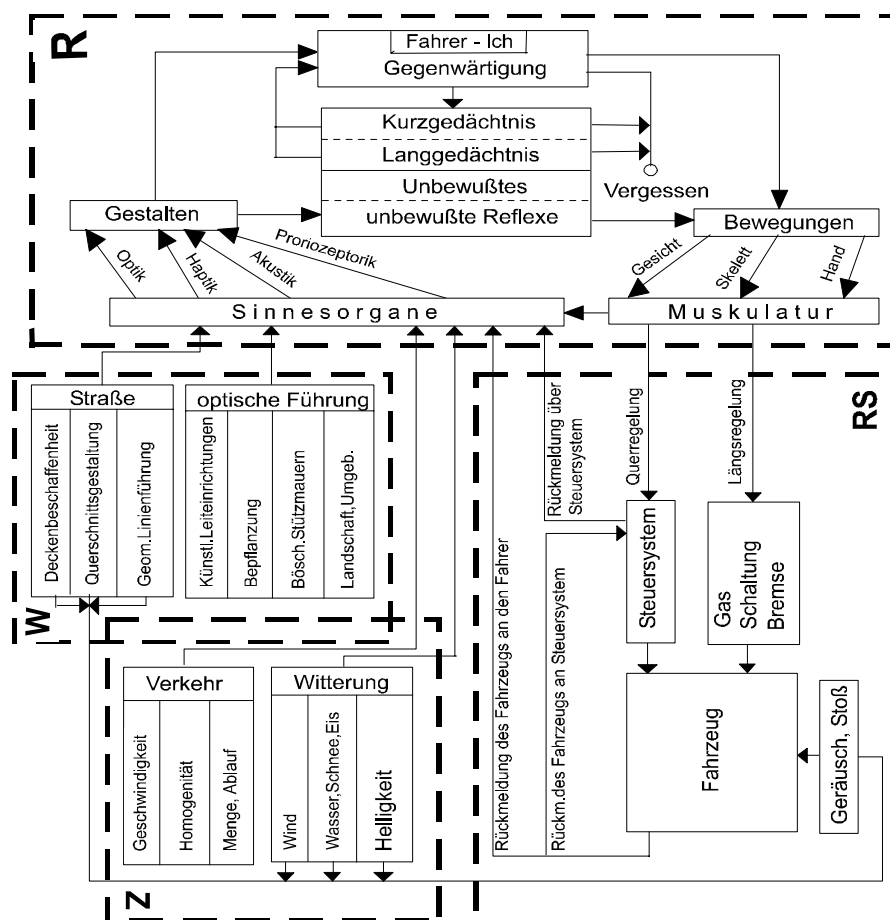


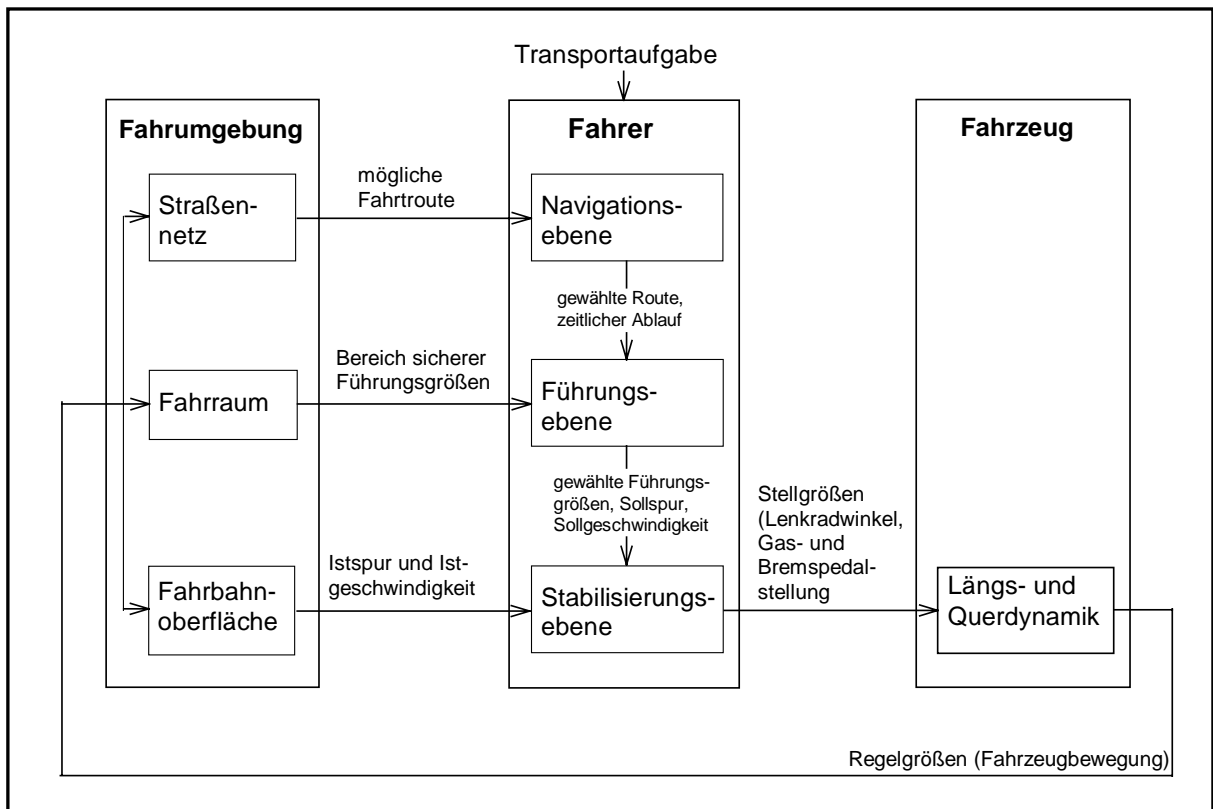
Abb. 4.1: Das kybernetische System Fahrer-Fahrzeug-Straße nach DURTH (1972)

#### 4.1.1 Der Fahrer (Regler)

Unter den Systemkomponenten Fahrer, Fahrzeug, Straße kommt dem Fahrer als Regler die größte Bedeutung zu. Er ist das einzig aktive aber zugleich das schwächste Glied des Systems. Seine Funktion besteht in der Erledigung bestimmter Fahraufgaben.

Nach JOHANNSEN (1976) können drei einander hierarchisch zugeordnete Fahraufgaben unterschieden werden: das Navigieren, das Führen und das Stabilisieren des Fahrzeuges.

Abb. 4.2 zeigt ein Schema dieses Drei-Ebenen Modells der Fahrzeugführung.



**Abb. 4.2:** Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung nach JOHANNSEN (1976)

Aus der Erledigung der Navigationsaufgabe, d. h. dem Suchen und Finden der geeigneten Route, ergeben sich die Führungsaufgaben: der Fahrer muß innerhalb der gewählten Route das Fahrzeug möglichst störungsfrei durch den Verkehr führen. Die Stabilisierungsaufgaben als Aufgaben der unteren Ebene wiederum ergeben sich aus den Führungsaufgaben; hier muß der Fahrer das Fahrzeug auf der Straße halten. Die Erledigung von Aufgaben der höheren Ebene setzt die fehlerfreie Erledigung der Aufgaben auf den niedrigeren Ebenen voraus. Während die Navigationsaufgabe sich deutlich von den beiden anderen unterscheidet und bei Sicherheitsbetrachtungen meist ausgeklammert wird, bedingen sich das Führen und das Stabilisieren gegenseitig und ihre Erledigung ist für die Sicherheit von maßgebender Bedeutung.

Zur Erledigung dieser Fahraufgaben nimmt der Fahrer über seine Sinnesorgane Informationen aus dem Fahrraum wahr. Die mit Abstand größte Bedeutung haben dabei die Augen

(Optik), danach die greifenden Hände am Lenkrad und der Druck am Körper (Haptik), die Ohren (Akustik) und die über die Muskeln und Gleichgewichtsorgane übermittelte Selbstbewegung des Körpers (Propriozeptorik). "Von Bedeutung für sein Zusammenwirken mit dem Fahrzeug sind Wahrnehmungsschwellen, sein Adaptionsvermögen und die mechanischen Eigenschaften des Hand-Arm-Systems" (HELM 1978).

Aus den wahrgenommenen Informationen leitet der Fahrer Maßnahmen ab (Längs- und Querregelung des Fahrzeuges), die auf das System einwirken und auf dem Wege der Rückkopplung wiederum Einfluß auf seine Tätigkeit nehmen.

Voraussetzung für sicheres Handeln des Fahrers ist, daß die Informationen aus den beiden anderen Systemkomponenten quantitativ ausreichen und qualitativ zuverlässig interpretierbar sind, um ihn rechtzeitig zum Handeln zu bewegen. Wichtig sind dabei ein angemessenes Informationsangebot und die Ausgewogenheit der motorischen und der sensorischen Anforderungen.

Die wesentlichen führungsrelevanten Informationen werden von der Straße und ihrem Umfeld objektiv vermittelt. Das Leitbild, welches vom Fahrer empfangen wird und schließlich für dessen Verhalten maßgebend ist, ist jedoch subjektiv geprägt. Der Fahrer muß ständig bestrebt sein, die Diskrepanz zwischen der objektiv vorhandenen und der subjektiv wahrgenommenen Situation zu minimieren. Der Erfolg dieser Bestrebung hängt von seinen Wahrnehmungseigenschaften und seiner Informationsverarbeitungskapazität ab. Sichere Handlungen des Fahrers setzen somit in erster Linie eine sichere Wahrnehmung der Führungsgröße Straße voraus.

#### **4.1.2 Das Fahrzeug (Regelstrecke)**

Über das Fahrzeug erhält der Fahrer Informationen aus der Außenwelt als Führungsgrößen (Fahrbahnband) und Störgrößen, vor allem über den Zustand der Fahrbahn (Ebenheit) und zum Fahrtablauf (Beschleunigungen, Ruck). Seine Führungs- und Stabilisierungsaufgaben erledigt er über das Steuersystem des Fahrzeuges. Somit stellt das Fahrzeug die Schnittstelle zwischen Fahrer und Straße dar.

In der Automobil- und Reifenindustrie sind in den vergangenen Jahren große Fortschritte hinsichtlich der Erhöhung der Sicherheit erzielt worden. Dazu gehören die bessere ergonomische Gestaltung, besser abgestimmte Fahrwerke und wirkungsvollere Bremssysteme für die aktive Sicherheit sowie die passiven Sicherheitsausrüstungen (Gurte, Airbags, ...).

Andererseits kann aber diese zunächst positiv erscheinende Entwicklung zu ungewollt riskanten Fahrweisen verleiten. Diese Gefahr beschreiben ANGENENDT U. A. (1987) wie folgt: "Ein technisch hochwertiges Fahrzeug mit perfektem Fahrwerk, Allradantrieb und guter Schallisolierung teilt dem Fahrer eventuell so wenig über seine Probleme beim Bewältigen von Fahrbahn und Geschwindigkeit mit, daß das schließliche Ausbrechen des Fahrzeuges für den Fahrer so überraschend kommt, daß es nur noch schwer oder auch nicht mehr



kompensiert werden kann". So weist auch MANN (1985) darauf hin, daß die Querschleunigung durchaus eine maßgebende Führungsgröße für die Regeltätigkeit des Fahrers darstellen kann. Er führt aber gleichzeitig aus, daß für den Fahrkomfort die auf öffentlichen Straßen normalerweise auftretenden Querschleunigungen ohne große Bedeutung sind, weil die Sitze in den heutigen Fahrzeugen in der Regel so gut konstruiert sind, daß die Wahrung des Gleichgewichtes ohne besondere Anstrengungen möglich ist und weitgehend reflektorisch, also unbewußt abläuft. Aus den im Vergleich zur festgelegten Komfortgrenze sehr hohen gemessenen Seitenbeschleunigungen folgert er, daß viele Kraftfahrer offensichtlich den verbleibenden Sicherheitsbereich ausnutzen und diese Reserve in eine höhere Geschwindigkeit umsetzen. Die technischen Verbesserungen am Fahrzeug bringen also eine Erhöhung des subjektiven Sicherheitsgefühls der Kraftfahrer mit sich, gleichzeitig aber auch eine nicht gewollte Erhöhung des akzeptierten Risikos.

Neuere Entwicklungen in der Kraftfahrzeugtechnik zielen u. a. auf den Ausgleich dieses Risikos ab. Durch den Einsatz von Fahrerassistenzsystemen können Fahrzustände überwacht werden. In kritischen Situationen erhält der Fahrer eine entsprechende Warnung oder das System nimmt selbständig eine Anpassung an die Situation vor. Eine Weiterentwicklung und Verbreitung solcher Systeme wäre für die Sicherheit sehr förderlich.

#### **4.1.3 Die Straße (Führungsgröße)**

Mit den baulichen Kenngrößen werden die den einzelnen Straßennutzergruppen zugewiesenen Wege und Flächen sowie die vom Straßenumfeld in den Straßenraum hineinstrahlenden Wirkungen in ihren jeweiligen Ausprägungen charakterisiert. Die Straße mit den ihr zugeordneten Signalen und Zeichen bildet vorrangig die Führungsgröße im Regelkreis. Andere Fahrzeuge, Nachteile aus Klima und Wetter, Fahrbahnunebenheiten u. ä. bilden Störgrößen.

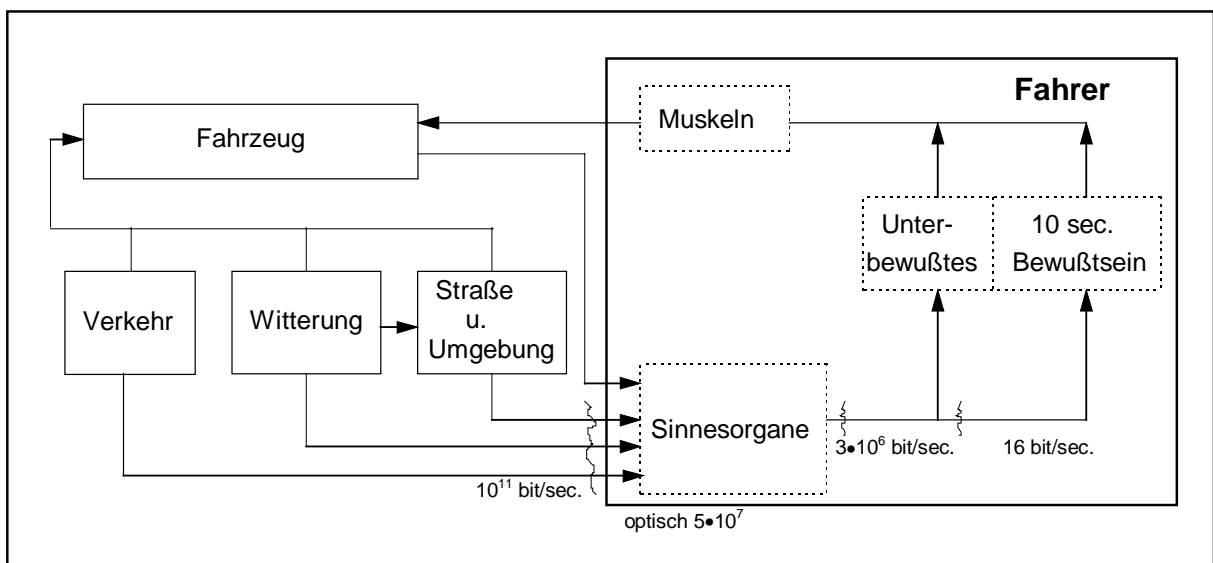
Der Führungsgröße Straße folgt das gesamte System und schafft fortlaufend Ist-Werte.

Gleichzeitig stellt die Führungsgröße Straße die Schnittstelle des Systems zur Wissenschaftsdisziplin Straßenbau dar. Hier antizipiert der Ingenieur bei Planung und Bau der Straßenverkehrsanlage einen entscheidenden Einfluß auf die übrigen Komponenten des Regelkreises und somit auf seine Funktion. Die so angedeutete Tragweite seiner Entscheidungen und Festlegungen macht deutlich, daß letztere auf der Grundlage wissenschaftlich fundierter Kenntnisse getroffen werden müssen. Ebenso muß der Ingenieur die Auswirkungen seiner Entscheidungen und Festlegungen auf das Regelsystem überprüfen können, um dessen Stabilität zu gewährleisten. Auf einen Beitrag hierzu zielt letztlich die vorliegende Arbeit ab.

## 4.2 Der Informationsfluß von der Straße zum Fahrer und Folgerungen für die Sicherheit

Wie bereits angedeutet nimmt der Fahrer Informationen aus dem Fahrraum wahr, auf die er durch Regelungsvorgänge am Fahrzeug reagieren kann. Entscheidend ist dabei die Größenordnung der Informationen, die ihm zufließen, und welchen Anteil davon er verarbeiten kann. Der mittlere Gehalt einer gesendeten oder empfangenen Information wird mit Entropie (in bit/s) bezeichnet. In Abb. 4.3 ist die Größenordnung der Zuflußkapazitäten zum menschlichen Gehirn schematisch dargestellt.

Von den aus der Außenwelt auf die Sinnesorgane des Fahrers übertragbaren Informationen ( $10^{11}$  bit/sec.) wird nur ein geringer Bruchteil ( $3 \cdot 10^6$  bit/sec.) wahrgenommen und davon wiederum nur ein geringer Anteil (16 bit/sec.) dem Bewußtsein zur Verarbeitung zugeführt. Die angegebenen Zahlen sind nur Näherungswerte und unter anderem abhängig vom Verkehrsablauf, von der Informationsfülle sowie den physischen und psycho-physiologischen Eigenschaften und dem momentanen Zustand des Fahrers.



**Abb. 4.3:** Größenordnung der Zuflußkapazitäten zum menschlichen Gehirn nach DURTH (1972)

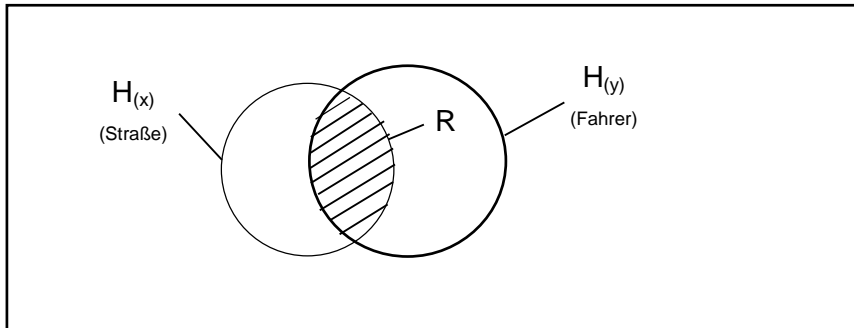
Beim Fahrvorgang stehen sich also zwei Informationsgehalte gegenüber:

- die vom Fahrraum vermittelte Information (Ausgangsentropie:  $H(x)$ )
- die vom Fahrer aufnehmbare Information (Eingangsentropie:  $H(y)$ )

Aus der Überlagerung beider Informationsgehalte ergibt sich die Information, die effektiv an den Fahrer gelangt (Transinformation:  $R$ )

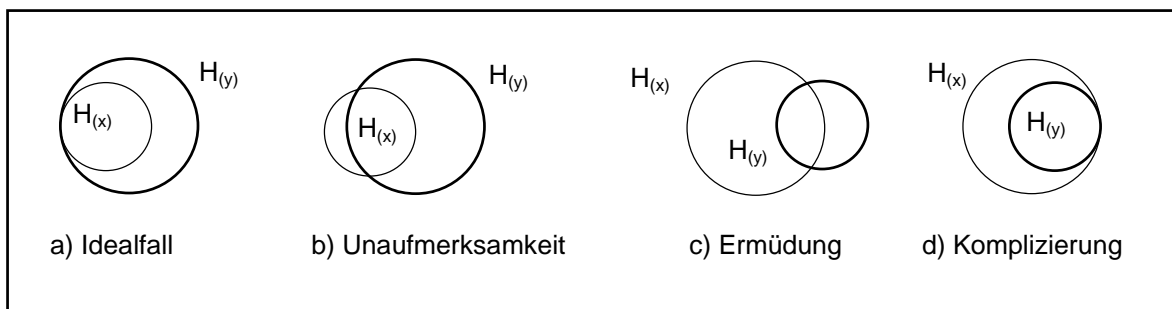
Abb. 4.4 zeigt eine vereinfachte Darstellung der Informationsgehalte in Form eines MILLER-Diagramms.

Während die Größe der Ausgangsentropie sich in Abhängigkeit der Kompliziertheit der Situation bzw. der gefahrenen Geschwindigkeit ändert, hängt die der Eingangsentropie im wesentlichen von der psycho-physiologischen Konstitution und der Konzentration des Fahrers (also seiner Aufnahmefähigkeit) ab.



**Abb. 4.4:** MILLER-Diagramm zur Darstellung von Informationsgehalten nach BRINGIOTI (1967)

In Abb. 4.5 sind verschiedene Variationen des Verhältnisses zwischen Ausgangs- und Eingangsentropie dargestellt.



**Abb. 4.5:** Mögliche Überlagerungen der Informationsgehalte nach DURTH (1972)

Der Fall a), in dem die Ausgangsentropie so klein ist, daß der Fahrer alle Informationen aus dem Fahrraum aufnimmt, stellt einen Idealfall dar. Im Fall d) dagegen ist aufgrund der Komplizierung der Straßen- und Verkehrssituation die Ausgangsentropie ( $H(x)$ ) so hoch, daß die Eingangsentropie ( $H(y)$ ) sie nicht mehr umfassen kann. Diese beiden Fälle, vor allen Dingen aber die Übergänge vom einen zum anderen, sind die bedeutsamsten für die Straßenplanung.

Der Mensch ist von Natur aus bestrebt, die Eingangsentropie auf dem für den Idealfall erforderlichen Mindestniveau zu halten. Steigt die Ausgangsentropie infolge einer Komplizierung der Situation an, bedarf es einer gewissen Zeit, um die Eingangsentropie wieder auf das für den Idealfall erforderliche Niveau zu regeln. Der Regelkreis "schwingt" ein. Die Dauer dieses Einschwingens hängt von der Stärke der Situationsänderung ab. Ist die Einschwingzeit größer als die zur Bewältigung der Situation verfügbare Zeit, kann der Regelkreis zusammenbrechen. Diese Situation kann entstehen, wenn beispielsweise nach einer langen Gera-

den (sehr geringe Anforderung) eine enge Kurve (sehr hohe Anforderung) folgt und den Fahrer zu falschen Entscheidungen und Handlungen veranlassen, denen das Unfallrisiko immanent ist. Daraus ergeben sich nachstehende sicherheitsrelevante Folgerungen:

- Die Ausgangsentropie einer Straße muß auf einem gewissen Mindestwert gehalten werden. Dieser kann als (emotionales) Anspruchsniveau bezeichnet werden.
- Änderungen der Ausgangsentropie sollen so erfolgen, daß die Einschwingzeit des Regelkreises in den notwendigen Grenzen gehalten wird. Das bedeutet das Anstreben eines stetig veränderlichen Informationsflusses vom Fahrraum zum Fahrer (Informationsdynamik)
- Es ist dafür zu sorgen, daß alle sicherheitsrelevanten Informationen aus dem Fahrraum dem Fahrer zugänglich sind, d. h. daß sie den Bereich der Transinformation (Abb. 4.4) bilden.

Diese Forderungen berühren verschiedene Wissenschaftsgebiete (Bauingenieurwesen, Kraftfahrzeugtechnik, Physiologie, Psychologie). Ihre Erfüllung erfordert demzufolge interdisziplinäre Zusammenarbeit, vor allem hinsichtlich der Erforschung der menschlichen Informationsaufnahme und -verarbeitung sowie der Diskrepanz zwischen objektiver äußerer Wirklichkeit (z. B. Gestalt einer Straßenverkehrsanlage) und ihrer subjektiven Wahrnehmung durch den Kraftfahrer.

Die Erfüllung der drei obengenannten Forderungen liegt zu einem großen Teil in der Hand des Straßenplaners, da er maßgeblich die Charakteristik der Straße, so die Größe der Ausgangsentropie bestimmt und damit einen entscheidenden Einfluß auf das Verhalten der Fahrer nimmt. Für die Bewertung der Linienführung von Straßen nach der Zielfunktion Fahr-sicherheit erlangen die Streckencharakteristik und das Fahrverhalten demzufolge eine zentrale Bedeutung. Daher soll im nachfolgenden Abschnitt auf diese beiden Begriffe sowie deren Beziehungen zu einander eingegangen werden.

### **4.3 Streckencharakteristik und Fahrverhalten**

#### **4.3.1 Begriffserläuterungen**

##### **4.3.1.1 Streckencharakteristik**

Geht man von der Tatsache aus, daß der größere Teil der Informationen, die für das Verhalten der Verkehrsteilnehmer relevant sind, visuell dem Fahrraum entnommen werden, dann erscheint es notwendig, diesen quantitativ erfassen zu können. Diese Notwendigkeit wurde bereits Anfang der 60er Jahre erkannt, aufgrund der vielschichtigen Phänomene ist es jedoch bis heute nicht gelungen, den Fahrraum in seiner Gesamtheit zutreffend zu quantifizieren. Für die Ableitung empirischer Zusammenhänge wird daher auf die Komplexität des Fahrraumes verzichtet und überwiegend von der nachfolgend definierten "Streckencharakteristik" als Ersatzmodell ausgegangen.

In den Begriffsbestimmungen der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, (FGSV 1998) wird die Streckencharakteristik als "die Gesamtheit der baulichen und straßenräumlichen Merkmale eines Straßenzuges" definiert, "die für das Verhalten der Fahrer auf einem zusammenhängenden Streckenabschnitt maßgebend sind". Unter baulichen Merkmalen werden hier vor allen Dingen die geometrischen Merkmale des Fahrbahnbandes verstanden.

Als maßgebende Merkmale nennt LAMM (1973):

- 1) Linienführung
  - a) Kurvigkeit, Krümmung, Querneigung
  - b) Sichtweite
  - c) Längsneigung, Länge der Neigungsstrecke
- 2) Querschnitt
  - a) einbahnig, zweibahnig, Mittelstreifen
  - b) Fahrbahnbreite
  - c) Randstreifenbreite
  - d) Standspuren, Mehrzweckspuren
  - e) Abstand seitlicher Hindernisse
- 3) Knotenpunkte
  - a) Knotenpunktsart
  - b) Knotenpunktfolge

Auch andere Autoren (DILLING 1973; KÖPPEL, BOCK 1979) kommen zu ähnlichen Aufstellungen.

#### **4.3.1.2 Fahrverhalten**

Im bereits zitierten Regelkreis wird der Fahrer als Regler bezeichnet. Seine Regelungstätigkeit besteht vorwiegend in der longitudinalen sowie in der lateralen Fahrzeugführung. Während die longitudinale Fahrzeugführung sich durch die gefahrene Geschwindigkeit und daraus abgeleitete Größen charakterisieren läßt, äußert sich die laterale Fahrzeugführung durch die Spurwahl und -einhaltung. Somit kann das Fahrverhalten durch das Geschwindigkeitsverhalten einerseits und das Spurverhalten andererseits ausreichend beschrieben werden.

Der Zusammenhang zwischen Streckencharakteristik und Fahrverhalten wurde in den vergangenen Jahren intensiv erforscht, wobei vorrangig das Geschwindigkeitsverhalten als Bewertungs- und Beurteilungsmaß verwendet wurde. Begründet wurde dies mit der Tatsache, daß der Fahrer vorwiegend über die Geschwindigkeit auf äußere Einflüsse reagiert. So befassen sich die meisten Autoren damit, mit Hilfe einer definierten Geschwindigkeit auf die Güte der Linienführung zu schließen. Diese Geschwindigkeitsgröße wird in den meisten

Fällen als "streckencharakteristische Geschwindigkeit" bezeichnet aber unterschiedlich definiert.

LAMM (1973) definiert die streckencharakteristische Geschwindigkeit als die Geschwindigkeit, "... die von 85% der Fahrer des Kollektivs unbeeinflusster Pkw auf sauberer, nasser Fahrbahn erreicht oder unterschritten wird."

Diese Definition hat sich in der Bundesrepublik Deutschland durchgesetzt, weil sie aufgrund ihres statistischen Bezuges (85% der Fahrer) das Verhalten des Fahrerkollektivs besser repräsentiert. Die Geschwindigkeit  $V_{85}$  der RAS-L (FGSV 1995) entspricht für einbahnig zweistreifige Außerortsstraßen bis zum oberen Grenzwert von 100 km/h der so definierten streckencharakteristischen Geschwindigkeit. Allerdings wurde sie aus Meßwerten abgeleitet, die am Tag und bei trockener Fahrbahn erhoben wurden (vgl. 3.3).

#### **4.3.2 Einfluß ausgewählter Merkmale der Streckencharakteristik auf das Fahrverhalten**

Zur Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Streckencharakteristik und Fahrverhalten ist zunächst die Kenntnis der Einflüsse einzelner Merkmale erforderlich. Das ist in den vergangenen Jahren Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. Im Folgenden sollen die daraus gewonnenen Erkenntnisse, gestützt von Ergebnissen neuerer Untersuchungen (DURTH, WEISE ET AL., 1995) dargelegt und im Hinblick auf die Zielstellung vorliegender Arbeit analysiert werden.

Darüber hinaus wird auf die Berücksichtigung dieser Zusammenhänge in den Entwurfsrichtlinien verschiedener europäischer Länder eingegangen.

##### **4.3.2.1 Kurvenradius**

Bei allen Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Streckencharakteristik und Fahrverhalten konnte der Einfluß des Kurvenradius nachgewiesen werden (FIEDLER 1967; KÖPPEL/BOCK 1979; DAMIANOFF 1981; SCHNEIDER 1986; STEIERWALD / BUCK 1992). Deutlich zeigt sich dieser Einfluß vor allem im unteren Radienbereich (bis ca. 150 m). Abb. 4.6 zeigt das Ergebnis neuerer Messungen (DURTH, WEISE ET AL., 1995) für den Radienbereich bis 500 m.

Darin ist eine starke Zunahme der gefahrenen Geschwindigkeiten im Radienbereich bis ca. 250 m zu verzeichnen. Ab dieser Radiengröße tritt der Einfluß des Kurvenradius mehr und mehr zurück.

Die große Streuung der Meßwerte deutet darauf hin, daß es keinen radienabhängigen Geschwindigkeitswert gibt, wie KÖPPEL und BOCK schon 1970 festgestellt haben. Dennoch macht die notwendige fahrdynamische Bemessung kurvenbezogener Parameter eine Kopplung der Geschwindigkeit am Radienwert unumgänglich.

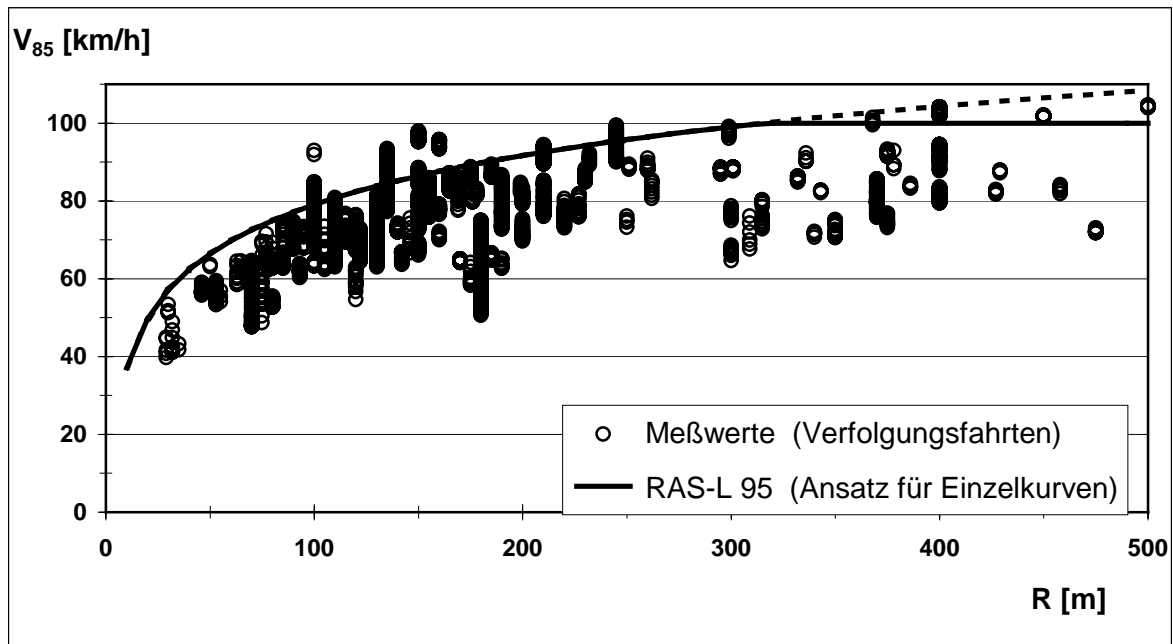


Abb. 4.6: Zusammenhang Geschwindigkeit  $V_{85}$  Kurvenradius  $R$

Deshalb wird in den meisten Entwurfsrichtlinien die maßgebende Geschwindigkeit zur fahrdynamischen Bemessung der Straße eng verknüpft mit der Radiengröße. Abb. 4.7 zeigt eine diesbezügliche Gegenüberstellung der Entwurfsrichtlinien Deutschlands (FGSV, 1995), Frankreichs (SETRA, 1994), der Schweiz (VSS, 1991) sowie Österreichs (FVS, Entwurf 1995). Hierbei wird in Frankreich ähnlich wie in Deutschland die 85%-Geschwindigkeit ( $V_{85}$ ) verwendet, während in der Schweiz und in Österreich eine „Projektierungsgeschwindigkeit“ ermittelt wird, die sich aus fahrdynamischen Modellannahmen für die Kurvenfahrt ergibt.

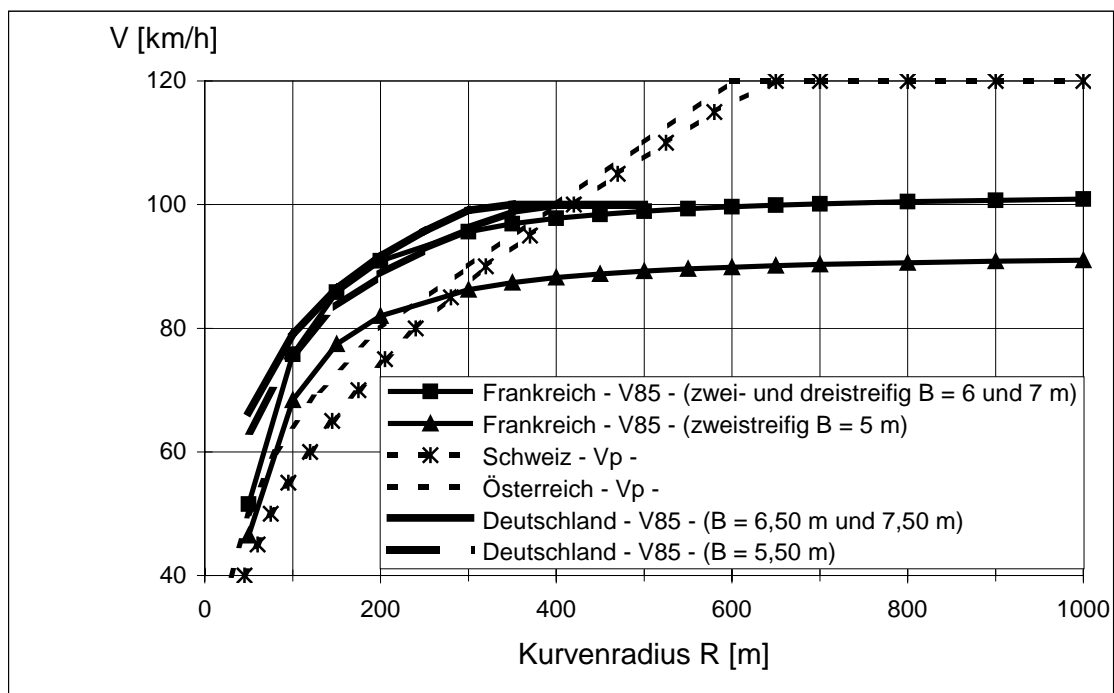


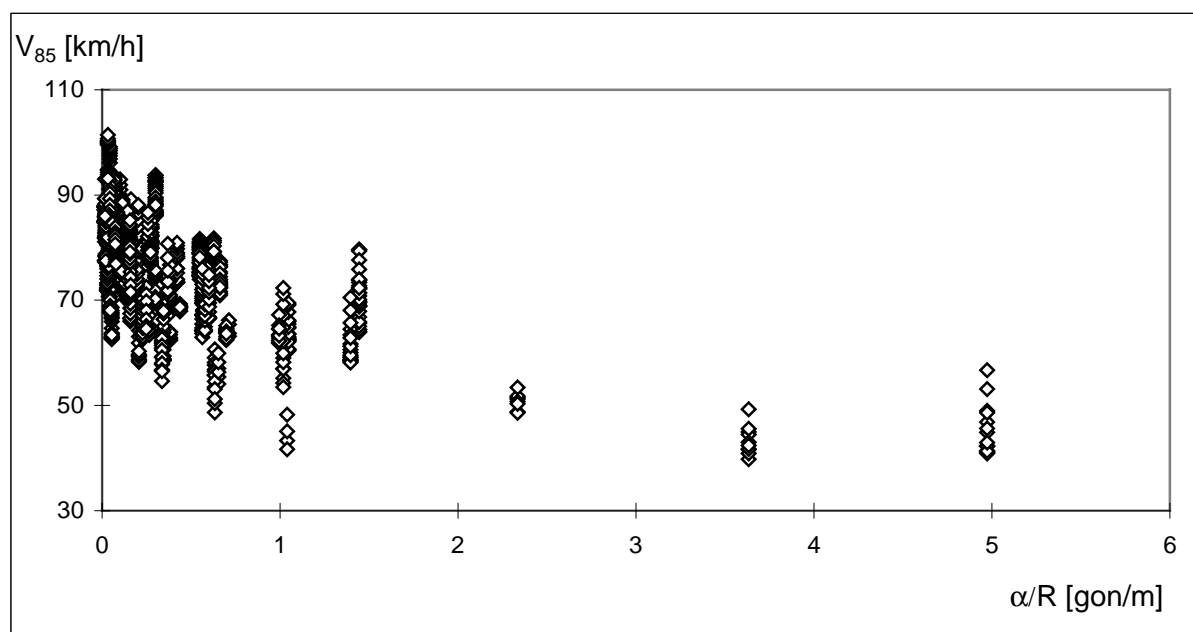
Abb. 4.7: Zusammenhang zwischen Kurvenradius und Bemessungsgeschwindigkeit in Richtlinien ausgewählter europäischer Länder

Bemerkenswert ist, daß eine Begrenzung der Bemessungsgeschwindigkeit auf die zulässige Höchstgeschwindigkeit nur bei den deutschen Richtlinien zu verzeichnen ist. Die schweizerischen und österreichischen Richtlinien lassen sogar Bemessungsgeschwindigkeiten bis 20 km/h über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zu.

#### 4.3.2.2 Richtungsänderungswinkel

KREBS (1973) geht davon aus, daß bei Richtungsänderungswinkeln von 10 bis 15° ( 11 bis 17 gon) durch "Schneiden" von Kurven innerhalb des eigenen Fahrstreifens ein beträchtlicher Radiengewinn erzielt werden kann und folgert: "es genügt demnach bei der Betrachtung des Geschwindigkeitsverhaltens in Kurven nicht, den Kurvenradius zu messen und anzugeben, da bei kleiner Richtungsänderung um so größere Streuungen der Geschwindigkeitswerte zu erwarten sind, je kleiner der Richtungsänderungswinkel ist".

Untersuchungen von KUPKE (1977) haben gezeigt, daß der Einfluß des Richtungsänderungswinkels lediglich im unteren Radienbereich besteht. Nur in diesem Bereich konnte er eine Abnahme der Geschwindigkeit mit zunehmendem Richtungsänderungswinkel feststellen. Demzufolge kann der Einfluß des Richtungsänderungswinkels nicht losgelöst vom Radius betrachtet werden. Aus diesem Grund wurde das Verhältnis Richtungsänderungswinkel : Radius (hier als "spezifische Richtungsänderung" bezeichnet) gebildet und auf den Zusammenhang mit der Fahrgeschwindigkeit hin untersucht. Das Ergebnis in Abb. 4.8 zeigt, daß die Werte im unteren Verhältnisbereich (bis ca. 1,5), der kleinen Radien und/ oder großen Richtungsänderungswinkeln entspricht, relativ breit streuen. Ein strafferer Zusammenhang deutet sich nur bei großen Verhältniswerten an. Jedenfalls ist die Tendenz einer Abnahme der  $V_{85}$  mit zunehmender spezifischer Krümmung ( $\alpha/R$ ) deutlich erkennbar.



**Abb. 4.8:** Zusammenhang Geschwindigkeit  $V_{85}$  - spezifische Richtungsänderung  $\alpha/R$



### 4.3.2.3 Kurvigkeit

Die Kurvigkeit ist grundsätzlich als das Verhältnis der Summe aller Winkeländerungen zur betrachteten Streckenlänge definiert:

$$KU = \frac{\sum \gamma_i}{L} [\text{gon/km}]$$

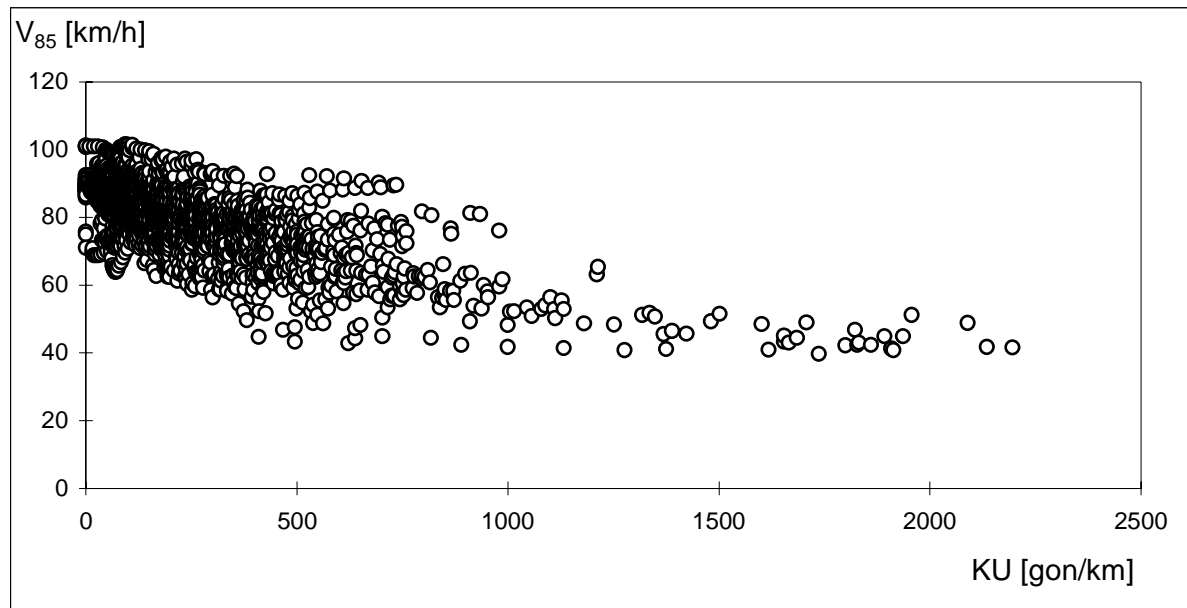
In der Literatur ist sie entweder primärer Untersuchungsgegenstand oder aber grundlegende Größe bei der Betrachtung des Zusammenhanges zwischen Streckencharakteristik und Fahrverhalten.

Unterschiedliche Ansichten bestehen nur bei der zu betrachtenden Streckenlänge L. Entsprechend der vorstehenden Definition stellt die Kurvigkeit bei relativ langen Abschnitten nur einen Mittelwert zur Beschreibung der Lageplantrassierung dar. Trotz gleicher Gesamtkurvigkeit können sich verschiedene Strecken in ihrer Charakteristik deutlich unterscheiden (SCHLICHTER 1976). Bei sehr kleinen Berechnungslängen hingegen wird die Kurvigkeit in erster Linie durch die Parameter von Einzelelementen (z. B. Radius eines Kreisbogens) bestimmt. Sie entspricht dann praktisch der Krümmung.

Während einige Autoren der Kurvigkeit unter Beachtung der jeweiligen Definition einen dominierenden Einfluß auf das Fahrverhalten zuschreiben (TRAPP (1971); DILLING (1973); KÖPPEL/BOCK (1979); TRAPP/OELLERS (1974); AL-KASSAR/HOFFMANN/ZMECK (1981)) schränken andere (LAMM (1973); SCHLICHTER (1976)) den Einfluß dieses Parameters ein.

Insgesamt ist jedoch festzuhalten, daß die Kurvigkeit eine entscheidende Größe zur Beschreibung der Streckencharakteristik darstellt und einen maßgebenden Einfluß auf das Geschwindigkeitsverhalten hat. Bei analytischen Ansätzen zur Quantifizierung dieses Einflusses ist nur die Festlegung einer geeigneten Bezugslänge problematisch.

WILKE (1996) untersuchte den Einfluß der Kurvigkeit nach dem Modell von KÖPPEL / BOCK (1979) auf die Geschwindigkeit anhand neuerer Meßdaten. Dieses Modell basiert auf variablen, radienabhängigen Berechnungslängen (voraus wie zurück) für die Kurvigkeit. Grundlage des Berechnungsverfahrens ist eine Untersuchung des Geschwindigkeitsverhaltens vor, in und nach Kurven mit verschiedenen Kreisbogenradien und die Ermittlung entsprechender Verzögerungs- bzw. Beschleunigungslängen. Die so ermittelte Kurvigkeit zeigt eine engere Korrelation mit der Geschwindigkeit  $V_{85}$  als bei Betrachtung konstanter Berechnungslängen. Der ermittelte Zusammenhang ist in Abb. 4.9 dargestellt.

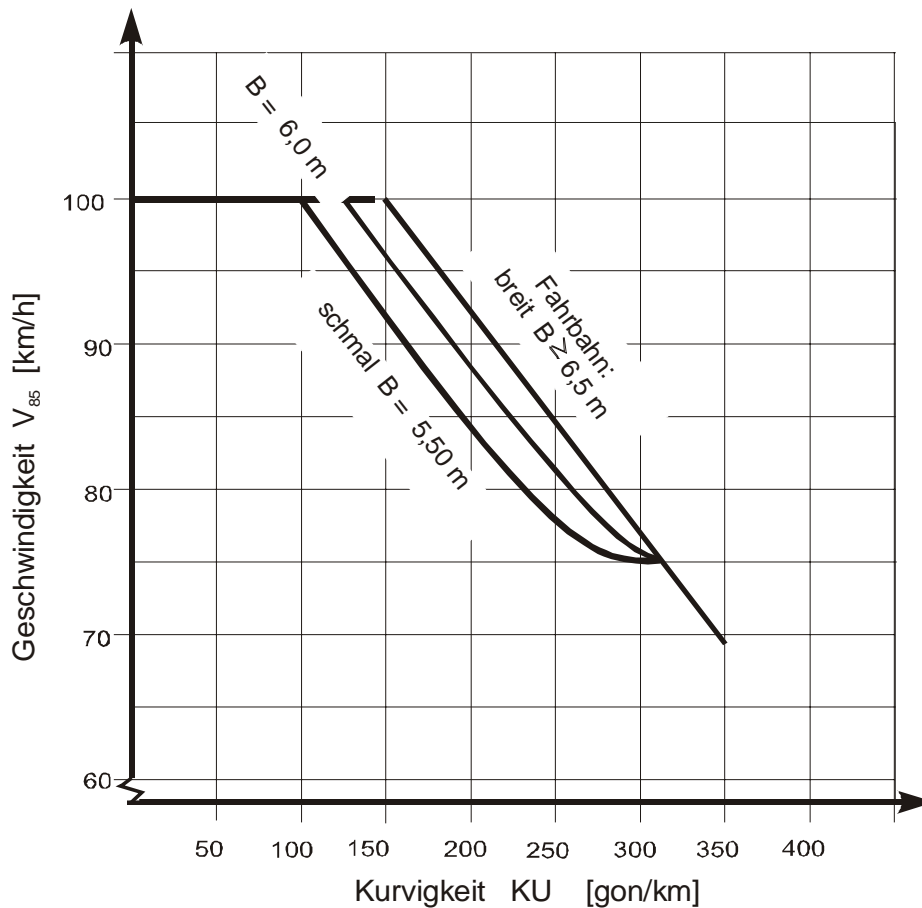


**Abb. 4.9:** Zusammenhang Geschwindigkeit  $V_{85}$  - Kurvigkeit

Zusammenfassend kann bestätigt werden, daß die Kurvigkeit eine unentbehrliche Größe zur Beschreibung der Streckencharakteristik und somit eine Variable zur Ableitung von streckencharakteristischen Fahrverhaltensgrößen ist. Hinsichtlich der zu betrachtenden Streckenlänge für ihre Berechnung besteht noch Forschungsbedarf. Für die Berechnungslänge voraus ist auf alle Fälle die vorhandene Sichtweite zu berücksichtigen. Die Berechnungslänge zurück könnte auf der Grundlage des Kurzzeitgedächtnisses und des Fahrerlebens festgelegt werden. Die von Frank (1961) angegebenen 10 sec. Bewußtsein (Abb. 4.3) bieten dazu möglicherweise einen brauchbaren Ansatz.

Von den im Abschnitt 4.3.2.1 betrachteten Richtlinien geben lediglich die RAS-L 95 (FGSV, 1995) ein Verfahren zur Abschätzung der Bemessungsgeschwindigkeit ( $V_{85}$ ) in Abhängigkeit von Kurvigkeit (und Fahrbahnbreite) an. Grund dafür ist die unterschiedliche Vorgehensweise bei der fahrdynamischen Bemessung sicherheitsrelevanter Entwurfselemente. Während in den anderen Richtlinien eine isolierte fahrdynamische Bemessung der einzelnen Entwurfselemente die Regel ist, gehen die RAS-L von zusammenhängenden Streckenabschnitten ähnlicher Charakteristik aus. Innerhalb dieser Streckenabschnitte, deren Charakteristik vorrangig durch die Kurvigkeit ausgedrückt wird, ist die fahrdynamische Bemessung einheitlich vorzunehmen.

Abb. 4.10 zeigt den Zusammenhang zwischen Kurvigkeit, Fahrbahnbreite und Geschwindigkeit  $V_{85}$  nach RAS-L 95. Darin sind die Regelquerschnitte nach RAS-Q 96 berücksichtigt. Auf den Einfluß der Fahrbahnbreite wird im Abschnitt 4.3.2.6 gesondert eingegangen.



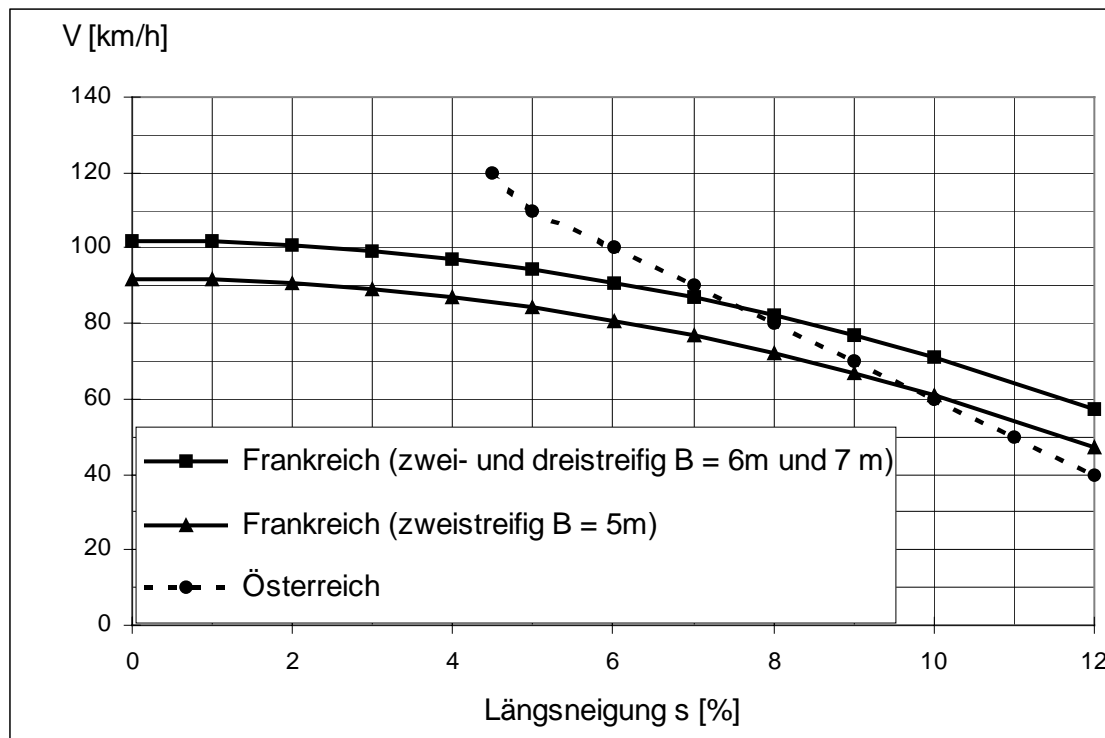
**Abb. 4.10:** Zusammenhang zwischen Kurvigkeit KU, Fahrbahnbreite B und Geschwindigkeit  $V_{85}$  bei einbahnig zweistreifigen Straßen der Kategoriengruppe A (FGSV 1995)

#### 4.3.2.4 Längsneigung

Über den Einfluß der Größe der Längsneigung auf das Fahrverhalten sind in der Literatur die Meinungen geteilt.

Während über die geschwindigkeitsmindernde Wirkung von großen Steigungen ( $> 6\%$ ) weitgehend Einigkeit besteht, gehen die Auffassungen über den Einfluß von kleinen Längsneigungen und Gefällestrecken auseinander. Ein Grund dafür ist, daß der Einfluß der Längsneigung auf die Fahrgeschwindigkeit sich im Laufe der Zeit infolge der ständig steigenden spezifischen Leistungen (besonders bei den Nutzfahrzeugen) sehr verändert hat. Selbst die gegenwärtig im Straßenentwurf zulässigen Höchstlängsneigungen stellen für den modernen Pkw kein großes Leistungshemmnis dar, Nutzfahrzeuge nähern sich ihnen aber auch mehr und mehr an.

Die Berücksichtigung des Einflusses der Längsneigung auf die Fahrgeschwindigkeit wird auch in den verschiedenen Entwurfsrichtlinien unterschiedlich gehandhabt (Abb. 4.11).



**Abb. 4.11:** Zusammenhang zwischen Längsneigung und Bemessungsgeschwindigkeit in den Entwurfsrichtlinien Frankreichs und Österreichs

In den deutschen Richtlinien wird die Längsneigung bei der Ermittlung der  $V_{85}$  aus oben erwähnten Gründen nicht berücksichtigt

In den Schweizer Normen (VSS, 1991) wird Längsneigungen unter 7,0% bei der Ermittlung der Projektierungsgeschwindigkeit kein Einfluß zugeschrieben.

Weitgehend berücksichtigt wird der Einfluß der Längsneigung auf die Bemessungsgeschwindigkeit in den österreichischen Richtlinien (ab 4,5%) (FVS, Entwurf 1995) und den französischen Normen (SETRA, 1994) (Abb. 4.11).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte der Einfluß der Längsneigung auf das Geschwindigkeitsverhalten nicht untersucht werden, da die betrachteten Strecken entsprechend der Kriterien für ihre Auswahl geringe Längsneigungen (< 4%) aufweisen.

#### 4.3.2.5 Sichtweite

Über den Einfluß der Sichtweite auf die gefahrene Geschwindigkeit sind in der Literatur die Meinungen ebenfalls geteilt.

Während einige Autoren die Sichtweite als eigenständige Einflußgröße betrachten (HIERSCHKE (1968), LEUTNER (1974), STEIERWALD / BUCK (1992)), gehen andere davon aus, daß sie mit der Kurvigkeit korreliert (TRAPP (1971), LAMM (1973), TRAPP / OELLERS (1974), KÖPPEL / BOCK (1979), AL KASSAR / HOFFMANN / ZMECK (1981)).

MEEWES / GERZ / LEINS (1975) und DURTH / BALD (1986) sehen einen Einfluß der Sichtweite lediglich auf Ort und Stärke der Fahrerreaktionen (Längsbeschleunigungen)

Im Rahmen der Untersuchungen zur Relationstrassierung wurden die vorhandenen Sichtweiten auf den Untersuchungsstrecken aufgenommen (vgl. 3.2). Die Auswertung der Meßdaten hat gezeigt, daß

- a) der Zusammenhang zwischen Sichtweite und Geschwindigkeit bei querschnittsbezogener Betrachtung sehr schwach ausgeprägt ist
- b) die mittlere Sichtweite über einen Streckenabschnitt sehr gut mit dessen Kurvigkeit korreliert

Daraus wurde die Schlußfolgerung gezogen, daß die Kurvigkeit für die untersuchten Strecken den dominierenden Einfluß auf das Geschwindigkeitsverhalten aufweist und deshalb als wichtigster Parameter zur Abschätzung der  $V_{85}$  angesehen werden muß. Die Einbeziehung der mittleren Sichtweite als dritten Parameter neben der Fahrbahnbreite (s. Abb. 4.10) wurde wegen der dann gegebenen Autokorrelation als nicht sinnvoll erachtet.

#### **4.3.2.6 Querschnittsausbildung**

Bei den meisten Untersuchungen ist die Querschnittsausbildung einbahniger Außerortsstraßen eine wichtige Einflußgröße, auch wenn sie in vielen Fällen nur im Zusammenhang mit anderen Parametern betrachtet wird (vgl. 4.3.2.1 und 4.3.2.3). Über die Stärke ihres Einflusses sind die Auffassungen jedoch sehr unterschiedlich. Stellvertretend hierfür seien nur folgende Autoren zitiert:

In den deutschen und französischen Entwurfsrichtlinien wird zur Ermittlung der Geschwindigkeit  $V_{85}$  der Einfluß der Fahrbahnbreite (Regelquerschnitte) im Zusammenhang mit dem Kurvenradius (Abb. 4.7), der Kurvigkeit (Abb. 4.10) bzw. der Längsneigung (Abb. 4.11) berücksichtigt.

Bei den Untersuchungen zur Relationstrassierung (DURTH, WEISE ET AL.; 1995) wurde festgestellt, daß der Einfluß der Fahrbahnbreite auf das Geschwindigkeitsverhalten nur bei deutlichen Breitenunterschieden erkennbar ist. Demzufolge genügt für die fahrdynamische Bemessung die Einteilung in die zwei Gruppen „schmale“ und „breite“ Querschnitte, wobei die Grenze bei einer Fahrbahnbreite von 6 m liegt. Innerhalb der jeweiligen Gruppen sind keine signifikanten Unterschiede im Geschwindigkeitsverhalten zu verzeichnen.

#### **4.3.2.7 Zusammenfassung**

Der Einfluß streckencharakteristischer Parameter auf das Verhalten einzelfahrender Pkw war in den letzten Jahrzehnten international Gegenstand umfassender Forschungsarbeiten. Dabei konnte die Relevanz bestimmter Parameter mehrfach nachgewiesen bzw. bestätigt werden. In Tab. 4.2 sind die in verschiedenen Quellen verwendeten Einflußgrößen zusammengestellt.

Verfahren nach	Jahr	Einflußgröße										
		Kurvenradius	Richtungsänderung	Kurvigkeit	Längsneigung	Querneigung	Fahrbahnbreite	Befestigungsbreite	Fahrtraumbreite	Sichtweite	Anteil der Abschnitte mit $S_u$	Elementfolge
FIEDLER	1967	x			x	x	x					
TRAPP	1971			x	x		x	x			x	
RWS	1971 / 1972				x		x				x	
DILLING	1973	x		x			x		x			
LAMM	1973	x	x	x						x		x
TRAPP / OELLERS	1974			x	x		x	x	x	x		
DAMIANOFF	1981	x	x									
MEEWES / GERZ / LEINS	1975	x	x		x		x	x	x	x		x
KÖPPEL / BOCK	1979			x			x	x		x		x
AL-KASSAR / HOFFMANN / ZMECK	1981			x	x		x	x	x	x		(x)
DURTH / BIEDERMANN / VIETH	1983	x		x			x	x		x		x
BIEDERMANN	1984	x		x			x		x	x		x
STEIERWALD / BUCK	1992	x		x	x					x		x
RAS-L	1995	x		x			x					
WILKE	1996			x	x					x		

**Tab. 4:** Einflußgrößen für die Geschwindigkeitsermittlung aus verschiedenen Quellen

Die entsprechenden Regressionsgleichungen weisen stark unterschiedliche Bestimmtheitsmaße auf. In vielen Untersuchungen wurde nachgewiesen, daß sie nur für das untersuchte Streckenkollektiv Gültigkeit besitzen. Bei Übertragung auf andere Strecken treten mehr oder weniger starke Abweichungen auf. Das liegt daran, daß nur bestimmte, erfaßbare Parameter betrachtet werden. Aus der vorstehenden Tabelle ist ersichtlich, daß der Kurvenradius, die Kurvigkeit und die Fahrbahnbreite die am häufigsten vorkommenden Einflußgrößen sind. Ihre Wirkungen sind anhand von Messungen einfach quantifizierbar. Andere streckenspezifische Einflußgrößen wie z. B. Straßenumfeld und Fahrraumgestalt werden nicht berücksichtigt, weil ihre Einflüsse kaum faßbar und quantifizierbar sind. Aus diesem Grund scheint es nicht sinnvoll zu sein, nach Verfahren zu suchen, die die Aufstellung allgemeingültiger, allen Anforderungen genügender Geschwindigkeitsprognosen ermöglichen. Erfolgversprechender ist es, sich um zweckorientierte Verfahren mit deutlich abgegrenzten Anwendungsbereichen zu bemühen. Das Verfahren der RAS-L 95 (FGSV, 1995) zur Bestimmung der Geschwindigkeit  $V_{85}$  für Einzelkurven in Abhängigkeit von Kurvenradius und Fahrbahnbreite gibt dafür ein gutes Beispiel. In Abb. 4.6 ist ersichtlich, daß die Regressionskurve der RAS-L 95 den oberen Rand der Punktwolke streift und somit den oberen Geschwindigkeitsbereich beschreibt. Angesichts seiner Zweckbestimmung, der fahrdynamischen Bemessung, kann dieses Verfahren als ausreichend genau und zuverlässig angesehen werden.

Die vorstehenden Ausführungen machen die Relevanz des Lageplanes für das Fahrverhalten unbehinderter Pkw deutlich. Die Einflüsse des Kurvenradius (als charakteristischen Parameter einer Lageplankurve) und der Kurvigkeit (als charakteristischen Parameter eines Streckenabschnittes) gelten als sicher, wenngleich die ermittelten Zusammenhänge mehr oder minder stark streuen. Eine Vervollkommnung dieser Parameter könnte bessere Zusammenhänge mit dem Fahrverhalten ergeben. Sie werden in der vorliegenden Arbeit besonders betrachtet.

## 5. Streckencharakteristik und Unfallgeschehen

### 5.1 Unfallkenngrößen

Unfallanalysen stellen eine klassische Methode zur Beurteilung der Sicherheit von Straßen dar. Dabei werden in der Regel die Angaben aus den polizeilichen Unfallakten erfaßt und statistisch ausgewertet. Grundvoraussetzung für Unfalluntersuchungen ist die Einteilung der Unfälle in entsprechende Typen (Tab. 5), die jeweils den Verkehrsvorgang bzw. die Konfliktsituation, woraus der Unfall entstanden ist, bezeichnen.

<b>Unfalltyp Bezeichnung (Abkürzung)</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>Typ 1 Fahrerunfall (F)</b>	um einen "Fahrerunfall" handelt es sich, wenn ein Fahrer die Kontrolle über das Fahrzeug verliert, weil er die Geschwindigkeit nicht entsprechend dem Verlauf, dem Querschnitt, der Neigung oder dem Zustand der Straße gewählt hat oder weil er deren Verlauf oder eine Querschnittsänderung zu spät erkannt hat.
<b>Typ 2 Abbiege - Unfall (AB)</b>	um einen "Abbiege - Unfall" handelt es sich, wenn der Unfall durch einen Konflikt zwischen einem Abbieger und einem aus gleicher oder entgegengesetzter Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer ausgelöst wurde
<b>Typ 3 Einbiegen / Kreuzen - Unfall (EK)</b>	um einen "Einbiegen / Kreuzen - Unfall" handelt es sich, wenn der Unfall durch einen Konflikt zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem Vorfahrtberechtigten ausgelöst wurde.
<b>Typ 4 Überschreiten - Unfall (ÜS)</b>	um einen "Überschreiten - Unfall" handelt es sich, wenn der Unfall durch einen Konflikt zwischen einem die Fahrbahn überschreitenden Fußgänger und einem Fahrzeug ausgelöst wurde, sofern das Fahrzeug nicht soeben abgebogen ist.
<b>Typ 5 Unfall durch ruhenden Verkehr (RV)</b>	um einen "Unfall durch ruhenden Verkehr" handelt es sich, wenn der Unfall durch einen Konflikt zwischen einem Fahrzeug des fließenden Verkehrs und einem auf der Fahrbahn "ruhenden", d. h. einem haltenden / parkenden Fahrzeug ausgelöst wurde.
<b>Typ 6 Unfall im Längsverkehr (LV)</b>	um einen "Unfall im Längsverkehr" handelt es sich, wenn der Unfall durch einen Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern ausgelöst wurde, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegten, sofern dieser Konflikt nicht die Folge eines Verkehrsvorganges ist, der einem anderen Unfalltyp entspricht
<b>Typ 7 sonstiger Unfall (SO)</b>	hierunter fallen alle Unfälle, die keinem anderen Unfalltyp zuzuordnen sind

Tab. 5.1: Unfalltypen nach FGSV, 1991



Zum Zweck der örtlichen Unfalluntersuchung werden von den zuständigen Polizeidienststellen Unfalltypensteckkarten geführt, die einen Überblick über die Sicherheitssituation im jeweiligen örtlichen Straßennetz ermöglichen. Das sind in der Regel Einjahreskarten, die alle polizeilich registrierten Unfälle eines Jahres enthalten. In zunehmendem Maße werden auch Mehrjahreskarten der schweren Unfälle (überwiegend 3 Jahreskarten der Unfälle mit schwerem Personenschaden) geführt.

Ingenieurmäßige Unfalluntersuchungen dienen dem Zweck, Unfallzahlen oder -kenngößen zu vergleichen. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen können Aussagen über das Ausmaß der Gefährdung unter Berücksichtigung bestimmter Straßen- oder Verkehrsbedingungen und die Wirksamkeit von Maßnahmen getroffen werden.

Für die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Unfallgeschehen und baulichen Merkmalen der freien Strecke sind, in der Reihenfolge ihrer Relevanz, die Unfalltypen 1 (Fahrerunfall), 6 (Unfall im Längsverkehr) und zum Teil der Unfalltyp 7 (sonstiger Unfall) von Bedeutung.

Die Qualität der Ergebnisse von ingenieurmäßigen Unfalluntersuchungen hängt sehr stark vom Umfang und von der Zuverlässigkeit der Ausgangsdaten ab. Diese können in folgende drei Gruppen eingeteilt werden:

- **Unfalldaten:** Angaben zu Unfallort, -zeit, -hergang, -folgen usw.; sie werden in der Regel den polizeilichen Unfallakten entnommen
- **Verkehrsdaten:** Angaben zur durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV); sie werden aus periodischen Erhebungen ermittelt
- **Streckendaten:** Angaben zum Verkehrsraum am Unfallort; sie können der Dokumentation des Straßenwesens (Straßenbücher, Straßendatenbanken) oder Planungsunterlagen entnommen oder direkt vor Ort erfaßt werden und mit den Unfalldaten in sogenannte Unfalldiagramme (Skizzen) eingehen

Die Auswertung des Datenmaterials erfolgt im wesentlichen nach zwei Gesichtspunkten:

- Untersuchungen über den Einfluß baulicher und verkehrlicher Merkmale auf das Unfallgeschehen,
- Vergleichende Bewertung von Streckenabschnitten anhand relativer Unfallkenngößen,

Zur vergleichenden Beurteilung der Sicherheitssituation eines Teils des Straßennetzes sind absolute Unfallzahlen wenig geeignet. Deshalb werden sie zu diesem Zweck auf Größen bezogen, welche den Grad der Gefahraussetzung beschreiben. Solche Größen werden als Expositions- bzw. Risikogrößen bezeichnet. Als geeignete Expositionsgröße hat sich für streckenbezogene Verkehrsunfallanalysen die Fahrleistung durchgesetzt.

### Unfallrate (UR) und Unfallkostenrate (UKR)

Die Unfallrate ist eine auf die Fahr- oder die Verkehrsleistung bezogene Unfallkenngröße:

$$\boxed{UR = \frac{U \cdot 10^6}{DTV \cdot L \cdot t \cdot 365}} \quad [\text{Unf.} / (\text{Mio Kfz} \cdot \text{km})] \quad (\text{Gl. 5.1})$$

U: Anzahl der Unfälle auf der Strecke der Länge L [km] im t Jahre umfassenden Untersuchungszeitraum

DTV: durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke [kfz/d] während des Untersuchungszeitraumes

Somit beschreibt die Unfallrate den Gefahrengrad, d. h. das individuelle Risiko, in einen Unfall verwickelt zu werden.

Unter Berücksichtigung der Unfallfolgen erhält man die Unfallkostenrate, die eine Kenngröße zur ökonomischen Beurteilung der Sicherheitssituation darstellt.

$$\boxed{UKR = \frac{UK \cdot 10^3}{DTV \cdot L \cdot t \cdot 365}} \quad [\text{DM} / (\text{Tsd Kfz} \cdot \text{km})] \quad (\text{Gl. 5.2})$$

UK: Unfallkosten [DM]

Die Unfallkosten umfassen alle Sach- und Personenschäden auf der Strecke der Länge L [km] im Zeitraum t [a]. Die Sachschäden werden in der Regel von der Polizei am Unfallort geschätzt und in der Verkehrsunfallanzeige vermerkt. Die Personenschäden werden auf der Basis der volkswirtschaftlichen Verluste monetär quantifiziert. Dazu stehen pauschale Kostensätze zur Verfügung, die periodisch entsprechend der volkswirtschaftlichen Entwicklung aktualisiert werden.

### Unfalldichte (UD) und Unfallkostendichte (UKD)

Die Unfalldichte ist eine auf die Streckenlänge bezogene Unfallkenngröße. Sie ist ein Maß für die Häufigkeit der während eines bestimmten Zeitraumes auf bestimmten Streckenabschnitten geschehenen Verkehrsunfälle:

$$\boxed{UD = \frac{U}{L \cdot t}} \quad [\text{Unf.} / (\text{km} \cdot \text{a})] \quad (\text{Gl. 5.3})$$

Unter Berücksichtigung der Unfallschwere bzw. der Unfallfolgen erhält man die Unfallkostendichte

$$\boxed{\text{UKD} = \frac{\text{UK}}{\text{L} \cdot \text{t}}} \quad [\text{DM} / (\text{km} \cdot \text{a})] \quad (\text{Gl. 5.4})$$

Beide Größen dienen der Aufdeckung von Auffälligkeiten im Straßennetz.

Die EWS 97 (FGSV, 1997) enthalten aktuelle Angaben über Unfallraten, Unfallkostensätze, Unfallkostenraten und Unfallkostendichten für verschiedene Straßentypen. Im Zusammenhang mit der Ermittlung des Nutzens von Straßenbaumaßnahmen hinsichtlich der Verkehrssicherheit wird aber gleichzeitig empfohlen, diese bei Untersuchungen von Straßennetzen, aber auch bei Maßnahmen, die auf kurzen Straßenabschnitten oder an Punkten wirken, den örtlichen Gegebenheiten und zeitlichen Entwicklungen anzupassen. Hierzu sind Algorithmen zur Berechnung angepaßter Unfallkenngrößen (Unfallrate und Unfallkostenrate) angegeben. Sie beziehen sich ausschließlich auf Unfälle mit Personenschaden. Da die Zahl der Unfälle mit Sachschaden nicht vollständig erfaßt wird, empfiehlt sich eine regionale und zeitliche Anpassung der entsprechenden Kenngrößen in der Regel nicht. Der Aufwand hierfür wäre unvertretbar hoch. Für die Berechnung angepaßter Unfallkosten werden also nur die Unfallkosten der Unfälle mit Personenschaden betrachtet, während die Unfallkosten der Unfälle mit Sachschäden mit pauschalen Kostensätzen ermittelt werden. Angepaßte Unfallkosten berücksichtigen demzufolge Unterschiede in der Verunglücktenstruktur (Anzahl der Getöteten, Schwer-/Leichtverletzten), nicht aber in der Höhe der Sachschadenkosten.

## **5.2 Der Einfluß baulicher Merkmale der Streckencharakteristik auf das Unfallgeschehen**

Die Bewertung der Linienführung von Straßen anhand von Unfallkenngrößen setzt die Kenntnis über die Zusammenhänge zwischen Unfallgeschehen und den Elementen des Straßenentwurfes voraus. Aus diesem Grund sind auch in der Vergangenheit zahlreiche Untersuchungen zu dieser Problematik durchgeführt worden. BARTELT / REGNIET / SCHMIDT (1992) teilen diese in zwei Gruppen ein.

In der ersten Gruppe wird das individuelle Fahrverhalten in Abhängigkeit von verkehrlichen und straßenbaulichen Randbedingungen beschrieben. Zu dieser Gruppe gehören u. a. die Untersuchungen von SCHROIF / OTTEN (1988) sowie die von STEIERWALD / BUCK (1992). Hierzu zählen ebenfalls die Arbeiten des HUK-Verbandes, die allerdings auf Ortsdurchfahrten und sonstige Stadtstraßen konzentriert sind (MAIER 1991; MEEWES 1993; HUK-VERBAND 1993).

In der zweiten Gruppe werden Zusammenhänge zwischen dem Unfallgeschehen und den Elementen des Straßenentwurfes beschrieben. In diese Gruppe sind insbesondere folgende Arbeiten einzuordnen:

KREBS / KLÖCKNER (1977): Ermittlung von Zusammenhängen zwischen Unfallraten und den Parametern Fahrbahnbreite, Kurvenradius, Kurvigkeit, Längsneigung, Sichtweite und Verkehrsstärke

HIERSCHKE ET AL. (1984): Untersuchung verschiedener Unfalltypen in Abhängigkeit von ausgewählten Regelquerschnitten und der vorherrschenden Verkehrsstärke

BAUMANN / LEUTZBACH (1985): Untersuchung verschiedener Unfalltypen und Ermittlung der Unfallraten bzw. Unfallkostenraten überwiegend als Funktion der Kurvigkeit im Vorher / Nachher - Vergleich auf nach den RAL-L-1 (FGSV 1973) ausgebauten Straßen

LEUTZBACH / ZOELLMER (1989): Untersuchung der gleichen Parameter wie KREBS / KLÖCKNER (1977) und darüber hinaus des Einflusses von Elementfolgen auf das Unfallgeschehen

BRANNOLTE ET AL. (1992): Ermittlung von Unfallzahlen für ausgewählte Querschnittstypen, insbesondere Zwischenquerschnitte

Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse von KREBS / KLÖCKNER (1977) sowie LEUTZBACH / ZOELLMER (1989) dargestellt und kommentiert. Diese beiden Untersuchungen wurden, trotz des relativ großen Zeitversatzes von 12 Jahren, stellvertretend für die vielen anderen ausgewählt, weil sie auf einer umfangreichen Datenbasis stützen (ca. 14. 200 Unfälle auf 1155 km Streckenlänge bei KREBS / KLÖCKNER bzw. 28. 000 Unfälle auf 1500 km Streckenlänge bei LEUTZBACH / ZOELLMER). Darüber hinaus kann durch die Gegenüberstellung der beiden Untersuchungen die Entwicklung der betrachteten Unfallkenngrößen zwischen den beiden Untersuchungszeiträumen abgelesen werden, da beide methodisch gleich sind. Bei beiden Untersuchungen wurden Zusammenhänge zwischen den Kenngrößen Unfallrate und Unfallkostenrate und bestimmten Elementen des Straßenentwurfes bzw. Straßen- und Verkehrsbedingungen außerhalb geschlossener Ortschaften ermittelt. Die nachfolgenden Betrachtungen müssen jedoch auf die Unfallrate allein beschränkt werden. Die Unfallkostenraten sind nicht ohne weiteres vergleichbar, da sie auf der Grundlage unterschiedlicher Kostensätze ermittelt wurden.

Die Differenzierung nach Unfalltypen zeigte generell einen stärkeren Zusammenhang zwischen den betrachteten Streckenmerkmalen und den Unfallkenngrößen bei den Fahr-unfällen (Typ 1) und den Unfällen im Längsverkehr (Typ 6) als bei Betrachtung aller Unfälle. Dieser Tatbestand bestätigt die im Abschnitt 2.2 formulierte Hypothese, daß die Ursachen für die Streckenunfälle teilweise in der Gestaltung der Straßenverkehrsanlage selbst liegen.

### 5.2.1 Kurvenradius

Bei allen bislang durchgeführten Untersuchungen konnte der Einfluß des Kurvenradius auf das Unfallgeschehen nachgewiesen bzw. bestätigt werden. Sie gelangen alle zu dem Ergebnis, daß mit zunehmendem Kurvenradius eine Abnahme der Unfallkenngrößen zu verzeichnen ist, wenn auch auf unterschiedlichem Niveau.

1959 ermittelte BITZL für deutsche Straßen eine Unfallrate von 13,64 Unf./10<sup>6</sup> Fz-km bei Radien < 100 m, eine von 8,18 bei Radien zwischen 100 und 200 m und für größere Radien eine Unfallrate zwischen 5,83 und 3,63 Unf./10<sup>6</sup> Fz-km.

KREBS / KLÖCKNER (1977) sowie LEUTZBACH / ZOELLMER (1989) teilten die Kurvenradien in elf verschiedene Klassen und untersuchten diese hinsichtlich der Unfallrate und Unfallkostenrate. In Abb. 5.1 sind die Ergebnisse der Untersuchungen für die Unfallrate zusammengestellt. Beide Untersuchungen weisen generell die gleiche Tendenz nach.

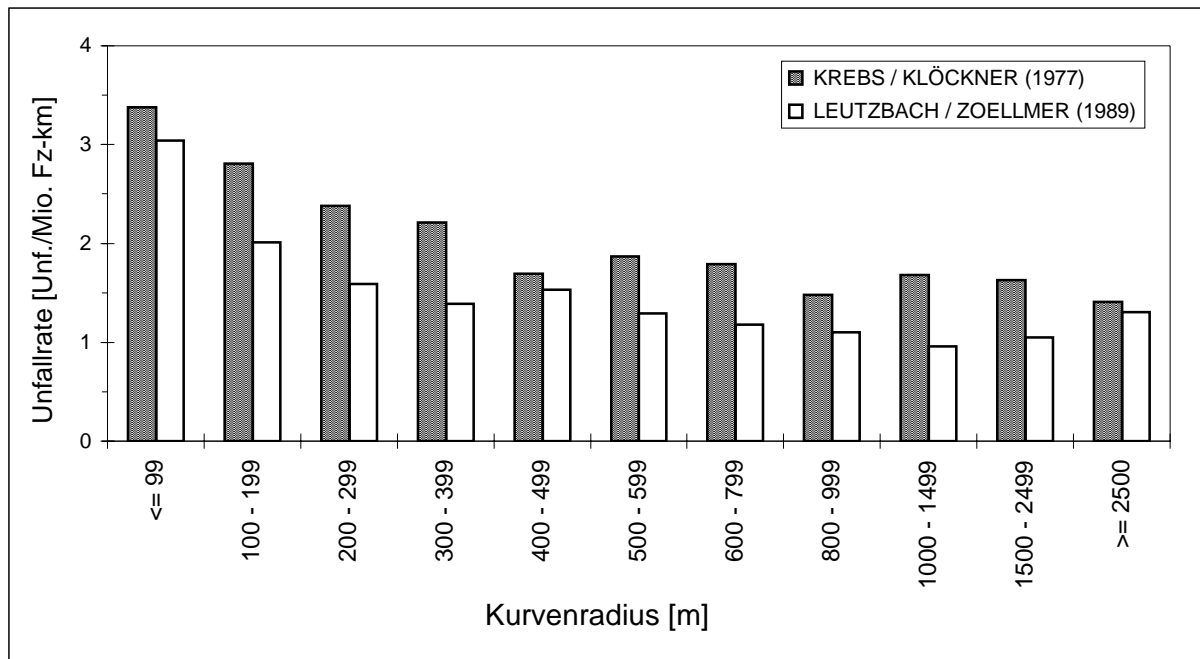
Deutlich zeigt sich eine Abnahme der Unfallrate mit zunehmendem Kurvenradius bis ca. 500 m bei KREBS / KLÖCKNER bzw. 400 m bei LEUTZBACH / ZOELLMER. Oberhalb dieser Radiengrößen ist die Veränderung der Unfallrate relativ unbedeutend.

Die Differenzierung nach Fahrbahnbreiten zeigte in allen betrachteten Breitenklassen eine Abnahme der Unfallrate bei zunehmendem Kurvenradius. Auf breiten Fahrbahnen ( $B > 8 - 9$  m) beeinflussen die Kurvenradien, solange sie 200 m nicht unterschreiten, das Unfallgeschehen nur unwesentlich.

Hinsichtlich des zusätzlichen Einflusses der Längsneigung war eine Gefährlichkeit von Längsneigungen über 6% erst in Kombination mit engen Radien ( $R < 200$  m) festzustellen (KREBS / KLÖCKNER).

Zusammenfassend kann vermerkt werden, daß die Unfallrate generell mit zunehmendem Kurvenradius abnimmt, wobei Radien über 400 m keine nennenswerte Sicherheitserhöhung bewirken. Hingegen scheint das Unfallrisiko bei Radien unter 100 m sowie bei Längsneigungen über 6% in Kombination mit Kurvenradien unter 200 m relativ groß zu sein.

Da das Fahrverhalten und demzufolge auch das Unfallgeschehen an einer bestimmten Stelle im hohen Maße von der Charakteristik der vorgelagerten Strecke bestimmt werden, ist der Kurvenradius allein kein ausreichendes Kriterium für die Beurteilung der Sicherheit einer Kurve. Ein enger Radius innerhalb oder am Ende einer sehr kurvigen Strecke ist nicht so gefährlich wie ein mittlerer Radius nach einer langen Geraden (s. Abb. 5.4).



**Abb. 5.1:** Unfallrate in den einzelnen Radienklassen nach KREBS / KLÖCKNER (1977) und LEUTZBACH / ZOELLMER (1989)

### 5.2.2 Kurvigkeit

Aus der Erkenntnis, daß der Kurvenradius allein nicht zur Beschreibung der Sicherheitssituation ausreicht, wurde die Kurvigkeit (siehe 4.3.2.3) als zusätzliches Merkmal in die Unfalluntersuchungen einbezogen.

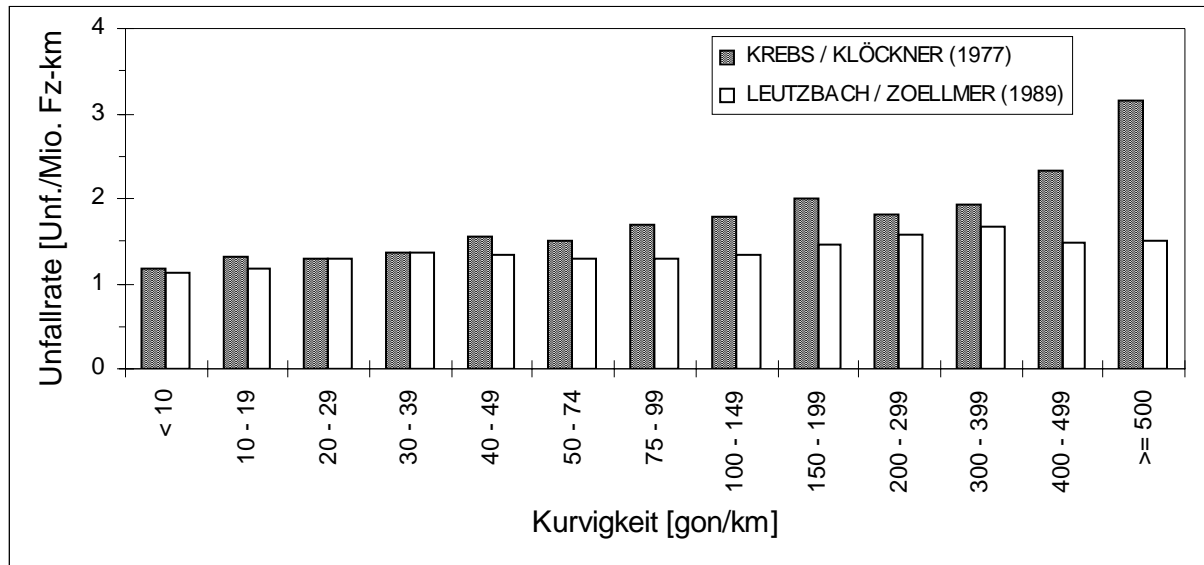
KREBS / KLÖCKNER (1977) betrachten für jeden 100 m - Streckenabschnitt eine zurückliegende Strecke von 600 m Länge inklusive des aktuellen 100 m - Abschnittes.

LEUTZBACH / ZOELLMER (1989) beziehen ebenfalls die Ermittlung der Kurvigkeit zunächst auf eine Strecke von 600 m Länge, jedoch vor dem betrachteten Element.

Die Ergebnisse beider Untersuchungen sind im Abb. 5. 2 dargestellt.

Bei beiden Untersuchungen zeigt sich eine Zunahme der Unfallrate mit zunehmender Kurvigkeit, wobei der Anstieg bei KREBS / KLÖCKNER stärker ausgeprägt ist als bei LEUTZBACH / ZOELLMER.

Ein weiterer Unterschied ist, daß bei ersteren Untersuchungen ein starker Anstieg der Unfallrate bei extremen Kurvigkeiten ( $\geq 500$  gon/km) ermittelt wurde, was bei letzteren nicht bestätigt werden konnte. Im Gegenteil wurde dort eher ein Rückgang der Unfallrate festgestellt.



**Abb. 5.2:** Unfallrate in den einzelnen Kurvigkeitsklassen nach KREBS / KLÖCKNER (1977) und LEUTZBACH / ZOELLMER (1989)

Diese Unterschiede können schwer interpretiert bzw. erklärt werden, weil in beiden Fällen die Zuordnung der Kurvigkeit zur Charakteristik des betrachteten "Abschnittes" bzw. "Elementes" fehlt. Auf dieses Defizit in der Unfallforschung wurde bereits in 5.2.1 hingewiesen.

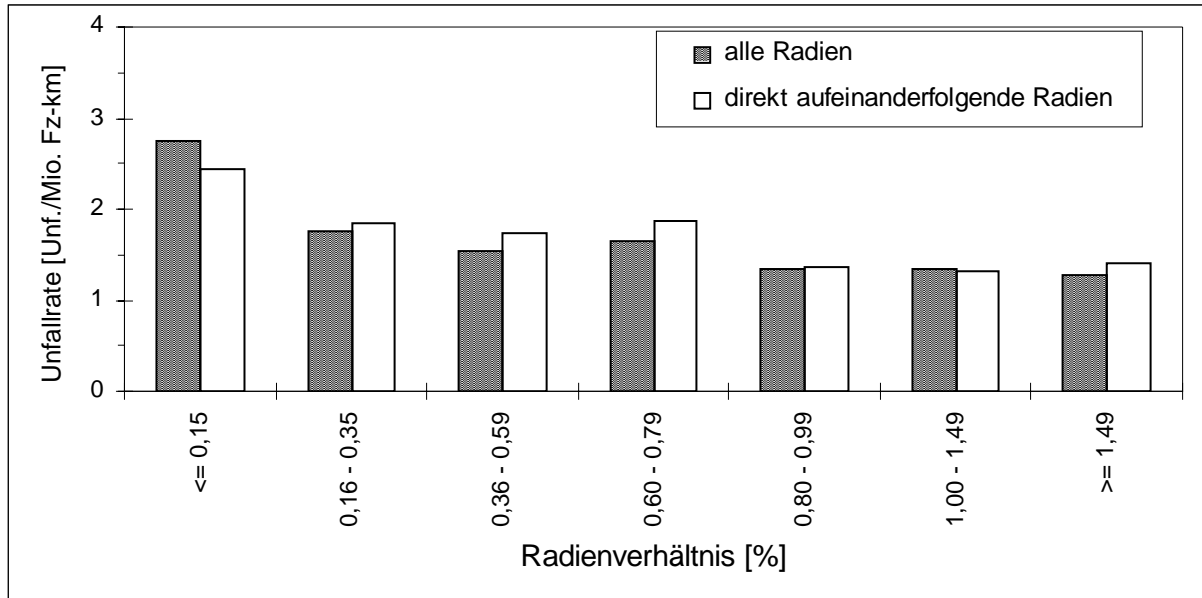
Eine Differenzierung nach Fahrbahnbreite und Längsneigung erfolgte bei beiden Untersuchungen nicht.

### 5.2.3. Elementfolge

Den Ansatz einer elementübergreifenden Betrachtungsweise bei der Auswertung von Unfällen machten LEUTZBACH / ZOELLMER (1989), in dem sie den Einfluß der Elementfolge im Lageplan auf das Unfallgeschehen untersuchten. Dazu wurde einerseits das Radienverhältnis aufeinanderfolgender Kurven, andererseits die Elementfolge Gerade-Kurve untersucht.

Das Radienverhältnis wurde durch Division des Radius des betrachteten Kreisbogens durch den Radius des - in Fahrtrichtung - davorliegenden Kreisbogens erfaßt ( $R_i / R_{i-1}$ ). Für die Auswertung wurden die Radienverhältnisse in sieben Klassen unterschiedlicher Breite eingeteilt. Die Auswertung erfolgte getrennt für:

- "alle Radien", d. h. es wurden alle Kreisbögen einbezogen, auch solche, zwischen denen ein Übergangsbogen oder eine Gerade vorhanden ist,
- "direkt aufeinanderfolgende Radien", d. h. es wurden nur die Kreisbögen berücksichtigt, denen in der betrachteten Richtung ein Kreisbogen unmittelbar vorausgeht. Abb. 5.3 zeigt das Ergebnis für die Unfallrate.



**Abb. 5.3:** Unfallrate in Abhängigkeit vom Radienverhältnis nach LEUTZBACH / ZOELLMER (1989)

Bei Betrachtung aller Radien zeigt sich ein deutlich erhöhtes Unfallrisiko bei Radienverhältnissen unter 0,15. Leicht erhöhte Werte sind bei Verhältnissen bis 0,8 zu verzeichnen. Über diesen Wert hinaus ist kein Einfluß des Radienverhältnisses mehr auf das Unfallgeschehen festzustellen.

Bei Betrachtung direkt aufeinanderfolgender Radien sind die Zusammenhänge nicht deutlicher ausgeprägt. Die Unfallrate zeigt hier im Bereich von Radienverhältnissen bis ca. 0,25 eine weniger starke Abnahme als bei Betrachtung aller Radien. Verhältnisse über 0,8 beeinflussen auch hier, ebenso wie bei Betrachtung aller Radien, nicht mehr das Unfallgeschehen.

Die Differenzierte Betrachtung nach Fahrbahnbreite zeigte keine hiervon abweichende Tendenz.

Die Untersuchung beschränkte sich lediglich auf die Auswertung von Verhältniswerten. Die absolute Radiengröße wurde nicht mehr berücksichtigt, obwohl deren Einfluß als nachgewiesen gilt (vgl. 5.2.1). Auch beim gleichen Verhältnis wirken sich kleine Radien sicherlich anders aus als große, so daß auch hier ein Ansatzpunkt für zusätzliche, differenzierte Auswertungen bestand.

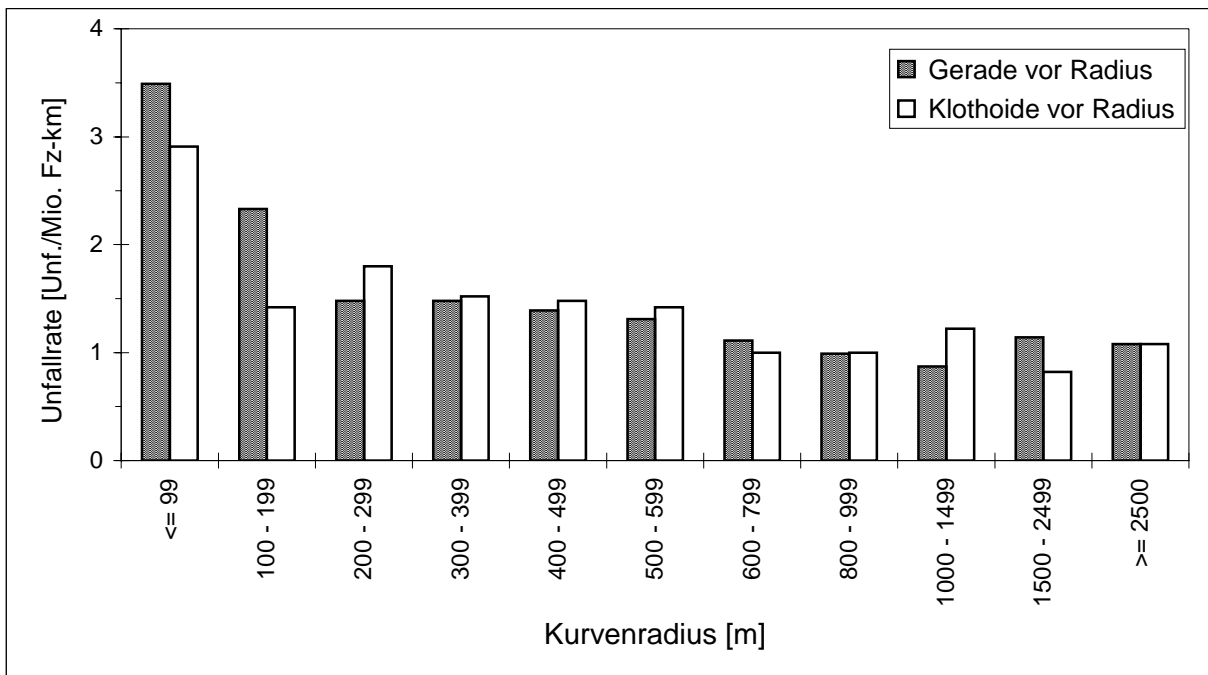
In jedem Fall liegt der genannte kritische Wert von 0,15 weit außerhalb des zulässigen Verhältnisbereiches nach den zum Zeitpunkt der Untersuchungen gültigen RAS-L-1 (1984). Dieser Umstand hat sich sehr förderlich auf die Erweiterung des Diagramms zur Abstimmung der Radienfolge ("Relationstulpe") ausgewirkt (DURTH, WEISE ET AL, 1995).

Bei der Untersuchung der Folge Gerade - Kurve bestand das Anliegen der Autoren u. a. in der Überprüfung, ob die Vorschaltung einer Klothoide sich auf die Unfallsituation auswirkt.



Deshalb erfolgte auch die Unterscheidung "Gerade vor Radius" und "Klothoide vor Radius". Das Ergebnis zeigt Abb. 5.4.

Darin sind deutliche Rückgänge der Unfallrate mit zunehmendem Kurvenradius zu verzeichnen. Dabei stellt sich der Wert  $R = 200$  m als Schwellenwert heraus. Bei Radien unterhalb dieser Größe schneidet die Folge "Klothoide vor Radius" deutlich günstiger ab als die Folge "Gerade vor Radius". Oberhalb  $R = 200$  m sind keine systematischen Unterschiede zu erkennen. Diese Feststellungen unterstreichen nochmals die Bedeutung von Übergangsbögen für die Verkehrssicherheit, gerade bei kleinen Radien.

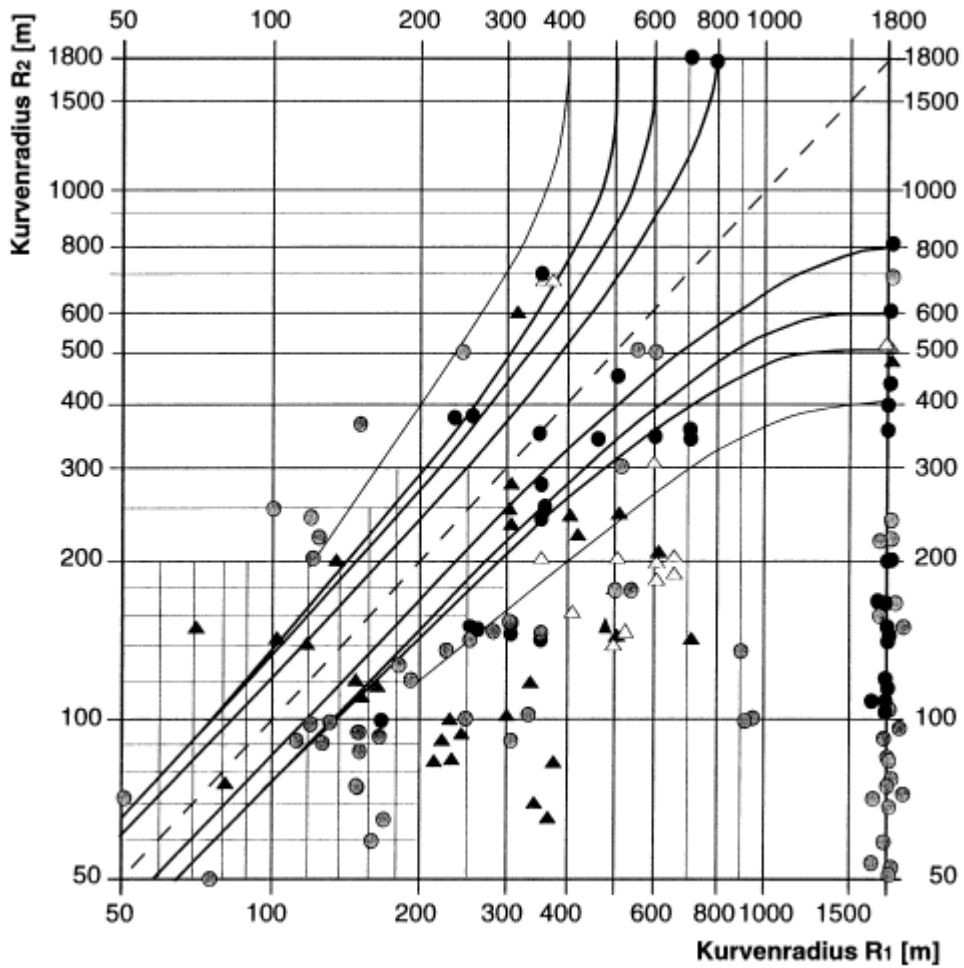


**Abb. 5.4:** Unfallrate in Abhängigkeit der Elementfolge Gerade - Kurve nach LEUTZBACH / ZOELLMER (1989)

Das Forschungsprojekt Überprüfung der Relationstrassierung von Straßen der Kategorien-Gruppe A (DURTH, WEISE ET AL, 1995) bot Gelegenheit, den Zusammenhang zwischen Relationstrassierung und Unfallgeschehen auf der Grundlage aktueller Daten zu überprüfen. Für das Ziel der Untersuchung, die Feststellung günstiger und ungünstiger Elementrelationen, war die Ermittlung von relativen Unfallkenngrößen (vgl. 5.1) aufgrund der Kürze der Bearbeitungszeit nicht möglich und wegen ungenauer bzw. fehlender Angaben der Verkehrsstärken auch nicht sinnvoll. Eine Einzelfallbetrachtung wurde hier als erfolgversprechender erachtet.

Aus den polizeilichen Unfallakten der Jahre 1992 bis 1994 wurden die Unfälle ausgewählt, deren Ursache auf Fehleinschätzungen der Strecke durch den Kraftfahrer zurückgeführt werden können. Hierbei handelt es sich um Fahrurfälle (Typ 1) infolge unangepasster Geschwindigkeit. Diese Unfälle wurden der vorhandenen Streckencharakteristik einerseits und den gemessenen 85%-Geschwindigkeiten andererseits zugeordnet und in das

Diagramm zur Abstimmung der Radienfolge eingetragen. Abb. 5.5 zeigt die Überlagerung aller betrachteten Fälle.



**Legende**

○	Unfall in gegensinnig gekrümmter Elementfolge	△	Unfall in gleichsinnig gekrümmter Elementfolge (Korbbogen)
●	$V_{85} \geq 95 \text{ km/h}$	△	$V_{85} \geq 95 \text{ km/h}$
⊙	$V_{85} < 95 \text{ km/h}$	▲	$V_{85} < 95 \text{ km/h}$

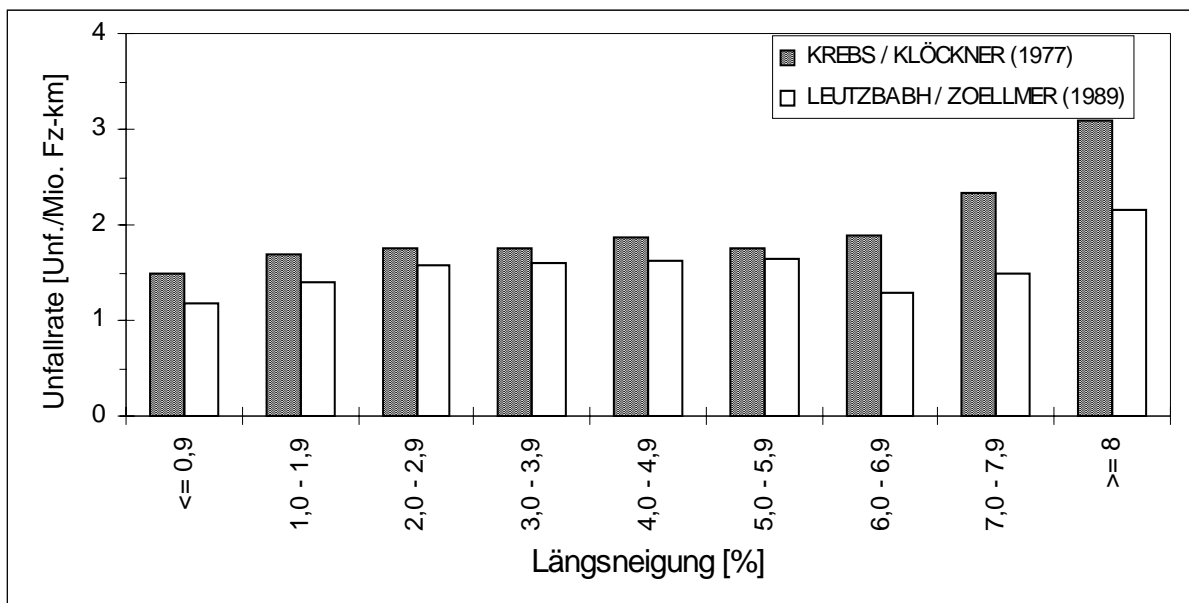
**Abb. 5.5:** Unfälle in Kurvenfolgen (DURTH / WEISE ET AL, 1995)

Daraus ist der positive Einfluß der Relationstrassierung auf die Sicherheit unverkennbar. Relationstrassierte Strecken weisen ein deutlich geringeres Unfallgeschehen auf als nicht relationstrassierte.

Mit ca. einem Drittel ist der Anteil der Unfälle in Korbbögen am Gesamtunfallgeschehen relativ hoch. Solche Unfälle ereignen sich vor allen Dingen auch dann, wenn die Radien innerhalb des guten bzw. sehr guten Bereiches liegen. Aus diesem Grund wird in den RAS-L 95 (FGSV, 1995) von Korbbögen abgeraten und grundsätzlich die Einschaltung eines Übergangsbogens zwischen gleichsinnig gekrümmten Kreisbögen (Eilinie) gefordert.

#### 5.2.4 Längsneigung

Fahrzeuge des Schwerverkehrs erleiden an Steigungen oft Geschwindigkeitsverluste, die zu einer breiten Streuung des Geschwindigkeitsspektrums führen. Auf Gefällestrrecken müssen Fahrzeuge des Schwerverkehrs oft mit verminderter Geschwindigkeit fahren, um einerseits die Auswirkungen des längeren Bremsweges zu kompensieren, andererseits der Gefahr des Versagens des Bremssystems vorzubeugen. Diese mit zunehmender Längsneigung anwachsende Inhomogenität im Verkehrsablauf kann zu einem erhöhten Unfallrisiko führen. Zur Untersuchung des Einflusses der Längsneigung auf das Unfallgeschehen unterscheiden KREBS / KLÖCKNER neun Längsneigungsklassen mit einer Klassenbreite von jeweils 1%, wobei die letzte Klasse (= 8,0%), ebenso wie bei den anderen Merkmalen, nach oben offen ist. LEUTZBACH / ZOELLNER legen ihren späteren Untersuchungen die gleiche Einteilung zugrunde. Abb. 5.6 zeigt das Ergebnis beider Untersuchungen für die Unfallrate.



**Abb. 5.6:** Unfallrate in den einzelnen Längsneigungsklassen nach KREBS / KLÖCKNER (1977) und LEUTZBACH / ZOELLNER (1989)

Eine eindeutige Erhöhung der Unfallrate zeigt sich bei KREBS / KLÖCKNER ab Längsneigungen von 6%. Das entspricht auch der Größenordnung, für die ein Einfluß auf das

Fahrverhalten als sicher gilt (vgl. 4.3.2.4). Bei LEUTZBACH / ZOELLMER hingegen ist keine systematische Veränderung zu verzeichnen.

Die Differenzierung nach Kurvenradien zeigte bei KREBS / KLÖCKNER, daß besonders bei Radien unter 400 m eine Beeinflussung durch die Gradienten erst oberhalb von 7% eintritt. Für Radien zwischen 400 und 1000 m war dagegen kein signifikanter Einfluß der Längsneigung auf die Unfallrate zu verzeichnen. Bei größeren Radien war kein eindeutiger Trend erkennbar.

Hinsichtlich der Fahrbahnbreite zeigten beide Untersuchungen ein erhöhtes Unfallrisiko bei der Kombination breiter Fahrbahnen ( $B > 8$  m) mit großen Längsneigungen ( $s > 5$  bzw. 7%). Bei den schmalen Fahrbahnen wurde ein sprunghafter Anstieg der Unfallrate ab Längsneigungen von ca. 7% festgestellt.

Günstiger schienen im Zusammenhang mit der Längsneigung die mittelbreiten Fahrbahnen zu sein. Nach einem leichten Anstieg zwischen 0 und 5% Längsneigung fällt hier die Unfallrate wieder auf vergleichsweise niedrige Werte ab.

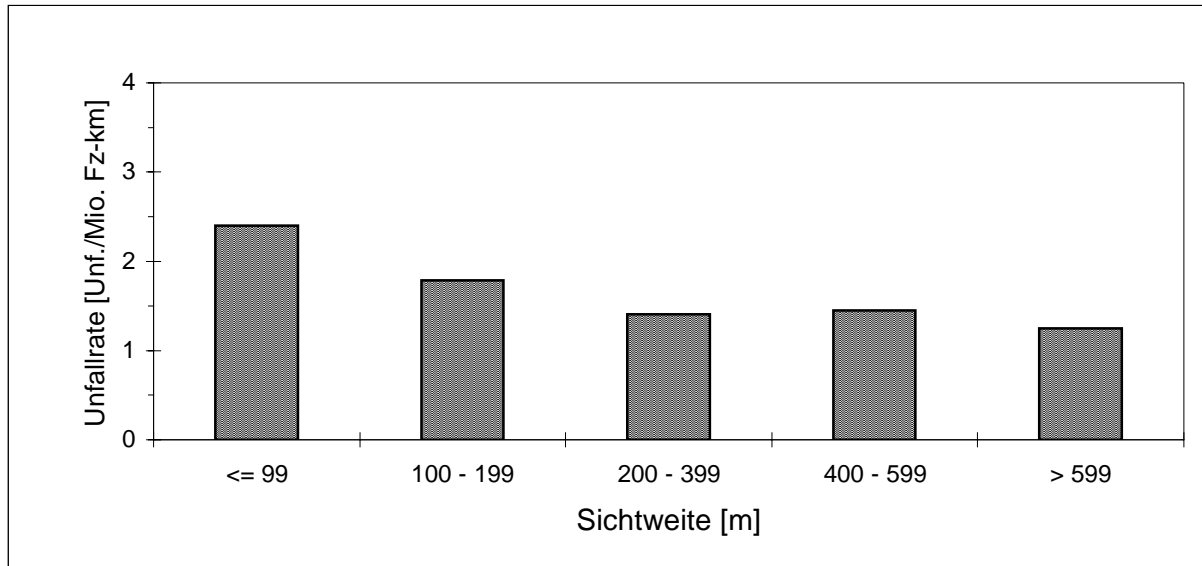
### **5.2.5 Sichtweite**

Die Sichtweite hat für den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit eine große Bedeutung. Für HIERSCHE (1968) ist sie sogar das mit Abstand wichtigste Entwurfs- und Beurteilungskriterium für alle Straßenentwürfe. Nicht zuletzt aus Sicherheitsgründen fordern die Entwurfsrichtlinien (RAS-L 95) die durchgängige Einhaltung der Haltesichtweite und ein Mindeststreckenanteil mit ausreichender Überholmöglichkeit im Zuge einer Außerortsstraße. Obwohl die Sichtweite bekanntlich mit anderen Parametern (Kurvigkeit, Welligkeit) korreliert, ist die gesonderte Untersuchung ihres Einflusses auf das Unfallgeschehen notwendig.

Hierzu teilten KREBS / KLÖCKNER die Sichtweite in 5 Klassen und ordneten diesen für 100 m - Streckenabschnitte die entsprechenden Unfallkennzahlen zu. Das Ergebnis zeigt Abb. 5.7 für die Unfallrate.

Darin ist logischerweise eine hohe Unfallrate bei Sichtweiten unter 100 m erkennbar. Sie ist hier etwa doppelt so hoch wie bei Sichtweiten über 200 m, die ihrerseits kaum noch Einfluß auf das Unfallgeschehen ausüben.

Die Differenzierung nach Kurvenradien brachte hier keine zusätzlichen Erkenntnisse. Bei Radien unter 400 m besitzen allein die Sichtweiten unter 100 m ein deutlich erhöhtes Unfallrisiko, während bei Radien über 400 m der Zusammenhang zwischen Unfallrate und Sichtweite sehr schwach ist.



**Abb. 5.7:** Unfallrate in den einzelnen Sichtweitenklassen nach KREBS / KLÖCKNER (1977)

Hinsichtlich des zusätzlichen Einflusses der Fahrbahnbreite zeigte sich in allen drei Breitenklassen ein Rückgang der Unfallrate mit zunehmender Sichtweite, der bei den mittleren Breiten (7,25 bis 8,75 m) am stärksten ausgeprägt war.

#### 5.2.6 Fahrbahnbreite

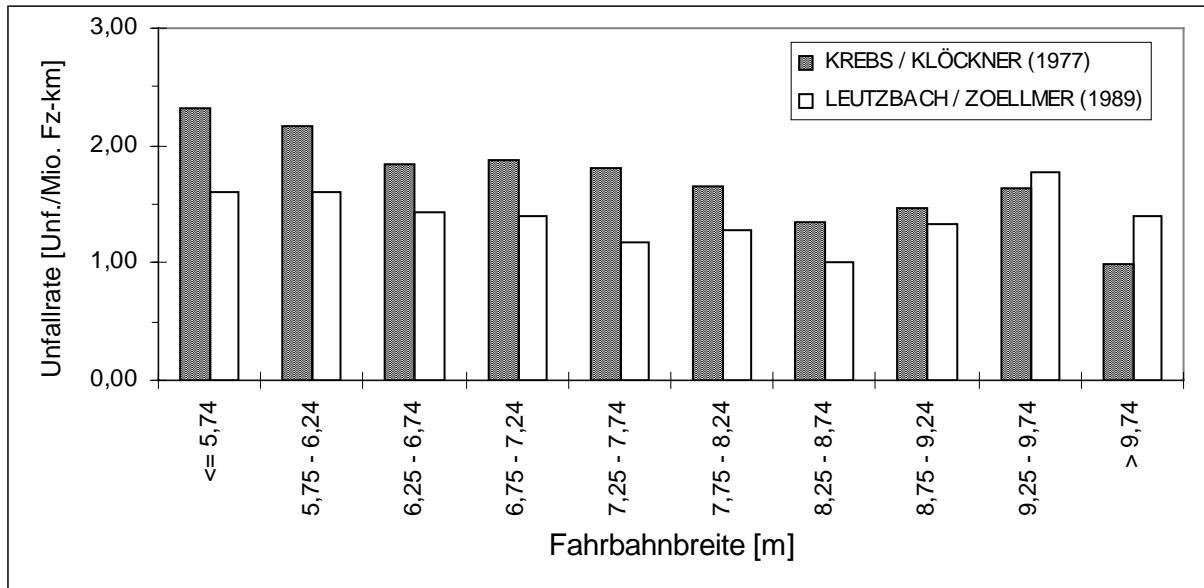
Der Einfluß der Fahrbahnbreite von einbahnigen Außerortsstraßen war Gegenstand einer Reihe von Untersuchungen, deren Ergebnisse nicht einheitlich sind. In den meisten Fällen wurde eine Abnahme des Unfallgeschehens mit zunehmender Fahrbahnbreite festgestellt. Bei einigen wenigen wurde diese Aussage relativiert.

KREBS / KLÖCKNER wie auch LEUTZBACH / ZOELLNER teilten die Fahrbahnbreiten in zehn Klassen mit einer Klassenbreite von 0, 50 m ein, wobei alle Fahrbahnbreiten über 9,75 m in der letzten Klasse zusammengefaßt sind. Die Ergebnisse ihrer Untersuchungen sind für die Unfallrate in Abb. 5.8 dargestellt.

Es zeigt sich eine Abnahme der Unfallrate bis zu einer Fahrbahnbreite von ca. 8,00 bis 8,50 m. Danach steigt die Unfallrate wieder an. Da die Untersuchungen sich ausschließlich auf einbahnig zweistreifige Straßen beziehen, handelt es sich hierbei offensichtlich um überbreite Querschnitte (b2ü).

Bei der Differenzierung nach Unfalltypen stellen KREBS / KLÖCKNER einen günstigen Einfluß breiter Fahrbahnen auf die Sicherheit hinsichtlich der Fahrurfälle (Unfalltyp 1) fest. Diesen günstigen Einfluß führen sie aber darauf zurück, daß breite Fahrbahnen meist an Strecken vorhanden sind, die, sicherlich aufgrund ihrer Bedeutung im Netz, im allgemeinen besser ausgebaut sind (gestrecktere Linienführung, geringere Längsneigungen, ...). Im Gegensatz zu den Fahrurfällen zeigen die Unfälle im Längsverkehr (Unfalltyp 6) einen Wiederanstieg der Unfallrate bei Fahrbahnbreiten über 8,75 m. Diese Tendenz ist dadurch

zu erklären, daß solche breiten Fahrbahnen bei einbahnig zweistreifigen Straßen zu gefährlichen Überholmanövern verleiten (BRANNOLTE ET AL., 1992).



**Abb. 5.8:** Unfallrate in den einzelnen Fahrbahnbreitenklassen nach KREBS / KLÖCKNER (1977) und LEUTZBACH / ZOELLMER (1989)

### 5.3 Zusammenfassung

In den vorstehenden Ausführungen wurde der Einfluß der verschiedenen Entwurfparameter auf die Sicherheit bzw. das Unfallgeschehen erörtert. In Tab. 5.2 sind die erkannten unfallbegünstigenden Elementgrößen bzw. -kombinationen zusammengefaßt.

Element	Kritische Größe	Besonders bei
Kurvenradius	< 100 m	- Längsneigung > 6% - Fahrbahnbreite < 8 m (einschl. Verbreiterung)
Kurvigkeit	> 500 gon/km	
Elementfolge Radienverhältnis Gerade vor Radius Klothoide vor Radius	< 0,15 R < 200 m R < 100 m	
Längsneigung	> 6%	- Kurvenradius < 400m - Fahrbahnbreite > 8 m
Sichtweite	< 100 m	- Kurvenradius < 400m - Fahrbahnbreite < 7,25 m > 8,75 m
Fahrbahnbreite	< 6,25 m > 8,50 m	

**Tab. 5.2:** Unfallbegünstigende Elementgrößen bzw. -kombinationen

Das unterschiedliche Ausprägungsmaß der dargestellten Zusammenhänge kann als Bedeutung der jeweiligen Parameter für die Sicherheit interpretiert werden. In diesem Zusammenhang stechen der Kurvenradius und die Kurvigkeit besonders hervor.

Besonders wertvoll sind die Ergebnisse der Untersuchungen von LEUTZBACH / ZOELLMER bezüglich des Einflusses der Elementfolge. Diese wurden in die Überlegungen bei der Überprüfung der Relationstrassierung von Straßen der Kategoriengruppe A (DURTH, WEISE ET AL, 1995) einbezogen und aktualisiert.

Darüber hinaus sind die Erkenntnisse hinsichtlich der Bedeutung des Übergangsbogens bei kleinen Kurvenradien für die Beurteilung der Linienführung von "Altausbaustrecken" sehr nützlich, weil auf solchen Strecken häufig kleine Radien (unterhalb der Forderungen der Richtlinien) ohne Übergangsbögen vorhanden sind.

Bemerkenswert ist, daß die Unfallraten bei LEUTZBACH / ZOELLMER generell niedriger liegen als bei KREBS / KLÖCKNER. Diese Tendenz wird noch deutlicher, wenn man die von BITZL 1959 ermittelten Werte in den Vergleich einbezieht. Das ist ein Zeichen für das allgemein gestiegene Sicherheitsniveau auf Außerortsstraßen.

Es ist jedoch kritisch zu vermerken, daß die Betrachtung von Einzelementen zur Aufdeckung der Zusammenhänge zwischen Streckencharakteristik und Unfallgeschehen nicht ausreicht, da die betrachteten Elemente nicht einzeln vom Kraftfahrer wahrgenommen werden. Die Wahrnehmung der Streckencharakteristik durch den Kraftfahrer erfolgt eher komplex. Die Ausführungen im Abschnitt 4.3.2.7 gelten hier sinngemäß.

## 6. Methoden zur Bewertung der Sicherheit von Straßen

### 6.1 Bewertung mit Hilfe von Unfallkenngrößen

Die Fachliteratur weist eine Reihe von Bewertungsansätzen aus, die auf Unfallkenngrößen beruhen. Sie dienen in erster Linie einer vergleichenden Beurteilung bestimmter Straßentypen oder Straßennetzeile.

#### 6.1.1 Querschnittsbezogene Ansätze

Einen ersten Versuch, die Forderung nach Verkehrssicherheit zahlenmäßig festzulegen und bereits in der Straßenplanung zu verankern, unternahm BITZL Anfang der sechziger Jahre. Ausgehend von der Erkenntnis, daß die Festlegung von Grenzwerten für die einzelnen Trassierungselemente allein zur Gewähr einer ausreichenden Sicherheit nicht genügt, wurde mit Hilfe mathematisch-statistischer Methoden eine Regressionsgleichung für die Unfallhäufigkeit aufgestellt, in der folgende Einflußfaktoren enthalten sind:

- Fahrbahnbreite (b)
- Kurvenradius (R)
- Längsneigung (s)
- Verkehrsbelastung (d)

Für jeden Querschnittstyp wurden der Erwartungswert (Schätzwert) sowie die untere und die obere Grenze des 90%-Vertrauensbereiches ermittelt. Hierbei wurden die jeweils ungünstigsten Werte für die Eingangsgrößen angesetzt; das bedeutet für den Kurvenradius und die Längsneigung die für die jeweilige Querschnittsgruppe zutreffenden Grenzwerte nach den damals gültigen Richtlinien. Die für die Berechnung maßgebende Verkehrsbelastung wurde aus der Entwurfsleistungsfähigkeit nach einem Verfahren der RAL-Q (1956) berechnet.

Der Sicherheitsgrad berechnet sich dann wie folgt:

$$v = \frac{U_{\max}}{U_{ri}} \quad (\text{GL. 6.1})$$

$U_{\max}$  höchstzulässige relative Unfallziffer und  
 $U_{ri}$  relative Unfallziffer des Querschnittes  $RQ_i$

Für  $U_{\max}$  wurde nach dem allgemein gültigen Prinzip in der ingenieurwissenschaftlichen Sicherheitsrechnung der Wert für den schmalsten Querschnitt, d. h. der ungünstigste Gefahrenwert, der praktisch festgestellt wurde, gewählt.

Damit lassen sich nunmehr die Sicherheitsgrade für die verschiedenen Straßentypen nach den RAL-Q (1956) berechnen (Tab. 6.1).



Querschnitt	$U_r$ [Unf./10 <sup>6</sup> Kfz-km]	Sicherheitsgrad $v$
RQ 9,0	6,26	1,00
RQ 10,5	4,66	1,34
RQ 11,5	3,35	1,87
RQ 13,0	4,51	1,39
RQ 14,0	3,31	1,89
RQ 16,0	4,51	1,39
RQ 17,0	3,31	1,89
RQ 19,0	3,31	1,89
RQ 23,0	2,31	2,71
RQ 28,5	1,77	3,54

**Tab. 6.1:** Sicherheitsgrade der Straßentypen nach BITZL (1964)

Dieser querschnittsorientierte Ansatz war, wie bereits angedeutet, ein erster Versuch, die Sicherheit von Straßen zu quantifizieren. Nach heutigem Erkenntnisstand ist er jedoch zur Bewertung der Fahrsicherheit aus folgenden Gründen nicht sinnvoll:

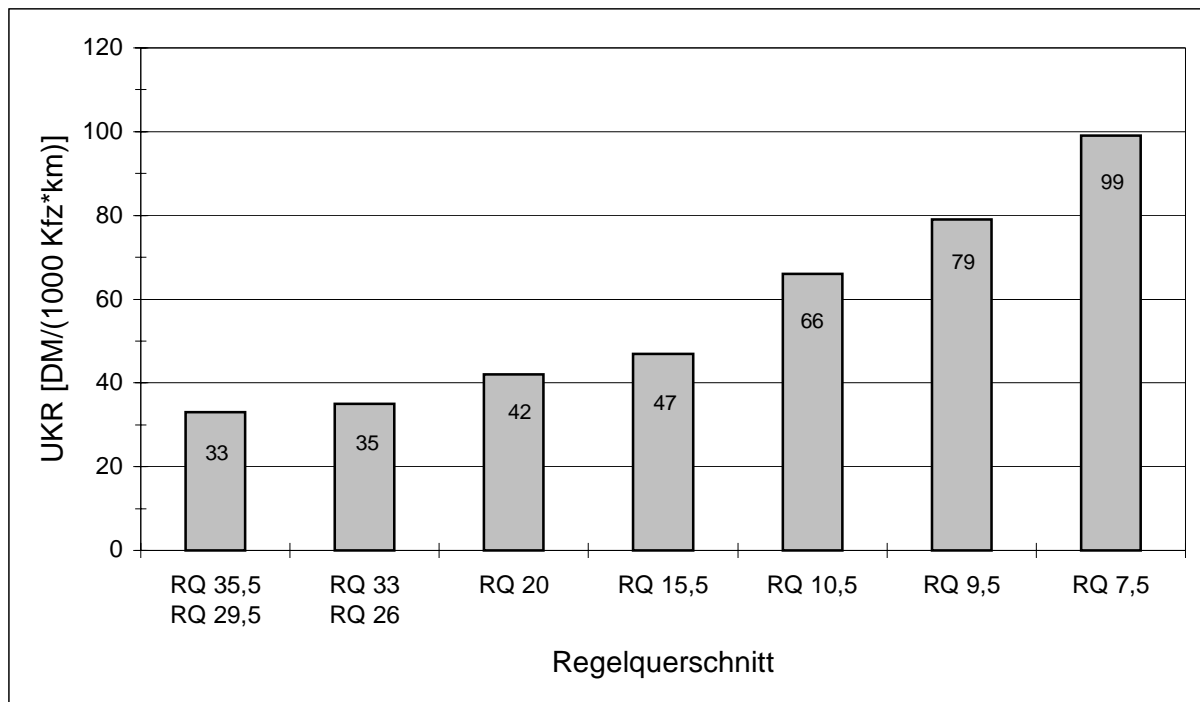
- der Ansatz wertet den schmalsten Querschnitt (hier RQ 9,0) generell als den unsichersten.

Zur Berechnung der Erwartungswerte für die relativen Unfallziffern der einzelnen Querschnittsgruppen wurde jeweils von den entsprechenden Trassierungsgrenzwerten ausgegangen. Das bedeutet, daß eine durchgängig mit dem Mindestradius trassierte Straße unabhängig von der Elementfolge als die unsicherste bezüglich der Lageplantrassierung angesehen wird.

- Der Ansatz ermöglicht lediglich eine vergleichende Beurteilung verschiedener Regelquerschnitte

Der Ansatz der RAS-Q 96 (FGSV, 1996), wengleich auf statistischen Erhebungen gestützt, folgt einem ähnlichen Prinzip. Hier wird davon ausgegangen, daß die Verkehrssicherheit von Straßen bei richtliniengerechtem Ausbau in starkem Maße von der Querschnittsgestaltung sowie von der Knotenpunktausbildung und der Verkehrsstärke abhängt. Die Einflüsse der Linienführung werden bei Beachtung der RAS-L, insbesondere der Relationstrassierung, als weniger bedeutend eingeschätzt. Als Maß zur Beurteilung der Verkehrssicherheit dient die Unfallkostenrate (UKR). Abb. 6.1 zeigt die Unfallkostenraten für die verschiedenen Regel-

querschnitte entsprechend der RAS-Q 96 (darin nicht berücksichtigt sind die Anteile aus den für Knotenpunkte typischen Abbiege- und Einbiegen / Kreuzen-Unfällen).

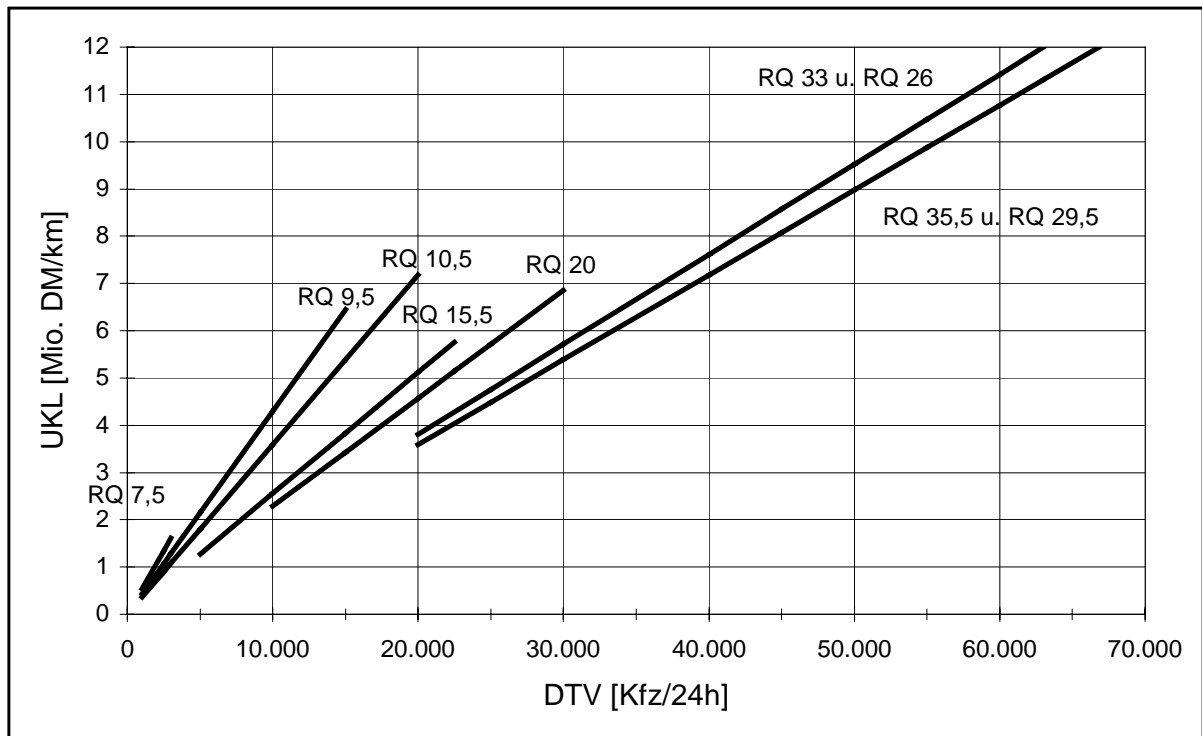


**Abb. 6.1:** Unfallkostenrate (UKR) der verschiedenen Regelquerschnitte nach RAS-Q 96 (Preisstand 1995)

Um die vertretbaren zusätzlichen bzw. einsparbaren Investitionskosten für die in Frage kommenden Querschnitte abschätzen zu können, wurden die Unfallkostendichten, die sich aus den Unfallkostenraten (Abb. 6.1) ergeben ( $UKD = 365 \cdot 10^{-6} \cdot UKR(RQ) \cdot DTV$  [1000 DM/(km•a)]), über einen Planungszeitraum (20 Jahre) auf der Grundlage der EWS-97 (FGSV, 1997) in Barwerte umgerechnet. Abb. 6.2 zeigt die Barwerte der längenbezogenen Unfallkosten (UKL) der verschiedenen Regelquerschnitte in Abhängigkeit vom DTV.

Diese längenbezogenen Unfallkosten ermöglichen zusammen mit den ebenfalls längenbezogenen Aufwendungen eine Art Nutzen-Kosten-Vergleich zwischen verschiedenen Querschnitten. Die Wahl eines größeren Querschnittes ist nur dann sinnvoll, wenn die zusätzlichen Aufwendungen je Kilometer Straße für den Baulastträger geringer sind als die einsparbaren längenbezogenen Unfallkosten. Umgekehrt sollen die einsparbaren Aufwendungen des Baulastträgers bei Verzicht auf die Realisierung des jeweils aufwendigeren Regelquerschnittes mindestens die einsparbaren Unfallkosten betragen.

Das beschriebene Verfahren verbindet bei der Querschnittswahl Aspekte der Verkehrssicherheit und der Wirtschaftlichkeit.



**Abb. 6.2:** Barwerte der längenbezogenen Unfallkosten (UKL) der verschiedenen Regelquerschnitte in Abhängigkeit des DTV für Streckenabschnitte nach RAS-Q 96 (Preisstand 1995)

### 6.1.2 Bewertung mit Hilfe kritischer Unfallmaßzahlen

Um Unfallhäufungsstellen im Netz möglichst objektiv erkennen zu können, geht VON DER FORST (1974) von "Kritischen Unfallkennzahlen" aus. Das von ihm entwickelte Verfahren basiert auf den Unfallkenngrößen Unfalldichte und Unfallrate

Zur Bestimmung der entsprechenden kritischen Werte wird die Poisson-Verteilung (Gesetz der seltenen Ereignisse) angesetzt. Der Zufallshöchstwert einer solchen Verteilung kann für eine bestimmte statistische Sicherheit  $p$  näherungsweise bestimmt werden.

Auf der Grundlage von Erfahrungen empfiehlt der Verfasser, zur Festlegung der kritischen Unfalldichte  $U_{dkr}$  mit  $p = 99,5 \%$ , und zur Ermittlung der kritischen Unfallrate  $U_{rkr}$  mit  $p = 95\%$ , zu rechnen.

Die Ermittlung der kritischen Unfallzahlen kann auch zweckmäßigerweise für bestimmte Unfalltypen bzw. Unfallarten erfolgen.

Bei Überschreitung der kritischen Werte gilt der entsprechende Streckenabschnitt als Unfallschwerpunkt und es sind Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit einzuleiten.

Zum Erkennen und Bewerten gefährlicher Streckenabschnitte schlagen LAMM und KLÖCKNER (1976) ein zweistufiges Vorgehen vor, das, ebenso wie bei VON DER FORST, auf einem Vergleich mit kritischen Unfallkenngrößen beruht.

Zur Ermittlung der entsprechenden kritischen Werte gehen sie von der Überlegung aus, daß bei der Beurteilung von statistischen Zusammenhängen, z.B. des Geschwindigkeitsverhaltens an einem bestimmten Querschnitt, die 15%- und 85%-Werte eines bestimmten Parameters herangezogen werden. Hierbei wird der 15%-Wert zur Charakterisierung im unteren Bereich (z.B. Fahrverhalten der langsamen Fahrzeuge) und der 85%-Wert für den oberen Bereich (z.B. Bezugsgröße der schnellen Fahrzeuge) verwendet. Zwischen dem 15%- und dem 85%-Wert liegen 70% der Ereignisse. Man kann nun davon ausgehen, daß alle Ereignisse in diesem Bereich mehr oder minder als durchschnittlich und nicht besonders hervorstechend zu beurteilen sind. Im vorliegenden Zusammenhang heißt dies, daß alle Streckenabschnitte, die, bezogen auf eine der jeweiligen Kennzahlen Werte annehmen, die oberhalb der 85%-Grenze liegen, besonders herausragen und im einzelnen zu überprüfen sind.

Zur Beurteilung der Gefährlichkeit wurden hierbei die Unfallkennzahlen Unfallrate, Unfallkostenrate, Unfalldichte und Schadensdichte herangezogen. Während die beiden ersten sich auf die Fahrleistung beziehen und das individuelle Risiko charakterisieren, unterliegen die beiden letzteren insbesondere wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Die Bestimmung von kritischen Unfallmaßzahlen über relative Unfallkenngrößen mit Längenbezug zum Auffinden von Unfallhäufungsstellen bzw. Unfallschwerpunkten erwies sich aber als ungeeignet.

Aus diesem Grund sieht PFUNDT (1991) einen Punkt oder eine Strecke als **Unfallauffällig** an, wenn in der Einjahres-Unfalltypen-Steckkarte folgende Richtwerte erreicht werden:

- a) an einem Straßenknoten oder auf einem kurzen Abschnitt ( $\leq 200$  m) mindestens
  - 3 Unfälle gleichen Typs
  - 2 Unfälle gleichen Typs mit schwerem Personenschaden (Tote, Schwerverletzte)
  - 2 Unfälle gleichen Typs mit Fußgängern oder Radfahrern
  - 8 Unfälle unterschiedlichen Typs
  - 3 Unfälle unterschiedlichen Typs mit schwerem Personenschaden
  - 3 Unfälle unterschiedlichen Typs mit Fußgängern oder Radfahrern
- b) auf einem Streckenabschnitt bis 1 km Länge mindestens
  - 6 Unfälle gleichen Typs
  - 3 Unfälle gleichen Typs mit schwerem Personenschaden
  - 3 Unfälle gleichen Typs mit Fußgängern oder Radfahrern
  - 12 Unfälle unterschiedlichen Typs
  - 4 Unfälle unterschiedlichen Typs mit schwerem Personenschaden
  - 4 Unfälle unterschiedlichen Typs mit Fußgängern oder Radfahrern

bei DTV-Werten bis zu 10 000 Kfz/24h aufgetreten sind. Bei größeren Verkehrsmengen können die Richtwerte entsprechend angehoben werden, sofern das nach den örtlichen Verhältnissen angemessen erscheint.

Eine Unfallhäufung liegt dann vor, wenn in der Unfalltypen-Steckkarte für das laufende Kalenderjahr mindestens

- 3 Unfälle mit Personenschaden oder
- 4 Unfälle mit mindestens schwerem Sachschaden oder
- 5 Unfälle einschließlich derjenigen mit leichtem Sachschaden aufgetreten sind.

Solche Vorgaben sind als gesellschaftliche Wertgrößen überschaubar, verständlich und differenziert ansetzbar.

ECKSTEIN / MEEWES (1998) nehmen eine Differenzierung nach **Unfallhäufungsstellen (UHS)**, **Unfallhäufungslinien (UHL)** und **Unfallhäufungsgebieten (UHG)** vor, welche in den verschiedenen Kartentypen erkannt werden können. Tab. 6.2 beinhaltet die entsprechende Zuordnung sowie die Kriterien für das Erkennen von Auffälligkeiten.

Unfallhäufungsstellen sind punktuelle Unfallhäufungen. Sie können sowohl in der Ein- als auch in der Dreijahreskarte auffallen.

Unfallhäufungslinien treten entlang längerer Straßenabschnitte auf. Sie werden in der Dreijahreskarte der Unfälle mit schwerem Personenschaden (3-JK(SP)) festgestellt.

Unfallhäufungsgebiete treten innerorts, meist (in größeren Gemeinden und in Städten) im Netz der Erschließungsstraßen auf. Sie werden in der Dreijahreskarte der Unfälle mit Personenschaden (3-JK(P)) bewertet.

<b>Art der Unfallhäufung</b>	<b>Maßgebende Karten</b>	<b>Erkennen von Auffälligkeiten</b>
Unfallhäufungsstellen UHS	<b>1-JK</b> <b>3-JK(p); 3-JK(SP)</b>	Grenzwerte;
Unfallhäufungslinien UHL	<b>3-JK(SP)</b>	optische Dichte UD(SP) <sup>*</sup> Grenzwerte;
Unfallhäufungsgebiete UHG	<b>3-JK(P)</b>	Unfalldichte UD(P) <sup>**</sup>

<sup>\*</sup>UD(SP): Unfalldichte der Unfälle mit schwerem Personenschaden

<sup>\*\*</sup>UD(P): Unfalldichte der Unfälle mit Personenschaden

**Tab. 6.2:** Arten von Unfallhäufungen, maßgebende Karten und Kriterien für das Erkennen von Auffälligkeiten (ECKSTEIN / MEEWES, 1998)

Die Grenzwerte für das Erkennen von Auffälligkeiten sind beispielsweise für Unfallhäufungsstellen in Tab. 6.3 wiedergegeben. "Gleichartige" bedeutet hierbei gleicher Unfalltyp oder gleiche Unfallumstände, wie z.B. Radfahrer- oder Fußgängerbeteiligung.

<b>Unfalltypen-Streckkarte</b>	<b>Grenzwerte Anzahl der Unfälle</b>	<b>Betrachtungszeitraum [Monate]</b>
1-Jahres-Karte	<b>5 (gleichartige)*</b>	12
3-Jahres-Karte(P)	<b>5</b>	36
3-Jahres-Karte(SP)	<b>3</b>	36

*werden Unfälle mit verwarnungsfähigen Delikten in der Einjahreskarte nicht geführt, ermäßigt sich der Grenzwert auf 4*

**Tab. 6.3:** Grenzwerte für Unfallhäufungsstellen UHS (ECKSTEIN / MEEWES, 1998)

Darüber hinaus erfolgt eine Differenzierung nach Unfallhäufungsstellenkategorien, die den Hergang der Auffälligkeit (Kartentyp) bewerten (Tab. 6.4).

<b>UHS-Kategorie</b>		
1	<b>Leicht</b>	Die Auffälligkeit kommt ausschließlich aus der Einjahreskarte; nicht aus den Dreijahreskarten. Es handelt sich also um eine Häufung leichter Unfälle
1.1	bis 15 U/a*	Normale Häufungsstelle der Kategorie "Leicht"
1.2	über 15 U/a	Massenhäufungsstelle der Kategorie "Leicht"
2	<b>Schwer</b>	Die Auffälligkeit folgt ausschließlich aus einer oder beiden Dreijahreskarten, ohne daß der Grenzwert für die Einjahreskarte (5 gleichartige Unfälle) erreicht wurde
3	<b>Gemischt</b>	Die Auffälligkeit folgt aus der Einjahreskarte und mindestens einer Dreijahreskarte
3.1	bis 15 U/a	Normale Häufungsstelle der Kategorie "Gemischt"
3.1	über 15 U/a	Massenhäufungsstelle der Kategorie "Gemischt"

*U/a: Unfälle pro Jahr*

**Tab. 6.4:** Unfallhäufungsstellenkategorien sowie Unterscheidungen in "Massenhäufungsstellen" und "normale Unfallhäufungsstellen" (ECKSTEIN / MEEWES, 1998)

Im Vergleich zu den Vorgaben von PFUNDT (1991) sind die Kriterien für das Vorliegen einer Unfallhäufung insgesamt schärfer geworden. So werden die Unfälle mit schwerem Personenschaden stärker berücksichtigt. Auch unterbleibt die Anhebung der Grenzwerte bei größeren Verkehrsstärken. Statt dessen wird unterschieden zwischen Massenhäufungsstellen und normalen Unfallhäufungsstellen, die unterschiedlich zu behandeln sind. Diese Verschärfung der Kriterien für das Vorliegen einer Unfallhäufung ist letztlich ein Ausdruck für den gewachsenen Sicherheitsanspruch.

### 6.1.3 Bewertung der Sicherheit von Straßennetzen

Einen ersten Versuch, Verkehrssicherheit in die Bewertung von Straßennetzen einzuführen, stellen die Hinweise zur Ermittlung der Verkehrssicherheitsqualität (VSQ) von Straßen dar (FGSV, 1990). Grundlage des Bewertungsverfahrens ist die Differenz zwischen vorhandenen einerseits und unter günstigen Voraussetzungen erreichbaren minimalen Unfallkosten (Grund-Unfallkosten) andererseits für Streckenabschnitte und Knotenpunkte.

Die vorhandenen Unfallkosten werden aus den vorhandenen Unfallzahlen (möglichst über einen Zeitraum von drei Jahren) und den aktuellen Unfallkostensätzen ermittelt.

Die Grund-Unfallkosten ergeben sich aus einer Grund-Unfallrate. Diese entspricht dem Wert, der von 15% der Streckenabschnitte bzw. Knotenpunkte des untersuchten Straßennetzes unterschritten wird.

Für Streckenabschnitte wird die Unfallkostendichte-Differenz, für Knotenpunkte die Unfallkosten-Differenz bewertet. Auf der Grundlage dieser Differenz wird die Verkehrssicherheitsqualität anhand einer Skala entsprechend Tab. 6.5 eingestuft.

DKD <sup>st</sup> bzw. DK <sup>kn</sup>	VSQ-Stufe	Wertung
≤ 0	1	gut
> 0 ... 0,25 M	2	
> 0,25 M ... 0,50 M	3	
> 0,50 M ... 0,75 M	4	
> 0,75 M ... 1,00 M	5	
> M	6	Gering

*DKD<sup>st</sup> Unfallkostendichte-Differenz für Streckenabschnitte*

*DK<sup>kn</sup> Unfallkosten-Differenz für Knotenpunkte*

*M Unfallkosten(dichte)-Differenz, die auf 95% der Streckenabschnitten bzw. der Knotenpunkte unterschritten wird (95%-Wert)*

**Tab. 6.5:** Zuordnung von Unfallkosten(dichte)-Differenz und VSQ-Stufe

Zur Berücksichtigung bzw. Erkennung von Unfallhäufungsstellen wird eine gleitende 300-m-Betrachtung der Streckenabschnitte empfohlen. Eine Unfallhäufungsstelle liegt dann vor, wenn

- die Unfalldichte um 200% oder mehr über dem Mittelwert des betrachteten Streckenabschnittes liegt
- und
- zumindest fünf Unfälle (ohne solche mit leichtem Sachschaden) pro Jahr im Mittel des Betrachtungszeitraumes aufgetreten sind.

MEEWES und BUTTERWEGGE (1996) kritisieren bei diesem Verfahren vor allem die Nichtberücksichtigung der Unfallstruktur, die aber für die Ableitung geeigneter Maßnahmen von zentraler Bedeutung ist. Rührt beispielsweise die Unfallkostendichte vollständig oder überwiegend von Fahrurfällen oder Fußgänger- und Radfahrerunfällen her, so können in vielen Fällen Verbesserungen unabhängig von der Verkehrsstärke wirksam werden (z.B. gemeinsame Geh- und Radwege außerorts). Sie halten außerdem den Bezugswert für die Grundunfallkostenrate (15%-Wert) für willkürlich und somit ohne Bezug zum erreichbaren Sicherheitsniveau. Schließlich vertreten sie die Auffassung, daß Punktwerte zur Einschätzung von Sicherheitspotentialen generell ungeeignet sind.

Aus diesen Gründen entwickelten sie das Verfahren der Verkehrs-Sicherheits-Prüfung (VSP), das eine Weiterentwicklung der VSQ darstellt und grundsätzlich auf dem Vergleich des vorhandenen Sicherheitsniveaus mit einem durchschnittlich erreichbaren Sicherheitsniveau durch moderne Straßengestaltung und -ausstattung (Sicherheitspotential) beruht. Das Verfahren zielt also darauf ab, diejenigen Straßenzüge herauszufinden, bei denen durch straßenbauliche und/oder verkehrsregelnde Maßnahmen erhebliche Verbesserungen der Verkehrssicherheit erreicht werden können.

Das Verfahren beruht auf der Auswertung von Unfalltypensteckkarten (3-Jahres- sowie 1-Jahres-Karten) und umfaßt im einzelnen folgende Arbeitsschritte mit den zugeordneten Kenngrößen (Tab. 6.6):

Arbeitsschritt	Kenngröße
(1) Bestimmen der Unfallauffälligkeit	Unfallkostendichte (UKDa)
(2) Ermitteln der Verkehrsunsicherheit	Unfallkostenrate (UKRa)
(3) Beurteilen der Gleichartigkeit	Unfallkostendichte (gUKD)
(4) Abschätzen der Vermeidbarkeit	vermeidbare Unfallkostendichte (vUKDa) (bei hoher Gleichartigkeit gUKD)
(5) Maßnahmen-Programme	-

**Tab. 6.6:** Arbeitsschritte und Kenngrößen im Rahmen der VSP nach MEEWES/ BUTTERWEGGE (1996)

Kernpunkt des Verfahrens ist demnach die Abschätzung der Vermeidbarkeit von Unfällen (Sicherheitspotentiale). Diese wird durch die vermeidbare Unfallkostendichte ausgedrückt, die sich aus einer Grundunfallkostenrate UKR(G) errechnen läßt. Die Grundunfallkostenrate stellt diejenige Grundunsicherheit dar, die modern trassierte und ausgestattete Straßen im Mittel erreichen. Sie hängt außerorts vom DTV ab, für Ortsdurchfahrten aber nicht.

Die Verkehrs-Sicherheits-Prüfung entspricht vom Grundansatz her dem vorstehend beschriebenen Verfahren der Verkehrssicherheitsqualität. Unterschiede bestehen in folgenden Punkten:



- die VSP berücksichtigt, im Gegensatz zur VSQ, die Unfallstruktur bei der Ermittlung der vermeidbaren Unfallkostendichte
- zur Ermittlung der Grundunfallkostenrate geht die VSP vom Mittelwert modern trassierter und ausgestatteter Straßen (entsprechend RAS-W bzw. RAS-Q), die VSQ aber vom 15%-Wert der untersuchten Streckenabschnitte aus
- die VSP verzichtet auf eine Skalenwertung. Statt dessen wird empfohlen, einerseits anhand der ermittelten vermeidbaren Unfallkosten eine Dringlichkeitsreihung der untersuchten Straßenzüge vorzunehmen, andererseits durch Gegenüberstellung mit den notwendigen Investitionskosten für eine Modernisierung ein Nutzen-Kosten-Betrachtung anzustellen.

#### **6.1.4 Schlußfolgerungen**

Die vorstehenden Ausführungen, zeigen, daß die Sicherheitsforschung noch sehr stark an die Unfallforschung angelehnt ist aber wenig Bezug zu den hier interessierenden Bewertungskriterien erreichen konnte, die der Streckencharakteristik zugeordnet sind. Dieses Herangehen hat seine Berechtigung darin, daß das Unfallgeschehen der deutlichste Ausdruck für die Sicherheit einer Straßenverkehrsanlage ist. Bestrebungen zur Verbesserung der Sicherheitssituation, in welcher Weise auch immer, bedeuten aus dieser Sicht zwangsläufig Bestrebungen zur Vermeidung oder zumindest zur Reduzierung der Unfälle. Umgekehrt bedeutet auch jede Reduzierung von Unfällen eine Verbesserung der Sicherheit. Insofern ist das oben erwähnte Herangehen in der Sicherheitsforschung legitim. Unfallfreiheit ist aber nicht gleichbedeutend mit Verkehrssicherheit. Der Straßenverkehr birgt wesentlich mehr Risiken in sich und es entstehen darin auch wesentlich mehr Konflikte als Unfälle geschehen. Auch so betrachtet sind Straßenverkehrsunfälle seltene Ereignisse. Darin liegt gerade das Problem bei der Unfallforschung. Aus der Betrachtung des seltenen Ereignisses "Unfall" allein kann kein eindeutiges Ursache-Wirkungs-Gefüge aufgestellt werden, was aber für eine wirksame Sicherheitsarbeit notwendig ist. Im Rahmen der Sicherheitsarbeit sollen nicht nur Unfälle, sondern auch und vielmehr Gefahren und Gefährdungen reduziert bzw. vermieden werden. Dazu ist es erforderlich, ausgehend von den Erkenntnissen bezüglich der Einflüsse einzelner Elemente und Elementkombinationen auf die Sicherheit bzw. Unsicherheit ein Verfahren bzw. Modell aufzustellen, aus dem sich der Begriff "Sicherheit" als numerische Größe ableitet und am Unfallgeschehen validierbar ist. Für die Bewertung der Linienführung nach der Zielfunktion Fahrsicherheit im Sinne der vorliegenden Arbeit ist es dementsprechend notwendig, die Merkmale bzw. Merkmalkombinationen der Linienführung zu erkennen, die für die Sicherheit bzw. Unsicherheit von Bedeutung sind. Die Bewertungsmaßstäbe können dann entsprechend dem Bedeutungsgrad der

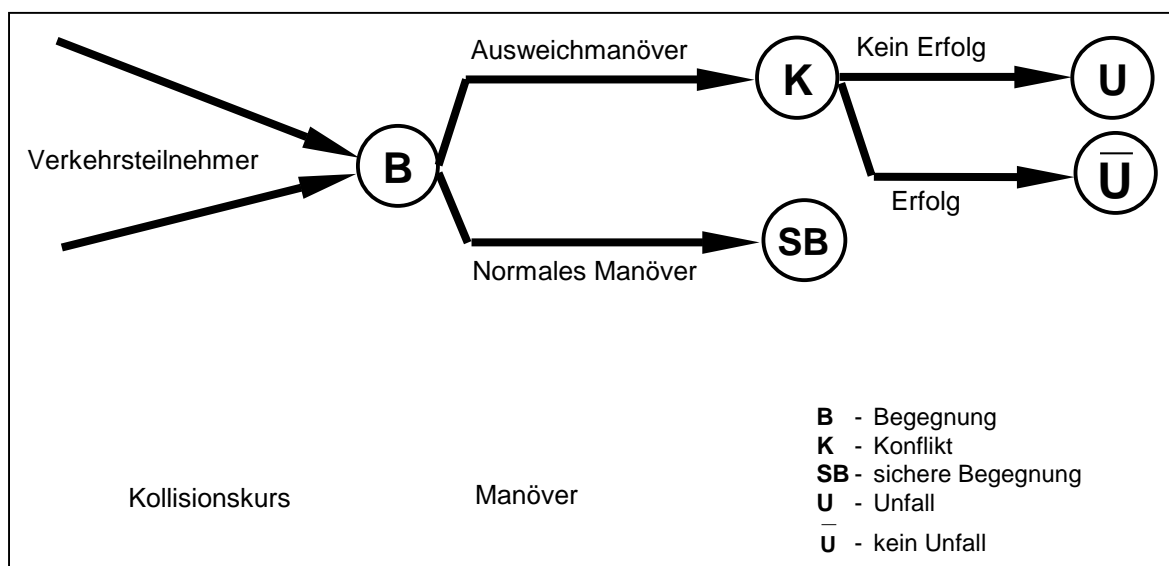
einzelnen Merkmale bzw. Merkmalkombinationen aufgestellt und schließlich anhand der Streckenunfälle (Fahrerunfälle und Unfälle im Längsverkehr) validiert werden.

Zur Aufstellung solcher Modelle bzw. Verfahren werden in der Literatur verschiedene Möglichkeiten vorgeschlagen, auf die im folgenden eingegangen wird.

## 6.2 Stochastische Bewertungsmethoden

### 6.2.1 Verkehrskonflikttechnik

Die Verkehrskonflikttechnik ist eine Methode, mit der systematisch Verkehrsbeobachtungen durchgeführt und auf Konflikte hin analysiert werden, um Gefährdungssituationen zu erfassen und damit Aussagen zur Sicherheit treffen zu können. Dabei wird ein Verkehrskonflikt als "eine beobachtbare Situation, in der sich zwei oder mehr Verkehrsteilnehmer zeitlich und räumlich so annähern, daß die zunehmend wahrscheinlicher werdende Kollision nur durch ein Ausweichmanöver vermieden werden kann" definiert (ZIMOLONG, 1982). Abb. 6.3 zeigt eine schematische Darstellung der Ablaufkette Verkehrsbegegnungen und ihre Folgen.



**Abb. 6.3:** Die Verkehrsbegegnungen und ihre Indikatoren (ZIMOLONG, 1982)

Entsprechend der obigen Definition beruht die Verkehrskonflikttechnik auf der Beobachtung von Begegnungen zwischen Verkehrsteilnehmern. Die Erfassung der Konflikte erfolgt in der Regel nach

- Konflikttypen bzw. -arten,
- den beteiligten Verkehrsteilnehmern,
- der Konfliktschwere,
- Beobachtungsräumen und
- Zeitintervallen

Analog den Unfalluntersuchungen werden auch hier zur Auswertung relative Konfliktkenngrößen gebildet, wie beispielsweise die Konfliktrate

$$\boxed{KR = \frac{K_t}{B_t}} \quad [-] \quad (\text{Gl. 6.2})$$

$K_t$  Anzahl der Konflikte in der Beobachtungszeit  $t$

$B_t$  Anzahl der Begegnungen in der Beobachtungszeit  $t$

Das Vorliegen eines Konflikts kann z. B. durch kritische Manöver angezeigt werden, die das Ziel haben, eine Kollision zu vermeiden; dies sind plötzliche Geschwindigkeits- und Richtungsänderungen. Aber auch Verletzungen der verkehrsrechtlichen Bestimmungen werden schon als Konflikte angesehen.

Der Vorteil der Verkehrskonflikttechnik gegenüber Unfallanalysen besteht darin, wie bereits erwähnt, daß Konflikte sich wesentlich häufiger ereignen als Unfälle. Die entsprechenden Analysen können somit auf eine breitere Datenbasis gestellt werden.

Nachteilig im Sinne der vorliegenden Arbeit ist, daß die Verkehrskonflikttechnik lediglich auf Begegnungen zwischen Verkehrsteilnehmern bezogen wird. Das schränkt die Anwendung der Methode weitgehend auf innerstädtische Bereiche und Knotenpunkte ein. Für die Bewertung der Linienführung von Außerortsstraßen ist die Verkehrskonflikttechnik wenig geeignet, weil die Gestaltungskriterien für die Linienführung auf der Betrachtung einzel- bzw. unbehindert fahrender Fahrzeuge beruhen.

Konflikte im Straßenverkehr im weiteren Sinne treten nicht nur bei Begegnungen von Verkehrsteilnehmern auf, sondern auch zwischen Verkehrsteilnehmern und der Straßenverkehrsanlage selbst. Eine starke Verzögerung vor einer Kurve oder ein inhomogenes Fahrverhalten infolge unstetiger Linienführung können beispielsweise als Konflikte betrachtet werden. Solche Konflikte, die hier als "Fahrkonflikte" bezeichnet werden, dürften auf Außerortsstraßen die häufigsten sein. Sie sind aber von der bisherigen Verkehrskonflikttechnik ausdrücklich ausgeschlossen geblieben.

Eine weitere Kritik an der Verkehrskonflikttechnik bezieht sich darauf, daß die ursprünglich angenommene Korrelation zwischen Konflikten und Unfällen bisher nicht nachgewiesen werden konnte (BALD, 1991; SCHNABEL / LOHSE, 1997). BALD erklärt dies damit, daß die Verkehrskonflikttechnik im engeren Sinn nur einen begrenzten Bereich der Unfallentstehung, nämlich den Bereich von "Normalsituation" bis "Gefahrsituation" (Abb. 6.4) abdeckt.

Dem gegenüber ist die Möglichkeit der "Gefahrabwendung", die die weitere Entwicklung von der "Gefahrsituation" bis zum Unfall maßgeblich beeinflusst, gerade im Straßenverkehr sehr groß und vielschichtig strukturiert. Um diese Lücke zu schließen, schlägt BALD (1991) als Ergänzung zur Verkehrskonflikttechnik die Anwendung von Risikoanalysen vor.

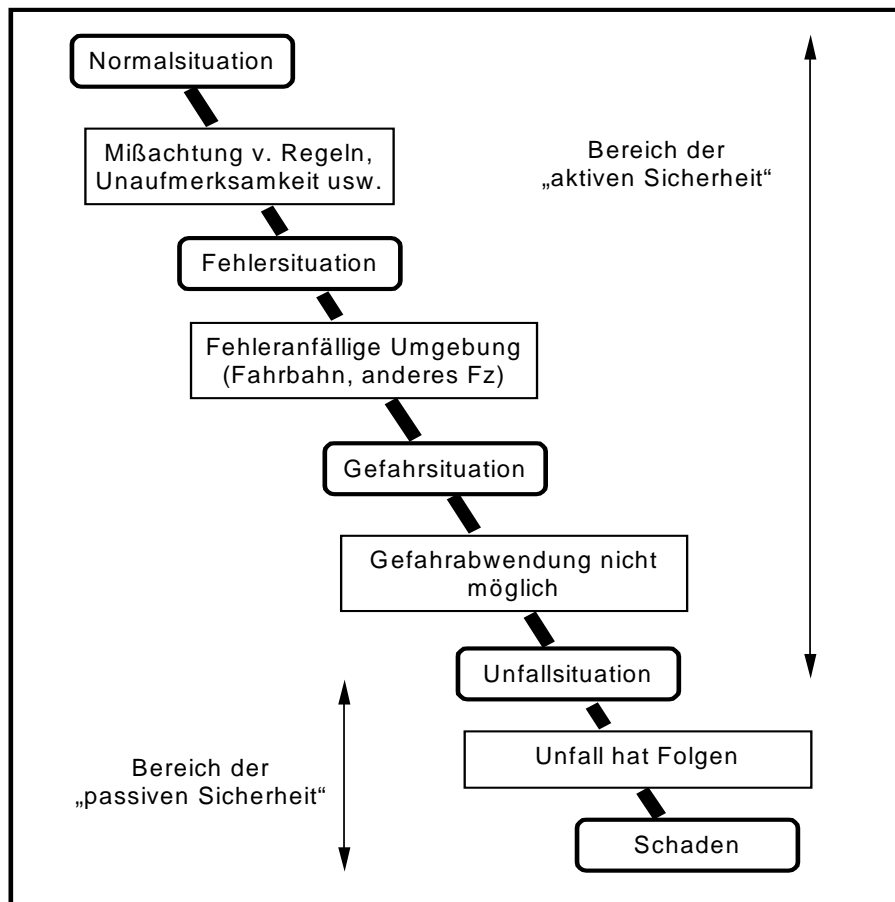


Abb. 6.4: Phasen der Unfallentstehung nach BALD (1991)

## 6.2.2 Risikoanalysen

Eine allgemein verbindliche Definition des Sicherheitsbegriffes gibt es nicht. Die DIN 31004 (1984) definiert ihn als eine "Sachlage, bei der das Risiko kleiner als das Grenzkrisiko ist". Letzteres wird als das größte noch vertretbare anlagenspezifische Risiko eines bestimmten technischen Vorganges oder Zustandes verstanden.

Somit wird der Begriff Sicherheit eng verknüpft mit dem des Risikos. Nach der DIN 31004 (1984) beinhaltet der Begriff Risiko eine Wahrscheinlichkeitsaussage, die

- die bei einem bestimmten technischen Vorgang oder Zustand zu erwartende Häufigkeit des Eintritts eines unerwünschten Ereignisses und
- den bei Ereigniseintritt zu erwartenden Schadenumfang zusammenfaßt.

Das Prinzip einer Risikoanalyse besteht darin, den Systemablauf zu modellieren, der zu einem "Störfall" führen kann.

Diese speziell auf die Funktion technischer Anlagen ausgerichtete Definition des Begriffes Risiko bietet Anwendungsmöglichkeiten im Straßenwesen im Sinne einer Sicherheitsdiagnose. Einen möglichen Ansatz hierzu zeigte erstmals BALD (1991) auf. Er geht davon

aus, daß, wenngleich Sicherheit nur schwer direkt definiert werden kann, eine indirekte Definition möglich ist, indem ein Zustand dann als sicher bezeichnet werden kann, wenn kein oder nur ein ausreichend kleines Risiko vorhanden ist.

Die wesentlichen Eigenschaften der von ihm vorgeschlagenen Methode sind folgende:

- sie verwendet den Begriff „Risiko“ als Maßstab für die (Un-)Sicherheit;
- sie ist modular und hierarchisch gegliedert;
- sie baut auf einer Modellierung der Ursache-Wirkungsbeziehungen auf;
- Werte können als statistische Verteilungen dargestellt werden;
- sie ist auf EDV-Anlagen implementierbar.

Die Methode basiert auf der Vorhersage von Risikowerten. Je kleiner die ermittelten Risikowerte sind, desto größer wird die Sicherheit angenommen. Als Kennwert für das Risiko bietet sich für den Vergleich einzelner Ereignisse das Produkt aus Schadenshöhe und erwarteter Schadenshäufigkeit an:

$R = SH \cdot p$	(Gl. 6.3)
R:	Risikozahl
SH:	Schadenshöhe
p:	Wahrscheinlichkeit des Schadensereignisses

Verallgemeinert man diesen Ansatz für Schadensereignisse unterschiedlicher Schadenshöhe, deren Eintrittswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Schadenshöhe durch die Dichtefunktion  $f(SH)$  beschrieben wird, so erhält man

$R = \int_{SH} SH \cdot f(SH) dSH$	(Gl. 6.4)
R:	Risikozahl
SH:	Schadenshöhe
$f(SH)$ :	Dichtefunktion der Wahrscheinlichkeit eines Schaden mit der Höhe SH

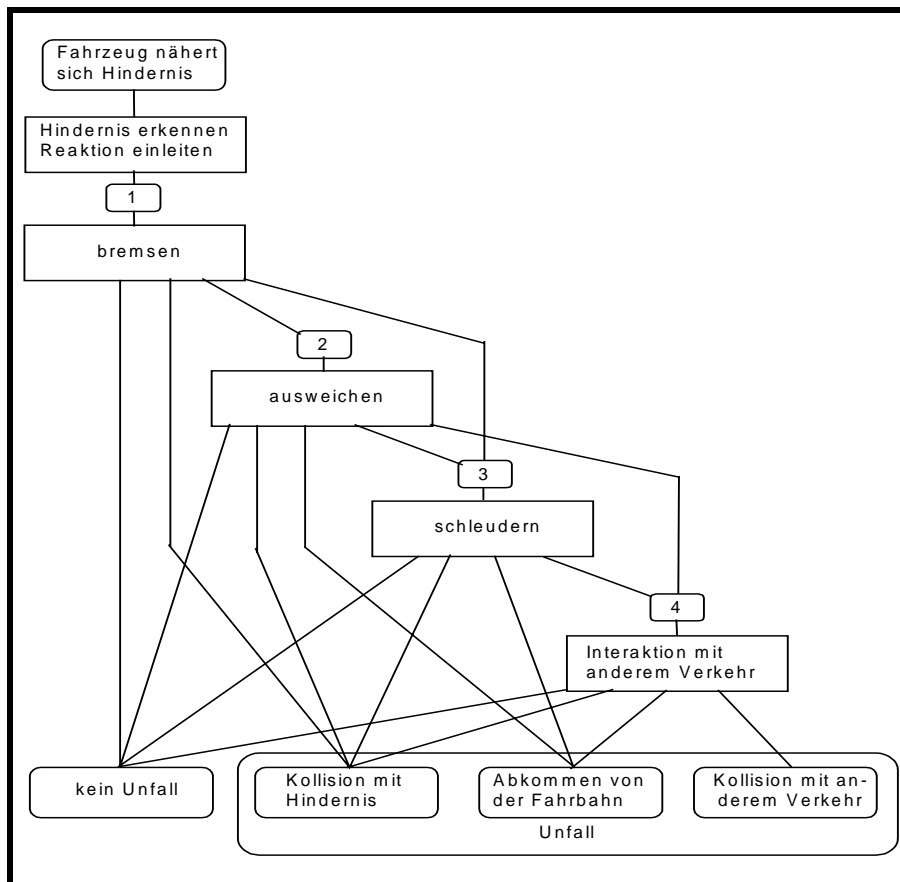
Die Risikozahl entspricht somit dem wahrscheinlichen mittleren Schaden aller berücksichtigten Ereignisse.

In einer weiterführenden Arbeit (DURTH / LIPPOLD / MATTHES, 1992) wurde die Methode am Beispiel „Hindernis auf der Fahrbahn“ angewandt. Für diesen konkreten Fall wurden die Phasen der Unfallentstehung (vgl. Abb. 6.4) wie im Abb. 6.5 dargestellt beschrieben. Die darin enthaltenen Ziffern repräsentieren die einzelnen Module des Systems:

- Modul 1: Hindernisentstehung
- Modul 2: Fahrzeugannäherung
- Modul 3: Versuch der Gefahrabwendung
- Modul 4: Schadenentstehung

An diesem Anwendungsbeispiel ließen sich die einzelnen Module zwar näher beschreiben, das Ergebnis der „Gefahrabwendung“ jedoch nicht zahlenmäßig erfassen. Die Autoren weisen darauf hin, daß hierfür bei so komplexen Betrachtungen die Mitwirkung anderer Wissenschaftsdisziplinen wie Verkehrsmedizin und Verkehrspsychologie notwendig ist.

Die vorgeschlagene Methode besitzt unbestritten einen sehr hohen wissenschaftlichen Wert. Sie ist aber aufgrund ihrer Komplexität und der Vielfalt der zu berücksichtigenden Verflechtungen kaum praktisch anwendbar. Bezeichnend hierfür ist beispielsweise die Schlußbemerkung der Autoren zum obengenannten Anwendungsbeispiel: „Es haben sich mehr neue Fragen gestellt, als offene beantwortet werden konnten“ (DURTH / LIPPOLD / MATTHES,



1992).

**Abb. 6.5:** Prozeßablauf am Beispiel „Hindernis auf der Fahrbahn“ (DURTH / BALD 1987)

### **6.3 Deterministische Bewertungsmethoden mit Hilfe mittelbarer Kenngrößen**

Eine weitere Möglichkeit, die Sicherheit von Straßenverkehrsanlagen zu beurteilen, ist die Bewertung mit Hilfe mittelbarer Sicherheitskenngrößen. Solche Kenngrößen können sich auf Merkmale der Verkehrsanlage, des Verkehrsablaufes, der Fahrdynamik sowie Fahreigenschaften beziehen. Der Vorteil einer solchen Bewertung liegt darin, daß, im Gegensatz zu den vorstehenden Bewertungsmethoden, die Bewertungskriterien aus dem Planungsinstrumentarium abgeleitet werden können. Die Ergebnisse der Bewertung haben dann einen direkten, konkreten Bezug zur Gestalt der Straßenverkehrsanlage und zum Verkehrsablauf. Somit können notwendige bauliche, verkehrsorganisatorische oder -technische Maßnahmen zielgerichtet abgeleitet werden.

Eine notwendige Voraussetzung für die Eignung einer solchen Bewertungsmethode ist, daß die mittelbaren Sicherheitskenngrößen zu quantifizieren und mit vertretbarem Aufwand zu erfassen sowie am Unfallkriterium validierbar sind. Einen Ansatz für eine solche Bewertungsmethode lieferte die Projektgruppe „Situationsbezogene Sicherheitskriterien im Straßenverkehr“ (ANGENENDT ET AL., 1987).

Der Methode liegt der Gedanke zugrunde, daß mit der Konzeption der Anlage bestimmte Verhaltensweisen vorgesehen (antizipiert) werden. Der Vergleich dieses „konzipierten“ Verhaltens mit dem tatsächlichen Fahrverhalten kann Aufschlüsse über situative Merkmale des Verkehrsgeschehens als Indikatoren für Unsicherheit geben und damit als Grundlage für die Bildung situationsspezifischer Sicherheitskriterien dienen. Ansatzpunkte für die situationsbezogenen Sicherheitskenngrößen ergeben sich demnach aus Merkmalen der Straßenverkehrsanlage sowie aus Merkmalen der Bewegungen der Verkehrsteilnehmer wie Geschwindigkeiten und Bewegungslinien in einem bestimmten Beobachtungsbereich, für die Soll-Werte als Sicherheitsmaßstab festzulegen sind.

#### **6.3.1 Bewertung mit Hilfe von Merkmalen der Streckencharakteristik**

Im Abschnitt 5.2 wurde der Wissenstand zum Einfluß baulicher Merkmale der Streckencharakteristik auf das Unfallgeschehen dargelegt. Demnach kann durch die Linienführung und die Wahl der Querschnittsausbildung die Sicherheit einer Straße maßgeblich beeinflusst werden. Die Größe der geometrischen Merkmale einer Straße und ihre Abfolge können somit als mittelbares Maß für ihr Sicherheitsniveau angesehen werden. Problematisch ist es nur, dieses Maß zutreffend zu quantifizieren. Eine Möglichkeit hierzu wurde von DURTH, WEISE ET AL. (1996) aufgezeigt.

Vor dem Hintergrund der besonderen Situation in den Neuen Bundesländern hinsichtlich Ausbaubedarf bzw. -dringlichkeit vs. wirtschaftliche Zwänge und Sicherheitsbelange wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen ein Forschungsprojekt initiiert, dessen Ziel es war, die Ausbauplanung auch auf Sicherheitsbetrachtungen zu stützen. Im Ergebnis dieses

Forschungsprojektes wurde ein Bewertungsverfahren entwickelt, mit dessen Hilfe die „Streckenqualität“ als Kriterium für die Ermittlung der Dringlichkeit von Ausbaumaßnahmen eingeschätzt werden kann. Dabei wird die Streckenqualität eines Straßenabschnittes (SQ) im Vergleich zwischen dem vorhandenen Ausbauzustand, einem definierten volltauglichen und einem definierten untauglichen Ausbauzustand ermittelt. Den volltauglichen bzw. untauglichen Ausbauzustand charakterisieren jeweils die obere bzw. untere Grenze des Anspruchsniveaus, die nach STEIERWALD, SCHÖNHARTING UND PARTNER (1986) wie folgt definiert wurden:

“Als volltauglich für die Erreichung der erwünschten Qualität des Verkehrsablaufes gilt ein Ausbauzustand, der frei fahrenden Pkw bei sicherer und komfortabler Fahrweise die Befahrung mit der angestrebten Geschwindigkeit (Sollgeschwindigkeit) ermöglicht.”

“Als untauglich für die Erreichung der erwünschten Qualität des Verkehrsablaufes gilt ein Ausbauzustand, bei dem die bei sicherer und komfortabler Fahrweise erreichbare Geschwindigkeit deutlich unter der Sollgeschwindigkeit liegt oder der Abschnitt nur unter Inkaufnahme von deutlichen Sicherheitsrisiken und Komforteinbussen mit der Sollgeschwindigkeit befahren werden kann.”

Diese Definitionen bringen, wie bereits im Kapitel 2.1 angedeutet, die starke Verknüpfung der Sicherheit (Fahrsicherheit) mit der Fahrgeschwindigkeit zum Ausdruck.

Die Festlegung des volltauglichen Zustandes erfolgt im betrachteten Bewertungsverfahren in Anlehnung an die Forderungen der Richtlinien hinsichtlich der Richt- und Grenzwerte der Trassierungselemente.

Ein Zustand gilt als untauglich, wenn die Größe und/oder die Aufeinanderfolge der zu bewertenden Entwurfs-elemente nur eine Geschwindigkeit erwarten lassen, die deutlich (etwa 20%) unter der Sollgeschwindigkeit liegt.

Die Streckenqualität wird als Summe der entsprechend ihrer Bedeutung für die Befahrbarkeit gewichteten **Qualitäten** der **Ausbaumerkmale** (QAM) ermittelt (Gl. 6.5). Die Qualität eines Ausbaumerkmals ergibt sich aus dem Vergleich zwischen vorhandenem, volltauglichem und untauglichem Zustand entsprechend Gl. 6.6.

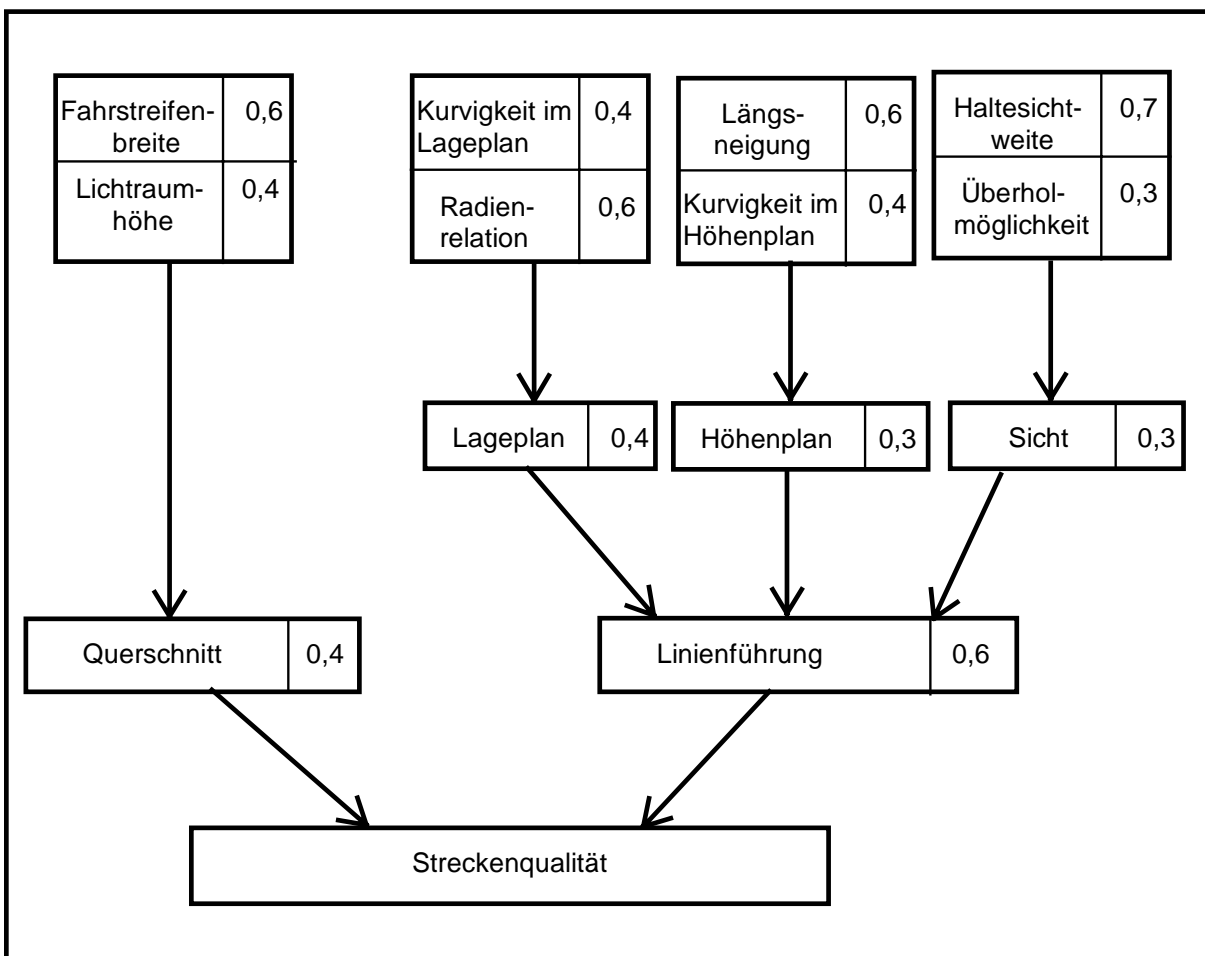
Im Abb. 6.6 ist der Bewertungsablauf einschließlich der zugeordneten Gewichtungsfaktoren schematisch dargestellt



$$SQ = \sum_{i=1}^n QAM_i \cdot g_i \quad (Gl. 6.5)$$

$$QAM = \frac{\text{vorh. } AZ_i - \text{untaug. } AZ_i}{\text{taug. } AZ_i - \text{untaug. } AZ_i} \quad (Gl. 6.6)$$

- SQ                    Streckenqualität
- QAM<sub>i</sub>                Qualität des Ausbaumerkmals i
- g<sub>i</sub>                    Gewichtungsfaktor für das Ausbaumerkmal i
- vorh.AZ<sub>i</sub>            vorhandener Zustand des Ausbaumerkmals i
- untaug.AZ<sub>i</sub>        untauglicher Zustand des Ausbaumerkmals i
- taug.AZ<sub>i</sub>            volltauglicher Zustand des Ausbaumerkmals i



**Abb. 6.6:** Ermittlung der Streckenqualität nach DURTH, WEISE ET AL. (1996)

Mit dem vorgestellten Bewertungsverfahren wird in erster Linie den Straßenbauverwaltungen ein Instrumentarium zur Verfügung gestellt, das dazu verhelfen soll, Entscheidungen zur Erhaltungs- und Ausbauplanung im Rahmen des Zwischenausbaus und unter Berücksichtigung der konkreten örtlichen Bedingungen nach rationalen und zielbezogenen Kriterien zu treffen.

Das Verfahren zielt nicht vordergründig auf die Bewertung der Sicherheit, sondern der Streckenqualität ab. Aus diesem Grund sind manche darin enthaltene Kriterien wie Lichtraumhöhe für die Fahrsicherheit nicht von Belang.

Dennoch beinhaltet das Verfahren Sicherheitsbetrachtungen, die durchaus in ein Verfahren zur Bewertung der Fahrsicherheit integriert bzw. berücksichtigt werden können. Das betrifft vor allen Dingen die Kriterien aus der Linienführung, auch wenn diese einer weiteren Qualifizierung bedürfen. Die getrennte Wertung mancher Kriterien entspricht nicht der Realität weil in der Tat von einer überlagerten Wirkung auf das Fahrverhalten und demzufolge auf die Sicherheit ausgegangen werden kann. Die Wertung der Kurvigkeit im Lageplan beispielsweise kann nicht unabhängig von der Fahrbahnbreite erfolgen. Eine große Kurvigkeit ist bei geringer Fahrbahnbreite durchaus günstiger als bei einer breiteren Fahrbahn. Die Berücksichtigung solcher Umstände erfordert aber vorerst ihre quantitative Erforschung.

Die starke Anlehnung der Ziel- bzw. Schwellenwerte an die Forderungen der Richtlinien, vor allen Dingen an die funktionsabhängige Entwurfsgeschwindigkeit, macht die Anwendung des vorgeschlagenen Verfahrens an vorhandenen, in keiner Weise richtliniengerecht ausgebauten Straßen, die eigentlich die Zielgruppe dieses Verfahrens bilden, schwierig. Das haben auch Untersuchungen von SELL (1995) bestätigt.

Darüber hinaus ist hinsichtlich der Fahrsicherheit die Einhaltung der Grenzwerte einzelner Trassierungsparameter nicht von entscheidender Bedeutung. Vielmehr sind die Verhältnisse in ihrer Abfolge sowie in ihrer Überlagerung von Wichtigkeit. So ist eine durchgängig mit kleinen, womöglich unterhalb der Richtlinienforderungen liegenden Kurvenradien trassierte Strecke immerhin sicherer als eine Strecke mit abwechselnd mittleren und kleinen Kurvenradien.

Bei den Untersuchungen von LEUTZBACH und ZOELLMER (1989) waren die Zusammenhänge des Unfallgeschehens mit den Radienfolgen ausgeprägter als mit einzelnen Radien.

Die Bedeutung der Radienrelation für die Fahrsicherheit konnte auch bei den Untersuchungen zur Überprüfung der Relationstrassierung (DURTH, WEISE ET AL., 1995) untersetzt werden (vgl. 5.2.3, Abb. 5.5). Daraus ist ersichtlich, daß die größte Unfallkonzentration über alle Radiengrößen hinweg außerhalb der zulässigen Radienrelationen liegt.

Die aufgeführten Untersuchungsergebnisse unterstützen die oben formulierte Forderung, hinsichtlich der Fahrsicherheit nicht einzelne Radiengrößen zu betrachten, sondern vielmehr die Verhältnisse in der Aufeinanderfolge.

### 6.3.2 Bewertung der räumlichen Linienführung

Die Überlagerung der drei Entwurfsebenen ist für Sicherheitsbetrachtungen von Bedeutung, weil der Benutzer der Straße die Informationen, die für sein Verhalten relevant sind, nicht aus den einzelnen Ebenen, sondern aus dem realen, dreidimensionalen Bild der Straße und deren Umfeld bezieht. Das räumliche Bild unterliegt aber der perspektivischen Abbildungsverzerrung bis hin zur Gefahr der Fehldeutung mit falschem bzw. gefährlichem Fahrverhalten in der Folge. Das heißt, daß es trotz der Einhaltung der vorgeschriebenen Entwurfparameter in den getrennten Entwurfsebenen nicht durchweg gelingt, auch räumlich gute Straßen zu projektieren und daß derartige Fehler häufig erst nach der Fertigstellung der Straße bemerkt werden. Die Entwurfsbearbeitung in den getrennten Ebenen versetzt den Entwurfsingenieur in bestimmte Perspektiven (beispielsweise die "Vogelperspektive" bei der Bearbeitung des Lageplanes), die mit der Fahrersicht nicht immer identisch sind. Während Fehler, die bei der gegenseitigen Zuordnung der Entwurfselemente mit großzügigen Entwurfparametern begangen werden (vorwiegend Straßenneubau) sich hauptsächlich auf die ästhetische Gestaltung der Straße und deren Einordnung in die Landschaft auswirken, erhöhen Mängel in der räumlichen Linienführung im Bereich oder unterhalb der Grenzwerte der Entwurfselemente (häufiger Fall bei vorhandenen, historisch gewachsenen Straßen) das Sicherheitsrisiko.

Schließlich erlangt die Bewertung der Linienführung von Straßen, solange die Trassierung nicht mit der Raumkurve erfolgen kann, eine eingehende Beurteilung der räumlichen Wirkung der Trassierungselemente in ihrer angewandten Kombination.

Aus diesen Erkenntnissen heraus wird seit einigen Jahren versucht, das räumliche Bild einer Straße aus der Perspektive des Fahrers quantitativ zu erfassen und zu bewerten. Die Lösungsansätze reichen vom Modellbau über die Anfertigung und Auswertung von Perspektivbildern und -filmen sowie Simulatorexperimenten bis hin zu numerischen Bewertungsalgorithmen.

Die bisherigen numerischen Bewertungsalgorithmen für die räumliche Linienführung können in folgende Gruppen eingeteilt werden:

1. Bewertung der Straße als räumliche Kurve (SCHOSS ,1975; SPRINGER/ HUIZINGA, 1975)
2. Erfassung des Bildinhaltes von Perspektivbildern (BIEDERMANN ,1984; KAYSER ET AL., 1985; OTTEN 1988)
3. Bewertung der Winkeländerung des Perspektivbildes (PFEIL ,1970)
4. direkte Bewertung der einzelnen Entwurfsebenen (Lageplan, Höhenplan, Querschnitt) unter Berücksichtigung der Abbildungsverzerrung durch die jeweils anderen Entwurfsebenen (OSTERLOH, 1983; ENGELKE ,1990 APPELT, 1998)

Diese vier Gruppen wurden von ENGELKE (1990) hinsichtlich ihrer Eignung für ein numerisches Bewertungsverfahren analysiert. Da im Ergebnis dieser Analyse die vierte Gruppe als die geeignete eingeschätzt wurde, wird hier nur auf diese weiter eingegangen.

1983 entwickelte OSTERLOH ein Verfahren, mit dem die einzelnen Entwurfsebenen hinsichtlich der räumlichen Wirkung direkt bewertet werden können. Zuvor konnte LAMM (1982) den Kuppen- bzw. Wanneneffekt anhand des Unfallgeschehens nachweisen. Im Ergebnis seiner Untersuchungen stellte er bei Kurven in Wannelage eine gegenüber den Streckenmittelwert überhöhte Unfallrate und bei Kurven in Kuppenlage den Gegeneffekt fest. Ursache dafür ist die optische Dehnung der Lageplankurve in der Wannelage, die zu unangemessen Fahrgeschwindigkeiten verleitet, während die optische Stauchung in Kuppenlage den Gegeneffekt im Fahrverhalten bewirkt. Beide Fälle stellen Abbildungsverzerrungen dar, deren mathematische Erfassung und Bewertung Ziel der Arbeit von OSTERLOH (1983) war. Gesucht wurde ein Maß, mit dem Abweichungen einer Lageplankurve im Perspektivbild vom realen Krümmungsbild deutlich gemacht werden können.

Zu diesem Zweck wurde die gesehene Perspektivkurve berechnet, ihr eine horizontale Gradienten zugeordnet und der dazugehörige Radius bestimmt. Dieser wurde als "sichtbarer Radius" ( $R_s$ ) bezeichnet und mit dem tatsächlich vorhandenen Lageplanradius ( $R_g$ ) in Beziehung gesetzt:

$$Q = \frac{R_s}{R_g} \quad (\text{Gl. 6.7})$$

Da dieses Verhältnis, das ein Maß für die Abbildungsverzerrung einer Lageplankurve durch den Höhenplan darstellt, sich bei großen Radien auf die Sicherheit anders auswirkt als bei kleinen, führte OSTERLOH (1983) den Risikofaktor

$$S = \left( \frac{\log R_s}{\log R_g} \right)^6 \quad (\text{Gl. 6.8})$$

ein.

Dieser Ansatz basiert auf fahrdynamischen Betrachtungen (Ausnutzung des Kraftschlußbeiwertes in radialer Richtung) sowie Erfahrungswerten. Er bringt die realitätsnahe Annahme zum Ausdruck, daß trotz gleicher Radienverhältnisse sich unterschiedliche Risikofaktoren ergeben können.

Zur Sicherheitsbewertung der Abbildungsverzerrung schlug OSTERLOH (1983) unter Vorbehalt weiterführender, vertiefender Arbeiten den Grenzrisikofaktor von  $S = 1,75$  vor.

Dieser Gedanke der Bewertung der räumlichen Linienführung mit Hilfe der Abbildungsverzerrung wurde von ENGELKE (1990) weiter verfolgt. Der einzige Unterschied im Berechnungsverfahren besteht darin, daß OSTERLOH (1983) regressiv vorging, d. h. aus konstanten Zielpunktabständen die entsprechenden Standpunkte ermittelte, während ENGELKE (1990) den umgekehrten progressiven Weg beschritt. Im Ergebnis seiner Untersuchungen entstand eine Matrix der sichtbaren Radien, getrennt nach Wanne und Kuppe sowie nach Rechts- und Linkskurven. Er stellte Bereiche der Matrix fest, in denen sowohl bei Kuppen als auch bei Wannens das Bild der Straße in hohem Maße verzerrt ist. Diese Bereiche können durch bestimmte Verhältnisse der jeweiligen Radien abgegrenzt werden. Daraus leitete er die dringende Forderung ab, für die Festlegung der Kurvenradien im Lageplan sowie der Ausrundungshalbmesser im Höhenplan ein gegenseitiges Abhängigkeitsverhältnis zu definieren und dieses in das technische Regelwerk für die Straßenplanung zu verankern. Bis zum Vorliegen statistisch gesicherter Erkenntnisse schlug er folgende Verhältnisse vor:

$$\text{Wanne:} \quad H \geq 1000 + 2,5 \cdot R$$

$$\text{Kuppe:} \quad H \geq 1000 + 10,0 \cdot R$$

H [m]: Ausrundungshalbmesser im Höhenplan

R [m]: Kurvenradius im Lageplan

Der Forderung von ENGELKE (1990), zulässige Verhältniswerte zwischen Kurvenradien im Lageplan und Ausrundungshalbmesser im Höhenplan in das Planungsregelwerk einzuführen, ging APPELT (1998) nach.

Die Streckungs- bzw. Stauchungseffekte von Lageplankurven durch Wannens bzw. Kuppen konnte er bestätigen. Für Kuppenkurven wurde festgestellt, daß ab einem Verhältnis Kurvenradius im Lageplan ( $R_G$ ) : Ausrundungshalbmesser im Höhenplan ( $H_K$ ) von 1:3 "Krümmungsverlust" auftritt, was bedeutet, daß der weitere Kurvenverlauf vom Fahrer aus dem Bild der Fahrbahn allein heraus nicht mehr eindeutig erkennbar ist. Aus diesem Grund sollten Verhältnisse  $R_G : H_K \geq 1 : 3$  angestrebt werden. Für Wannenskurven wurden Verhältnisse  $H_W \geq 12 R_G$  empfohlen.

Außer der Höhenplanausrundung stellte APPELT (1998) ebenfalls einen Einfluß der Vorausorientierung aus geraden Streckenabschnitten (bis maximal 250 m) sowie der Querneigung auf die Abbildungsverzerrung eines Lageplanbogens fest.

Bei Wannenskurven ist der Streckungseffekt mit zunehmender Entfernung größer.

Querneigungen zur Kurveninnenseite ergeben einen Streckungseffekt analog der Überlagerung von Lageplankurven mit Wannens. Bei den üblichen Fahrstreifenbreiten bewirken positive Querneigungen bis 8% eine Streckung bis 25%, in Kurvenverbreiterungen sogar bis 30%.

Aus der Auswertung von Unfalldaten, dem Vergleich von Modellperspektiven und unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte leitete APPELT (1998) allgemeine zulässige Grenzwerte der Abbildungsverzerrung ab. Diese liegen für Wannenkurven bei 125 bzw. 150% und für Kuppenkurven bei 75 bzw. 50% je nach dem angestrebten Grad der sicheren Wahrnehmbarkeit durch den Fahrer. Die jeweils ungünstigeren Werte (150% bei der Wanne, 50% bei der Kuppe) beziehen sich auf Strecken geringeren Ausbaustandards (Ausbaustrecken).

Zur Erleichterung des Umgangs mit den Parametern Abbildungsverzerrung und sichtbarer Radius für den Entwurfsingenieur wurden die wesentlichen Ergebnisse der Arbeit in nomographischer Form zusammengefaßt. Die Nomogramme erlauben es, ausgehend von einem angestrebten Maß der Abbildungsverzerrung entsprechende Kombinationen von Lageplanradius und Ausrundungshalbmesser direkt zu wählen oder umgekehrt. Analog dem Diagramm zur Abstimmung der Radienfolge im Lageplan (Relationstulpe) ist das Hauptnomogramm in guten, brauchbaren und zu vermeidenden Bereich eingeteilt. Diese Form der Ergebnisdarstellung erleichtert auch dessen Einbeziehung in den Planungsprozeß. Abb. 6.7 zeigt den Vorschlag für die Einordnung in den Planungsablauf nach den RAS-L 95.

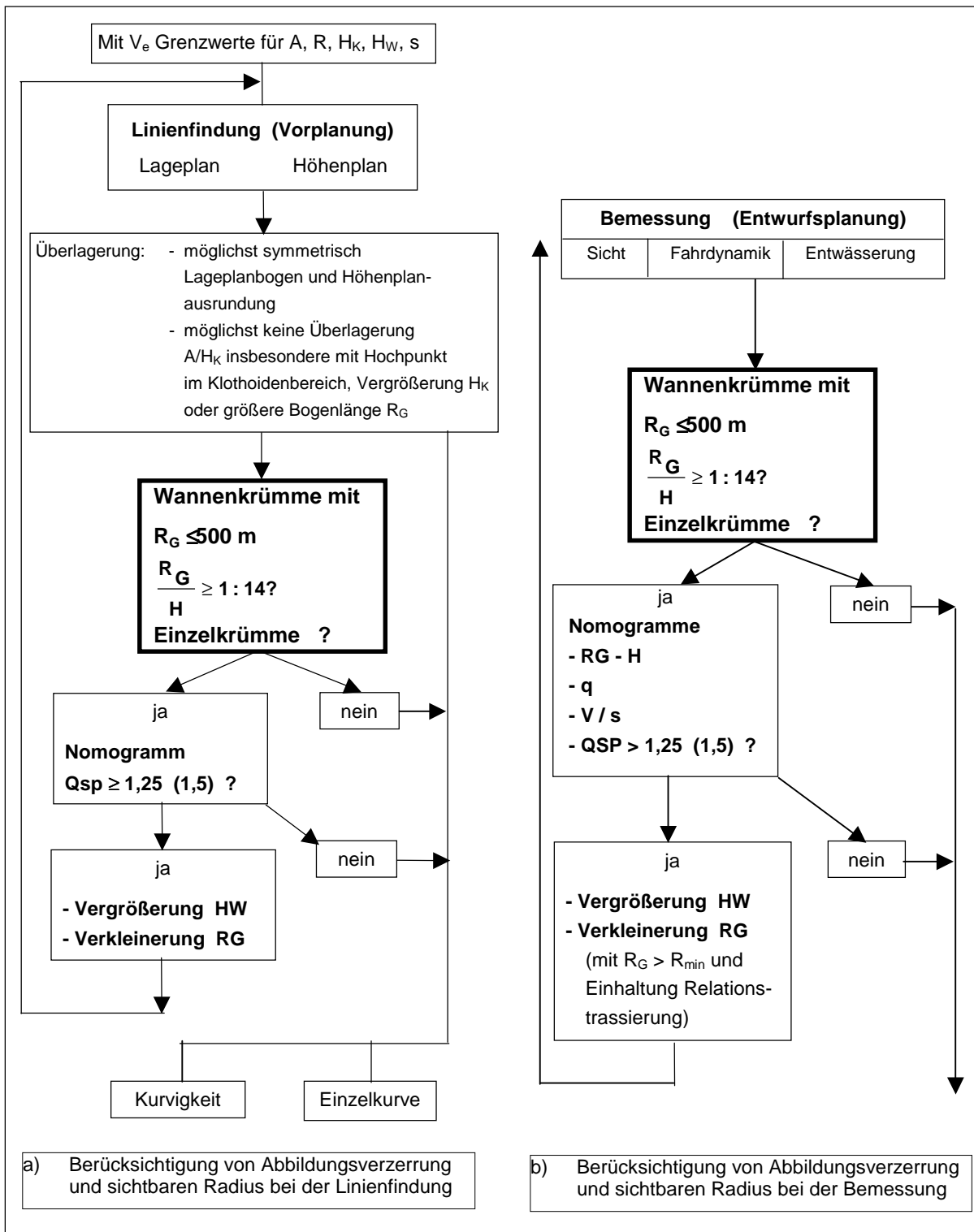


Abb. 6.7: Einordnung der Abbildungsverzerrung in den Planungsablauf (APPELT, 1998)

### 6.3.3 Bewertung mit Hilfe von Merkmalen des Fahrverhaltens

In der Literatur besteht Einigkeit darüber, daß objektiv bedingte Geschwindigkeitsänderungen die Verkehrsunsicherheit vergrößern. Das Grundproblem, das hier erscheint, liegt in der Festlegung der quantitativen Indikatoren, mittels welcher es möglich wäre, den Homogenitäts- bzw. Stetigkeitsgrad der Linienführung auszudrücken.

Hierzu betrachtet ANDJUS (1984) zunächst die Summe der absoluten Geschwindigkeitsänderungen je Längeneinheit oder die Streuung der Geschwindigkeit im gesamten, zu bewertenden Streckenabschnitt. Da die Spannweite

$$V_{\text{res}} = V_{\text{max}} - V_{\text{min}} \quad [\text{km/h}] \quad (\text{Gl. 6.9})$$

wenig aussagefähig ist, wird die Standardabweichung  $S_x$  als grundlegendes Streuungsmaß verwendet. Diese läßt sich wie folgt berechnen:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n}} \quad [\text{km/h}] \quad (\text{Gl. 6.10})$$

Der Aussagewert der Standardabweichung kann erhöht werden, wenn diese auf das arithmetische Mittel bezogen wird. Man erhält den Variationskoeffizienten  $K_v$ , der die dynamische Homogenität der Linienführung zum Ausdruck bringt:

$$D_h = K_v = \frac{S}{V_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (\text{Gl. 6.11})$$

- $D_h$  : Parameter der dynamischen Linienführungshomogenität
- $K_v$  : Variationskoeffizient
- $S$  : mittlere quadratische Abweichung der Geschwindigkeit
- $V_p$  : mittlerer Wert der Projektierungsgeschwindigkeit des betrachteten Abschnittes

Dieser Parameter beinhaltet eine zusammenhängende Betrachtung des Geschwindigkeitsverlaufes über einen Streckenabschnitt und erlaubt somit eine objektive Beurteilung von Trassenvarianten.

Im fahrdynamischen Idealfall wäre die Fahrgeschwindigkeit über den ganzen Streckenabschnitt konstant. Die mittlere quadratische Abweichung wäre Null ( $S = 0$ ) und damit der Wert der dynamischen Homogenität ebenfalls Null ( $D_h = 0$ ). Dieser Idealfall ist aber fahrpsychologisch nicht erwünscht und unter normalen Bedingungen auch nicht realisierbar. In dieser Hinsicht fordert ANDJUS, daß der Wert der dynamischen Homogenität möglichst klein gehalten werden soll, ohne hierfür Grenz- bzw. Schwellenwerte anzugeben.



Der vorstehend beschriebene Parameter kann nur zur vergleichenden Beurteilung verschiedener Variantenlösungen herangezogen werden. Zum Auffinden lokaler Unstetigkeiten ist er nicht geeignet.

Hierzu definiert KUPKE (1977) den Sicherheitsfaktor K:

$$K = \frac{V_{i\min}}{\bar{V}} \quad [-] \quad (\text{Gl. 6.12})$$

$V_{i\min}$  : Geschwindigkeit an einem lokalen Minimum  $i$  des Geschwindigkeits profils

$\bar{V}$  : Mittlere Geschwindigkeit in dem Abschnitt unmittelbar vor dem Geschwindigkeitseinbruch

Je nach Größe des Sicherheitsfaktors K ist eine Klassifikation des betreffenden Geschwindigkeitseinbruches bzw. der ihn verursachenden Elementfolge möglich. Hierfür gilt folgende Bewertung:

$0,8 \leq K \leq 1,0$	sicher
$0,6 \leq K < 0,8$	gefährlich
$K < 0,6$	sehr gefährlich

Eine ähnliche Definition findet sich bei BABKOW (1982), der den Verkehrssicherheitsfaktor  $K_{VS}$  wie folgt einstuft:

$0,8 \leq K_{VS} \leq 1,0$	verkehrssicher
$0,6 \leq K_{VS} < 0,8$	mittelmäßig gefährlich
$0,4 \leq K_{VS} < 0,6$	gefährlich
$K_{VS} < 0,4$	sehr gefährlich

Qualitativ scheint das durch diese Faktoren ausgedrückte Maß für die Sicherheit zutreffend zu sein, jedoch fehlt bisher in der Fachliteratur die Validierung der vorgenommenen Einstufungen. Zudem ist der Faktor K bzw.  $K_{VS}$  nicht eindeutig, was am folgenden Zahlenbeispiel verdeutlicht wird:

$$K \text{ bzw. } K_{VS} = \frac{70}{100} = \frac{49}{70} = 0,7$$

Es ist kaum anzunehmen, daß eine Verringerung der Geschwindigkeit von 100 auf 70 km/h die gleiche sicherheitstechnische Bedeutung hat wie von 70 auf 49 km/h. SCHNEIDER (1986) schlägt deshalb vor, die mittlere Verzögerung des Fahrzeuges im betrachteten Abschnitt als zusätzliches Beurteilungskriterium heranzuziehen. Diese wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$a = \frac{V_a^2 - V_e^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot \Delta l} \quad [\text{m/s}^2] \quad (\text{Gl. 6.13})$$

$V_a$ : Geschwindigkeit am Anfangquerschnitt  
(Beginn der Verzögerungsstrecke)

$V_e$ : Geschwindigkeit am Endquerschnitt  
(Ende der Verzögerungsstrecke)

$\Delta l$ : Abstand zwischen Anfang- und Endquerschnitt  
(Länge der Verzögerungsstrecke)

Zur Bewertung von Bremsverzögerungen hinsichtlich der Sicherheit werden in der Literatur Werte für  $a \leq 1,0 \text{ m/s}^2$  als normale Betriebsbremsungen ohne nennenswerten Einfluß auf die Verkehrssicherheit angesehen und demzufolge als unbedenklich eingestuft. Im Zusammenhang mit den oben aufgeführten Sicherheitsfaktoren sind folglich alle Verzögerungswerte  $a > 1,0 \text{ m/s}^2$  in die Beurteilung einzubeziehen, vor allen Dingen bei  $K$  bzw.  $K_{VS} < 0,8$ . Aber auch dieser Schwellenwert von  $1,0 \text{ m/s}^2$  für die "zulässige" Bremsverzögerung bedarf noch einer wissenschaftlichen Validierung.

LAMM, GÜNTHER und STEFFEN (1992) stellen ein Verfahren vor, welches auf die drei folgenden, überwiegend entwurfstechnischen Sicherheitskriterien aufbauend und in einem übergeordneten Sicherheitsmodul zusammengefaßt, die Möglichkeit zur quantitativen Beurteilung der Fahrsicherheit bietet:

1. Erzielung von Stetigkeit in der horizontalen Linienführung,
2. Abstimmung zwischen Entwurfsgeschwindigkeit und zu erwartendem Geschwindigkeitsverhalten auf nasser Fahrbahn,
3. Vorsorge für eine angemessene fahrdynamische Sicherheit bei Kurvenfahrt.

Hinsichtlich des ersten Kriteriums, der Erzielung von Stetigkeit in der horizontalen Linienführung, stützen sich die Autoren auf Erkenntnissen und Erfahrungen, vor allem aber auf den Vorgaben in den RAS-L-1 (1984) und schlagen das in Tab. 6.7 angegebene Klassifizierungssystem vor.

**Gute Entwürfe :  $\Delta V_{85} : 10 \text{ km/h}$**

Für solche Streckenabschnitte besteht Stetigkeit in der horizontalen Linienführung. Neue Entwürfe sollten immer auf diesen Fall ausgerichtet sein. Eine gute Relationstrassierung und ein ausgeglichenes Geschwindigkeitsverhalten der Kraftfahrer kann erwartet werden.

**Faire Entwürfe :  $10 \text{ km/h} < \Delta V_{85} : 20 \text{ km/h}$**

Solche Streckenabschnitte weisen zumindest kleinere Unstetigkeiten in der horizontalen Linienführung auf. Normalerweise können sie jedoch bei sinnvoller Anwendung von verkehrs- und/oder geschwindigkeitsregulierenden Maßnahmen als brauchbar angesehen werden, falls nicht ein dokumentiertes Sicherheitsproblem vorliegt.

**Schlechte Entwürfe :  $\Delta V_{85} > 20 \text{ km/h}$**

Solche Streckenabschnitte weisen starke Unstetigkeiten in der horizontalen Linienführung, damit kritische Wechsel im Geschwindigkeitsverhalten der Kraftfahrer und oft ein hohes Unfallrisiko auf. Bestehende Anlagen können in der Regel nur durch trassierungstechnische Maßnahmen entschärft werden.

$\Delta V_{85}$  = Differenz der Erwartungswerte der 85%-Geschwindigkeiten zwischen aufeinanderfolgenden Trassierungselementen

**Tab. 6.7:** Klassifizierungsvorschlag für das erste Sicherheitskriterium nach LAMM / GÜNTHER / STEFFEN (1992)

Das zweite Kriterium, die Abstimmung zwischen Entwurfsgeschwindigkeit und zu erwartender tatsächlicher Geschwindigkeit ( $V_{85}$ ), ist darin begründet, daß beide in der Praxis häufig von einander abweichen. Die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten übersteigen in der Regel die für die Planung zugrundegelegte Entwurfsgeschwindigkeit. In welchem Maße diese Diskrepanz ein Risikofaktor darstellt, ist der Inhalt des Klassifizierungsvorschlages in

**Gute Entwürfe :  $V_{85} - V_e : 10 \text{ km/h}$**

Keinerlei Anpassungen oder Korrekturen sind notwendig. Eine gute Relationstrassierung und ein ausgeglichenes Geschwindigkeitsverhalten der Kraftfahrer kann erwartet werden.

**Faire Entwürfe :  $10 \text{ km/h} < V_{85} - V_e : 20 \text{ km/h}$**

In solchen Kurvenbereichen sollten

1. das Geschwindigkeitsverhalten durch Beschränkungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und/oder verkehrsregulierende Maßnahmen beruhigt und
2. nach Möglichkeit die Querneigung auf den Erwartungswert der 85%-Geschwindigkeit ausgerichtet werden.

**Schlechte Entwürfe :  $V_{85} - V_e > 20 \text{ km/h}$**

Es liegen kritische Unstimmigkeiten zwischen Entwurfsgeschwindigkeit und dem tatsächlichen Fahrverhalten der Kraftfahrer vor, die ein hohes Unfallrisiko bewirken können. Bestehende Anlagen können normalerweise nur durch trassierungstechnische Maßnahmen entschärft werden.

$V_{85}$  = Erwartungswert für die 85%-Geschwindigkeit [km/h],

$V_e$  = Entwurfsgeschwindigkeit [km/h]

Tab. 6.8.

**Tab. 6.8:** Klassifizierungsvorschlag für das zweite Sicherheitskriterium nach LAMM / GÜNTHER / STEFFEN (1992)

Dem dritten Kriterium, der Vorsorge für eine angemessene fahrdynamische Sicherheit bei Kurvenfahrt, liegt der Gedanke zugrunde, daß bei Überschreitung des von den Richtlinien theoretisch vorausgesetzten radialen Kraftschlusses durch den bei Kurvenfahrt tatsächlich in Anspruch genommenen, das Risiko für kritische Fahrsituationen größer ist als umgekehrt. Auf der Datenbasis von 204 Kurvenabschnitten wurden von den Autoren die Differenzen ( $\Delta f_R$ ) zwischen vorausgesetztem und tatsächlich in Anspruch genommenem radialen Kraftschlußbeiwert berechnet, und eine erste Annäherung eines Bewertungsmaßstabes für ein fahrdynamisches Sicherheitskriterium vorgestellt. Der daraus resultierende, vorläufige Klassifizierungsvorschlag für das dritte Sicherheitskriterium ist in Tab. 6.9 dargestellt.

**Gute Entwürfe :**  $\Delta f_R \geq +0,01$

In solchen Kurvenbereichen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit ausreichende Kraftschlußreserven vorhanden.

**Faire Entwürfe :**  $-0,04 \leq \Delta f_R < +0,01$

In solchen Kurvenbereichen sollten

1. das Geschwindigkeitsverhalten durch Beschränkungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und/oder verkehrsregulierende Maßnahmen beruhigt werden,
2. nach Möglichkeit die Querneigung erhöht und
3. bei Belagserneuerung hohe Anforderungen an die Griffigkeitswerte gestellt werden.

**Schlechte Entwürfe :**  $\Delta f_R < -0,04$

In solchen Kurvenbereichen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit unzureichende Kraftschlußverhältnisse, insbesondere bei nasser Fahrbahn, zu erwarten, die zu erhöhtem Unfallrisiko und -schwere führen. Ob Umbaumaßnahmen vorgenommen werden sollten, muß im Einzelfall entschieden werden.

$\Delta f_R$  = Differenz zwischen vorausgesetztem und in Anspruch genommenem radialen Kraftschlußbeiwert

**Tab. 6.9:** Klassifizierungsvorschlag für das dritte Sicherheitskriterium nach LAMM et Al. (1995)

Die drei vorgestellten Sicherheitskriterien beruhen auf drei verschiedenen Aspekten der Sicherheit von Kurvenbereichen auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen.

Aufgrund der verschiedenen Sicherheitsaspekte müssen die Ergebnisse der drei Sicherheitskriterien nicht übereinstimmen. So kann es sein, daß zwar der Geschwindigkeitswechsel zwischen zwei Trassierungselementen in den guten Entwurfsbereich fällt, aber wegen einer falsch gewählten Entwurfsgeschwindigkeit oder Querneigung die übrigen Sicherheitskriterien als schlecht eingestuft werden.

Zur Beurteilung werden die drei diskutierten Sicherheitskriterien in einem übergeordneten "Sicherheitsmodul" entsprechend Tab. 6.10 zusammengefaßt.

<b>Klassifizierungsvorschlag</b>	
<b>nach den Kriterien I bis III</b>	<b>durch den Sicherheitsmodul</b>
3x gut 2x gut / 1x fair 2x gut / 1x schlecht	Guter Entwurf
3x fair 2x fair / 1x gut 2x fair / 1x schlecht 1x gut / 1x fair / 1x schlecht	Fairer Entwurf
3x schlecht 2x schlecht / 1x gut 2x schlecht / 1x fair	Schlechter Entwurf

**Tab. 6.10:** Der übergeordnete Sicherheitsmodul nach LAMM / GÜNTHER / STEFFEN (1992)

Das vorgeschlagene Bewertungsverfahren wurde in zwei komplexe EDV-Systeme implementiert und an vorhandenen Straßen angewandt (STEFFEN, 1992). Als sehr problematisch erwies sich dabei die Festlegung einer Entwurfsgeschwindigkeit bei vorhandenen Alt- ausbaustrecken. Darüber hinaus sind die angegebenen Schwellenwerte, zumindest bei den Kriterien 1 und 2, nicht mehr aktuell. Die Untersuchungen zur Überprüfung der Relations- trassierung von Straßen der Kategoriengruppe A (DURTH, WEISE ET AL., 1995) haben weit geringere Geschwindigkeitsdifferenzen beim Übergang von einem Element zum anderen ausgewiesen. Insofern bedürfen die hier angegebenen Werte einer Aktualisierung. Hinsichtlich der Angaben für das dritte Kriterium ist noch eine Validierung erforderlich.

## **6.4 Straßensicherheitsaudits**

### **6.4.1 Hintergründe, Definition und Ziele**

Vor dem Hintergrund, daß die Standards im Straßenwesen sich nicht ausschließlich auf die Sicherheit konzentrieren und daß ihre strenge Einhaltung bzw. Anwendung noch keine Gewähr für eine sichere Straßenverkehrsanlage ist, wurde in Großbritannien das Verfahren des Straßensicherheitsaudits entwickelt und umgesetzt. Inzwischen wurde diese Idee von mehreren Ländern aufgegriffen. Auch in der Bundesrepublik Deutschland wird gegenwärtig die Sinnfälligkeit von Straßensicherheitsaudits geprüft (WEBER, 1999).

Für das Straßensicherheitsaudit gibt es in den unterschiedlichen Anwendungsländern verschiedene Definitionen mit substantiell jedoch gleichem Inhalt. Es gilt als ein „formalisiertes, standardisiertes Verfahren, anhand dessen man in den einzelnen Stadien des Entwurfs und des Baus neuer Straßen und/ oder (einschneidender) Maßnahmen der Neustrukturierung bestehender Straßen zu einer unabhängigen Beurteilung der möglichen Folgen des Entwurfs für die Verkehrssicherheit kommen kann“ definiert (WEGMAN/ SCHAGEN, 1998). Mit Straßensicherheitsaudits soll dafür Vorsorge getragen werden, daß Straßenbauvorhaben so sicher wie möglich gestaltet werden, indem potentielle Sicherheitsprobleme noch während der Entwurfs- bzw. Bauphase aufgedeckt und Lösungsmöglichkeiten angezeigt werden.

Straßensicherheitsaudits zählen demnach zu den präventiven Sicherheitsmaßnahmen.

#### 6.4.2 Verfahren

In Tab. 6.11 sind die an einem Auditverfahren Beteiligten sowie ihre jeweiligen Verantwortungsbereiche dargestellt.

	<b>Auftraggeber</b>	<b>Planer</b>	<b>Auditor</b>
<b>Initiierung</b>			
<b>Durchführung</b>			
<b>Entscheidung</b>			
<b>Umsetzung</b>			

**Tab. 6.11:** Beteiligte am Auditverfahren und ihre Verantwortungsbereiche

Das Verfahren beginnt mit ihrer Initiierung, die in der Verantwortung des Auftraggebers liegt. Hierbei werden dem Auditor alle für die Durchführung notwendigen Unterlagen übergeben. Je nach Bedeutung oder Größenordnung des Vorhabens kann sich das Audit über alle Entwurfs- bzw. Bauphasen erstrecken oder nur für einige Phasen angesetzt werden.

Die Durchführung des Audits liegt in der Verantwortung des Auditors. Dieser soll über ein fundiertes, breites Fachwissen sowie ausreichende Erfahrung verfügen. Deshalb werden in einigen Ländern Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten für Auditoren angeboten und sogar eine Zertifizierung angestrebt.

Des weiteren soll der Auditor ein vom Entwurfsteam unabhängiger Prüfer sein, damit das Verfahren so objektiv wie möglich ablaufen kann.

Der Auditor ist angehalten, das Vorhaben einer systematischen und detaillierten Prüfung zu unterziehen. Zur Gewährleistung der Systematik werden auch Checklisten vorgegeben, die jedoch nicht starr gehandhabt werden sollten. Vielmehr sollte der Auditor alle dem Vorhaben betreffenden Informationen sammeln und sich in die Lage aller Nutzer versetzen. Das

schließt Befahrungen bzw. Begehungen an unterschiedlichen Tageszeiten und unter verschiedenen Bedingungen mit ein.

Um vor allem bei großen Projekten möglichst alle Bereiche abzudecken, werden auch Auditorteams eingesetzt.

Die Ergebnisse des Audits werden als formeller Bericht dem Auftraggeber übergeben. Darin werden die ermittelten Probleme beschrieben und gegebenenfalls begründet. Empfehlungen zur Problemlösung sind ebenfalls Bestandteil des Auditberichtes.

Es liegt dann in der Verantwortung des Auftraggebers, die Auditergebnisse zu überprüfen und zu bewerten. Er muß gemeinsam mit dem Planer entscheiden, welche der durch den Auditor angesprochenen Empfehlungen umgesetzt werden sollen und Lösungswege suchen. Der daraus geänderte Entwurf ist erneut einem Audit zu unterziehen.

Die endgültige Entscheidung zur Umsetzung der Auditergebnisse (Abschluß des Verfahrens) liegt in der Verantwortung des Auftraggebers.

## **6.5 Schlußfolgerungen**

In den vorstehenden Ausführungen wurden die bisher bekannten Bewertungsmethoden analysiert. Unfallanalysen und –prognosen wurden für eine Bewertung der Linienführung nach dem Aspekt Fahrsicherheit für ungeeignet befunden, wenn sie ausschließlich betrachtet werden, weil damit kein eindeutiges Ursache-Wirkungs-Gefüge aufgestellt werden kann. Die vielen Risiken und Konflikte im Straßenverkehr, die nicht zum Unfall führen, werden damit nicht berücksichtigt. Dieser Bereich ist aber für Sicherheitsbetrachtungen ebenso wichtig, weil dort die vielfältigen Kompensationsfähigkeiten und -möglichkeiten des Menschen (Fahrers) zum Tragen kommen und in diesem Bereich die sogenannten Beinaheunfälle angesiedelt sind.

Die Verkehrskonflikttechnik und die Methode der Risikoanalysen gleichen dieses Defizit aus. Die Verkehrskonflikttechnik geht grundsätzlich von der Annäherung zweier Verkehrsteilnehmer aus. Für eine Bewertung der Linienführung von Außerortsstraßen ist dieser Fall aber nicht von Belang, da hier von der Bewegung unbehinderter Fahrzeuge ausgegangen wird. Aus diesem Grund ist die Verkehrskonflikttechnik für die Zielstellung der vorliegenden Arbeit ungeeignet.

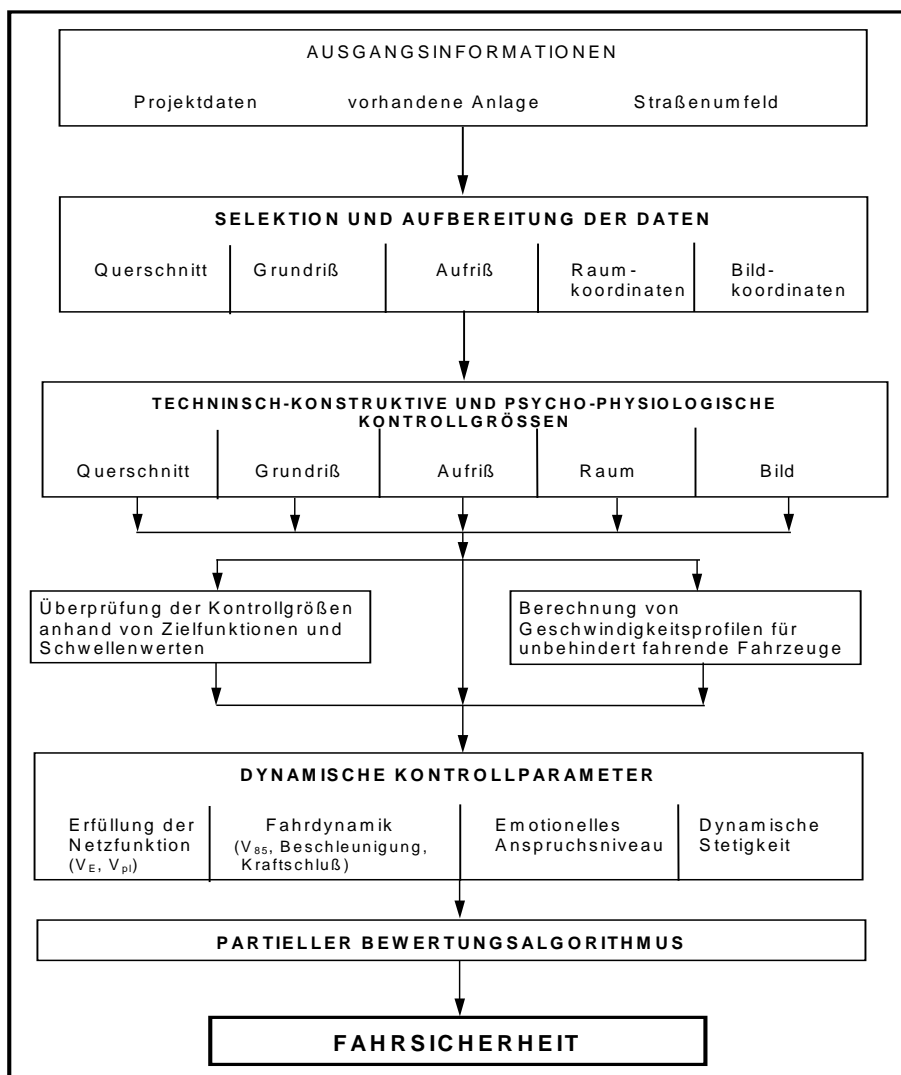
Die von BALD (1991) vorgeschlagene Methode der Anwendung von Risikoanalysen im Straßenwesen betrachtet die Sicherheit im ganzen komplexen Zusammenhang. Aber gerade diese komplexe Betrachtung und Behandlung unter Berücksichtigung aller möglichen Kombinationen von Situationen bis hin zu den Kompensationsmöglichkeiten des Menschen (Fahrers) macht ihre praktische Anwendung schwer möglich.

Eine praktikable Bewertungsmethode kann nicht die Sicherheit als ganzheitliche komplexe Funktion behandeln, obwohl dies der Realität entspräche. Die Praktikabilität zwingt hier zur starken Abstraktion und Betrachtung einzelner Einflußbereiche. Die Komplexität der Ziel-

funktion Sicherheit kann dann über eine Verknüpfung der betrachteten einzelnen Einflußbereiche berücksichtigt werden. Eine solche Vorgehensweise weicht mehr oder minder von der Realität ab. Die Überschaubarkeit, die Voraussetzung für eine praktische Anwendbarkeit ist, kann aber nur über diesen Weg gewährleistet werden.

WEISE stellte 1987 ein Gliederungskonzept für die Bewertung der Fahrsicherheit von Außerortsstraßen vor (Abb. 6.8). Dieses Konzept beruht auf sowohl anlagenspezifischen als auch fahrverhaltensbeschreibenden Größen als Bewertungskriterien. Es entspricht auch im Grundsatz der Forderung von ANGENENDT ET AL. (1987) nach situationsbezogenen Sicherheitskriterien im Straßenverkehr. Sein modularer Aufbau ermöglicht eine schrittweise Entwicklung und Anwendung. Obwohl die einzelnen Ebenen noch nicht mit konkreten Wertangaben belegt sind, stellt das Konzept einen gangbaren, praktikablen Weg dar, der im Rahmen der vorliegenden Arbeit weiter verfolgt wird.

Erkenntnisse aus diesem Konzept können auch in die Checklisten für Straßensicherheitsaudits einfließen.



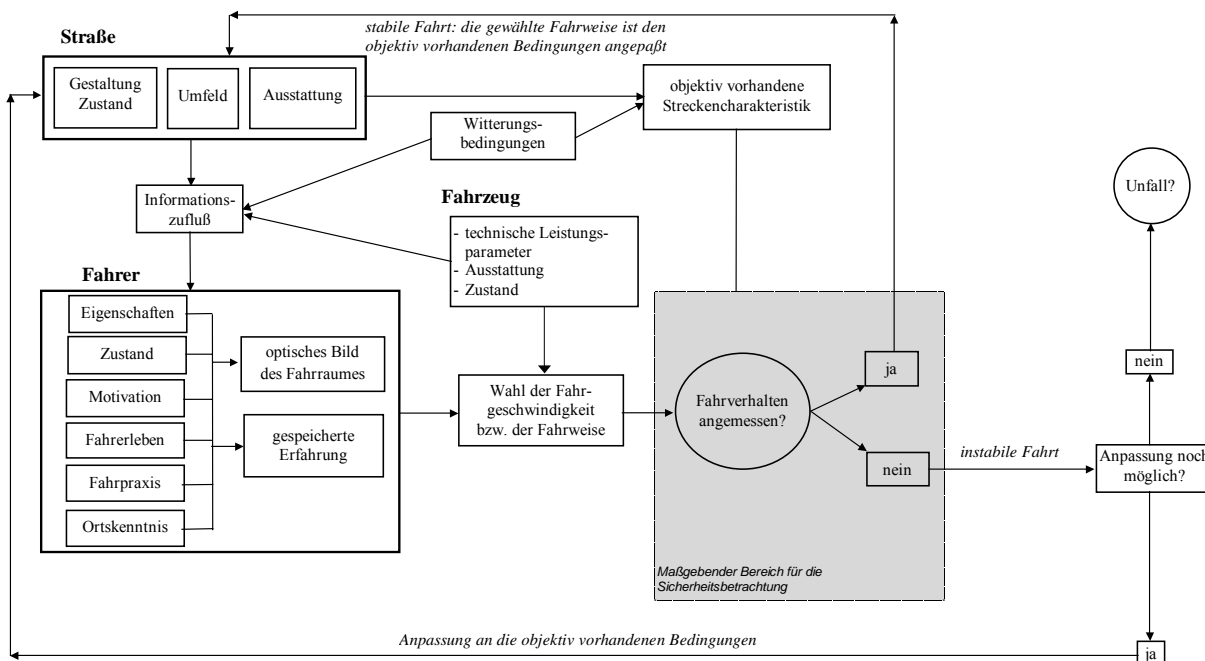
**Abb. 6.8:** Modulares Bewertungssystem für die Linienführung von Straßen nach WEISE (1987)



## 7. Rahmenkonzept für die Bewertung der Fahrsicherheit einbahniger Außerortsstraßen

### 7.1 Anforderungen an ein Bewertungsverfahren für die Fahrsicherheit

Im Kapitel 4 wurden Betrachtungen zum kybernetischen System Fahrer-Fahrzeug-Straße angestellt und die Beziehungen innerhalb des Systems als Regelkreis nach DURTH (1972) anschaulich dargestellt. Danach nimmt der Fahrer Informationen aus dem Fahrraum wahr (hauptsächlich über den visuellen Kanal), auf die er durch Regelungsvorgänge am Fahrzeug reagieren kann. Wie sicher seine Fahrweise ist, hängt schließlich von der Güte seiner Regelungstätigkeit ab. Daraus ergibt sich die **erste Anforderung**, daß ein Bewertungsverfahren für die Fahrsicherheit auf dem dargestellten Regelkreis fußen und alle seine Elemente, aber vor allen Dingen die Beziehungen zwischen ihnen berücksichtigen muß. Bezieht man den Regelkreis auf ein vom übrigen Verkehr unbeeinflusstes Fahrzeug (entsprechend der Definition der Fahrsicherheit), ergibt sich das in Abb. 7.1 dargestellte Schema.



**Abb. 7.1:** Modellierung der Bewegung eines unbehinderten Fahrzeuges nach SOSSOUMIHEN / BAKABA (1999)

Die **zweite Anforderung** resultiert daraus, daß ein Bewertungsverfahren für die Fahrsicherheit, wenn es wirksam sein soll, in den Entwurfsprozeß integriert werden muß. Die Deutschen Entwurfsrichtlinien (RAS-L 95) ordnen den einzelnen Planungszielen entsprechende Phasen im Planungsablauf zu (Abb. 7.2).

Bei den Planungszielen Verkehrsqualität, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit ist eine entsprechende Prüfung bzw. Bewertung vorgeschrieben und in den jeweiligen Teilrichtlinien verankert. Eine Überprüfung der Sicherheit (Verkehrssicherheit) ist lediglich in den RAS-Q (FGSV, 1996) vorgesehen, wobei diese vorrangig dazu dient, bei der

Querschnittswahl Aspekte der Verkehrssicherheit und der Wirtschaftlichkeit zu verbinden. Einflüsse der Linienführung werden hierbei, die Einhaltung der RAS-L voraussetzend, nicht berücksichtigt (vgl. 6.1.1). Eine nachträgliche Prüfung ist auch hier, genauso wie bei den anderen Planungszielen, notwendig. Dabei muß die Sicherheit quantifiziert werden, um die Abwägung zwischen den vier Planungszielen objektiv und wirksam vornehmen zu können.

Planungsphasen Planungsziele	Vorplanung (Linienentwurf)	Genehmigungsentwurf	Feststellungs- entwurf	Ausführungs- entwurf
Verkehrsqualität	Netzfunktion (RAS-N)			
	Querschnittsbemessung (RAS-Q)			
Sicherheit	Linienführung (RAS-L)			
	Querschnitt (RAS-Q)			
	Knotenpunkte (RAS-K)			
	Ausstattung			
Umweltverträglichkeit	UVP I (MUVS)			
		UVP II Landschaftspflegerischer Begleitplan (RAS-LP 1)		Landschafts- pflegerischer Ausführungsplan (RAS-LP 2)
	Emissionen (RLS, MLuS)			
Wirtschaftlichkeit	Nutzen-Kosten-Analyse (RAS-W)			

Abb. 7.2: Planungsphasen und Planungsziele nach RAS-L, 1995

Aufgrund der erhöhten Anforderungen an die Straßenplanung (zeitlich und qualitativ) ist der Straßenentwurf ohne Einsatz der modernen Rechentechnik nicht mehr denkbar. Für eine effiziente und qualitativ hochwertige Straßenplanung steht Anwendersoftware zur Verfügung, mit deren Hilfe der Entwurfsingenieur die Möglichkeit hat, seinen Entwurf grafisch-interaktiv zu bearbeiten, zu analysieren und zu verändern. Wenn die Sicherheitsbewertung ein integrierter Teil des Straßenentwurfes sein soll, muß sie folglich in dieser Umgebung eingebettet sein. Daraus leitet sich die **dritte Anforderung** ab, daß das Bewertungsverfahren der Struktur der gängigen Branchensoftware angepaßt werden muß. Die Implementierung des Bewertungsverfahrens in die gängige Planungssoftware setzt voraus, daß die Datenbasis und die Datenformate kompatibel sind. Dies ist der Fall, wenn das Verfahren weitestgehend auf dem herkömmlichen Planungsinstrumentarium fußt (**vierte Anforderung**). Damit werden Schnittstellenprobleme vermieden und gleichzeitig sicher

gestellt, daß der Entwurfsingenieur das Verfahren, das er anwenden soll, auch ohne großen zusätzlichen Aufwand anwenden kann.

Als **fünfte Anforderung** muß das Verfahren modular aufgebaut sein, damit die Entwicklung und Implementierung in Stufen erfolgen kann. Der modulare Aufbau bietet aber auch den Vorteil einer selektiven Anwendung. So kann der Entwurfsingenieur seine Sicherheitsbetrachtungen gezielt nach bestimmten Kriterien anstellen.

Schließlich muß das Verfahren als **sechste Anforderung** sowohl an Neu- als auch an Um- und Ausbauplanungen anwendbar sein. Dennoch wird das wirksamste Anwendungsfeld im Um- und Ausbau gesehen, da die größten Sicherheitsdefizite an Um- und Ausbaustrecken zu erwarten sind.

Schließlich muß das Bewertungsverfahren auf einer einheitlichen Datenbasis beruhen. Das setzt in der Regel (**siebente Anforderung**) eine einheitliche, qualifizierte Straßendatenbank voraus.

## 7.2 Bewertungsphilosophie

Die Veranlassung, ein Bewertungssystem zu konzipieren, ist darauf zurückzuführen, daß innerhalb des zu bewertenden Objektes bzw. Prozesses Mißstände auftreten können. Solche Mißstände ergeben sich aus Diskrepanzen zwischen gewollten und tatsächlichen Zuständen. Eine erste, unabdingbare Voraussetzung für ein funktionsfähiges Bewertungssystem ist daher die Erarbeitung eines Zielkonzeptes, das die gewollten Zustände beschreibt. Mit diesem Zielkonzept wird gleichzeitig festgelegt, welche Elemente des Untersuchungsgegenstandes in die Bewertung einbezogen werden, um somit den Bewertungsrahmen einzugrenzen.

Die Zustandsbeschreibung muß zweckmäßigerweise anhand von Kriterien erfolgen, mit deren Hilfe sich Mißstände artikulieren lassen. Am besten geeignet hierfür sind quantifizierbare Indikatoren.

Die Bewertung selbst setzt einen geeigneten Maßstab, z. B. in Form von Grenz- und Schwellenwerten voraus, der eine Aussage darüber ermöglicht, inwieweit ein bestehender Zustand der Zielsetzung entspricht oder nicht. Dieser Maßstab kann für das gleiche übergeordnete Ziel bei verschiedenen Bezügen unterschiedlich angelegt werden. Bezogen auf das Objekt Straße kann z. B. der Maßstab für die Zielsetzung "Relationstrassierung" in Abhängigkeit der Netzfunktion angelegt werden. Die Festlegung des Maßstabes entspricht somit der Definition eines Anspruchsniveaus, das, gleichsam gesellschaftliche Erfordernisse, ökonomische und ökologische Zwänge sowie technische Möglichkeiten berücksichtigt.

Die genaue Analyse bestehender Zustände erfordert eine unmittelbare Messung der entsprechenden Indikatorwerte. Dies kann sehr aufwendig oder gar unmöglich sein. Der verfügbare Kraftschlußbeiwert bei einer vorhandenen Straße beispielsweise ist gegenwärtig

noch nicht direkt meßbar, ebenso wie die zu erwartende Fahrgeschwindigkeit bei einer geplanten Anlage. In solchen Fällen sind die Wirkungen durch Modellrechnungen zu beschreiben, die auf einer entsprechenden Datengrundlage beruhen müssen. Die Zuverlässigkeit der Modelle hängt vom Umfang und Detaillierungsgrad der Daten sowie der Komplexität der Berechnungsansätze ab. Ist eine Modellrechnung nicht möglich, bleibt nur noch die Abschätzung auf der Grundlage von Erfahrungswerten. Denkbar und sinnvoll ist in diesem Fall der Aufbau von Expertensystemen.

Somit ergibt sich die nachstehende Vorgehensweise bei der Aufstellung eines Bewertungssystems:

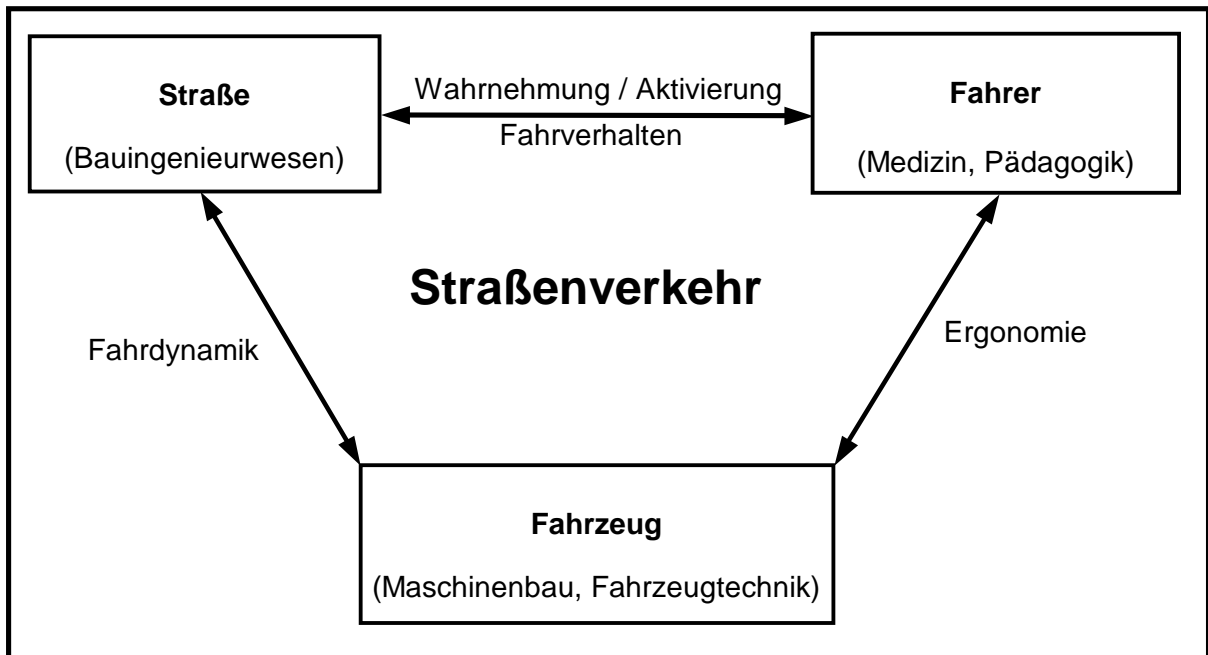
1. Aufstellen eines Zielkonzeptes
2. Festlegung des Anspruchsniveaus
3. Erfassung und Einordnung des bestehenden Zustandes

Verfolgt wird in der vorliegenden Arbeit die Bewertung mit Hilfe mittelbarer Sicherheitskenngrößen, die aber möglichst am Unfallgeschehen validierbar sind. Ein derartiges Vorgehen wurde schon von ANGENENDT ET AL (1987) vorgeschlagen. Vorteil einer solchen Bewertung mit mittelbaren Kenngrößen ist, daß letztere im direkten Zusammenhang mit den Elementen und Parametern der Linienführung stehen. Ursachen für Sicherheitsmängel können somit aus der Sicht des Entwurfsingenieurs eindeutig identifiziert werden. Das würde die Therapie, die im Anschluß an die Bewertung (Diagnose) erfolgen muß, sehr erleichtern. Wesentlich ist, daß diese mittelbaren Kenngrößen die Komponenten des Regelkreises und die Beziehungen zwischen ihnen ausreichend und zuverlässig beschreiben.

Im Abb. 7.3 sind diese Komponenten schematisch dargestellt und die Beziehungen zwischen ihnen gekennzeichnet.

Dementsprechend scheint es angebracht, das Bewertungsverfahren in folgende Ebenen zu gliedern:

- Objektiv vorhandene Streckencharakteristik
- Wahrnehmung der Streckencharakteristik
- Handlung
  - Fahrverhalten
- Wirkung
  - Aktivierung / Beanspruchung
  - Fahrdynamik



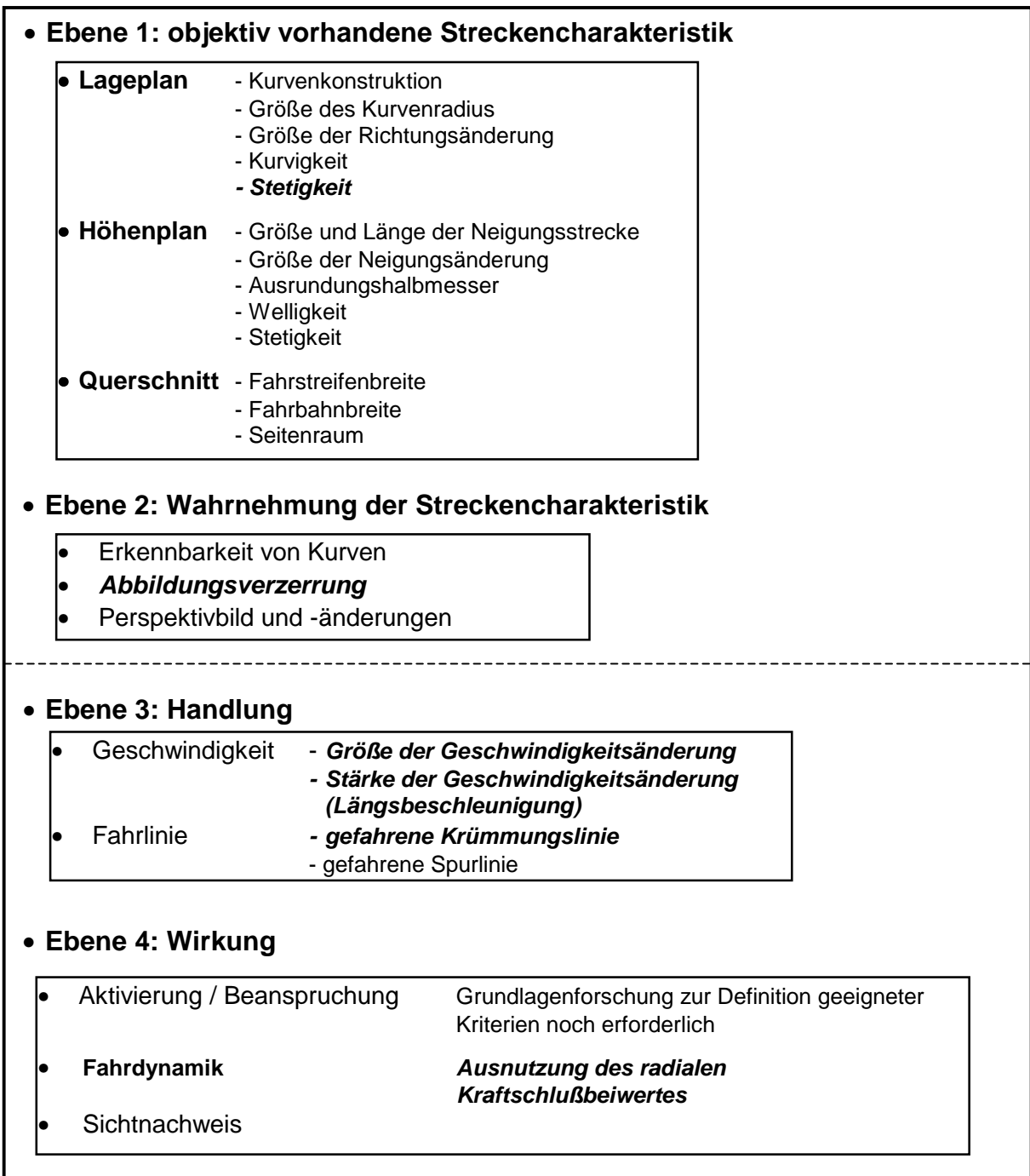
**Abb. 7.3:** Die Komponenten des Regelkreises Fahrer-Fahrzeug-Straße und ihre Beziehungen

In dieser Gliederung sind die Beziehungen Fahrer-Fahrzeug (Ergonomie) bewusst ausgeklammert, weil hier kein direkter Zusammenhang zur Zielstellung der vorliegenden Arbeit besteht. Verfolgt wird hier nicht die Bewertung der Fahrsicherheit schlechthin, sondern die Bewertung der Linienführung mit der Fahrsicherheit als Zielfunktion. Die Fahrer-Fahrzeug-Beziehungen im Sinne der Ergonomie sind aber weitgehend von der Linienführung unabhängig, weshalb auch sie hier nicht betrachtet werden.

In Abb. 7.4 sind die Bewertungsebenen mit möglichen Inhalten dargestellt. Darin hervorgehoben sind diejenigen Kriterien, für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufgrund der Verfügbarkeit entsprechender Daten ein Bewertungsalgorithmus vorgeschlagen wird.

Die vorgestellte Gliederung entspricht in ihrer Reihenfolge dem Fahrprozeß. Die objektiv vorhandene Streckencharakteristik und ihre Wahrnehmung durch den Kraftfahrer stellen den Ausgangspunkt dar. Sie bilden demzufolge die Gruppe der primären Merkmale, auf die die Bewertung schwerpunktmäßig zu konzentrieren ist.

Die übrigen Bewertungsebenen umfassen sekundäre bzw. abgeleitete Merkmale. Sie kennzeichnen die Wirkung der wahrgenommenen Streckencharakteristik auf den Kraftfahrer (Aktivierung / Beanspruchung), seine Handlungen (Fahrverhalten) und deren Folgen (Fahrdynamik). Eine Bewertung soll hier nur in Ausnahmefällen ergänzend vorgenommen werden.



**Abb. 7.4:** Bewertungsebenen und mögliche Bewertungskriterien

Generell soll die Bewertung nach dem im Abb. 7.5 dargestellte allgemeine Schema erfolgen. Zur Wertung der einzelnen Kriterien ist es erforderlich, zunächst das Anspruchsniveau als Bewertungsmaßstab zu definieren. Dieses wird gekennzeichnet durch zwei Grenzwerte:

- ein oberer Grenzwert, dessen Überschreitung keinen zusätzlichen Sicherheitsgewinn mehr bringt;
- ein unterer Grenzwert, bei dessen Unterschreitung die Sicherheit als nicht mehr gegeben betrachtet werden kann

Die Festlegung der genannten Grenzwerte kann ebenfalls auf der Grundlage von Forschungsergebnissen und Erfahrungswerten erfolgen. Gegebenenfalls ist das Sollwertgefüge als Expertensystem aufzubauen.

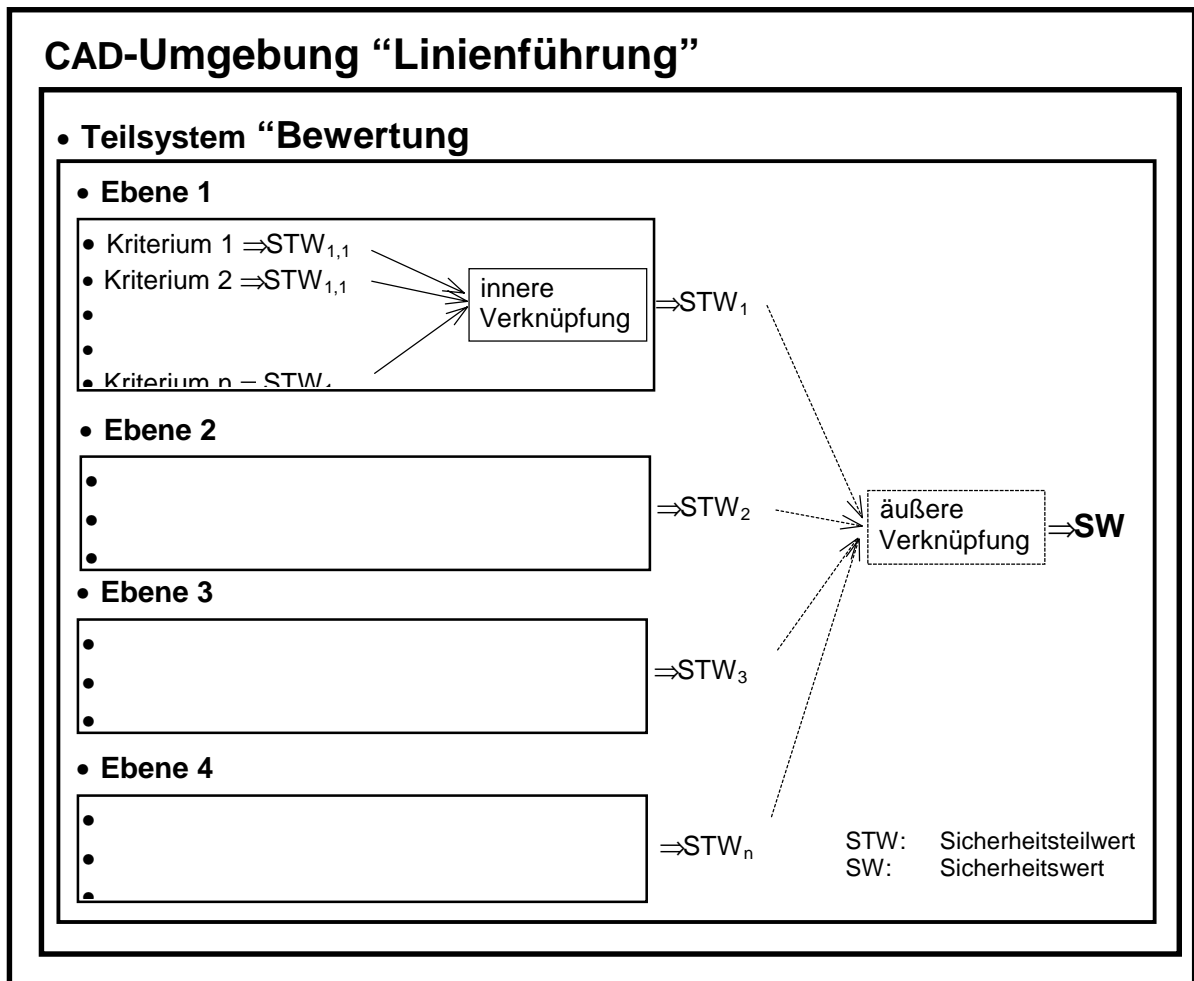


Abb. 7.5: Grundschemata für die Bewertung der Linienführung nach der Zielfunktion Fahrsicherheit

Bezüglich dieses definierten Anspruchsniveaus sind die Kennwerte zu skalieren.

Skalierungen können nominal, ordinal oder kardinal erfolgen. Nominalskalen unterscheiden lediglich verschiedene Zustände ohne weitere Ordnung.

Bei Ordinalskalen können hingegen die verschiedenen Zustände in eine eindeutige Reihenfolge gebracht werden.

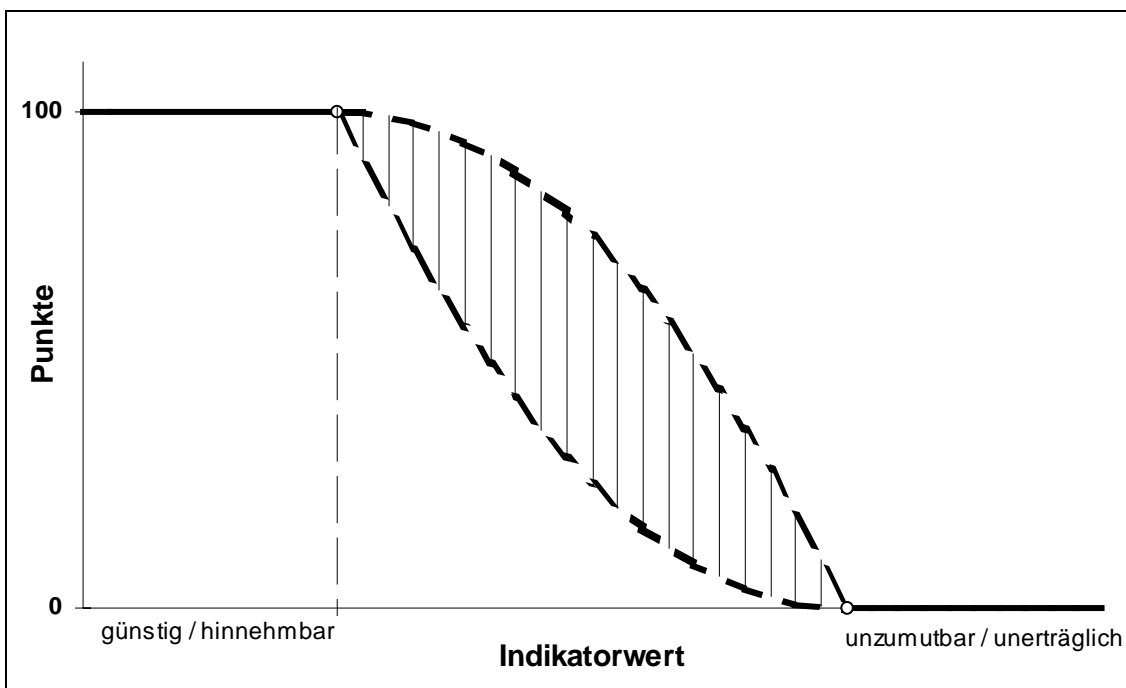
Kardinalskalen sind schließlich Intervall- bzw. Verhältnisskalen, bei denen die Zustände durch Zahlen beschrieben werden, mit denen sinnvolle Rechenoperationen durchgeführt werden können.

Für das Bewertungsverfahren sind Kardinalskalen am besten geeignet, da sie die übliche Skalenart in der Straßenplanung darstellen. Darüber hinaus erlaubt die kardinale Skalierung

eine bessere Gewichtung der Bewertungskriterien und eine genauere Abwägung der verschiedenen Planungsziele.

Die Bewertung eines Kriteriums kann in Form eines „Zielerreichungsgrades“ erfolgen, d. h. nach der Definition in den Begriffsbestimmungen (FGSV, 1998) als dimensionslose Angabe der Ausprägung des jeweiligen Bewertungskriteriums. Dabei können der untere Grenzwert des Anspruchsniveaus (Grenze der Zumutbarkeit) als 0% und der obere Wert (Grenze der Hinnehmbarkeit) als 100% Zielerreichungsgrad angesetzt werden.

Das Vorgehen ist in Abb. 7.6 schematisch dargestellt. Ein derartiges Vorgehen ermöglicht den Vergleich der Indikatoren unterschiedlicher Wirkungen untereinander sowie die Zusammenführung der Indikatorwerte zu einer einzigen Maßzahl.



**Abb. 7.6:** Transformation von Indikatorwerten zur Beschreibung eines Zustandes nach STEIERWALD / SCHÖNHARTING ET AL (1986)

Im Abb. 7.5 ist der Zielerreichungsgrad als  $STN_{i,j}$  (Sicherheitsteilnote für das Kriterium j auf der Bewertungsebene i) bezeichnet.

Die Sicherheitsteilnoten sind entsprechend der Bedeutung der jeweiligen Kriterien für die Fahrsicherheit zu gewichten und zu einer Sicherheitsteilnote für die jeweilige Bewertungsebene zusammenzufügen:



$$\text{STN}_i = \frac{\sum_{j=1}^n (\text{STN}_{i,j} \cdot g_{i,j})}{\sum_{j=1}^n g_{i,j}} \quad (\text{Gl. 7.1})$$

- STN<sub>i</sub>: Sicherheitsteilnote für die Bewertungsebene i  
STN<sub>i,j</sub>: Sicherheitsteilnote für das Kriterium j auf der Bewertungsebene i  
g<sub>i,j</sub>: Gewicht des Kriteriums j auf der Bewertungsebene i  
n; Anzahl der Kriterien

Die Festlegung der Gewichte für die einzelnen Kriterien kann ebenfalls aus Forschungsergebnissen abgeleitet oder als Expertensystem aufgebaut werden.

Analog der Zusammenfassung der einzelnen Kriterienwerte zum Ebenenwert (innere Verknüpfung) sind die Ebenenwerte zu einem Gesamtwert zusammenzufassen (äußere Verknüpfung):

$$\text{SN} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{STN}_i \cdot g_i)}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad (\text{Gl. 7.2})$$

- SN: Sicherheitsnote  
STN<sub>i</sub>: Sicherheitsteilnote für die Bewertungsebene i  
g<sub>i</sub>: Gewicht der Bewertungsebene i  
n: Anzahl der Bewertungsebenen

Die Zusammenfassung der einzelnen Kriterienwerte zu einem Ebenenwert (Gl. 7.1) sowie die Bildung eines Gesamtwertes (Gl. 7.2) dienen lediglich der allgemeinen Diagnose (Gesamtbewertung). Sie können für Sicherheitsvergleiche und schließlich für eine Rangordnung innerhalb eines vorgegebenen Netzes (Bundes-, Landesstraßen) verwendet werden. Für die Therapie liegt die entscheidende Bedeutung bei den Einzelwerten, denn nur diese geben Aufschluß über die Gegebenheiten, die für Sicherheitsdefizite ursächlich sein können.

Zur Berücksichtigung unterschiedlicher Streckenniveaus erscheint es sinnvoll, gute, brauchbare und zu vermeidende Bereiche in Abhängigkeit der Straßenkategorie zu definieren. Hierzu wird zunächst die in Abb. 7.7 angegebene Einteilung vorgeschlagen.

Straßenkategorie	Zielerreichungsgrad				
	0 – 50	50 - 60	60 – 80	80 - 90	90 - 100
AI / AII	Zu vermeiden		Gut		
AIII / AIV	brauchbar				

**Abb. 7.7:** Definition des Anspruchsniveaus in Abhängigkeit der Straßenkategorie

### 7.3. Bewertungskriterien

#### 7.3.1 Objektiv vorhandene Streckencharakteristik

Aus den Ausführungen zu den Zusammenhängen zwischen Merkmalen der Streckencharakteristik und dem Unfallgeschehen (5.2) sowie den vorhandenen Bewertungsverfahren (Abschnitt 6) wurde die Schlußfolgerung gezogen, daß für eine Sicherheitsbewertung die Betrachtung von Elementfolgen sowie Elementkombinationen eine viel größere Bedeutung hat als der Bezug zu Einzelementen. Hierbei kommt der Lageplantrassierung eine besondere Bedeutung zu, da sie bekanntlich den dominanten Einfluß auf die Geschwindigkeitswahl ausübt. Darüber hinaus haben Unfalluntersuchungen gezeigt, daß Fahrurfälle entlang eines Streckenabschnittes nicht gleichmäßig verteilt sind, sondern sich zum größten Teil (65%) im Bereich von Kurven ereignen und daß ihre Anzahl abhängig von Anzahl und Schärfe der Kurven ist (PFUNDT, 1969). Anzahl und Schärfe der Kurven entlang eines Streckenabschnittes widerspiegeln dessen Kurvigkeit und Stetigkeit. Die Kurvigkeit eines Streckenabschnittes allein bringt aber keinen Aufschluß über dessen Sicherheit (vgl. 5.2.2), so daß die Sicherheitsbewertung von Kurvenbereichen am besten anhand des Kriteriums Stetigkeit erfolgen kann. Aus diesem Grund und nicht zuletzt aufgrund der Verfügbarkeit entsprechender Daten wurde auf der Ebene der objektiv vorhandenen Streckencharakteristik das Kriterium Stetigkeit im Lageplan für die Aufstellung eines Bewertungsalgorithmus im Rahmen der vorliegenden Arbeit ausgewählt.

Zur Bewertung der Stetigkeit im Lageplan ist von STEYER / SOSSOUMIHEN (1997) ein Verfahren entwickelt worden, das im folgenden erläutert und angesetzt wird.

Ein Element (hier Kurve) stellt eine Unstetigkeitsstelle dar, wenn seine Charakteristik nicht mit der vorgelagerten Strecke (Annäherungsbereich) übereinstimmt. Das Erkennen einer solchen Unstetigkeitsstelle setzt voraus, daß die Charakteristik durch eine Größe ausgedrückt wird, die sowohl den Annäherungsbereich, als auch die Kurve selbst beschreiben kann. Hierfür wird die Nutzung des Parameters Kurvigkeit als sinnvoll erachtet.

Für das Einzelement wird die Kurvigkeit nach der Definition von LAMM ET AL. (1992) verwendet. Sie unterscheidet sich von der klassischen Definition der Kurvigkeit nur dadurch, daß sie sich auf ein Einzelement und nicht auf einen Streckenabschnitt bezieht. Für Geraden beträgt die Kurvigkeit des Einzelementes  $K_E = 0$ . Für Kreisbögen und Verbundkurven beispielsweise ergeben sich die nachstehenden Gleichungen:

• Kreisbogen: 
$$K_E = \frac{\alpha}{L_k} \cdot 1000 = \frac{1}{R} \times 63700 \quad (\text{Gl. 7.3})$$

• Verbundkurve: 
$$K_E = \frac{\tau_1 + \alpha + \tau_2}{L_{\ddot{u}1} + L_k + L_{\ddot{u}2}} \cdot 1000 = \frac{L_{\ddot{u}1}/2R + L_k/R + L_{\ddot{u}2}/2R}{L_{\ddot{u}1} + L_k + L_{\ddot{u}2}} \times 63700 \quad (\text{Gl. 7.4})$$

$\alpha, \tau$ :	[gon]
$L_{\ddot{u}}, L_k, R$ :	[m]
$K_E$ :	[gon/km]

Der Annäherungsbereich wird in Anlehnung an die Untersuchungen von STEIERWALD / BUCK (1992) auf die letzten 400 m vor Kurvenanfang begrenzt. Für diesen Abschnitt wird eine mittlere gewichtete Kurvigkeit  $K_G$  aus den Kurvigkeiten der darin enthaltenen Einzelemente ermittelt:

$$K_G = \frac{\sum_{i=1}^n (f_i \times K_{E_i} \times L_i)}{\sum_{i=1}^n (f_i \times L_i)} \quad (\text{Gl. 7.5})$$

$K_G$ :	mittlere gewichtete Kurvigkeit des Streckenabschnittes [gon/km]
$K_{E_i}$ :	Kurvigkeit des Elementes i [gon/km]
$f_i$ :	Rangfaktor für das Element i [-]
$L_i$ :	Länge des Elementes i
$n$ :	Anzahl der Einzelemente im Streckenabschnitt [-]

Die Rangfaktoren  $f_i$  werden so festgelegt, daß das dem Anfang der betrachteten Kurve am nächsten liegende Element den höchsten Faktor ( $n$ ), das am weitesten liegende den niedrigsten Faktor ( $1$ ) erhält. Diese Festlegung dient der Berücksichtigung des unterschiedlich starken Einflusses der Einzelemente auf das Fahrverhalten in Abhängigkeit ihrer Entfernung von der betrachteten Kurve.

Als Wertmesser der Stetigkeit dient dann die Differenz

$$\Delta KU = K_E - K_G \quad [\text{gon/km}] \quad (\text{Gl. 7.6})$$

$\Delta KU$ : Kurvigkeitsdifferenz

$K_E$ : Kurvigkeit der betrachteten Kurve

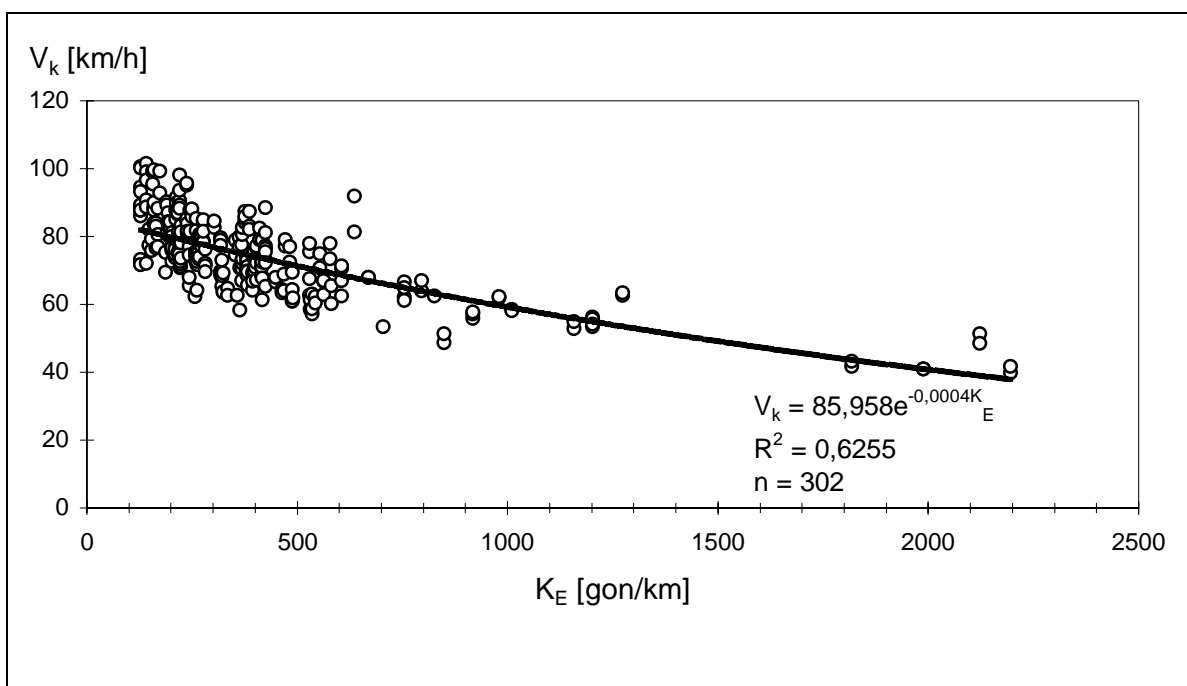
$K_G$ : mittlere gewichtete Kurvigkeit des Annäherungsbereiches (bis 400 m vor der betrachteten Kurve)

Eine Unstetigkeitsstelle ist bekanntlich durch eine plötzliche Änderung im Fahrverhalten gekennzeichnet. Folglich kann die Untersuchung eines Streckenabschnittes nach der Stetigkeit nicht losgelöst vom Fahrverhalten erfolgen. Charakteristisch für Unstetigkeitsstellen sind Einbrüche im Geschwindigkeitsprofil. Auf der Grundlage von zulässigen Geschwindigkeitsdifferenzen können Rückschlüsse auf zulässige Kurvigkeitsdifferenzen getroffen werden. Dazu ist es erforderlich, dem Annäherungsbereich und der betrachteten Kurve jeweils eine Geschwindigkeitsgröße zuzuordnen.

Als Kurvengeschwindigkeit wird die kleinste  $V_{85}$  angesetzt, die in der Kurve auftritt.

In Abb. 7.8 ist der Zusammenhang zwischen Kurvengeschwindigkeit und Kurvigkeit der Einzelkurve für die hier betrachteten Untersuchungsstrecken dargestellt.

Mit dem erreichten Bestimmtheitsmaß von 0,63 kann die hier definierte Kurvigkeit ( $K_E$ ) als kurvencharakteristische Größen angesetzt werden.



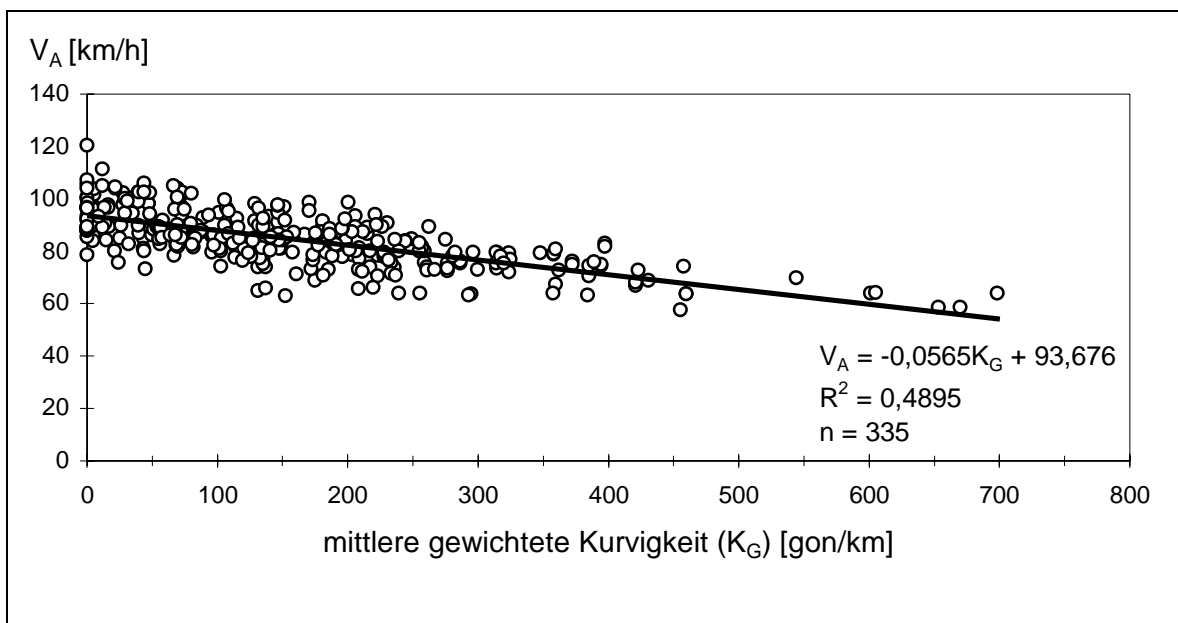
**Abb. 7.8:** Zusammenhang zwischen Kurvengeschwindigkeit und Kurvigkeit der Einzelkurve nach STEYER / SOSSOUMIHEN (1997)

Als Annäherungsgeschwindigkeit wird die höchste  $V_{85}$  angesetzt, die im Bereich bis 150 m vor Anfang der betrachteten Kurve auftritt. Diese Entfernung entspricht der Nahorientierungs- und Handlungszone (WEISE / DURTH ET AL., 1997). Außerhalb dieses Bereiches ist noch keine Reaktion der Kraftfahrer auf das bevorstehende Ereignis (hier Kurvenfahrt) zu erwarten.

Der ermittelte Zusammenhang zwischen Annäherungsgeschwindigkeit und Charakteristik des Annäherungsbereiches, hier ausgedrückt durch die mittlere gewichtete Kurvigkeit, ist in Abb. 7.9 dargestellt.

Wie in 6.3.3 bereits erläutert, genügt die absolute Geschwindigkeitsdifferenz allein nicht zum Erkennen von Unstetigkeiten, weil sie das Geschwindigkeitsniveau nicht berücksichtigt. Eine Geschwindigkeitsabnahme von 10 km/h ist bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 100 km/h nicht gleich zu werten wie bei einer von 60 km/h. Deshalb wird hier der Quotient aus Kurvengeschwindigkeit ( $V_K$ ) und Annäherungsgeschwindigkeit ( $V_A$ ) angesetzt. Dieses Quotient entspricht dem von KUPKE bzw. BABKOV definierten Verkehrssicherheitskoeffizienten  $K$  (vgl. 6.3.3).

Abb. 7.10 zeigt den entsprechenden Zusammenhang zwischen Kurvigkeitsdifferenz ( $\Delta KU$ ) und Geschwindigkeitsverhältnis ( $K$ ). Obwohl die Werte vor allem bei großen Kurvigkeitsdifferenzen sehr breit streuen, zeigt das Diagramm die Tendenz eines mit zunehmender Kurvigkeitsdifferenz abnehmenden Geschwindigkeitsverhältnisses.



**Abb. 7.9:** Zusammenhang zwischen Annäherungsgeschwindigkeit und mittlerer gewichteter Kurvigkeit nach STEYER / SOSSOUMIHEN (1997)

KUPKE und BABKOV definieren den Bereich mit  $K \geq 0,8$  als sicher. Das entspricht nach Abb. 7.10. Kurvigkeitsdifferenzen bis ca. 150 gon/km. Der von KUPKE als gefährlich eingestufte Bereich ( $0,8 < K \leq 0,6$ ) entspricht Kurvigkeitsdifferenzen zwischen 150 und 500 gon/km (Abb. 7.10).

Damit ergibt sich entsprechend Abb. 7.6 die in Abb. 7.11 dargestellte Skalierung. Zwischen dem günstigen und dem ungünstigen Bereich wurde eine lineare Skalierung gewählt, weil das Diagramm in Abb. 7.10 auch einen linear abnehmbaren Trend aufweist. Die Bewertung einer Lageplankurve nach dem Kriterium Stetigkeit kann dann entsprechend der Angaben in Tab. 7.1 erfolgen.

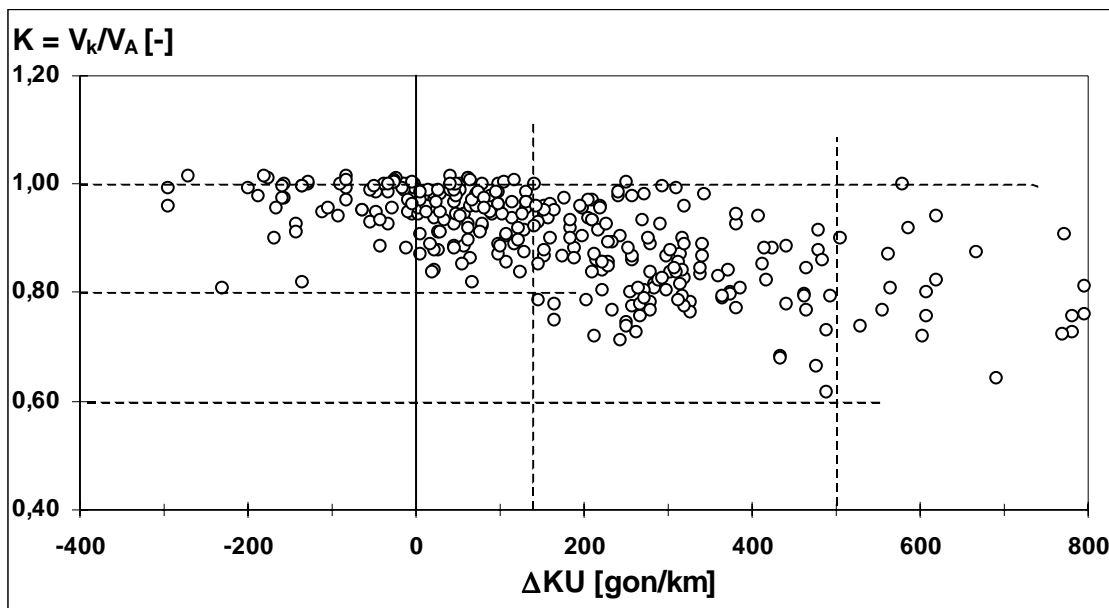


Abb. 7.10: Zusammenhang zwischen Geschwindigkeitsverhältnis und Kurvigkeitsdifferenz nach STEYER / SOSSOUMIHEN (1997)

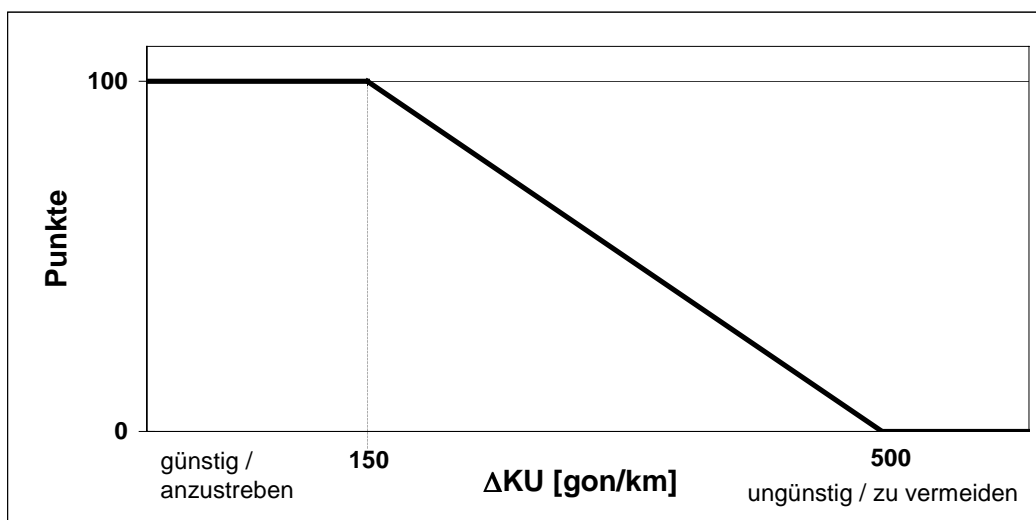


Abb. 7.11: Transformation der Indikatorwerte zur Bewertung der Stetigkeit im Lageplan

$\Delta KU$ [gon/km]	Punkte	Wertung
$\leq 150$	100	gut
$150 < \Delta KU < 500$	$-\frac{1}{7} \cdot (2 \cdot \Delta KU - 1000)$	
$\geq 500$	0	schlecht

**Tab. 7.1:** Wertung der Stetigkeit für eine Lageplankurve

Die Bewertung ist für jede einzelne Kurve und in jeder Richtung vorzunehmen. Maßgebend für jede Kurve ist die jeweils ungünstigere Richtung. Die Gesamtbewertung ergibt sich zu:

$$S_{St} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad [-] \quad (\text{Gl. 7.7})$$

$S_{St}$ : Wertung der Stetigkeit eines Streckenabschnittes  
 $p_i$ : Wertung der Stetigkeit für die Kurve  $i$   
 $n$ : Anzahl der Kurven

Das vorgestellte Verfahren stellt eine Möglichkeit zur Bewertung der Lageplantrassierung dar. Es faßt die in DURTH, WEISE ET AL (1996) betrachteten Kriterien Kurvigkeit und Radienrelation zusammen, die für sich allein die Sicherheit nicht ausreichend beschreiben können.

Die Gesamtbewertung der Streckencharakteristik ist als Ausdruck für die Streckenqualität zu verstehen.

### 7.3.2 Wahrnehmung der Streckencharakteristik

Mit der in 6.3.2 vorgestellten Arbeit von APPELT (1998) ist nunmehr die Möglichkeit gegeben, einen Aspekt der räumlichen Linienführung (sichtbarer Radius bzw. Abbildungsverzerrung) quantitativ in den Planungsprozeß zu integrieren.

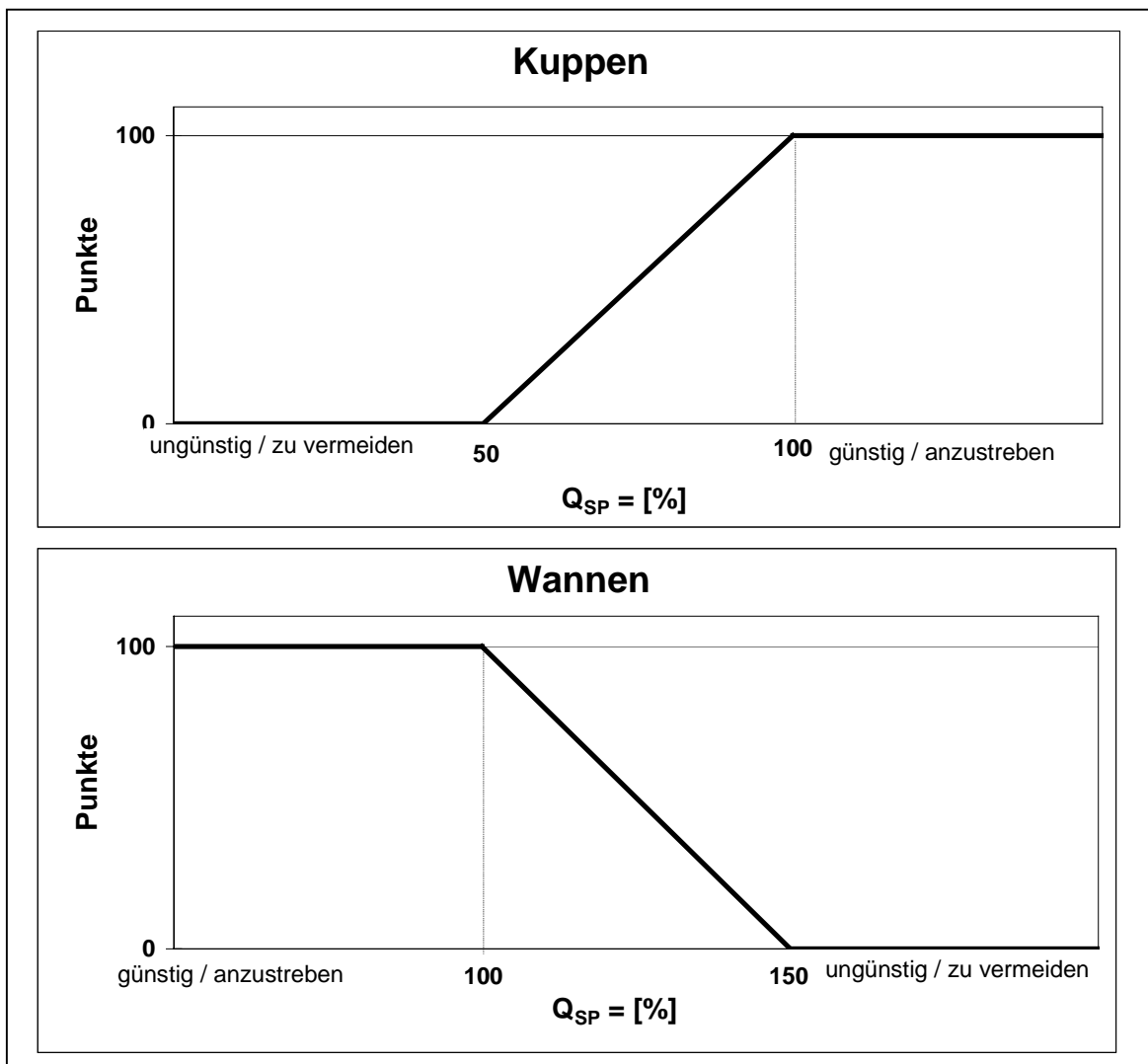
Die Einschränkung auf die Abbildungsverzerrung des Lageplanes durch den Höhenplan ist damit zu begründen, daß der Kraftfahrer für die Wahl seiner Fahrweise sich vorrangig an den horizontalen Richtungsänderungen (Lageplankurven) orientiert. Insofern ist die Wahrnehmung von Lageplankurven von besonderer Bedeutung für das Fahrverhalten und demzufolge auch für die Sicherheit. Die Feststellung von OSTERLOH (1983) und APPELT (1998), daß die Fahrgeschwindigkeiten eine bessere Korrelation mit den sichtbaren als mit den tatsächlich vorhandenen Radien zeigen, läßt dies auch annehmen, wenngleich sie statistisch nicht abgesichert ist.

Trotz des noch ausstehenden statistischen Nachweises für den Einfluß der Abbildungsverzerrung auf Fahrverhalten und Unfallgeschehen wird vorgeschlagen, zunächst die von

APPELT angegebenen Grenzwerte als Bewertungsmaßstab anzusetzen. Entsprechend der hier verfolgten Bewertungsphilosophie ergeben sich die in Abb. 7.12 dargestellte Skalierung und die in Tab. 7.2 angegebene Einteilung (für Um- und Ausbaustrecken).

Die Bewertung ist ebenfalls für jede Kurve und in jeder Richtung vorzunehmen. Für eine Gesamtbewertung der Strecke gelten die Ausführungen in 7.3.1 bzw. Gl. 7.7.

Künftige Forschungsarbeiten zur räumlichen Linienführung sollten sich unter anderem dem Zusammenhang zwischen sichtbarem Radius und Geschwindigkeit einerseits sowie zwischen Abbildungsverzerrung und Unfallgeschehen andererseits widmen. Ebenso sollten eine Quantifizierung des Perspektivbildes und der Perspektivbildfolge sowie die Feststellung ihres Bezuges zum Fahrverhalten und zum Unfallgeschehen angestrebt werden, damit sie als Kriterien in die Sicherheitsbewertung einbezogen werden können.



**Abb. 7.12:** Transformation der Indikatorwerte zur Bewertung der Abbildungsverzerrung



Kuppen		Wannen		Wertung
$Q_{sp}$ [%]	Punkte	$Q_{sp}$ [%]	Punkte	
$\geq 100$	100	$\leq 100$	100	gut
$50 < Q_{SP} < 100$	$2 \cdot Q_{sp} - 100$	$100 \leq Q_{SP} < 150$	$-2 \cdot Q_{SP} + 300$	
$\leq 50$	0	$\geq 150$	0	schlecht

**Tab. 7.2:** Wertung der Abbildungsverzerrung

### 7.3.3 Fahrverhalten

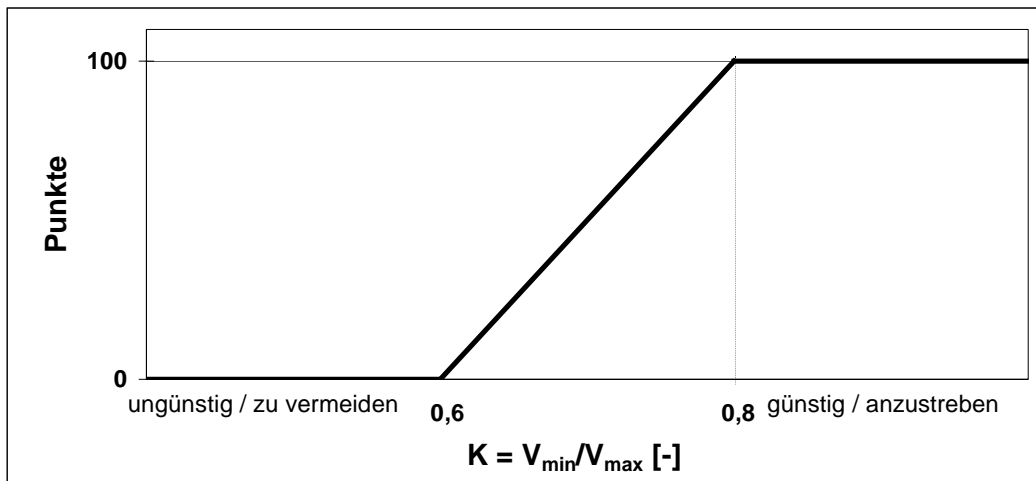
Kenngroößen des Fahrverhaltens kommt bei der Bewertung der Fahrsicherheit eine Schlüsselbedeutung zu. Schließlich treten entsprechend der Darstellung in Anhang 7.1 Fahrsicherheitsprobleme auf, wenn das vom Fahrer adaptierte Verhalten nicht den objektiv vorhandenen Bedingungen entspricht.

In Kapitel 4 wurde herausgestellt, daß das Fahrverhalten durch die Geschwindigkeit und daraus abgeleitete Größen sowie die Spurwahl bzw. Fahrlinie ausreichend beschrieben werden kann. Insofern ist es berechtigt, die Sicherheitsbewertung auf diese Bereiche zu beziehen.

#### 7.3.3.1 Geschwindigkeit und daraus abgeleitete Größen

Die polizeilichen Unfallakten weisen in den meisten Fällen überhöhte bzw. den Umständen nicht angemessene Geschwindigkeit als Ursache für Fahrunfälle aus. So pauschal diese Beurteilung auch erscheinen mag, läßt sie einen Zusammenhang zwischen Streckencharakteristik, Geschwindigkeitsverhalten, und Unfallgeschehen annehmen. Durch eine Bewertung des Geschwindigkeitsverhaltens können Rückschlüsse auf die Sicherheit einer Straßenverkehrsanlage gezogen werden.

Zur Bewertung der Stetigkeit im Geschwindigkeitsverlauf wird entsprechend der Ausführungen in 7.3.1 die in Abb. 7.13 dargestellte Skalierung vorgeschlagen.



**Abb. 7.13:** Transformation der Indikatorwerte zur Bewertung der Stetigkeit im Geschwindigkeitsverlauf

Dementsprechend ergibt sich die in Tab. 7.3 angegebene Einteilung.

$K = V_{\min}/V_{\max} [-]$	Punkte	Wertung
$\geq 0,8$	100	gut
$0,6 < K < 0,8$	$500 \cdot K - 300$	
$\leq 0,6$	0	schlecht

**Tab. 7.3:** Wertung der Stetigkeit im Geschwindigkeitsverlauf

Im Abschnitt 4.3.4 wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Größe der Geschwindigkeitsänderung allein kein ausreichendes Kriterium für die Beurteilung der Sicherheit darstellt. Vielmehr kommt es darauf an, auf welcher Wegstrecke diese Änderung vollzogen wird. Eine kurze Wegstrecke ist ein Indiz dafür, daß die Unstetigkeit in der Streckenführung vom Fahrer spät erkannt wird und er entsprechend stärker reagieren muß (starke Verzögerung). Dieser Umstand ist bei gleicher Geschwindigkeitsdifferenz als viel gefährlicher einzustufen, als bei kleinen Längsverzögerungen. Die Bewertung des Geschwindigkeitsverhaltens darf demzufolge nicht losgelöst von den zugehörigen Längsverzögerungen erfolgen.

In der Fachliteratur sind Schwellenwerte zur Beurteilung der Längsverzögerungen angegeben (vgl. 6.3.3). In DURTH / BIEDERMANN / VIETH (1983) werden für die unbewußte Geschwindigkeitsanpassung folgende Werte angegeben:

- Beschleunigung:  $0,5 \text{ m/s}^2 = \text{konst. zwischen } 40 \text{ und } 120 \text{ km/h}$
- Verzögerung:  $0,8 - 1,0 \text{ m/s}^2$

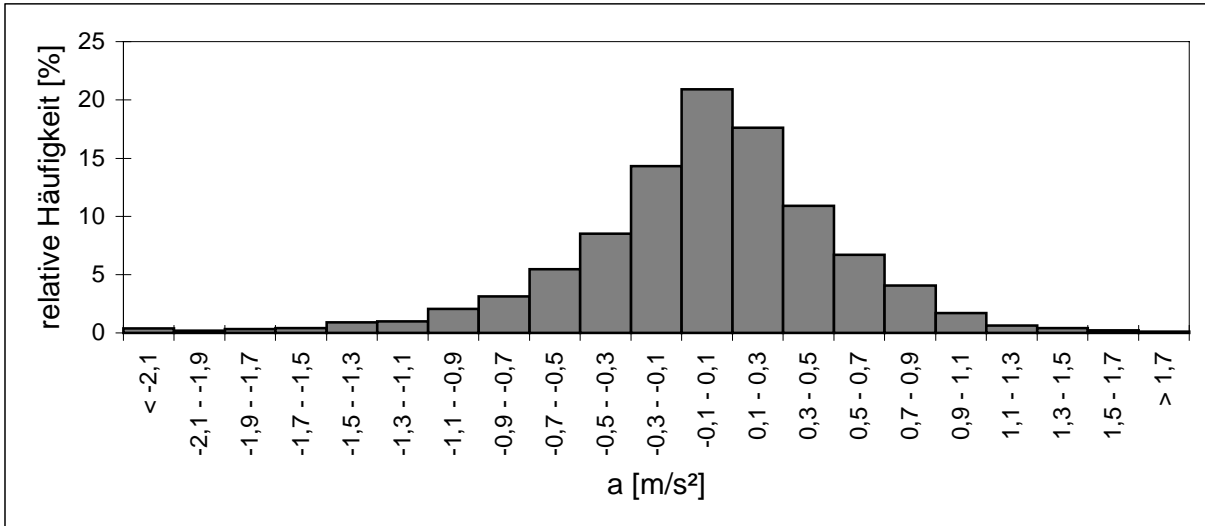
Der dort angegebene Bereich für die Verzögerung entspricht den Höchstwerten für die Eigenverzögerung von Pkw (bei eingekuppeltem Motor ohne Zuhilfenahme der Betriebsbremse). Diese beträgt

- bei 60 km/h ca. 0,4 ... 0,6 m/s<sup>2</sup>
- bei 100 km/h ca. 0,7 ... 0,8 m/s<sup>2</sup>
- bei 140 km/h > 1,0 m/s<sup>2</sup>

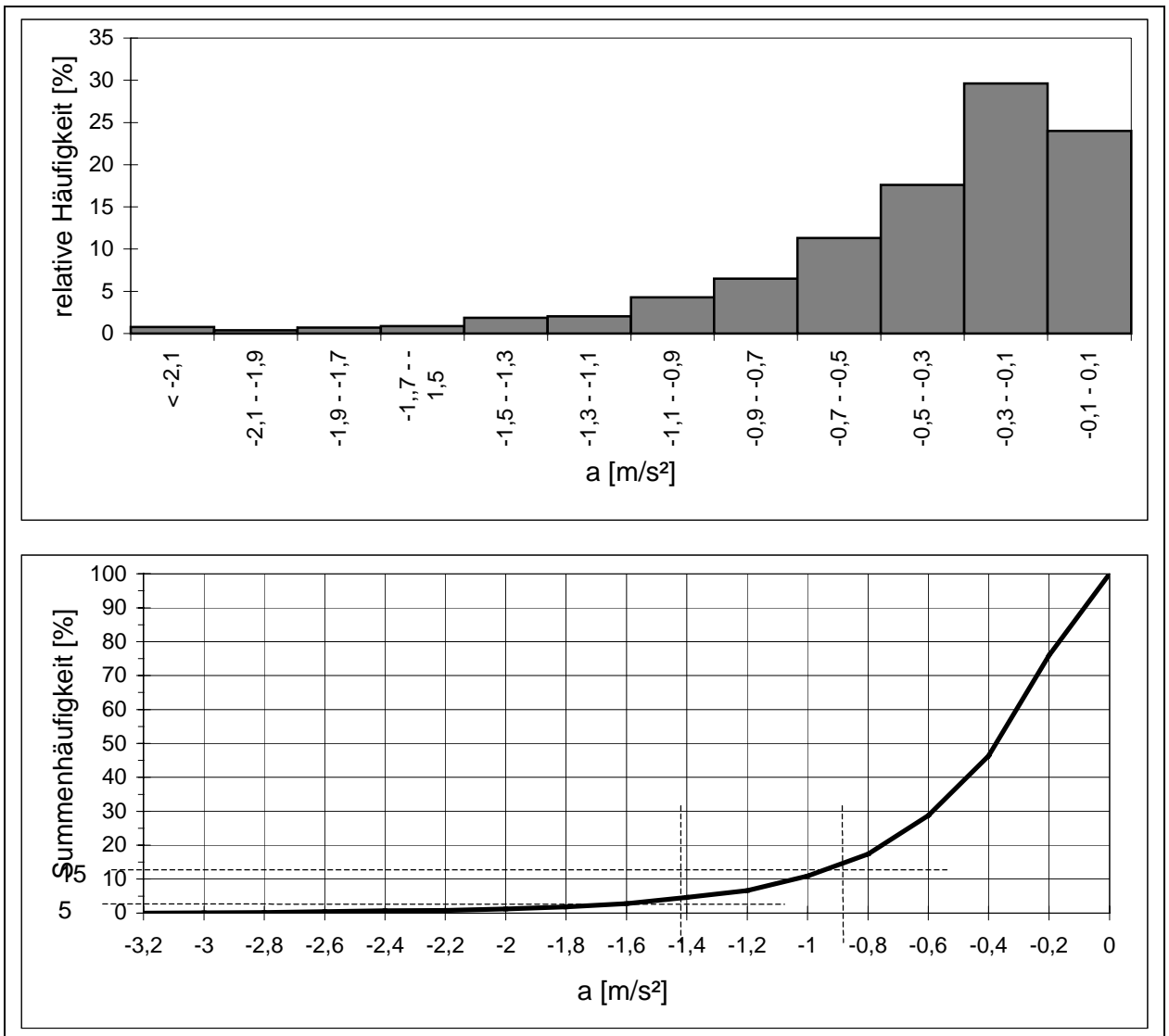
Die angegebenen Werte sind nun mehr als 15 Jahre alt und die Entwicklungen in der Kraftfahrzeugtechnik lassen möglicherweise andere Größenordnungen erwarten. Dies wurde aber im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht überprüft.

Zur Festlegung von Schwellenwerten für die Längsverzögerungen wurde hier von den in 3.3 beschriebenen Daten ausgegangen. Abb. 7.14 zeigt die Häufigkeitsverteilung der aus den 85%-Geschwindigkeiten der Verfolgungsfahrten nach Gl. 6.13 ermittelten Längsbeschleunigungen auf den betrachteten Untersuchungsstrecken. Die Häufigkeitsverteilung der aufgetretenen Längsverzögerungen ist gesondert in Abb. 7.15 dargestellt, weil diese im Gegensatz zu den Beschleunigungen für die Sicherheitsbewertung relevant sind.

Die angegebenen Verteilungen beziehen sich auf alle aufgetretenen Werte und nicht nur auf Kurvenbereiche.



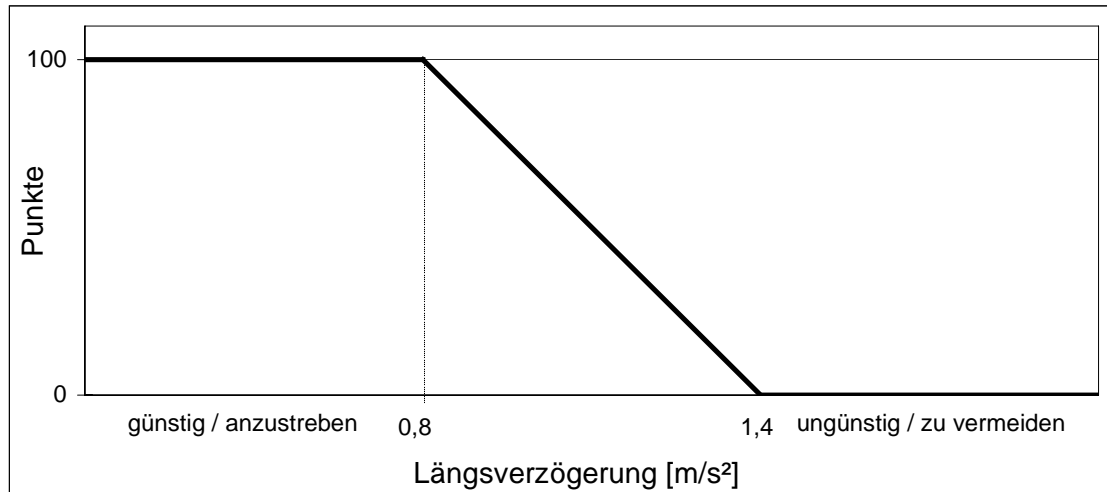
**Abb. 7.14:** Häufigkeitsverteilung gemessener Längsbeschleunigungen (Verfolgungsfahrten) (Datenquelle: DURTH / WEISE ET AL., 1995)



**Abb. 7.15:** Häufigkeitsverteilung gemessener Längsverzögerungen (Verfolgungsfahrten) (Datenquelle: DURTH / WEISE ET AL., 1995)

Zur Charakterisierung des erwünschten Bereiches für die Längsverzögerung wurde der 15%-Wert angenommen. Der unerwünschte, kritische Bereich wurde mit dem 5%-Wert gekennzeichnet. Diese beiden Größen entsprechen nach Abb. 7.15 Längsverzögerungen von 0,8 bzw. 1,4 m/s<sup>2</sup>. Demnach sind Längsverzögerungen unter 0,8 m/s<sup>2</sup> als unbedenklich, solche über 1,4 m/s<sup>2</sup> als sehr kritisch bzw. gefährlich zu werten.

Entsprechend der hier verfolgten Methode ergeben sich die in Abb. 7.16 dargestellte Skalierung bzw. die in Tab. 7.4 angegebene Einteilung.



**Abb. 7.16:** Transformation der Indikatorwerte zur Bewertung der Längsverzögerung

$ a $ [m/s <sup>2</sup> ]	Punkte	Wertung
$\leq 0,8$	100	gut
$0,8 <  a  < 1,4$	$-\frac{1}{0,6} \cdot (100 \cdot  a  - 140)$	
$\geq 1,4$	0	schlecht

**Tab. 7.4:** Wertung der Längsverzögerung

Wie vorstehend erläutert müssen zur sicherheitstechnischen Wertung einer lokalen Geschwindigkeitsänderung beide Indikatoren herangezogen werden. Auf der Grundlage der festgelegten Schwellenwerte ergibt sich das in Abb. 7.17 dargestellte Bewertungsschema.

$k = V_{\min} / V_{\max}$ [-]	Längsverzögerung [m/s <sup>2</sup> ]		
	$\leq 0,8$	0,8 - 1,4	$\geq 1,4$
$\geq 0,8$			
0,8 - 0,6			
$\leq 0,6$			

**Legende:**



gut



kritisch



gefährlich

**Abb. 7.17:** Bewertungsschema Geschwindigkeitsverhalten

Die Wertung des Geschwindigkeitsverhaltens erfordert also eine Zusammenführung der beiden Indikatoren. Dies wird durch die Einführung eines Wichtungsfaktors realisiert. Aus der Tabelle in Abb. 7.17 ist ersichtlich, daß beide Indikatoren gleichwertig in die Bewertung eingehen. Deshalb werden hier beiden Größen den gleichen Wichtungsfaktor zugordnet. Die Wertung einer lokalen Geschwindigkeitsänderung kann dementsprechend nach Gl. 7.8 erfolgen.

$$S_{VL} = 0,5 \cdot P_{VL} + 0,5 \cdot P_{aL} \quad [-] \quad (\text{Gl. 7.8})$$

- $S_{VL}$ : Wertung einer lokalen Geschwindigkeitsänderung (Abb. 7.18)  
 $P_{VL}$ : Wertung der Größe der Geschwindigkeitsänderung (Tab. 7.4)  
 $P_{aL}$ : Wertung der Längsbeschleunigung (Tab. 7.5)

Die Bewertung ist ebenfalls für jede einzelne lokale Geschwindigkeitsänderung und in jeder Richtung vorzunehmen. Für eine Richtung ergibt sich die Gesamtbewertung zu:

$$S_V = \frac{\sum_{i=1}^n S_{VL_i}}{n} \quad [-] \quad (\text{Gl. 7.9})$$

- $S_V$ : Wertung der Geschwindigkeitsverhaltens  
 $S_{VL_i}$ : Wertung einer lokalen Geschwindigkeitsänderung  $i$   
 $n$ : Anzahl der lokalen Geschwindigkeitsänderungen

Für die Gesamtbewertung des Streckenabschnittes ist wiederum die ungünstigere Richtung maßgebend.

### 7.3.3.2 Gefahrene Krümmungslinie

Wie bereits im Abschnitt 3 angedeutet, weichen die Parameter der gefahrenen Linie, vor allem der Radius, in vielen Fällen von denen der gebauten Linie ab. "Die gefahrenen Radien schwanken ... je nach Fahrbahnbreite, Geschick des Fahrers und dessen Fahrweise" (DURTH / BALD / WOLFF, 1988). Kleine Radien und kleine Öffnungswinkel lassen meist die größten Abweichungen der Fahrlinien von den durch die Trassierung vorgegebenen Soll-Linien erwarten. Dieses Phänomen des Kurvenschneidens ist besonders bei älteren, historisch gewachsenen Straßen zu beobachten. Modern ausgebaute Straßen bieten dafür wenig Raum.

Die Bestimmung und Bewertung der Fahrlinie von Kraftfahrzeugen besonders in Kurvenbereichen ist für eine sicherheitstechnische Analyse wichtig, weil sie die Fahrdynamik (Ausnutzung des Kraftschlußbeiwertes) wesentlich beeinflusst.

Aus den im Rahmen der Untersuchungen zur Relationstrassierung (DURTH, WEISE ET AL. 1995) aufgenommenen Geschwindigkeits- und Querschleunigungsdaten (jeweils 85%-Quantilwerte der Einsatzfahrten - vgl. 3.3) wurden die sich ergebenden gefahrenen Krümmungslinien mit der folgenden Gleichung ermittelt

$$b = f_R \cdot g = \frac{V^2}{3,6^2 \cdot R} \pm g \cdot \frac{q}{100} \quad (\text{Gl. 7.10a})$$

b	[m/s <sup>2</sup> ]	:	Querschleunigung (hier b <sub>85</sub> )
f <sub>R</sub>	[-]	:	beanspruchter radialer Kraftschlußbeiwert
g	[m/s <sup>2</sup> ]	:	Erdbeschleunigung
V	[km/h]	:	Fahrgeschwindigkeit (hier V <sub>85</sub> )
R	[m]	:	Radius
q	[%]	:	Querneigung

Daraus läßt sich der Näherungsansatz für die Krümmung der gefahrenen Linie ableiten:

$$K = \frac{1}{R} = \frac{3,6^2 \cdot \left( b \pm g \cdot \frac{q}{100} \right)}{V^2} \quad (\text{Gl. 7.10b})$$

Anh. 2.1 zeigt eine Gegenüberstellung der gebauten und der gefahrenen Krümmungslinien für die Untersuchungsstrecken. Aus den darin enthaltenen Diagrammen können folgende qualitativen Aussagen getroffen werden:

1. die gefahrene Krümmungslinie entspricht nicht immer der gebauten
2. es werden in Kurven sowohl größere als auch kleinere Radien als die gebauten gefahren
3. die Klothoide als Übergangsbogen entspricht sehr gut dem Fahrverhalten

Spurverhaltensuntersuchungen im Rahmen eines weiteren Forschungsprojektes am Lehrstuhl Planung und Entwurf von Straßenverkehrsanlagen und Anlagen des Luftverkehrs der TU Dresden (WEISE/STEYER 1997) haben diese Erkenntnisse auch in quantitativer Hinsicht bestätigt.

Die Bereiche, in denen die gebauten Radien unterschritten werden, sind zwar kurz, stellen aber aufgrund der erhöhten Inanspruchnahme des radialen Kraftschlußbeiwertes potentielle Gefahrenstellen dar (RÖDER 1996). Eine eingehende Betrachtung der fahrdynamischen Verhältnisse bei der Kurvenfahrt hinsichtlich einer Beurteilung der Fahrsicherheit erfordert folglich die Kenntnis der gefahrenen Linie.

Zur Einbeziehung der Fahrlinie in ein Bewertungsverfahren ist es ebenso wie bei der Geschwindigkeit erforderlich, eine Methode zu finden, mit deren Hilfe sie analytisch zuverlässig ermittelt werden kann. Eine meßtechnische Erfassung ist zwar möglich, der damit verbundene Aufwand aber nicht in jedem Fall gerechtfertigt. Eine solche Erfassung sollte daher nur in besonderen Fällen wie beispielsweise bei besonders kritischen Kurven vorgenommen werden.

In der Literatur wird der größte Einfluß auf die Fahrlinie den Parametern Kurvenradius und Öffnungswinkel zugeschrieben. Deshalb lag es nahe, die hier ermittelten Fahrradien auf einen Zusammenhang mit diesen Parametern sowie der im Abschnitt 4.3.2.2 definierten Größe "spezifische Richtungsänderung" ( $\alpha/R$ ) hin zu untersuchen. Das Ergebnis ist im Anh. 2.2 dargestellt. Um diese Untersuchung auf eine einheitliche Basis zu stellen, wurden nur reine Kreisbogenkonstruktionen berücksichtigt. Kurven mit Übergangsbögen wurden nicht einbezogen, weil in diesen Fällen die Verhältnisse anders sind (vgl. Anh. 2.1) und demzufolge eine gesonderte Untersuchung notwendig ist. Bei unmittelbaren Folgen gleichsinnig gekrümmter Kreisbögen (Korbbögen) wurde ein längengewichteter Ersatzradius ermittelt. Darüber hinaus wurde eine Differenzierung nach Links- und Rechtskurven vorgenommen, um eine mögliche Richtungsabhängigkeit feststellen zu können. In die Untersuchung sind insgesamt 67 Kurven eingegangen. Betrachtet wurden die kleinsten gefahrenen Radien, die in den jeweiligen Kurven ermittelt wurden. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten sind in Tab. 7.5 zusammengestellt.

Radius $R_f$ bei	Korrelationskoeffizienten bei Betrachtung gegenüber		
	Radius $R_g$	Öffnungswinkel $\alpha_g$	$\alpha_g/R_g$
Linkskurven	0,75	0,81	0,81
Rechtskurven	0,79	0,79	0,88
allen Kurven	0,75	0,76	0,83

**Tab. 7.5:** Korrelationskoeffizienten zwischen gefahrenem Kurvenradius  $R_f$  und ausgewählten gebauten Parametern ( $R_g$ ,  $\alpha_g$ ,  $\alpha_g/R_g$ )

Es zeigt sich, daß der Parameter "spezifische Richtungsänderung" ( $\alpha/R$ ) einen strafferen Zusammenhang mit den gefahrenen Radien aufweist, als die beiden einzelnen Parameter Radius und Öffnungswinkel.

Während bei Rechtskurven die Einflüsse von Kurvenradius und Öffnungswinkel gleich groß sind, scheint bei Linkskurven der Einfluß des Öffnungswinkels zu dominieren. Das kann dadurch erklärt werden, daß das Kurvenschneiden bei Rechtskurven auf die Ausnutzung der Breite des eigenen Fahrstreifens begrenzt ist. Beim stärkeren Schneiden würde das Bankett,



falls vorhanden, überfahren und / oder zu nah an vorhandenen seitlichen Hindernissen gefahren werden. Das dürften die meisten Kraftfahrer vermeiden. Bei Linkskurven besteht hingegen die Möglichkeit, den Gegenfahrstreifen mit zu benutzen. Diese Möglichkeit ist aber weniger durch den Kurvenradius, sondern vielmehr durch den Öffnungswinkel sowie die vorherrschenden Sichtbedingungen und die Verkehrsstärke gegeben.

Für die weiteren Betrachtungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird zur Beschreibung der gefahrenen Radien von der spezifischen Richtungsänderung ausgegangen und die folgenden ermittelten Regressionsfunktionen jeweils für Links- und Rechtskurven verwendet (Vgl. Anh. 2.2, Blatt 3):

• **Linkskurven:**  $R_f = 136,16 \cdot \left( \frac{\alpha_g}{R_g} \right)^{-0,4338}$  ;  $r = 0,81$  (Gl. 7.11)

• **Rechtskurven:**  $R_f = 74,512 \cdot \left( \frac{\alpha_g}{R_g} \right)^{-0,6017}$  ;  $r = 0,88$  (Gl. 7.12)

$R_f$	[m]	:	gefahrener Kurvenradius
$R_g$	[m]	:	gebauter Kurvenradius
$\alpha_g$	[gon]	:	gebauter Öffnungswinkel

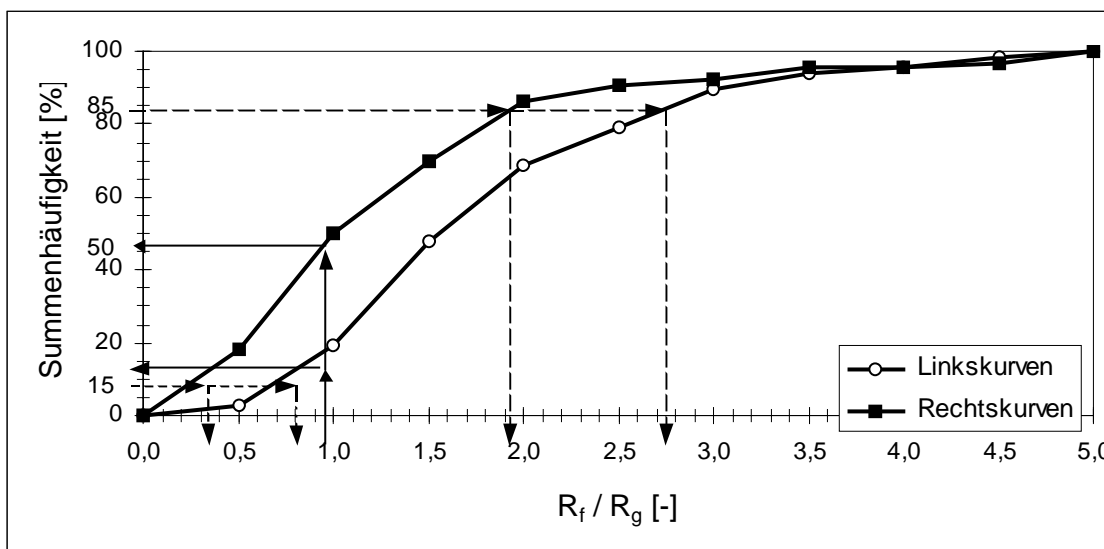
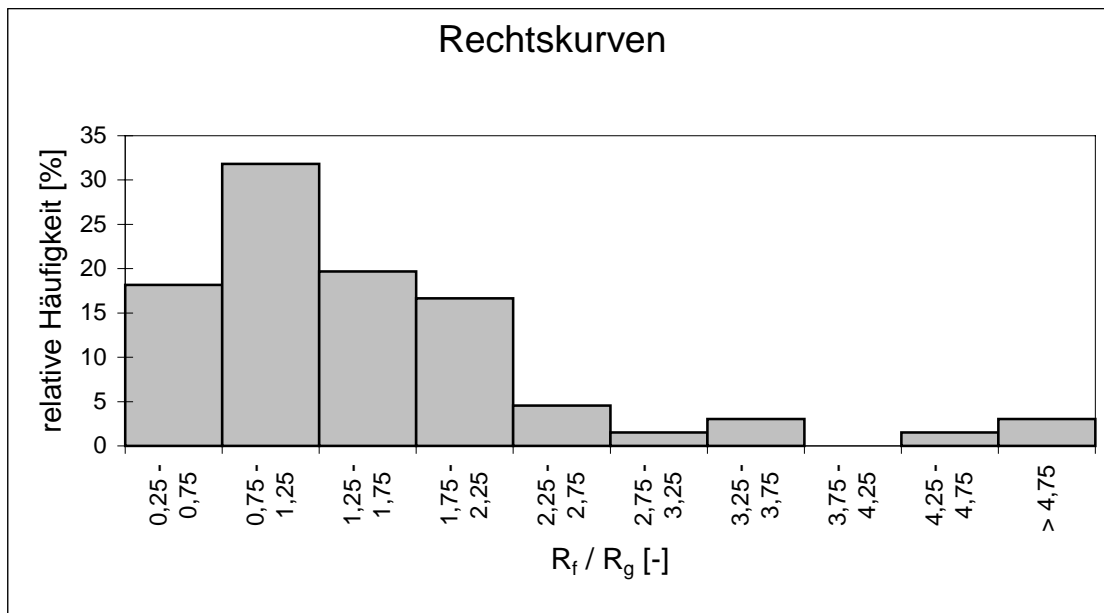
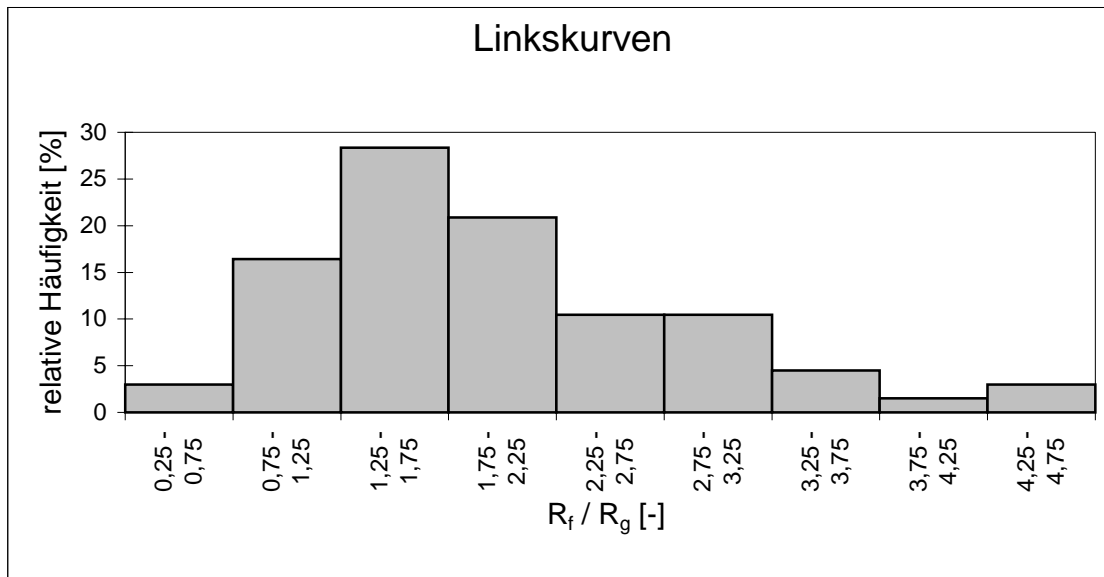
Zur Bewertung der gefahrenen Linie ist es nun erforderlich, Grenzwerte für das Verhältnis zwischen gefahrenem und gebautem Kurvenradius festzulegen. Hierbei wird wie bei der Bewertung des Beschleunigungsverhaltens (7.3.3.1) von der Häufigkeitsverteilung der hier auf der Grundlage von Meßwerten ermittelten Verhältnisse ausgegangen.

In Abb. 7.18 sind die Häufigkeitsverteilungen des Verhältnisses  $R_f/R_g$  getrennt für Links- und Rechtskurven dargestellt. Während bei Linkskurven die Werte zur Normalverteilung tendieren, zeigt sich bei Rechtskurven eine links schiefe Verteilung.

In 80% der Fälle werden bei Linkskurven größere Radien gefahren als die gebauten. Dieser Anteil beträgt bei Rechtskurven ca. 50%. Abgesehen von der Größenordnung ist diese Unterschiedlichkeit logisch, da bei Rechtskurven ein Innenbogen gefahren wird und beim spurtreuen Verhalten der gefahrene Radius zwangsläufig kleiner ist als der gebaute. Bei Linkskurven sind die Verhältnisse entsprechend umgedreht. Aus diesem Grund scheint es sinnvoll, die Festlegung von Grenzwerten getrennt für Links- und Rechtskurven vorzunehmen.

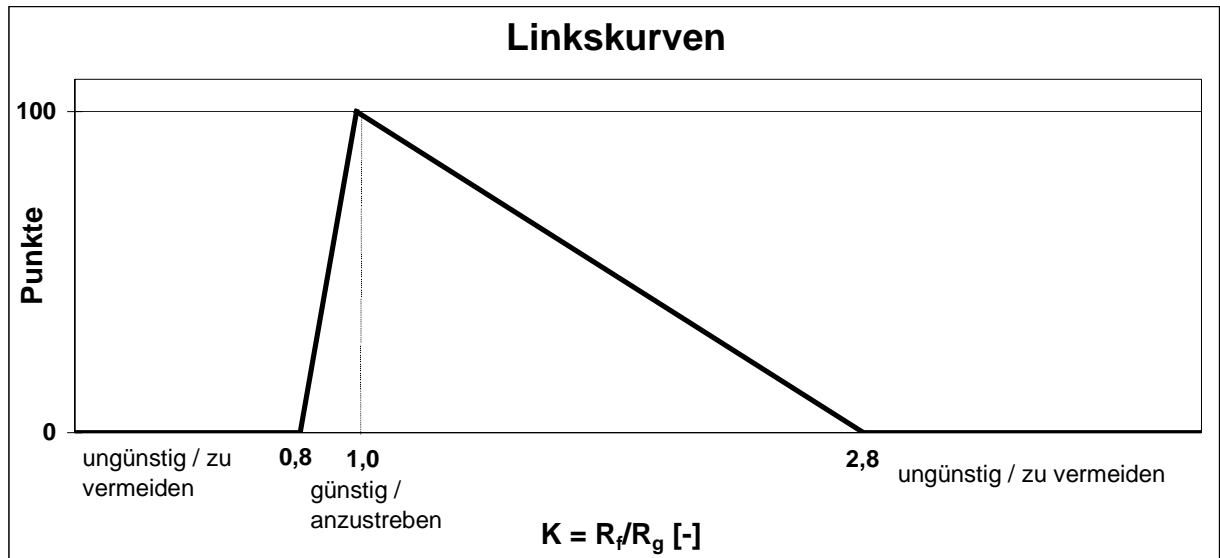
In Anlehnung an das Vorgehen bei der Betrachtung des Geschwindigkeitsverhaltens wird empfohlen, bis zum Vorliegen gesicherter Erkenntnisse von den jeweiligen 15%- und 85%-Werten auszugehen. Ereignisse im Bereich zwischen beiden Werten werden in der Regel

als normal, außerhalb hingegen als Extreme betrachtet. Mit dieser Festlegung ergeben sich auch unterschiedliche Grenzwerte für Links- und Rechtskurven (Abb. 7.18).



**Abb. 7.18:** Häufigkeitsverteilung des Verhältnisses  $R_f / R_g$

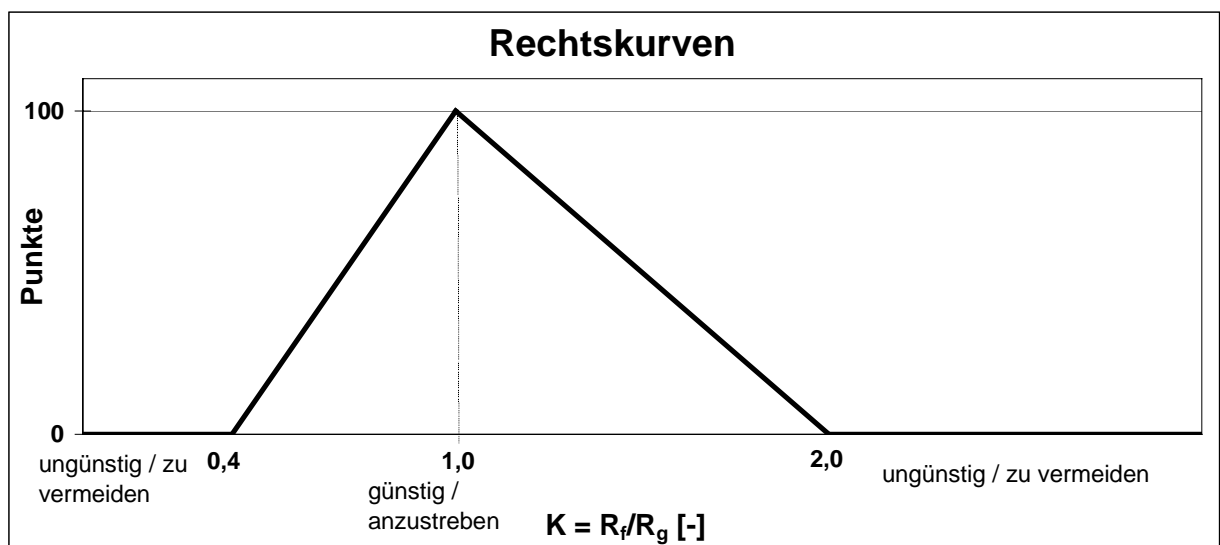
In Abb. 7.19 ist die sich daraus ergebende Skalierung für das Bewertungskriterium Fahrlinie



dargestellt. Tabelle 7.6 enthält die entsprechende Einteilung.

**Abb. 7.19:** Transformation der Indikatorwerte zur Bewertung der gefahrenen Krümmungslinie

Die Bewertung ist hier ebenfalls für jede Kurve und jede Richtung vorzunehmen. Maßgebend für die Gesamtbewertung ist die ungünstigere Richtung. Die zusammenfassende Bewertung der Gesamtstrecke ist nach Gl. 7.13 vorzunehmen.



Linkskurven		Rechtskurven		Wertung
$K = R_f / R_g [-]$	Punkte	$K = R_f / R_g [-]$	Punkte	
$\leq 0,8$	0	$\leq 0,4$	0	schlecht
$0,8 < K \leq 1$	$100 \cdot (5 \cdot K - 4)$	$0,4 < K \leq 1,0$	$\frac{100}{3} \cdot (5 \cdot K - 2)$	gut
$1 < K < 2,8$	$-\frac{100}{9} \cdot (5 \cdot K - 14)$	$1,0 < K < 2,0$	$-100 \cdot (K - 2)$	
$K \geq 2,8$	0	$K \geq 2,0$	0	schlecht

**Tab. 7.6:** Wertung der gefahrenen Krümmungslinie

$$S_K = \frac{\sum_{i=1}^n S_{k_i}}{n} \quad [-] \quad (\text{Gl. 7.13})$$

- $S_K$ : Wertung der gefahrenen Krümmungslinie für einen Streckenabschnitt
- $S_{k_i}$ : Wertung der gefahrenen Krümmungslinie für eine Einzelkurve i
- n: Anzahl der Kurven im betrachteten Streckenabschnitt

### 7.3.3.3 Zusammenfassung

In den vorstehenden Ausführungen wurde ein Weg aufgezeigt, wie Fahrverhaltenskenngrößen hinsichtlich der Fahrsicherheit bewertet werden können. Hierbei wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Insbesondere die festgelegten Schwellenwerte zur Bewertung der gefahrenen Krümmungslinie bedürfen noch einer statistischen Absicherung. Darüber hinaus reicht die Betrachtung der kleinsten gefahrenen Radien nicht aus. Ebenso von Bedeutung ist die Ermittlung der Parameter der gefahrenen Übergangsbögen (vgl. Anh. 2.1) in Abhängigkeit der gebauten Kurvenparameter. Dieser Aspekt ist besonders bei historisch gewachsenen Strecken wichtig, denn daraus können Anhaltspunkte für den Um- und Ausbau gewonnen werden. Weiterführende Arbeiten sollten sich dieses Problem annehmen. Ein weiterer, ebenso wichtiger Aspekt ist das Spurverhalten (Lage der Fahrzeuge im Straßenquerschnitt), das durch die hier behandelten Größen keineswegs beschrieben wird. Hier besteht ebenfalls Forschungsbedarf hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen objektiver Kurvengestalt und Spurhaltung.

Schließlich sollten auch die Zusammenhänge zwischen der wahrgenommenen Streckencharakteristik und der Charakteristik der gefahrenen Linie erforscht werden, damit die Kausale Kette Bestand-Wahrnehmung-Handlung geschlossen werden kann.

Für die Zusammenführung der beiden Bewertungskriterien des Fahrverhaltens bedarf es wiederum einer Gewichtung. Hierzu sind keine gesicherten Erkenntnisse bekannt, auf deren Grundlage gefährdungsentsprechende Gewichtungsfaktoren festgelegt werden können. Es kann aber davon ausgegangen werden, daß eine starke Abweichung von der trassierten Linie eine gefährdungsträchtiger Situation darstellt, als eine starke Reduzierung der Geschwindigkeit, weil dadurch die Verhältnisse im Kräftespiel zwischen Fahrzeug und Fahrbahn sich in die ungünstige Richtung verlagern können. Es erscheint daher angemessen, das Kriterium Fahrlinie stärker zu gewichten, als die Kenngrößen des Geschwindigkeitsverhaltens. Bis zum Vorliegen gesicherter Erkenntnisse wird diesbezüglich ein Verhältnis von 1:3 vorgeschlagen.

### **7.3.4 Fahrdynamik**

#### **7.3.4.1 Bewertungsrahmen**

Unter dem Begriff Fahrdynamik werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit, im Unterschied zum Gebrauch in der Kraftfahrzeugtechnik, hauptsächlich die Zustände an der Schnittstelle Fahrzeug-Fahrbahn verstanden. Diese Zustände werden im wesentlichen durch den Kraftschlußbeiwert und dessen Inanspruchnahme beschrieben. Insofern bildet die Inanspruchnahme des Kraftschlußbeiwertes den Grundstein für die fahrdynamischen Betrachtungen im Straßenwesen.

Im komplexen Regelkreis Fahrer-Fahrzeug-Fahrbahn nimmt der zur Verfügung stehende Reibbeiwert eine Schlüsselrolle ein. Der Kraftschluß zwischen Reifen und Fahrbahn hat überragende Bedeutung für die Fahrsicherheit, da alle erforderlichen Kräfte für Antrieb, Bremsen und Spurhaltung dadurch übertragen werden müssen. Fahrunfälle sind in der Regel eine Folge der Störung des Kräftegleichgewichtes an der Schnittstelle Fahrzeug-Fahrbahn.

Die Einbeziehung der Kraftschlußverhältnisse in ein Bewertungsverfahren für die Fahrsicherheit ist auch deshalb notwendig, weil der Fahrer diese Verhältnisse nicht kennt und sie bestenfalls aus den Fahrzeugreaktionen in Form der auf ihn wirkenden Beschleunigungen grob abschätzen kann.

Aus der Differenz zwischen verfügbarem und in der aktuellen Fahrsituation in Anspruch genommenem Kraftschlußbeiwert läßt sich ein Sicherheitsabstand definieren. Wird die Inanspruchnahme der Kraftschlußbeiwertes in einer Fahrsituation sehr groß, verkleinert sich der Sicherheitsabstand und das Unfallrisiko steigt. Da der Fahrer aber keine Informationen über diese Verhältnisse hat oder sie in kritischen Situationen zu spät erhält, muß für die Sicherheitsbewertung der Informationsvorsprung des Straßenplaners genutzt werden. Dem nachfolgenden Konzept werden deshalb die vorstehend erläuterten Grundlagen zugrunde gelegt.

#### 7.3.4.2 Bewertungskriterium

Bei der fahrdynamischen Bemessung von Straßenverkehrsanlagen wird grundsätzlich von der Inanspruchnahme des Kraftschlusses in radialer Richtung ausgegangen und alle weiteren Größen daraus abgeleitet. Insofern stellt der Ausnutzungsgrad des radialen Kraftschlußbeiwertes das maßgebende Kriterium für die fahrdynamische Bewertung dar. Problem ist nur die Festlegung der entsprechenden Grenz- bzw. Schwellenwerte. Die Festlegung solcher Grenzwerte wird dadurch erschwert, daß zwischen dem angesetzten maximal zulässigen Kraftschlußbeiwert, dem Gleitbeiwert ( $\mu_g$ ) und dem maximal möglichen, dem Haftbeiwert ( $\mu_h$ ) eine relativ hohe Sicherheitsreserve vorhanden ist und daß die Werte sich mit der Änderung der Randbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, Material usw.) ständig verändern. Bei fahrdynamischen Betrachtungen wird oft hinterfragt, inwieweit diese Reserve einbezogen werden kann oder darf. Aufgrund der Zunahme des Anteils an Fahrzeugen mit Antiblockiersystemen wird es notwendig werden, den fahrdynamischen Bewertungshintergrund zu überprüfen. Da bei solchen Fahrzeugen der Schlupf optimal eingeregelt wird und Bremsungen mit 100% Schlupf (blockiertes Rad) kaum noch auftreten, wird der angesetzte maximale Kraftschlußbeiwert entsprechend korrigiert werden müssen. Das muß aber auf einer wissenschaftlich fundierten Grundlage und nicht durch spekulative Hypothesen erfolgen. Bis zum Vorliegen entsprechender, statistisch abgesicherter Erkenntnisse sollte diese bewußt gehaltene Sicherheitsreserve erhalten bleiben. Für die fahrdynamische Bewertung im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird diesem Grundsatz gefolgt. Das führt in der Konsequenz dazu, daß Ausnutzungsgrade des Kraftschlußbeiwertes über 100% nach dem theoretischen Modell negativ zu bewerten sind. Aktualisierungsbedarf besteht aus den gleichen oben angeführten Gründen auch hinsichtlich der Frage, wie hoch der verfügbare Kraftschlußanteil in tangentialer Richtung mindestens sein muß, um die Beschleunigungs- und, vor allem, die Bremsfähigkeit des Fahrzeuges weitgehend zu gewährleisten. Auch hier wird bis zum Vorliegen entsprechender wissenschaftlicher Ergebnisse von den Forderungen der Richtlinien (RAS-L 95) ausgegangen. Diese setzen einen maximal zulässigen Ausnutzungsgrad von 50% in radialer Richtung aus, woraus sich ein verfügbarer Anteil von ca. 85% in tangentialer Richtung ergibt.

Damit ergeben sich die zwei Grenzwerte, zwischen denen im Sinne der vorliegenden Arbeit skaliert wird (Abb. 7.20). Die entsprechende Einteilung ist in Tab. 7.7 dargestellt.

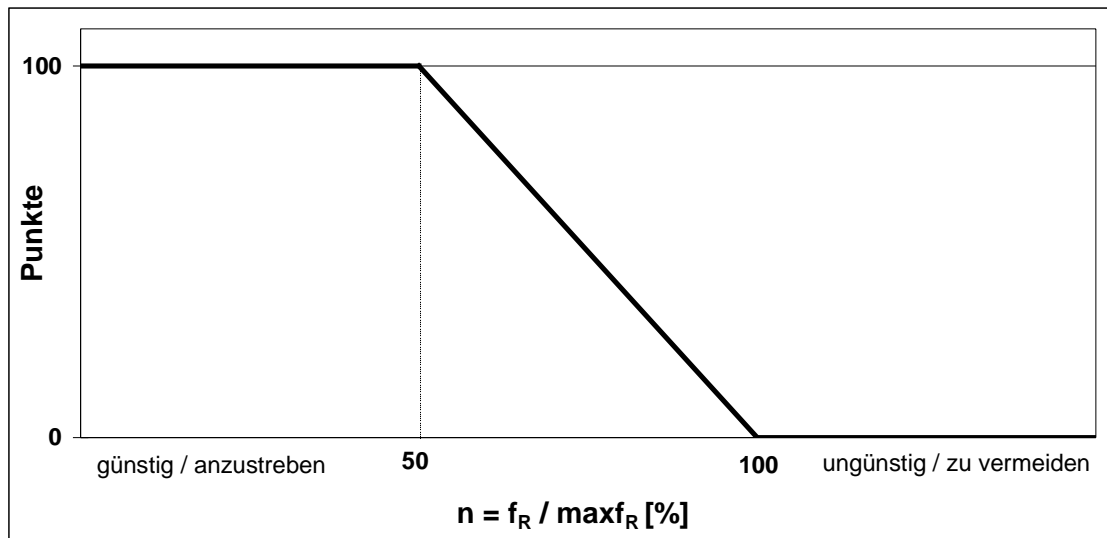


Abb. 7.20: Transformation der Indikatorwerte zur Bewertung der Kraftschlußausnutzung

$n = (f_R / \max f_R) \cdot 100 [\%]$	Punkte	Wertung
$\leq 50$	100	Gut
$50 < n < 100$	$-2 \cdot n + 200$	
$\geq 100$	0	schlecht

Tab. 7.7: Wertung der Kraftschlußausnutzung

#### 7.4 Zusammenfassung

In den vorstehenden Abschnitten wurde eine Methode aufgestellt, mit deren Hilfe die Linienführung einbahnig zweistreifiger Außerortsstraßen nach der Zielfunktion Fahrsicherheit numerisch bewertet werden kann. Die gewählten Bewertungsebenen widerspiegeln die kausale Kette < objektiv vorhandene Anlage - Wahrnehmung und Empfindung durch den Fahrer - Handlung - Wirkung >. Die Bewertung der Fahrsicherheit wird auch entsprechend für diese fünf Bereiche getrennt durchgeführt. Dazu stehen für jedes Bewertungskriterium zwei Werte zur Verfügung;

- ein unterer Grenzwert, bei dessen Unterschreitung die Sicherheit als nicht mehr gewährleistet angesehen wird (0% Zielerreichungsgrad)
- ein oberer Wert, bei dessen Überschreitung kein zusätzlicher Sicherheitsgewinn mehr zu erwarten ist (100% Zielerreichungsgrad).

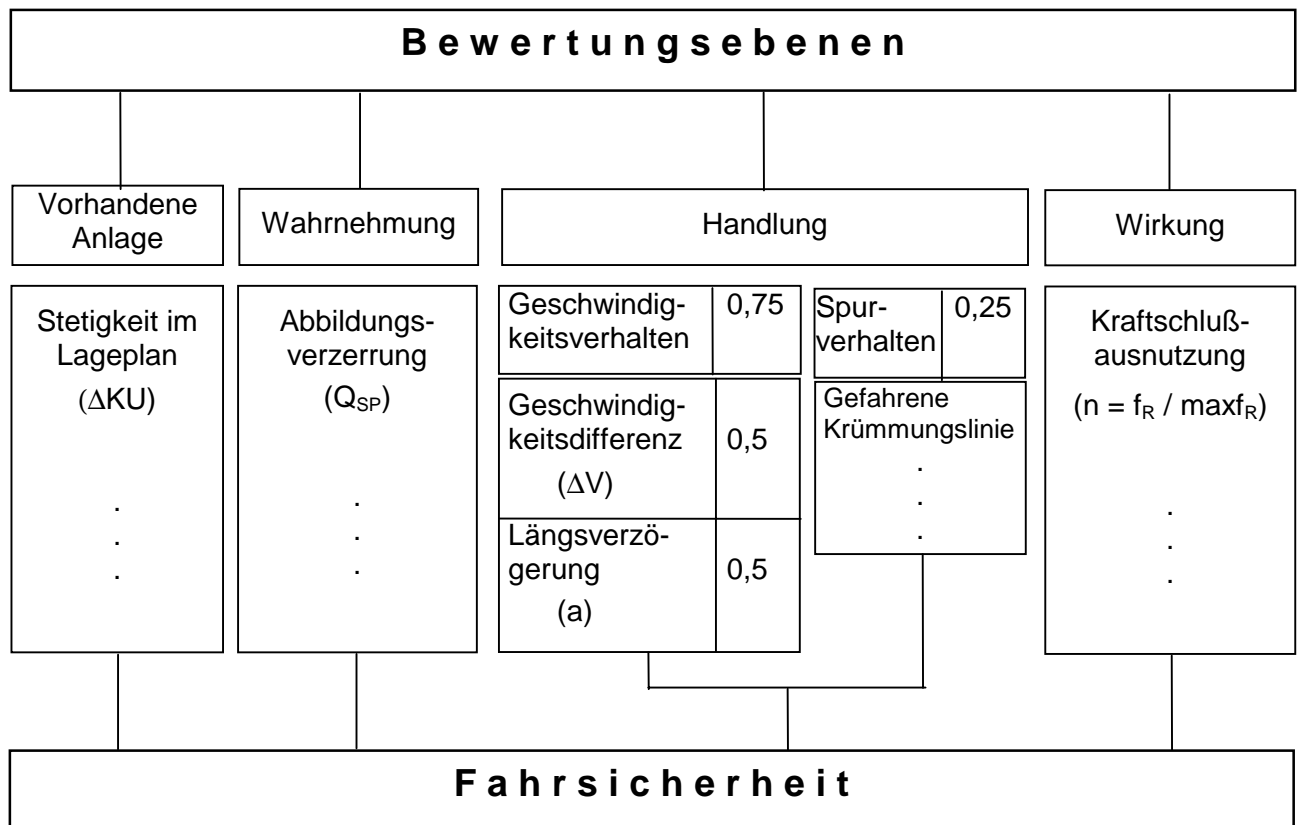
Die Bewertung selbst beinhaltet die Einordnung des jeweiligen Kriteriums in dieses Skala.

Die Zusammenführung der einzelnen Kriterienwerte zu einem Gesamtwert erfordert zusätzlich ein geeignetes Modell. Dabei ist zu bedenken, daß eine solche Zusammenführung zum Verlust spezifischer Informationen für die Ableitung geeigneter Maßnahmen (Therapie) führt.

Deshalb sollte sie behutsam vorgenommen werden und nur der Schaffung eines allgemeinen Gesamtüberblicks dienen. Für die Ableitung geeigneter Maßnahmen sind die einzelnen Kriterienwerte am bedeutendsten, denn nur diese geben Aufschluß über mögliche Sicherheitsdefizite.

In Abb. 7.21 sind die hier behandelten Bewertungskriterien zusammengefaßt dargestellt. Sie sollten im Rahmen weiterführender Arbeiten ergänzt und vervollkommen werden.

Für die Zusammenführung der einzelnen Ebenenwerte zu einem Gesamtwert konnten hier keine Angaben gemacht werden, weil die Grundlagen dazu fehlen. Auch dieser Aspekt muß weiterführenden Arbeiten vorbehalten bleiben.



**Abb. 7.21:** Zusammenfassung der behandelten Bewertungskriterien



## **8. Überprüfung der vorgeschlagenen Bewertungsgrößen anhand des Unfallgeschehens**

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Bewertungsgrößen für die in 3.2 beschriebenen Untersuchungsstrecken ermittelt und anschließend dem Unfallgeschehen gegenüber gestellt. Die Untersuchungsstrecke 1 (S 95) wird nicht in die Betrachtungen einbezogen, weil die zugehörigen Unfalldaten für den Betrachtungszeitraum nicht zur Verfügung standen. Die Untersuchungsstrecke 2 (S 174) wird ebenfalls nicht betrachtet, weil aufgrund der sehr geringen Belegung keine Verfolgungsfahrten auf dieser Strecke durchgeführt wurden. Die im Anh. 2.1 dargestellte Krümmung der gefahrenen Linie für diese Strecke wurde aus Ergebnissen von Einsatzfahrten ermittelt und sollte lediglich dazu dienen, die Übereinstimmung zwischen Klothoide und gefahrener Krümmungslinie zu veranschaulichen. Die nachfolgenden Betrachtungen zum Fahrverhalten beruhen auf Ergebnissen von Verfolgungsfahrten (vgl. 3.3.1). Sie beziehen sich auf die Kriterien, für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein eigenständiger Bewertungsansatz aufgestellt wurde. Das betrifft die Stetigkeit im Lageplan, das Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverhalten sowie die Krümmung der gefahrenen Linie. Dabei werden ausschließlich Lageplankurven betrachtet, da eine Beeinflussung der gewählten Kriterien durch andere Elemente nicht zu erwarten ist. Dies ist durch die Zielstellung der Untersuchungen, für die die hier betrachteten Strecken ausgewählt wurden (Überprüfung der Relationstrassierung) bedingt.

### **8.1 Ermittlung der Bewertungsgrößen**

#### **8.1.1 Stetigkeit im Lageplan**

Die Ermittlung der Bewertungsgröße für die Stetigkeit im Lageplan (Kurvigkeitsdifferenz) erfolgt nach dem im Abschnitt 7.3.1 erläuterten Schema für jede Kurve in jeder Richtung. In den Tabellen A1.1 bis A1.4 des Anhangs 3.1 sind die ermittelten Größen sowie die nach Abb. 7.11 bzw. Tab. 7.1 zugeordneten Wertungen eingetragen.

Darin bedeuten:

- $K_E$ : Kurvigkeit der Einzelkurve
- $K_G$ : mittlere gewichtete Kurvigkeit des Annäherungsbereiches
- $\Delta KU$ : Kurvigkeitsdifferenz ( $K_E - K_G$ )

Die angegebene Stationierungsrichtung ist identisch mit der im Anh. 3.2 dargestellten Richtung.

Die maßgebende Wertung entspricht dem kleineren Betrag der beiden richtungsbezogenen Wertungen.

Die Zuordnung der Kurven ist im Anhang 3.2 ersichtlich.

## 8.1.2 Fahrverhalten

Die nachfolgenden Betrachtungen zum Fahrverhalten beruhen auf 85%-Geschwindigkeiten aus Verfolgungsfahrten. Die entsprechenden Geschwindigkeitsprofile sind in Anh. 1.4 enthalten.

### 8.1.2.1 Geschwindigkeitsverhalten

Die Ermittlung der Bewertungsgrößen für das Geschwindigkeitsverhalten (Geschwindigkeitsänderungen und Längsverzögerungen) erfolgt nach dem im Abschnitt 7.3.3.1 erläuterten Schema für jede Kurve in jeder Richtung.

Die ermittelten Werte für die Geschwindigkeitsänderungen sind einschließlich der Wertung entsprechend Abb. 7.13 bzw. Tab. 7.3 in den Tabellen A2.1 bis A2.4 des Anh. 3.1 angegeben. Darin bedeuten:

$V_A$ : höchste gemessene Geschwindigkeit ( $V_{85}$ ) im Annäherungsbereich der Kurve

$V_K$ : kleinste gemessene Geschwindigkeit ( $V_{85}$ ) in der Kurve

Für die Längsverzögerungen sind die entsprechend Abb. 7.16 bzw. Tab. 7.4 ermittelten Werte in den Tabellen A2.5 bis A2.8 des Anhangs 3.1 angegeben. Dabei wurden die maximalen gemessenen 85% Längsverzögerungen im Annäherungsbereich der jeweiligen Kurven (in den oben genannten Tabellen als minimale Längsbeschleunigung  $a_{\min}$  angegeben) angesetzt.

Die Zusammenfassende Wertung des Geschwindigkeitsverhaltens entsprechend Abb. 7.17 bzw. Gl. 7.8 ist in den Tabellen A 2.9 bis A2.12 des Anhangs 3.1 angegeben und in Anhang 3.3 dargestellt.

Die maßgebende Wertung entspricht dem kleineren Betrag der beiden richtungsbezogenen Wertungen.

### 8.1.2.2 Gefahrene Krümmungslinie

Die gefahrenen Krümmungslinien sind für die einzelnen Untersuchungsstrecken im Anh. 2.1 dargestellt.

Die Ermittlung der Bewertungsgröße für die gefahrene Krümmungslinie (Verhältnis Krümmung der gefahrenen Linie : vorhandene Krümmung) erfolgt nach dem im Abschnitt 7.3.3.2 dargestellten Verfahren. Kurven mit Übergangsbögen werden entsprechend der Ausführungen in 7.3.3.2 weitgehend aus den Betrachtungen ausgeschlossen. Für Korbbögen wird ein längengewichteter Ersatzradius entsprechend Gl. 8.1 als vorhandenen Radius angesetzt.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot R_i}{L} \quad (\text{Gl. 8.1})$$

$\bar{R}$ [m]:	Ersatzradius
$R_i$ [m]:	Radius des Kreisbogens $i$
$L_i$ [m]:	Länge des Kreisbogens $i$
$L$ [m]:	Länge des Korbbogens

In den Tabellen A3.1 bis A3.4 des Anhangs 3.1 sind die ermittelten Größen sowie die nach Abb. 7.19 bzw. Tab. 7.6 zugeordneten Wertungen eingetragen.

Darin bedeuten:

- $R_g$ : vorhandener Kurvenradius (bei Korbbogen Ersatzradius)
- $\alpha_g$ : vorhandener Öffnungswinkel der Kurve
- $R_f$ : kleinster Radius der gefahrenen Linie

Kurven, für die ein Ersatzradius ermittelt und angesetzt wurde, sind in *kursiver Schrift* aufgeführt

Hinsichtlich der Richtungszuordnung und der Wertung gelten die Ausführungen in 8.1.1.

Die Zuordnung der Kurven ist im Anhang 3.4 ersichtlich.

## 8.2 Das Unfallgeschehen auf den Untersuchungsstrecken

Für die ausgewählten Untersuchungsstrecken wurden bei den zuständigen Polizeibehörden Unfalldaten eingeholt. Sie umfassen den Zeitraum von November 1991 bis Dezember 1995. Für die Auswertung wurden nur die Streckenunfälle (Fahrurfälle – Typ 1 – und Unfälle im Längsverkehr – Typ 6) ausgewählt, da ein Zusammenhang mit der Streckencharakteristik nur bei diesen Unfalltypen anzunehmen ist.

Unfälle, bei denen der Verursacher unter Alkoholeinfluß stand, wurden aus der Betrachtung ausgeschlossen, ebenso wie Unfälle bei schneebedeckter oder eisglatter Fahrbahn. Bei widersprüchlichen oder ungenauen Angaben in den Unfallanzeigen wurden die entsprechenden Unfälle ebenfalls aus der Betrachtung ausgenommen.

In einem weiteren Schritt erfolgte die Zuordnung der Unfälle zur Stationierung und zu einer Richtung. Maßgebend in letzterer Hinsicht ist die Fahrtrichtung des Unfallverursachers.

Auf dieser Weise konnten 88 Unfälle ausgewählt werden, davon 68 Fahrurfälle (Typ 1) und 20 Unfälle im Längsverkehr (Typ 6).

In Tab. 8 ist die allgemeine Unfallcharakteristik der betrachteten Untersuchungsstrecken zusammengefaßt. Die Verteilung der Unfälle über die jeweiligen Strecken ist in den Anhängen 3.2 bis 3.4 ersichtlich.

	<b>Streckennummer</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
	<b>Bezeichnung</b>	<b>S 178</b>	<b>S 190</b>	<b>S 194</b>	<b>S 194</b>
	Länge [km]	3,2	2,7	2,7	4,5
	DTV [Kfz/24h]	3170	2660	5370	1270
<b>Unfalltyp 1</b>	Anzahl [-]	33	2	17	16
	UR [Unf/(10 <sup>6</sup> *Kfz*km)]	2,14	0,18	0,77	1,84
	UD [Unf./(a*km)]	2,47	0,18	1,51	0,85
<b>Unfalltyp 6</b>	Anzahl [-]	7	4	6	3
	UR [Unf/(10 <sup>6</sup> *Kfz*km)]	0,45	0,37	0,27	0,35
	UD [Unf./(a*km)]	0,52	0,36	0,53	0,16
<b>Zusammen</b>	Anzahl [-]	40	6	23	19
	UR [Unf/(10 <sup>6</sup> *Kfz*km)]	2,59	0,55	1,04	2,19
	UD [Unf./(a*km)]	3,00	0,53	2,04	1,01

**Tab. 8:** Allgemeine Unfallcharakteristik der Untersuchungsstrecken

### 8.3 Gegenüberstellung der Bewertungsergebnisse mit dem Unfallgeschehen

Die Gegenüberstellung der Bewertungsergebnisse mit dem Unfallgeschehen wird im folgenden in zwei Vorgängen vorgenommen. Zunächst wird in einer streckenbezogenen Betrachtung die streckenbezogenen Bewertungsergebnisse mit den Unfallkenngrößen Unfallrate und Unfalldichte gegenübergestellt. Anschließend werden ausgewählte Einzelkurven betrachtet.

#### 8.3.1 Streckenbezogene Betrachtung

Die streckenbezogene Betrachtung dient dem Ziel, die streckenbezogene Bewertung anhand des Unfallgeschehens zu überprüfen. Hierzu wird zunächst für die einzelnen, hier betrachteten Untersuchungsstrecken die richtungsbezogenen Bewertungsergebnisse den in Abb. 7.7 definierten Bereichen zugeordnet. Diese Bereiche werden dann den ebenfalls richtungsbezogenen Unfallkenngrößen (Unfallrate und Unfalldichte) gegenübergestellt. Das Ergebnis ist in den folgenden Abbildungen 8.1 bis 8.5. dargestellt.

Die Betrachtung des Geschwindigkeitsverhaltens in Abb. 8.4 stellt die zusammenfassende Bewertung der Geschwindigkeitsänderung (Abb. 8.2) und der Längsverzögerung (Abb. 8.3) entsprechend dem im Abschnitt 7.3.3.1 angegebenen Schema dar.

Obwohl bei den meisten Kriterien mindestens ein Bereich nicht vertreten ist, zeigt sich generell ein Zusammenhang zwischen den Bewertungsergebnissen und den betrachteten Unfallkenngrößen. Bei fast allen Kriterien weisen der gute Bereich die niedrigsten, der zu

vermeidende Bereich die höchsten Unfallkennzahlen auf. Einzige Ausnahme bildet hier die Betrachtung der Längsverzögerung, wo die niedrigste Unfallrate in den brauchbaren Bereich fällt.

Dieser angedeutete Zusammenhang zwischen Bewertungsergebnis und Unfallgeschehen ist vor allem bei den Fahrurfällen (Unfalltyp 1) ausgeprägt. Lediglich bei der Längsverzögerung weisen die Kenngrößen der Unfälle im Längsverkehr deutliche Änderungen, vor allem zwischen dem guten und dem brauchbaren Bereich auf.

Aufgrund der geringen Anzahl der hier betrachteten Strecken (4) und des sehr kleinen Unfallkollektivs (88 Unfälle) können die nachfolgend dargestellten Ergebnisse nicht als Validierung für das vorgeschlagene Bewertungsverfahren angesehen werden. Sie zeigen aber zumindest keine widersprüchlichen Tendenzen, so daß eine spätere Validierung anhand größerer Strecken- und Unfallkollektive erwogen werden kann.

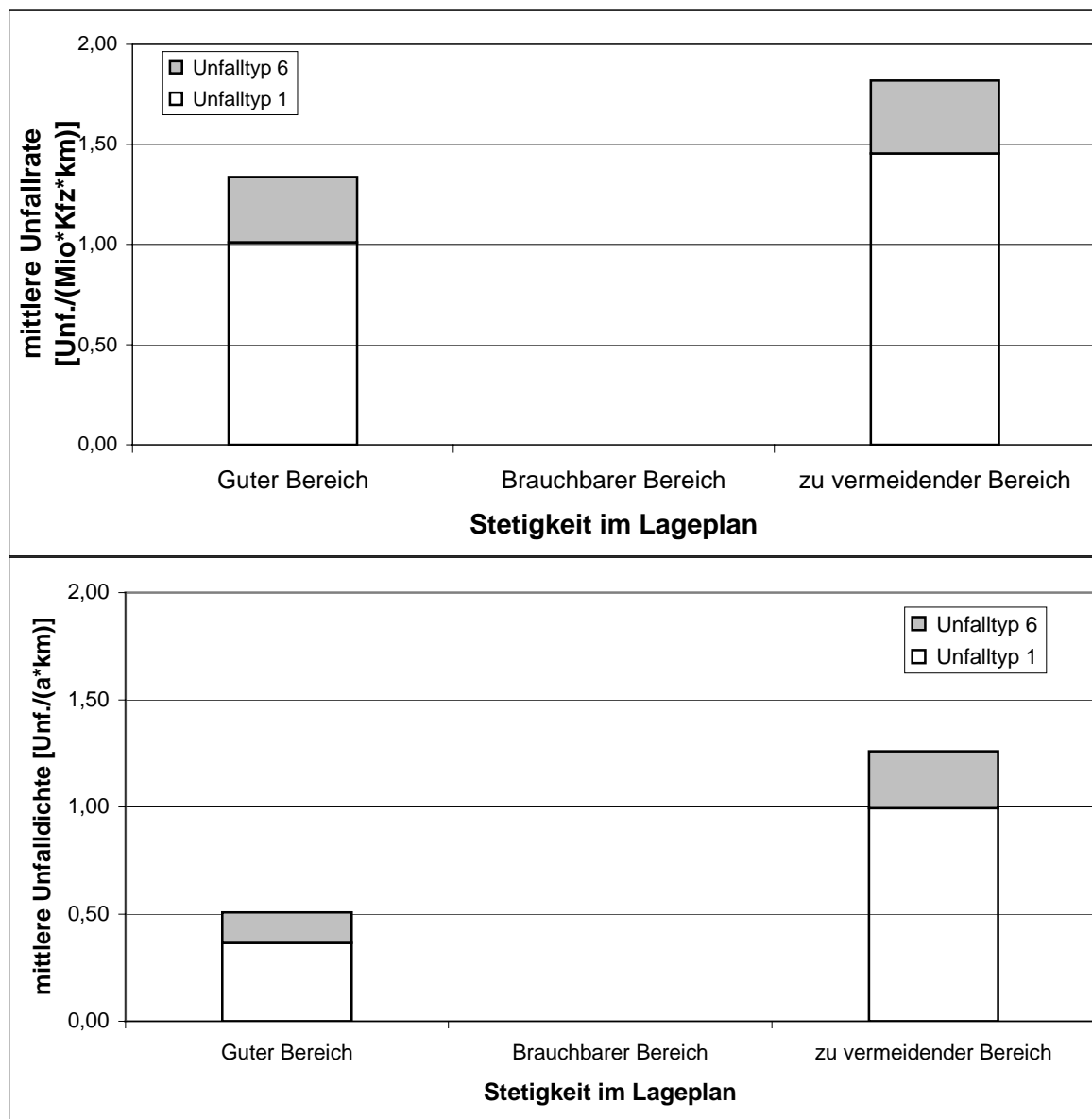


Abb. 8.1: Stetigkeit im Lageplan und Unfallgeschehen (streckenbezogene Betrachtung)

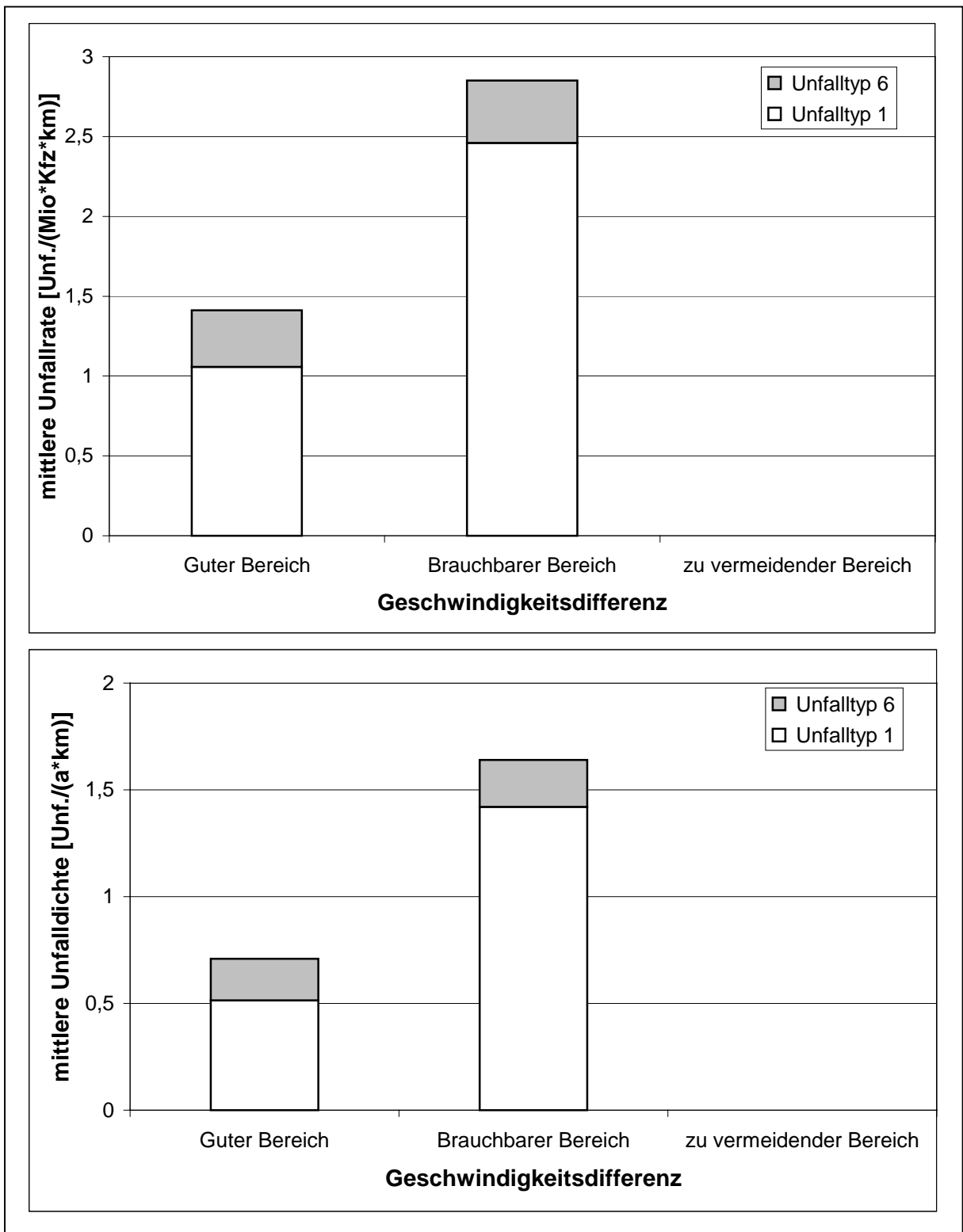


Abb. 8.2: Geschwindigkeitsdifferenz und Unfallgeschehen (streckenbezogene Betrachtung)

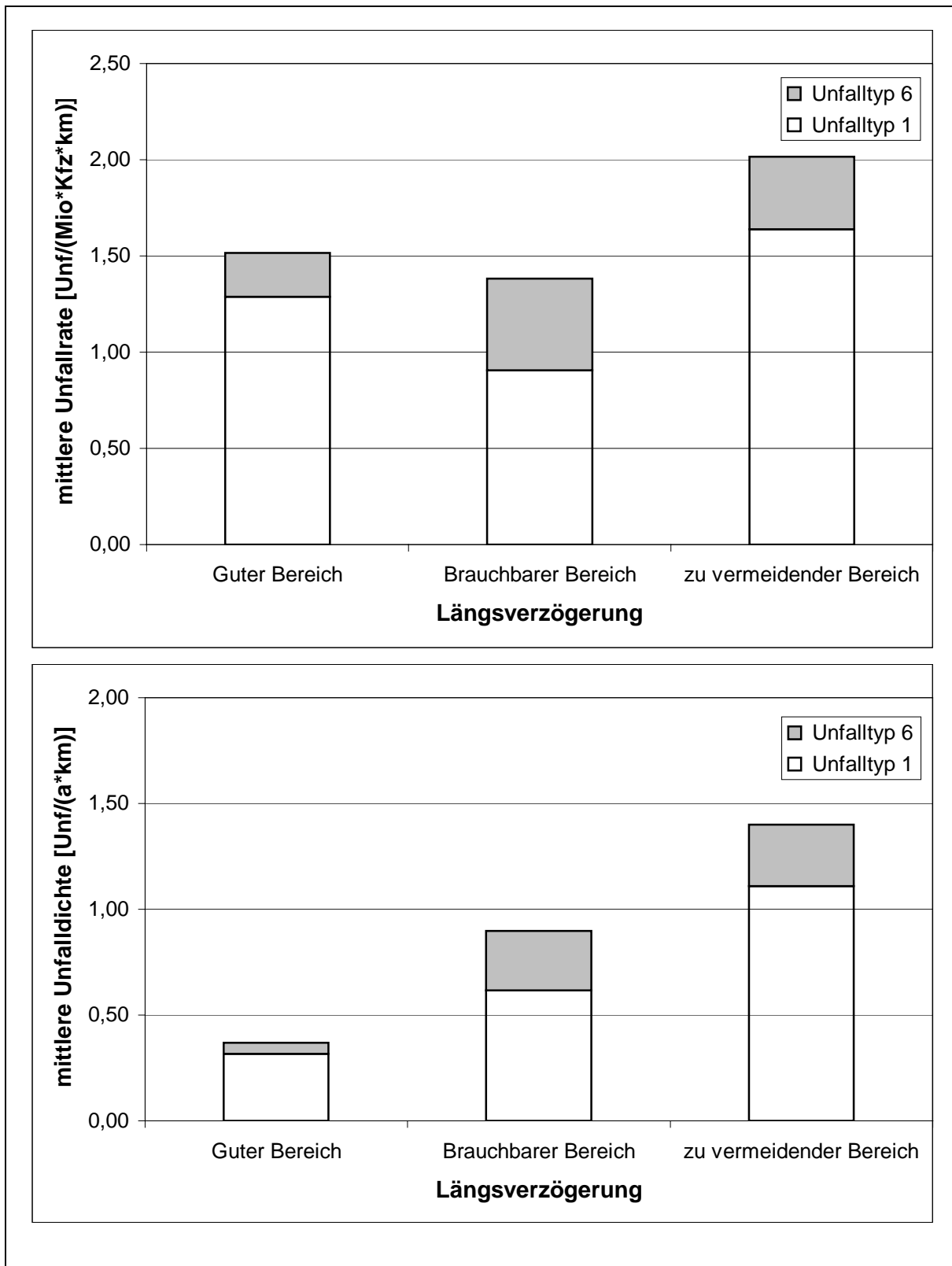
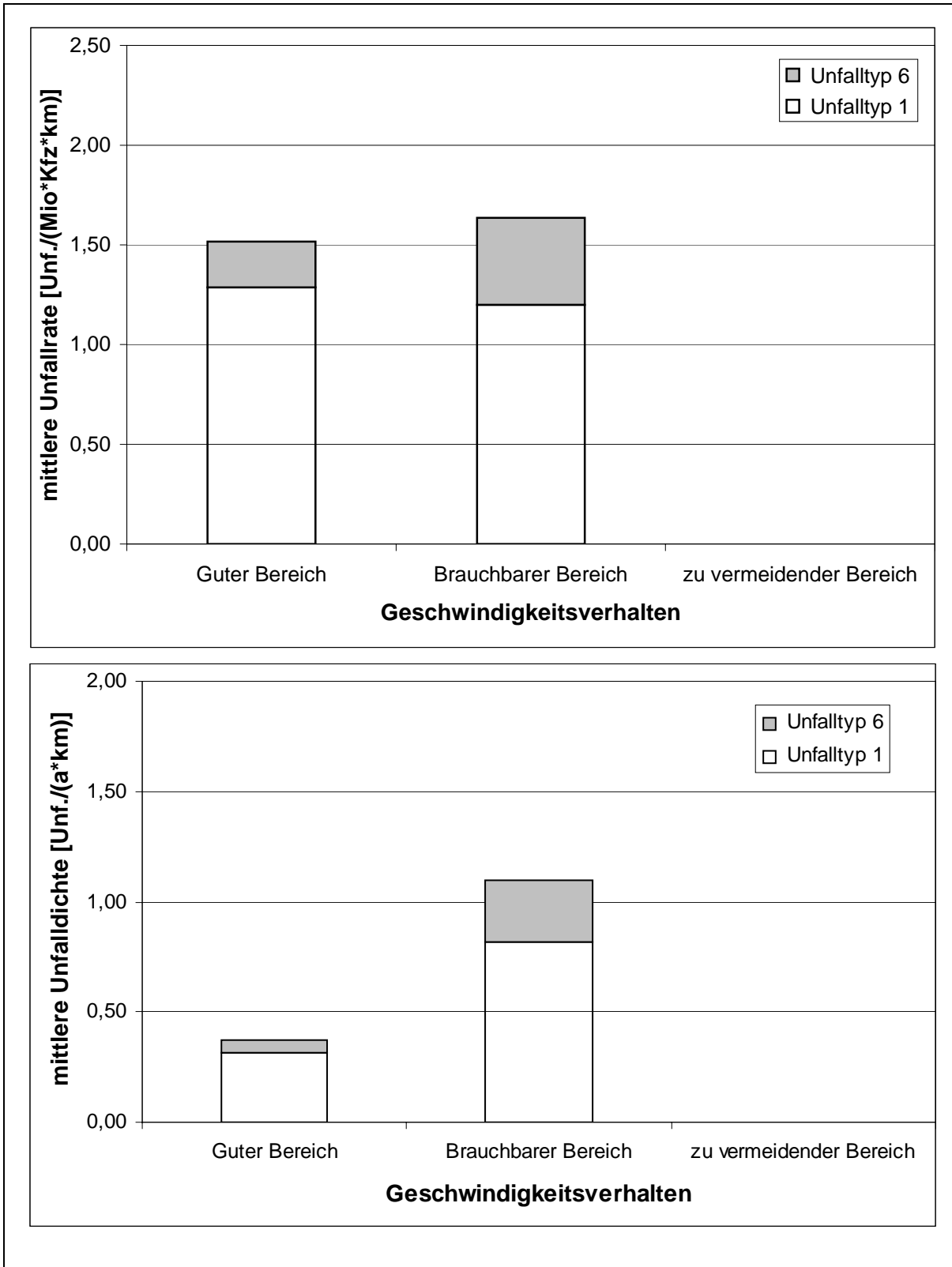
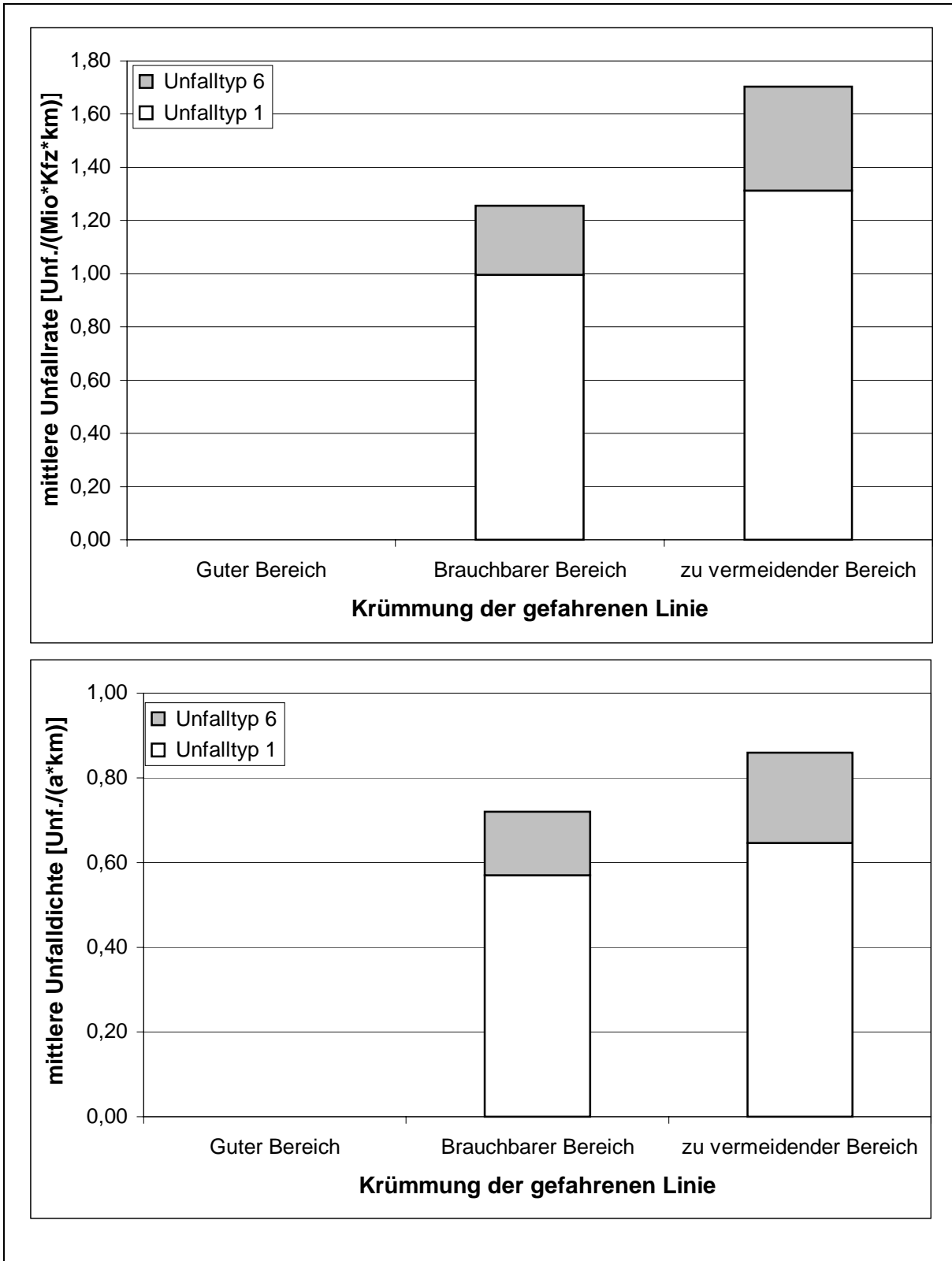


Abb. 8.3: Längsverzögerung und Unfallgeschehen (streckenbezogene Betrachtung)



**Abb. 8.4:** Geschwindigkeitsverhalten und Unfallgeschehen (streckenbezogene Betrachtung)





**Abb. 8.5:** Gefahrene Krümmungslinie und Unfallgeschehen (streckenbezogene Betrachtung)

### **8.3.2 Betrachtung einzelner Kurven**

Aufgrund der Feststellung im vorstehenden Abschnitt, daß die Unfälle im Längsverkehr offensichtlich keine Zusammenhänge mit den hier betrachteten Bewertungsgrößen aufweisen, wird die Einzelfallbetrachtung auf die Fahrunfälle beschränkt.

Für die Einzelfallbetrachtung werden zunächst die Unfälle einzelnen Kurven zugeordnet. Bei dichten Kurvenfolgen, bei denen eine eindeutige Zuordnung der Unfälle zu einer Kurve nicht möglich ist, erfolgt die Zuordnung zur entsprechenden Kurvenfolge. Die einzelnen Bewertungsgrößen werden in diesem Fall über die Kurvenfolge gemittelt.

In einem zweiten Schritt wird der Anteil der einzelnen Kurven bzw. Kurvenfolgen am Gesamtunfallgeschehen ermittelt. Diese Ermittlung erfolgt für jede Strecke richtungsgetrennt.

Schließlich werden die Werte für alle Strecken zusammengefaßt und gegenüber einander gestellt.

Abb. 8.6 zeigt den Unfallanteil der einzelnen Bewertungsgrößen. Am deutlichsten zeigt sich dieser Zusammenhang bei der Bewertungsgröße Stetigkeit im Lageplan. Bei der Bewertungsgröße Geschwindigkeitsverhalten, die Geschwindigkeitsdifferenz und Längsverzögerung zusammenfaßt, ist ein Zusammenhang tendenziell erkennbar, jedoch nicht so ausgeprägt wie bei der Stetigkeit im Lageplan. Bei der Krümmung der gefahrenen Linie ist kein Zusammenhang erkennbar.

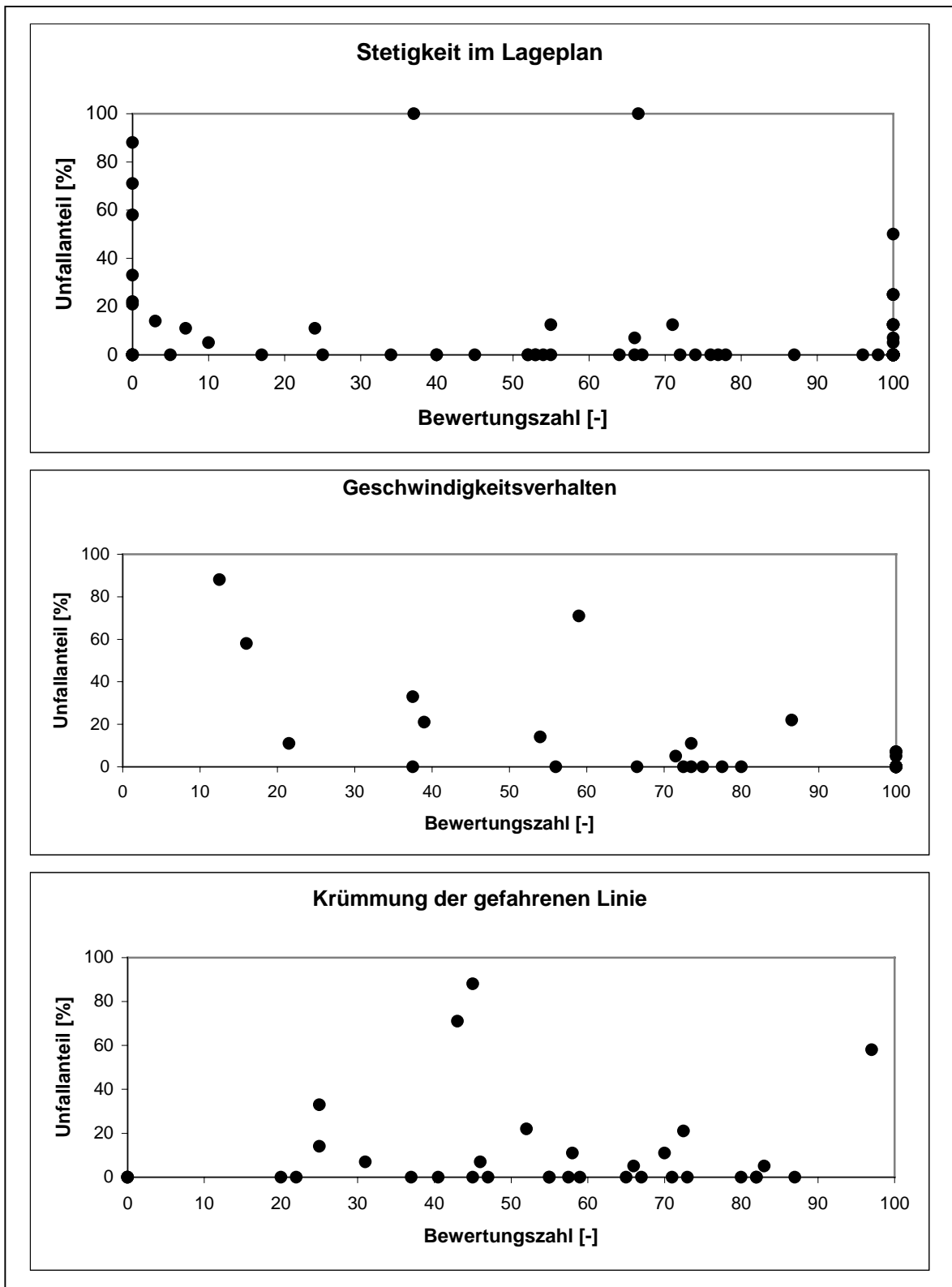


Abb. 8.6: Bewertungsgrößen und Unfallgeschehen (Einzelkurven)

Die Zuordnung der Bewertungsergebnisse zu den in 7.2 (Abb. 7.7) definierten Bereichen bestätigt zunächst die obigen Aussagen (Abb. 8.7). Allerdings zeigt sich bei der Stetigkeit im Lageplan kein wesentlicher Unterschied im Unfallgeschehen zwischen dem guten und dem brauchbaren Bereich.

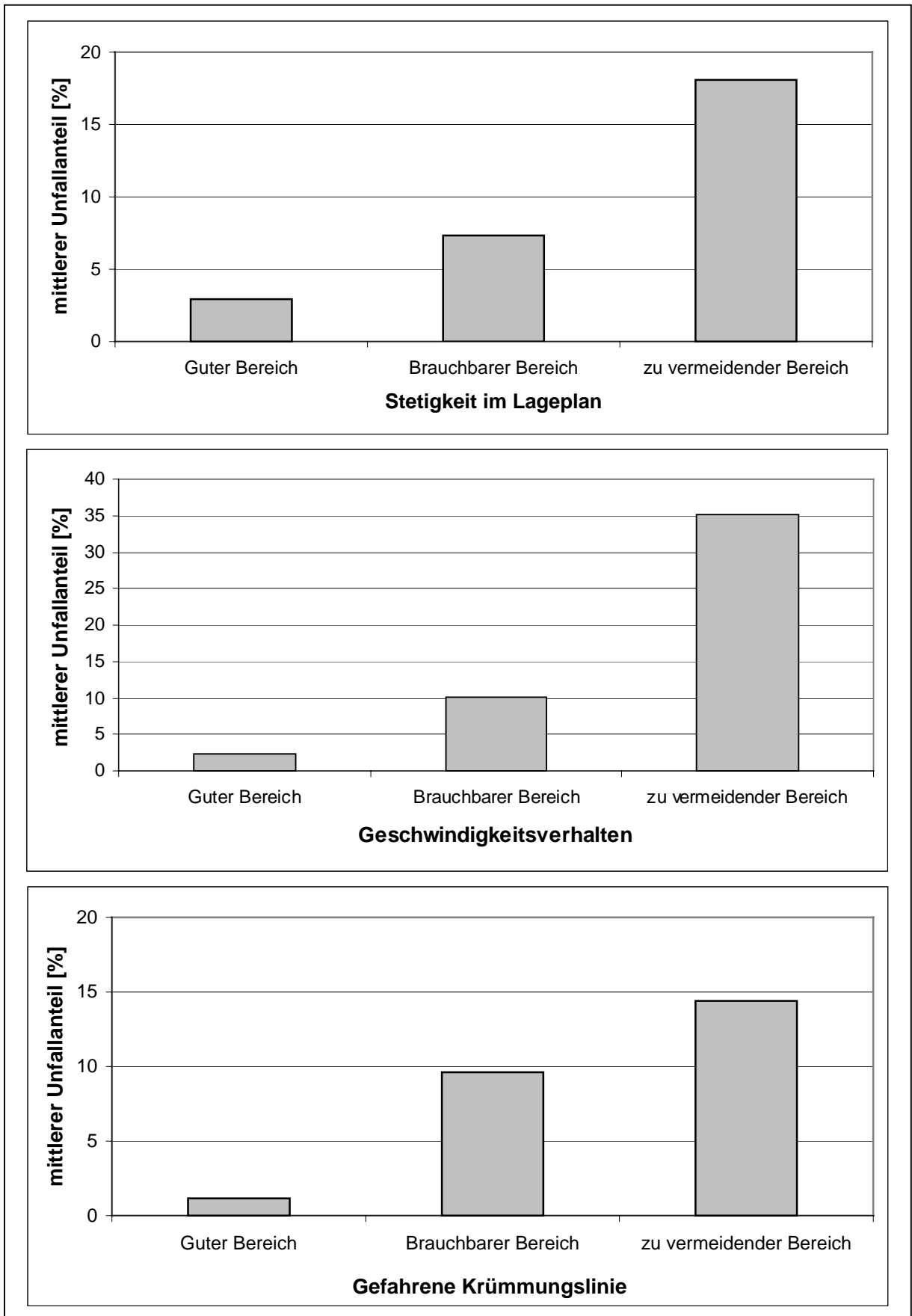


Abb. 8.7: Gütebereiche und Unfallgeschehen (Einzelkurven)

## 9. Schlußfolgerungen und Ausblick

Ausgehend vom kybernetischen System Fahrer-Fahrzeug-Straße wurde ein Rahmenkonzept für die Bewertung der Linienführung einbahnig zweistreifiger Außerortsstraßen nach der Zielfunktion Fahrsicherheit aufgestellt. Als fahrsicher wurde der Zustand definiert, bei dem angenommen werden kann, daß ein unbehindert fahrender Pkw keinen durch die Gestalt der Straßenverkehrsanlage und ihre Wahrnehmung induzierten Risiken ausgesetzt ist.

Entsprechend den Ursache-Wirkung-Mechanismen im Fahrprozeß wurde eine Gliederung in folgende Ebenen vorgeschlagen:

- objektiv vorhandene Streckencharakteristik
- Wahrnehmung der Streckencharakteristik
- Handlung
- Wirkung

Für die einzelnen Bewertungsebenen wurden mögliche Kriterien angegeben. Ausnahme bildet hier die Ebene der Aktivierung / Beanspruchung, bei der die Definition geeigneter Parameter noch Grundlagenforschung erfordert.

Die Bewertung selbst erfolgt in Form eines Zielerreichungsgrades, d. h. als dimensionslose Angabe der Ausprägung des jeweiligen Bewertungskriteriums. Dazu werden für jedes Kriterium ein unterer Grenzwert (Grenze der Zumutbarkeit) und ein oberer Grenzwert (Grenze der Hinnehmbarkeit) definiert. Der vorhandene Zustand wird dann in diesen Rahmen eingeordnet.


Zum Nachweis der praktischen Umsetzbarkeit der vorgeschlagenen Methode wurde für folgende Kriterien der vollständige Bewertungsansatz aufgestellt:

- Stetigkeit im Lageplan (Ebene der objektiv vorhandenen Streckencharakteristik)
- Geschwindigkeitsverhalten (Handlungsebene)
- Krümmung der gefahrenen Linie (Handlungsebene)

Dabei wurde auf Daten zurückgegriffen, die im Rahmen des Forschungsprojektes „Überprüfung der Relationstrassierung von Straßen der Kategoriengruppe A“ sowie weiterer Forschungsarbeiten am Lehrstuhl Planung und Entwurf von Straßenverkehrsanlagen und Anlagen des Luftverkehrs an der Technischen Universität Dresden gewonnen wurden.

In Abb. 9 ist der gesamte Bewertungsrahmen mit Kennzeichnung der hier behandelten Bewertungskriterien dargestellt.

Bewertungsebenen		Bewertungskriterien				
Objektiv vorhandene Streckencharakteristik	Lageplan	Kurvenkonstruktion	Kurvenradius	Richtungsänderung	Kurvigkeit	<b>Stetigkeit</b>
	Höhenplan	Größe und Länge der Neigungsstrecke	Größe der Neigungsänderung	Ausrundungshalbmesser	Welligkeit	Stetigkeit
	Querschnitt	Fahrstreifenbreite	Fahrbahnbreite		Seitenraum	
Wahrnehmung der Streckencharakteristik		Erkennbarkeit von Kurven	<b>Abbildungsverzerrung</b>		Perspektivbild und -änderungen	
Handlung	<b>Geschwindigkeit</b>	<b>Größe von Geschwindigkeitsänderungen</b>	<b>Stärke von Geschwindigkeitsänderungen (Längsbeschleunigung)</b>			
	Fahrlinie	<b>gefährte Krümmungslinie</b>	gefährte Spurlinie			
Wirkung	Aktivierung / Beanspruchung	Grundlagenforschung zur Definition geeigneter Kriterien noch erforderlich				
	<b>Fahrdynamik</b>	<b>Ausnutzung des radialen Kraftschlußbeiwertes</b>				
	Sichtnachweis	Nachweis der Haltesichtweite anhand von Geschwindigkeit und verbleibendem tangentialen Kraftschlußbeiwert				

 Im Rahmen der vorliegenden Arbeit behandelten Bewertungskriterien

**Abb. 9:** Gesamtrahmen für die Bewertung der Linienführung von Außerortsstraßen nach der Zielfunktion Fahrsicherheit

Schließlich wurden die vorgeschlagenen Ansätze anhand des Unfallgeschehens an Beispieldrecken überprüft. Obwohl das hier betrachtete Strecken- und Unfallkollektiv sehr klein war, zeichnete sich die Tendenz von Zusammenhängen zwischen den vorgeschlagenen Bewertungsgrößen und dem Unfallgeschehen ab. Diese Zusammenhänge scheinen vor allem bei den Kriterien Stetigkeit im Lageplan und Geschwindigkeitsverhalten deutlich zu sein. Der definierte gute Bereich weist deutlich niedrigere Unfallkenngrößen auf als der zu vermeidende Bereich. Diese Feststellung gilt allgemein für die Fahrurfälle (Typ 1). Bei den Unfällen im Längsverkehr scheint eine Beeinflussung nur durch die Kriterien Längsverzögerung und Krümmung der gefahrenen Linie zu bestehen.

Diese Ergebnisse können aber erst nach einer Überprüfung an einem größeren Streckenkollektiv verallgemeinert werden.

Die hier vorgeschlagene Methode stellt einen gangbaren Weg zur Bewertung der Fahrsicherheit einbahnig zweistreifiger Außerortsstraßen dar. Weitere Forschungsarbeiten sollen auf die Aufstellung von Bewertungsansätzen für die übrigen Kriterien ausgerichtet werden. Für die Ebene der objektiv vorhandenen Anlage sind hierzu in der Literatur ausreichende Ansatzpunkte zu finden. Für die übrigen Ebenen besteht noch im unterschiedlichen Maße Forschungsbedarf.

Auf der Ebene der Wahrnehmung sind noch Forschungsarbeiten zur Quantifizierung der räumlichen Linienführung nötig. Ebenso soll die Perspektivbildfolge als Kenngröße der Informationsdynamik untersucht und in das Bewertungssystem integriert werden. Die neuerdings gegebene Möglichkeit der Visualisierung kann dazu einen großen Beitrag leisten.

Hinsichtlich der Beanspruchung / Aktivierung sind, wie bereits erwähnt, noch Grundlagenforschungen zur Definition geeigneter Kriterien notwendig. Hierbei sind die Entwicklungen in der Automobilindustrie, vor allem die zunehmende Einführung von Fahrerassistenzsystemen zu berücksichtigen.

Voraussetzung für die Bewertungen bezüglich des Fahrverhaltens ist die Verfügbarkeit von Geschwindigkeitsprofilen. Da eine meßtechnische Erfassung aus Kostengründen Einzelfällen vorbehalten bleiben muß, sind geeignete Algorithmen für eine analytische Ermittlung nötig. Ebenso sind Algorithmen zu finden, mit denen das Spurverhalten beschrieben werden kann.

Bei der Fahrdynamik sind die neueren Erkenntnisse hinsichtlich der Bewertung der Straßengriffigkeit sowie die Entwicklung in der Automobilindustrie (ABS, ESP usw.) zu berücksichtigen.

Schließlich sollen zusammenfassend die Verknüpfungen zwischen den einzelnen Bewertungskriterien bzw. –ebenen betrachtet werden, damit die vorgeschlagene Bewertungsmethode zu einem geschlossenen System wird.

## Literaturverzeichnis

AL-KASSAR, B.; HOFFMANN, G.; ZMECK, D.:

Der Einfluß der Streckenmerkmale auf die Momentangeschwindigkeit freifahrender Pkw  
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 323,  
Bonn-Bad Godesberg, 1981

ANDJUS, V.:

Anpassungs- und Homogenitätsparameter der Straßenlinienführung  
Straßen- und Tiefbau (38), Heft 12  
Bonn - Bad Godesberg, 1984

ANGENENDT, W.; ERKE, H.; HOFFMANN, G.; MARBURGER, E. A.; MOLT, W.;  
ZIMMERMANN, G.:

Situationsbezogene Sicherheitskriterien im Straßenverkehr  
Bericht der Projektgruppe "Situationsbezogene Sicherheitskriterien im Straßenverkehr"  
der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung  
Bergisch Gladbach, 1987

APPELT, V.:

Sichtbare Radien als ein Kriterium zur Beurteilung der räumlichen Linienführung von  
einbahnigen Außerortsstraßen  
Dissertation, Technische Universität Dresden  
Dresden, 1998

BABKOV, V. F.:

Straßenbedingungen und Verkehrssicherheit  
Moskva: Transport  
1982

BALD, J. ST.:

Grundlagen für die Anwendung von Risikoanalysen im Straßenwesen  
Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt  
Darmstadt, 1991

BARTELT; B.; REGNIET, G.; SCHMIDT, G.:

Geschwindigkeit und Unfallgeschehen auf Landstraßen  
Bundesanstalt für Straßenwesen  
Bergisch Gladbach, 1992



BAUMANN, N; LEUTZBACH, W.:

Der Einfluß der Breite von zweistreifigen Landstraßen auf die Verkehrssicherheit  
in: Straße und Autobahn (36) Heft 10  
Bonn - Bad Godesberg, 1985

BIEDERMANN, B.:

Straßenrassierung auf der Grundlage von Geschwindigkeiten aus Sehfeld-  
untersuchungen  
Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt  
Darmstadt, 1984

BITZL, F.:

Der Sicherheitsgrad von Straßen  
Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, H. 28  
Bonn - Bad Godesberg, 1964

BRANNOLTE, U; DILLING, J.; DURTH, W.; HARTKOPF, ; MEEWES, V.; ROHLOFF, ;  
SCHLIESING, ; STIEVERMANN, :

Einsatz von Zwischenquerschnitten  
Bericht der Projektgruppe „Zwischenquerschnitte“ der Bundesanstalt für Straßenwesen  
Bergisch Gladbach, 1992

BRINGIOTTI, U.:

La strada come sorgente di informazione  
Le Strada, 1967, H.7  
(aus DURTH, 1972)

DAMIANOFF, N.:

Beeinflussung und Schätzung von Fahrgeschwindigkeiten in Kurven  
Dissertation an der Universität Karlsruhe  
Karlsruhe, 1981

DILLING, J.:

Fahrverhalten von Kraftfahrzeugen auf kurvigen Strecken  
Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 151  
Bonn - Bad Godesberg, 1973

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG

DIN 31004  
Begriffe der Sicherheitstechnik - Grundbegriffe - Vornorm  
Berlin, 1984

DURTH, W.

Ein Beitrag zur Erweiterung des Modells für Fahrer, Fahrzeug und Straße in der Straßenplanung

Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt

Darmstadt, 1972

DURTH, W.; BALD, J. St.:

Auswertung von Geschwindigkeitsprofilen auf Außerortsstraßen

Bericht zum Forschungsprojekt 8225/3 der Bundesanstalt für Straßenwesen

Darmstadt, 1986

DURTH, W.; BALD, J. St.; WOLFF, N.:

Wirksamkeit von trassierungstechnischen Ausgleichsmaßnahmen bei Unter- bzw. Überschreitung von Trassierungselementen

Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 520

Bonn - Bad Godesberg, 1988

DURTH, W.; BIEDERMANN, B.; VIETH, B.:

Einflüsse der Erhöhung der Geschwindigkeiten und Beschleunigungen von Fahrzeugen auf die Entwurfsgeschwindigkeit

Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 385

Bonn - Bad Godesberg, 1983

DURTH, W.; LEVIN, :

Differenzierte Kuppenbemessung

Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 600

Bonn - Bad Godesberg, 1991

DURTH, W.; LIPPOLD, Ch.; MATTHESS, V.:

Anwendung von Risikoanalysen

FA 02.134 G89A des gemeinsamen Forschungsprogramms BMV und FGSV

Darmstadt, 1992

DURTH, W.; LIPPOLD, CH.

Anpassung der Entwurfsrichtlinien für die Linienführung (RAS-L-1 1984) an neuere Entwurfsrichtlinien

Forschungsauftrag G.2.2/91 des Bundesminister für Verkehr

Darmstadt, 1993

DURTH, W.; WEISE, G.; BARK, A.; LIPPOLD, Ch.; SOSSOUMIHEN, A.;  
STÖCKERT, R.:

Überprüfung der Relationstrassierung von Straßen der Kategoriengruppe A  
FE 02.153 R93E des Bundesministers für Verkehr, Schlußbericht  
Darmstadt, 1995

DURTH, W.; WEISE, G.; KLEINSCHMIDT, P.; BÖHM, P. M.:

Verkehrssicherheitsrelevante Kriterien für den Einfach-/ Zwischenausbau von  
Landstraßen in den neuen Bundesländern  
FE 2.93 XX der Bundesanstalt für Straßenwesen, Schlußbericht  
Darmstadt, 1996

DURTH, W.; LIPPOLD, Ch.; MATTHESS, V.:

Anwendung von Risikoanalysen  
FA 02.134 G89A des gemeinsamen Forschungsprogramms BMV und FGSV  
Darmstadt, 1992

ECKSTEIN, K.; MEEWES, V.:

Erkennen und Bewerten von Unfallhäufungen  
Mitteilungen des Instituts für Straßenverkehr  
Nr. 38: Untersuchungen an Unfalltypensteckkarten  
Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft  
Köln, 1998

DER ELSNER

Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen  
Otto Elsner Verlagsgesellschaft  
Dieburg

ENGELKE, H.-U.:

Ableitung streckenspezifischer Parameter zur Bewertung der räumlichen Linienführung  
von Straßen  
Dissertation A, Hochschule für Verkehrswesen "Friedrich List"  
Dresden, 1990

FIEDLER, J.:

Bewertung von Landstraßen mit Hilfe von Geschwindigkeitsbildern  
Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Heft 69, 1967

**FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR DAS STRASSENWESEN**

Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL)

Teil I: Querschnittsgestaltung (RAL-Q)

Straßenbau A - Z, Erich Schmidt-Verlag

Berlin, Bielefeld, München, 1956

**FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN:**

Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL)

Teil II: Linienführung (RAL-L)

Abschnitt 1: Elemente der Linienführung (RAL-L-1)

Köln, 1973

**FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN:**

Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS)

Teil: Linienführung (RAS-L); Abschnitt 1: Elemente der Linienführung (RAS-L-1)

Köln, 1984

**FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN:**

Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS)

Teil: Leitfaden für die funktionale Gliederung des Straßennetzes (RAS-N)

Köln, 1988

**FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN:**

Hinweise zur Ermittlung der Verkehrssicherheitsqualität (VSQ) von Straßen

Ausgabe 1990

Straße und Autobahn, (41), Heft 10

Bonn-Bad Godesberg, 1990

**FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN:**

Hinweise zur Methodik der Untersuchung von Straßenverkehrsunfällen

Köln, 1991

**FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN:**

Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS)

Teil: Linienführung (RAS-L)

Köln, 1995

**FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN:**

Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS)

Teil: Querschnitte (RAS-Q)

Köln, 1996

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN:

Empfehlungen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an Straßen - EWS -

- Entwurf -

Köln, 1997

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR STRASSEN- UND VERKEHRSWESEN:

Begriffsbestimmungen

Teil: Straßenplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb

- Entwurf -

Köln, 1998

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR VERKEHR- UND STRASSENWESEN (FVS)

Richtlinien für die Linienführung von Straßen - RVS 3.23 (Entwurf)

Wien, 1995

FORST, P. O. von der:

Das Auffinden von Unfallhäufungsstellen mit Hilfe von kritischen Unfallmaßzahlen

Straßenverkehrstechnik, Heft 4

Bonn-Bad Godesberg, 1974

GESAMTVERBAND DER DEUTSCHEN VERSICHERUNGSWIRTSCHAFT e.V. (GDV)

Sicherung des Verkehrs auf Straßen -SVS-

Auswertung von Straßenverkehrsunfällen

Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypensteckkarten

Empfehlungen des Instituts für Straßenverkehr, Nr. 12

Köln, 1998

HELM, H.-J:

Zur Untersuchung von Fahrer und Kraftfahrzeug bei Straßenfahrt

Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

Braunschweig, 1978

HIERSCHKE, E.-U.:

Die Bedeutung und Ermittlung der Sichtweiten von Straßen

Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 67

Bonn - Bad Godesberg, 1968

HIERSCHKE, E.-U.; LAMM, R.; DIETERLE, K.; NIKOPOUR, A.:

Auswirkungen von Ausbaumaßnahmen gemäß den RAL-L auf die Verkehrssicherheit  
zweispuriger Straßen

Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 431

Bonn - Bad Godesberg, 1984

HOYOS, C. G.; KASTNER, M.:

Belastung und Beanspruchung von Kraftfahrern  
Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft 59  
Bergisch Gladbach, 1986

HUK-VERBAND:

PELa (1993): Planung und Entwurf von Landstraßen  
Dringlichkeiten/Ortsumgehungen/Ortsdurchfahrten/Außerortsstraßen  
Empfehlungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung, Nr. 9  
Köln, 1993

JOHANNSEN, G.:

Review of man-vehicle control session. Preview.  
Preprints of the Intern. symp. on monitoring behavior and supervisory control  
Berchtesgaden 1976

KAYSER, H. J. MÖHLER, W. OTTEN, N.:

Quantitative Erfassung des Straßenraumes (unter Berücksichtigung bebauter  
Stadtrandgebiete)  
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 452  
Bonn - Bad Godesberg, 1985

KÖPPEL, G.; BOCK, H.:

Kurvigkeit, Stetigkeit und Fahrgeschwindigkeit  
Straße und Autobahn (21), Heft 8  
Bonn - Bad Godesberg, 1970

KÖPPEL, G.; BOCK, H.:

Fahrgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Kurvigkeit  
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 269,  
Bonn - Bad Godesberg, 1979

KREBS, H.G.:

Einfluß des Kurvenschneidens auf Bogengeschwindigkeit und Trassierungsgrundsätze  
Straße und Autobahn (24), Heft 8  
Bonn - Bad Godesberg, 1973

KREBS, H. G.; KLÖCKNER, J. H.:

Untersuchungen über Unfallraten in Abhängigkeit von Straßen- und  
Verkehrsbedingungen außerhalb geschlossener Ortschaften  
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 223  
Bonn - Bad Godesberg, 1977

KUPKE, P.:

Simulatorexperimente zum trassenabhängigen Fahrverhalten und Überprüfen der  
Linienführung

Dissertation, Universität Karlsruhe, 1977

LAMM, R.:

Fahrdynamik und Streckencharakteristik,

Ein Beitrag zum Entwurf von Straßen unter besonderer Berücksichtigung der  
Geschwindigkeit

Veröffentlichungen des Instituts für Straßenbau und Eisenbahnwesen der Universität  
Karlsruhe, Heft 11

Karlsruhe 1973

LAMM, R.; KLÖCKNER, J. H.:

Erkennen und Bewerten gefährlicher Streckenabschnitte

Straßen- und Tiefbau (30), Heft 8

Bonn - Bad Godesberg, 1976

LAMM, R:

Beeinflusst die Überlagerung von Lage- und Höhenplankrümmungen das Unfallgeschehen?  
(Teile I - III)

Straßen- und Tiefbau (36), Hefte 1 - 3

Bonn - Bad Godesberg, 1982

LAMM, R.; GÜNTHER, A. K.; STEFFEN, H.:

Sicherheitsüberprüfung im Straßenentwurf unter Anwendung komplexer EDV-Systeme

Straßen- und Tiefbau (42), Heft 10

Bonn - Bad Godesberg, 1992

LAMM, R.; PSARIANOS, B.; CHOUEIRI, E. M.; MAILÄNDER, T.:

Die Gerade als dynamisches Trassierungselement – Teil I -

Straßen- und Tiefbau (49), Heft 7/8

Bonn - Bad Godesberg, 1995

LEUTNER, R.:

Fahrraum und Fahrverhalten

Veröffentlichungen des Instituts für Straßenbau und Eisenbahnwesen der Universität  
Karlsruhe, Heft 12

Karlsruhe, 1974

LEUTZBACH, W.; ZOELLMER, J.:

Zusammenhang zwischen der Verkehrssicherheit und den Elementen des  
Straßenentwurfs

Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 545,  
Bonn-Bad Godesberg, 1989

LIPPOLD, Chr.:

Weiterentwicklung ausgewählter Entwurfsgrundlagen von Landstraßen

Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt

Darmstadt, 1996

MAIER, R:

Ortsdurchfahrten - Verbesserung der Verkehrssicherheit

Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung, Nr. 31

Köln, 1991

MANN, K.:

Querschleunigung und Querruck in der Übergangsbogenbemessung

Dissertation am Fachgebiet Wasser und Verkehr der TH Darmstadt

Darmstadt, 1985

MEEWES, V.; GERZ, U.; LEINS, W.:

Zur Beschreibung des Verkehrsablaufes auf Straßen mit und ohne Richtungstrennung

Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2529

Westdeutscher Verlag

Opladen, 1975

MEEWES, V.:

Mobile und ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung

Auswirkungen auf Verhalten und Verkehrssicherheit

Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung, Nr. 34

Köln, 1993

MEEWES, V.; BUTTERWEGGE, P.:

Verkehrs-Sicherheitsprüfung - VSP -

Verfahren, Ergebnisse aus Mecklenburg-Vorpommern

Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung, Nr. 36

Köln, 1996



MEEWES, V.; LIPPHARD, D.:

Geschwindigkeiten in den neuen Bundesländern – Verhaltensänderungen 1991-1993 –  
Neue Fahrbahnen, Ausstattung, Umfeld  
Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung, Nr. 35  
Köln, 1994

OEDC

International Road Traffic and Accident Database (IRTAD)  
September 1999

OSTERLOH, H.

Mathematische Erfassung des räumlichen Eindrucks des Perspektivbildes auf den  
Kraftfahrer  
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 394  
Bonn - Bad Godesberg, 1983

OTTEN, N:

Quantitative Darstellung von Varianten der Straßenraumgestalt  
Dissertation, RWTH Aachen, 1988

PFEIL, W.:

Die Winkeländerung des Perspektivbildes als quantitatives Kriterium für die optische  
Linienführung von Straßen  
Straße und Autobahn (21), Heft 8  
Bonn - Bad Godesberg, 1970

PFUND, K.:

Vergleichende Unfalluntersuchungen auf Landstraßen  
Straßenbau und Verkehrstechnik, Heft 82  
Bonn - Bad Godesberg, 1969

PFUND, K.:

Handbuch der verkehrssicheren Straßengestaltung  
Beratungsstelle für Schadenverhütung der des Verbandes der Haftpflicht-, Unfall- ,  
Auto- und Rechtsschutzversicherer e.V.  
Köln, 1991

RÖDER, D.:

Sicherheitsbewertung von Landstraßenkurven durch eine Analyse des Geschwindigkeits-  
und Spurverhaltens  
Diplomarbeit, Technische Universität Dresden  
Dresden, 1996

SCHLICHTER, H. G.:

Streckencharakteristik: eine analytische Betrachtung  
Straße und Autobahn (27), Heft 2  
Bonn - Bad Godesberg, 1976

SCHNABEL, W.; LOHSE, D.:

Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung  
Verlag für Bauwesen  
Berlin, 1997

SCHNEIDER, J.:

Ein Beitrag zur Bewertung der Linienführung von Straßen  
Dissertation an der Hochschule für Verkehrswesen Dresden  
Dresden, 1986

SCHOSS, W.:

Automatische Aufdeckung von Mängeln in der optischen Wirkung der Linienführung von  
Straßen  
Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 190  
Bonn - Bad Godesberg, 1975

SCHROIFF, ; OTTEN, N.:

Streckencharakteristik und Geschwindigkeitswahl  
Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen  
Bergisch Gladbach, 1988

SELL, V.:

Überprüfung eines Verfahrens zur baulichen und verkehrlichen Bewertung der  
Streckenqualität von Straßenabschnitten im Einfachausbau  
Diplomarbeit, Technische Universität Dresden  
Dresden, 1995

SERVICE D'ÉTUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES (SETRA)

Recommandations techniques pour la conception générale et la géométrie de la route  
Aménagement des routes principales (sauf les autoroutes et routes express à deux  
chaussées)

*Technische Empfehlungen für den Entwurf von Straßen*

*Ausbau hochklassifizierter Straßen (außer Autobahnen und zweibahnige Schnellstraßen)*

Guide technique - *Technische Richtlinie*

Bagneux Cedex, 1994

SOSSOUMIHEN, A.; BAKABA, J. E. N.:

Modell zur Beschreibung der Bewegung eines unbehinderten Fahrzeuges  
Unveröffentlichtes Manuskript  
Dresden, 1999

SPRINGER, J. F.; HUIZINGA, K. E.:

Das Straßenbild als Prüfstein für die Straßengestaltung  
Haag: Staatlicher Verlag, 1975

STATISTISCHES BUNDESAMT

Statistisches Jahrbuch 1999 für die Bundesrepublik Deutschland  
Verlag Metzler-Poeschel  
Wiesbaden, September 1999

STEFFEN, H.:

Entwicklung eines Sicherheitsmoduls zur Überprüfung des Straßenentwurfs und seine  
Implementierung in zwei komplexe DV-Systeme  
Diplomarbeit, Universität Karlsruhe  
Karlsruhe, 1992

STEIERWALD, G.; SCHÖNHARTING, J.; PISCHNER, TH.; THÄSLER, H.-U.; FAUSER, A.;  
SEYBOTH, A.; CONRAD, U.:

Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Ortsdurchfahrten im Hinblick auf die  
Notwendigkeit des Baues von Umgehungsstraßen  
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 479  
Bonn - Bad Godesberg, 1986

STEIERWALD, SCHÖNHARTING UND PARTNER:

Weiterentwicklung des Abschnittes Streckenqualität der Richtlinien für verkehrliche  
Bewertung von Straßen (RVBS - SQ)  
Bearbeiter: Hülsemann, U.  
Auftrag FP 8347 der Bundesanstalt für Straßenwesen  
Bergisch Gladbach, 1986

STEIERWALD, G.; BUCK, M:

Geschwindigkeitsverhalten auf einbahnigen Außerortsstraßen in Abhängigkeit von  
baulichen, betrieblichen und verkehrlichen Randbedingungen  
Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 621,  
Bonn - Bad Godesberg, 1992

STEYER, R.; SOSSOUMIHEN, A.:

Modellansatz zur Abschätzung der Geschwindigkeit  $V_{85}$  in Abhängigkeit der Lage- und Höhenplangeometrie in Kurvenbereichen

unveröffentlichtes Manuskript

Dresden, 1997

TRAPP, K. H.:

Untersuchungen über den Verkehrsablauf auf Landstraßen

Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 113

Bonn - Bad Godesberg, 1971

TRAPP, K. H., OELLERS, F.-W.:

Streckencharakteristik und Fahrverhalten auf zweispurigen Landstraßen

Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 176

Bonn - Bad Godesberg, 1974

VEREIN SCHWEIZERISCHER STRASSENFACHLEUTE (VSS)

Schweizer Norm 640 080 b „Projektierung, Grundlagen - Geschwindigkeit als Projektierungselement“

Zürich, 1991

WEBER, R. :

Literaturanalyse zu Straßensicherheitsaudits

Bundesanstalt für Straßenwesen

Bergisch Gladbach, 1999

WEGMAN, F. C. M.; HOLLÓ, P.; LUNDEBYE, S.; SMITH, G.; WERRING, L.:

Les accidents de la route: un problème mondial qui peut être abordé avec succès!

Road Accidents: worldwide a problem that can be tackled successfully!

(Straßenverkehrsunfälle: ein weltweites Problem, dem erfolgreich entgegen getreten werden kann!)

Veröffentlichung 13.01.B - 1996 der Weltstraßenorganisation (PIARC), 1996

WEGMAN; F. C. M.; SCHAGEN, I. N. L. G. van:

Verkehrssicherheitsaudits / Safety audits

Vortrag beim Deutschen Straßen- und Verkehrskongreß

der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen

Leipzig, 1998

WEISE, G.:

Vervollkommnung der wissenschaftlichen Grundlagen für die Gestaltung der  
Linienführung neuer und zu rekonstruierender Straßen  
Dissertation B, Hochschule für Verkehrswesen "Friedrich-List"  
Dresden 1987

WEISE, G.:

Die Bewertung der Linienführung als Kriterium für die Vorbereitung von Erneuerungs-  
maßnahmen im Landstraßennetz  
Vortrag - Deutscher Straßen- und Verkehrskongreß  
Nürnberg, 1990

WEISE, G.; STEYER, R.:

Gestaltungskriterien für Landstraßenkurven  
FP 8927 der Bundesanstalt für Straßenwesen, 2. Zwischenbericht  
Dresden, 1997

WEISE, G.; DURTH, W.; KLEINSCHMIDT, P.; LIPPOLD, Chr.:

Straßenbau - Planung und Entwurf  
Verlag für Bauwesen  
Berlin, 1997

WEISE, G.; KLEINSCHMIDT, P.; SOSSOUMIHEN, A.:

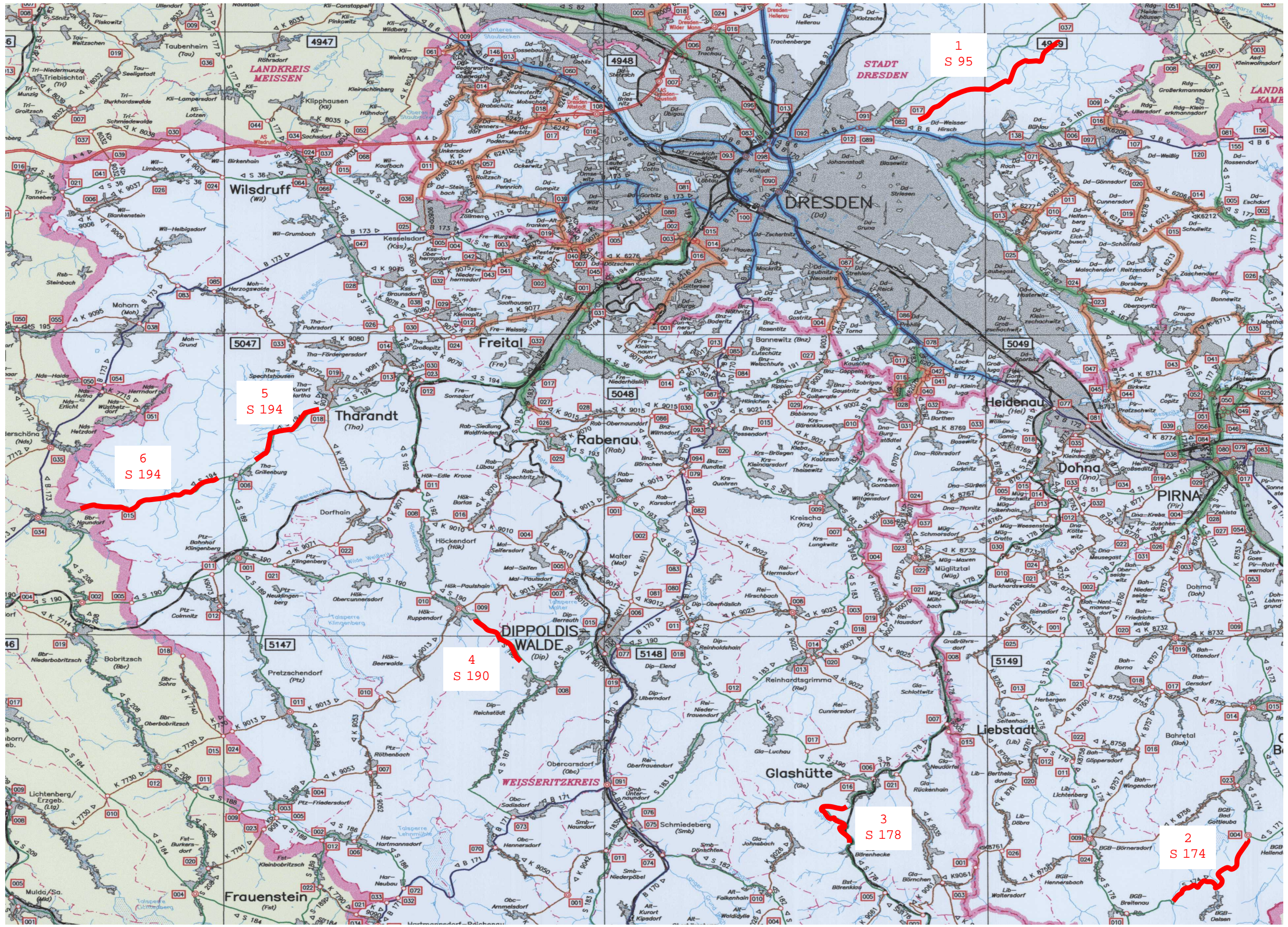
Einfach- und Zwischenausbau von Landstraßen in den Neuen Bundesländern  
Fachseminar „Straßenentwurf heute und morgen“  
Jena, 1998

WILKE, S.:

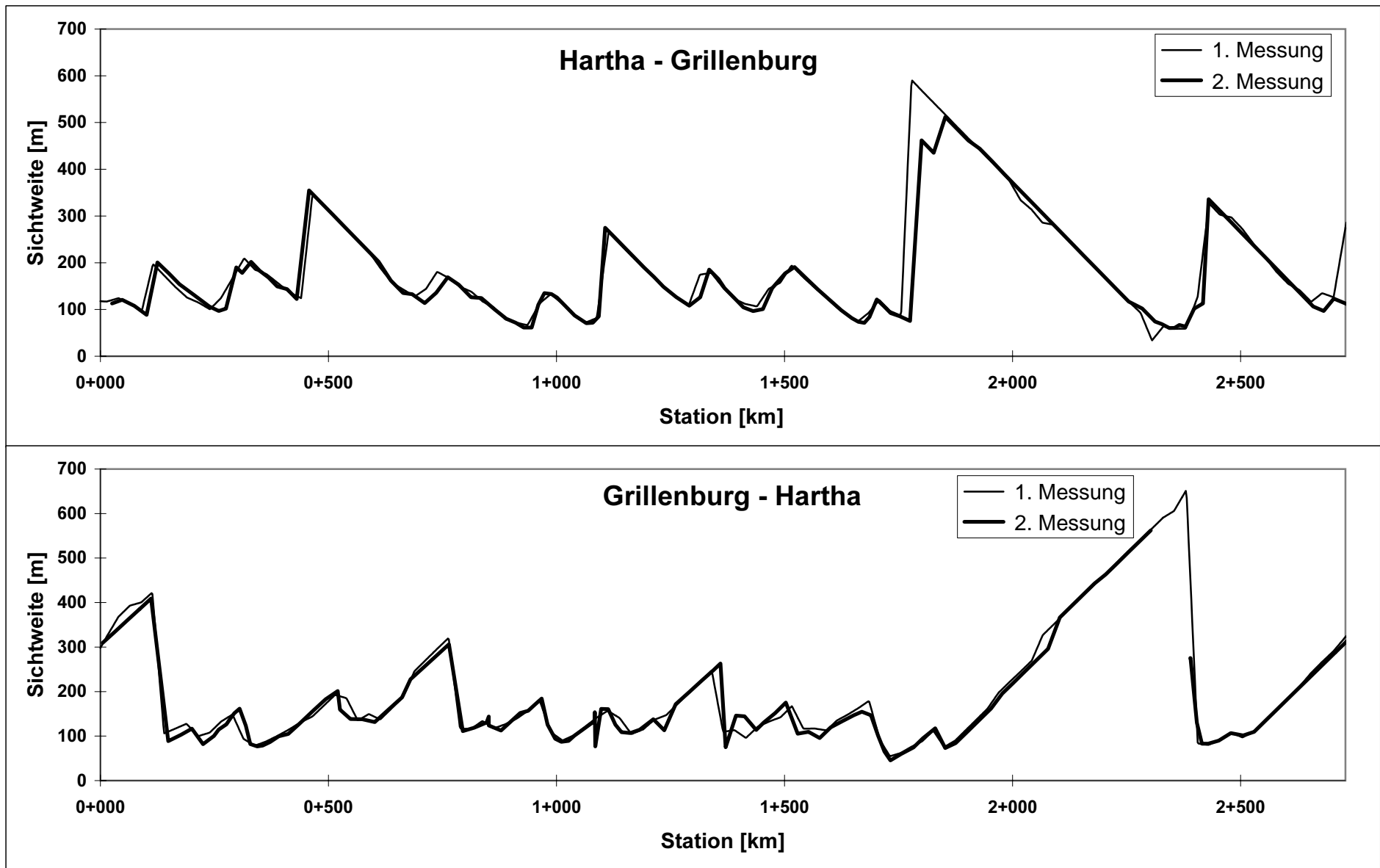
Untersuchung des Zusammenhanges zwischen der gefahrenen Geschwindigkeit und  
ausgewählten Parametern der Linienführung unstetiger Außerortsstraßen  
Diplomarbeit, Technische Universität Dresden  
Dresden, 1996

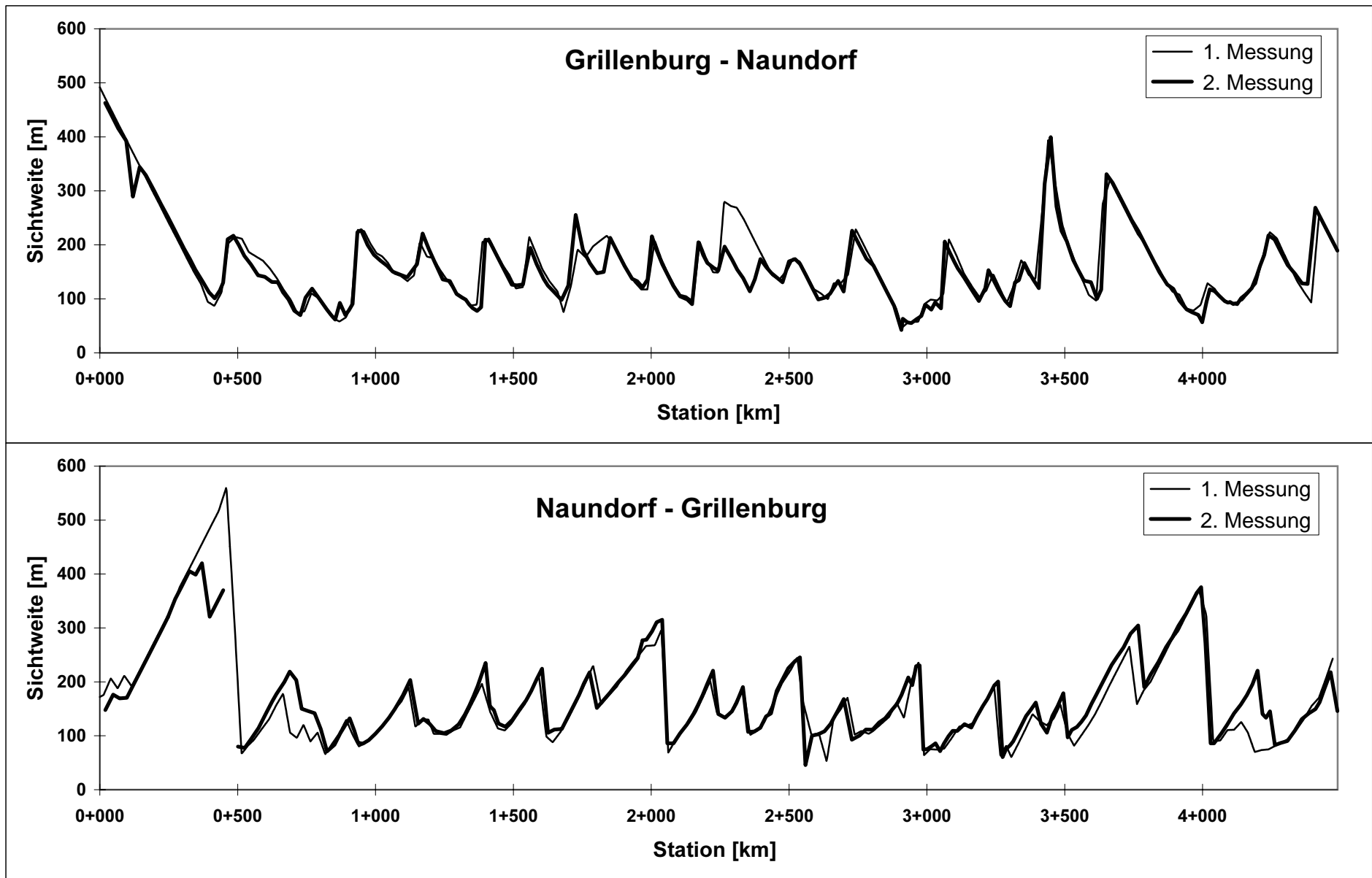
ZIMOLONG, B.:

Verkehrskonflikttechnik - Grundlagen und Anwendungsbeispiele  
Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung  
Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Heft 235  
Köln, 1982

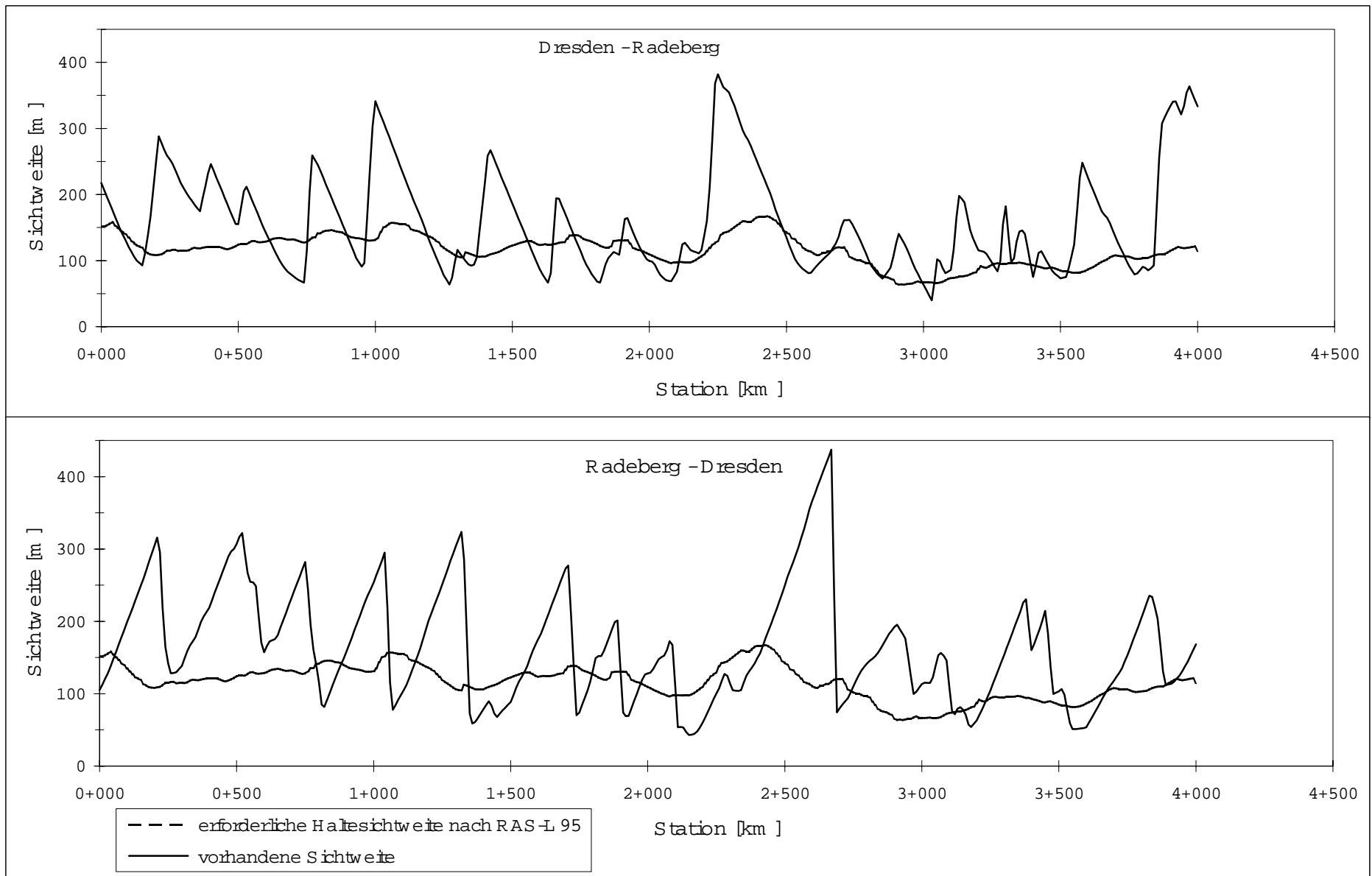


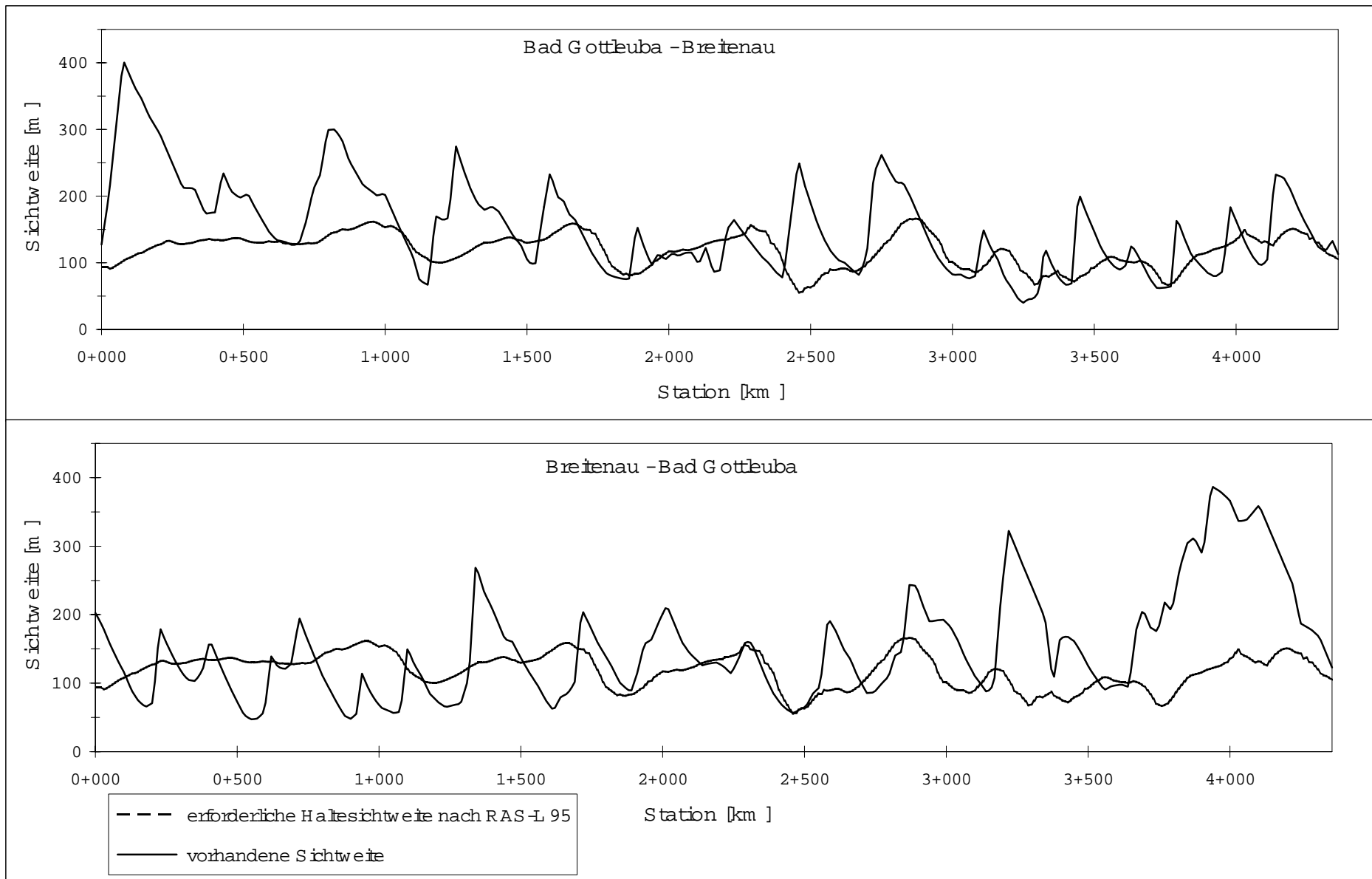
Anh. 1.1: Lage der Untersuchungsstecken im Netz

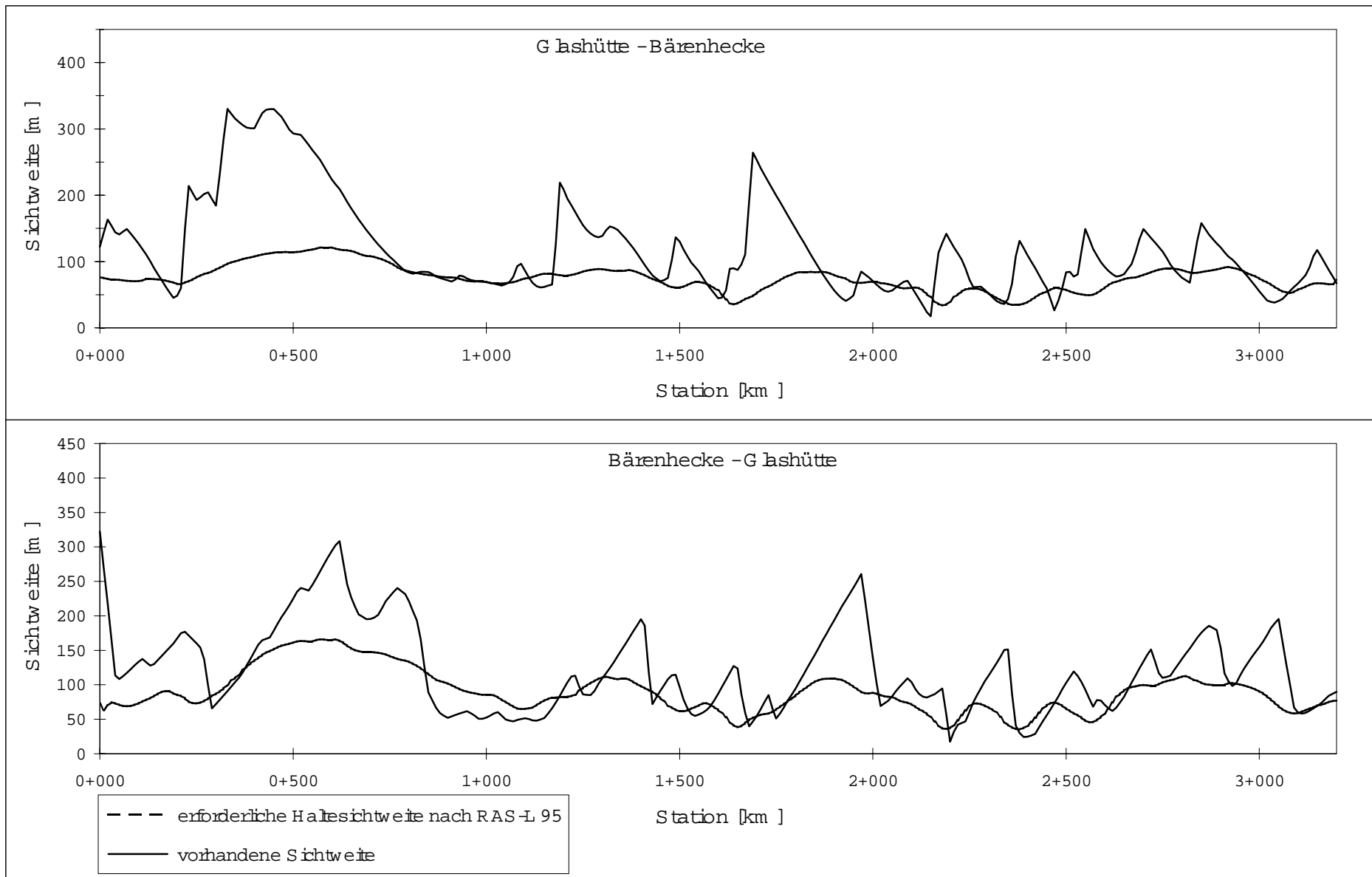


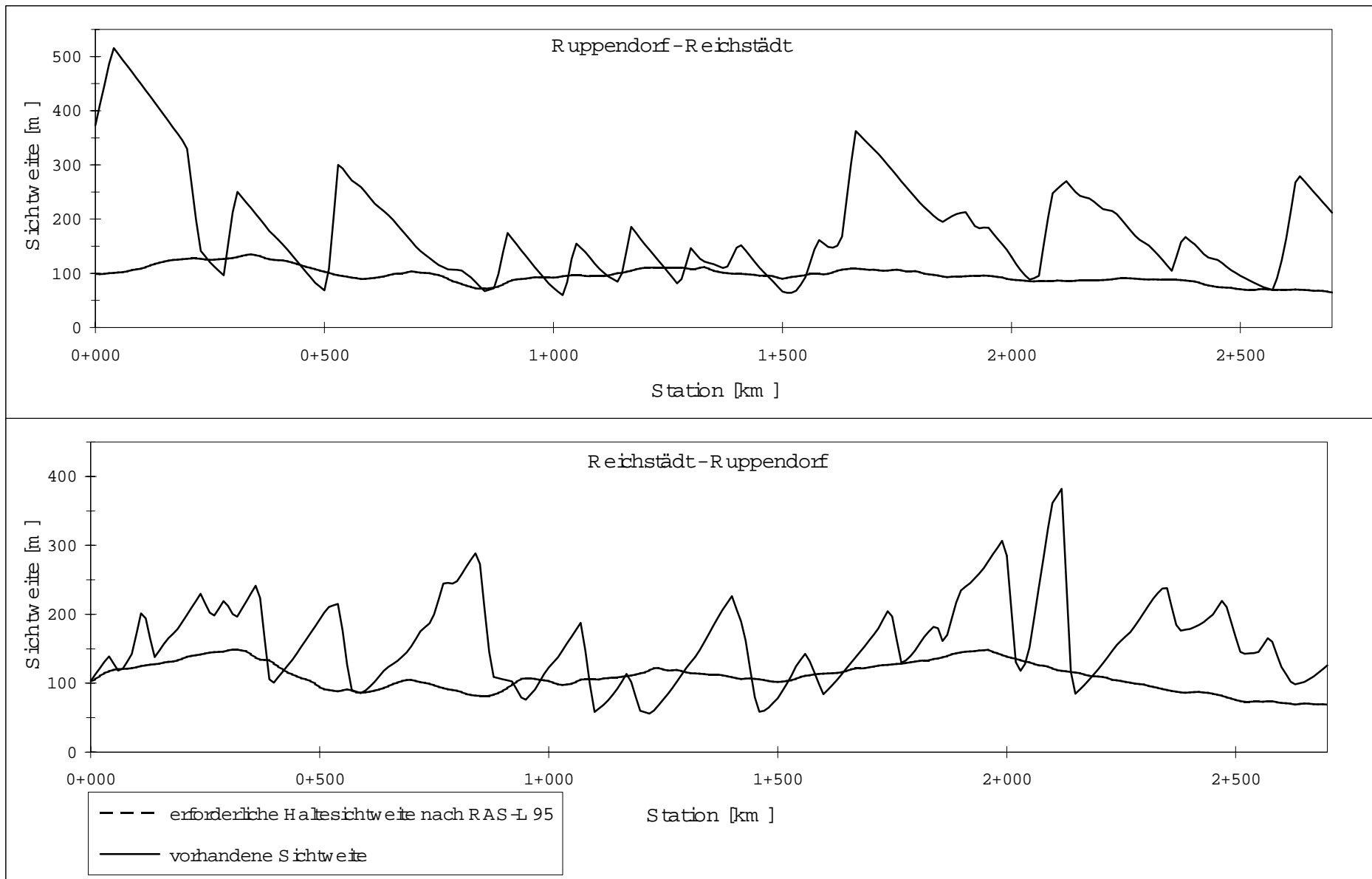


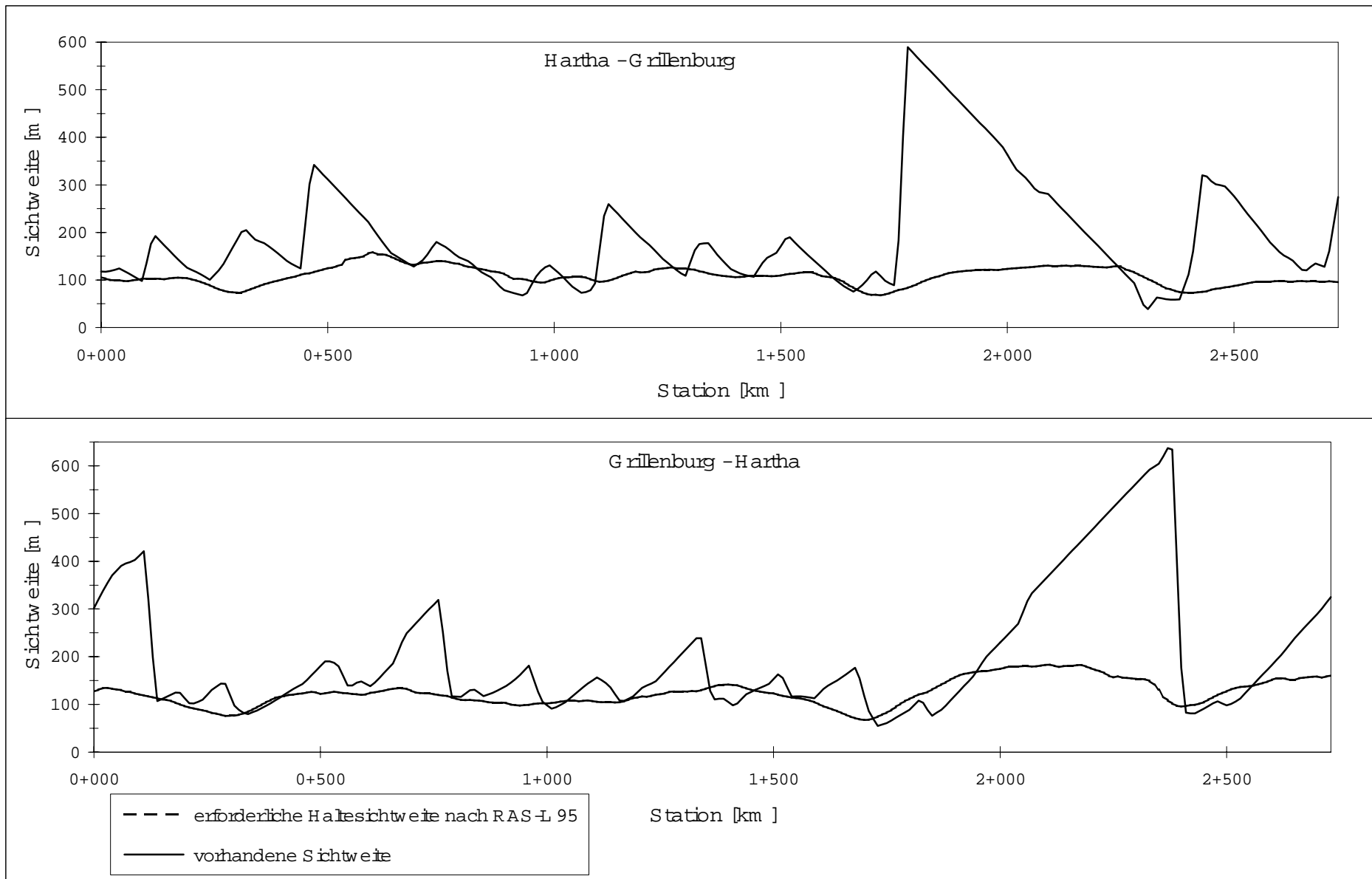


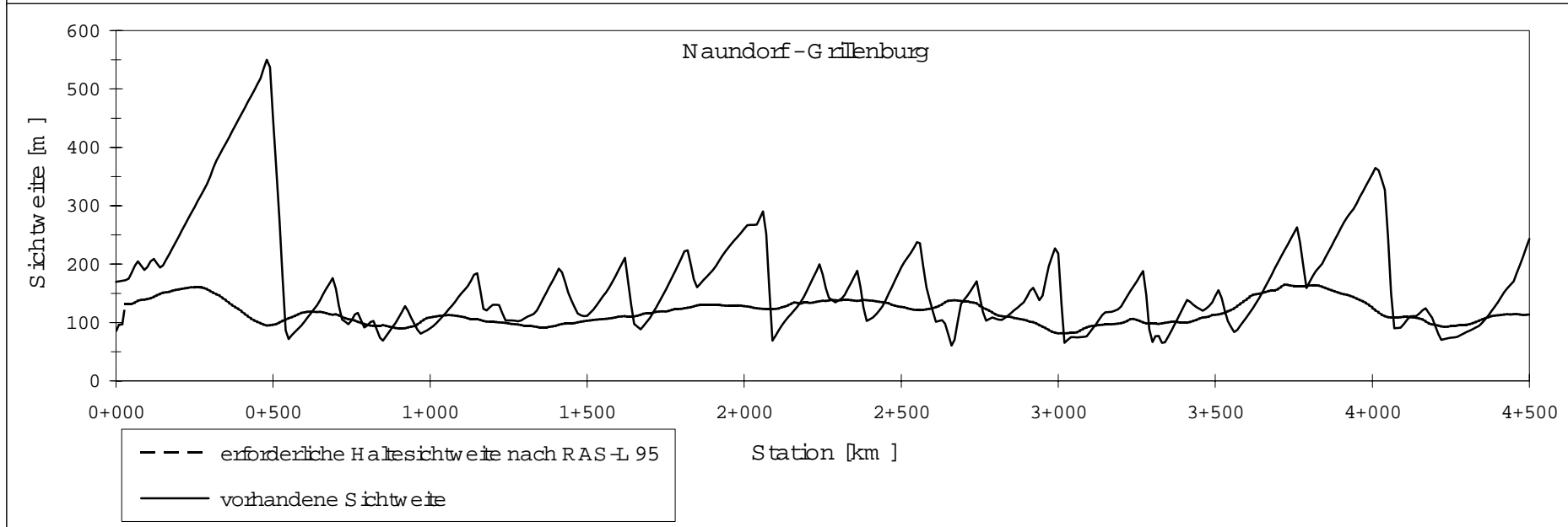
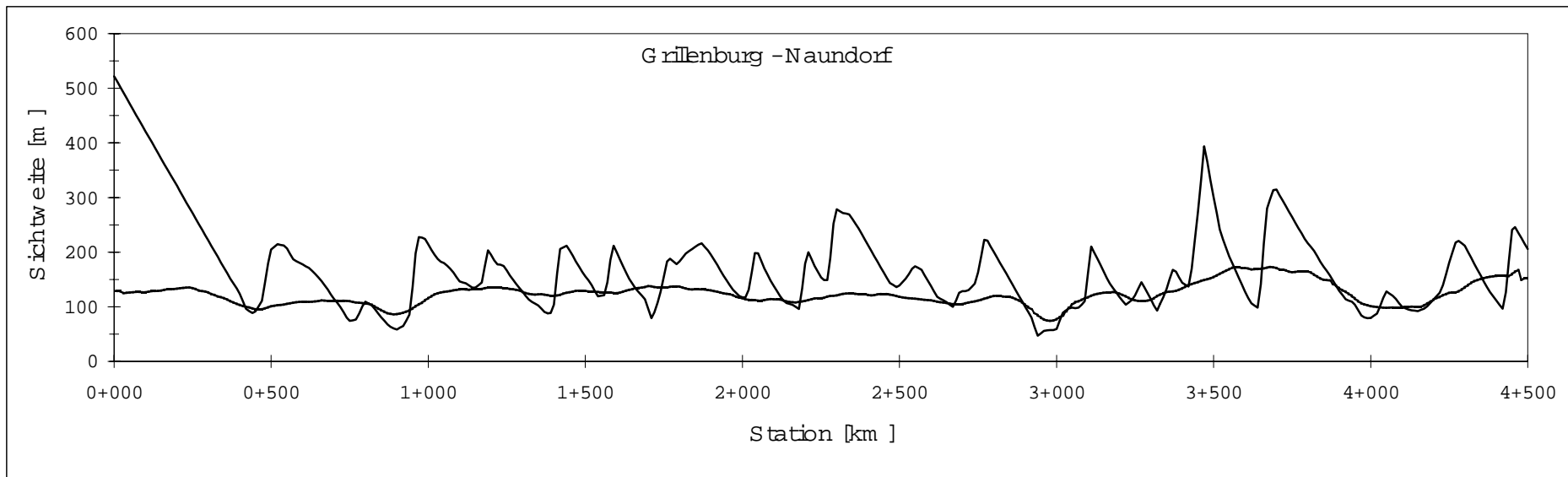


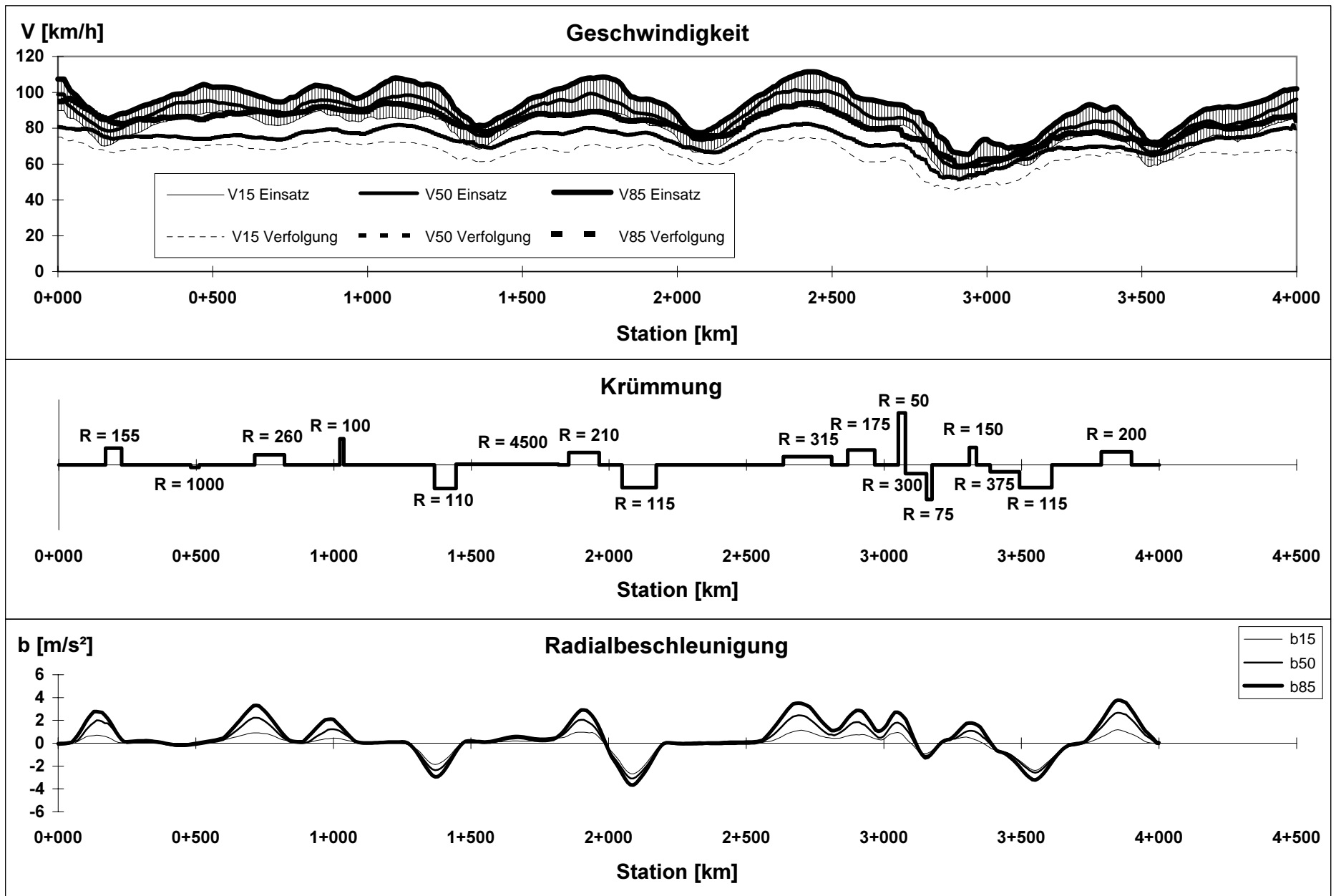




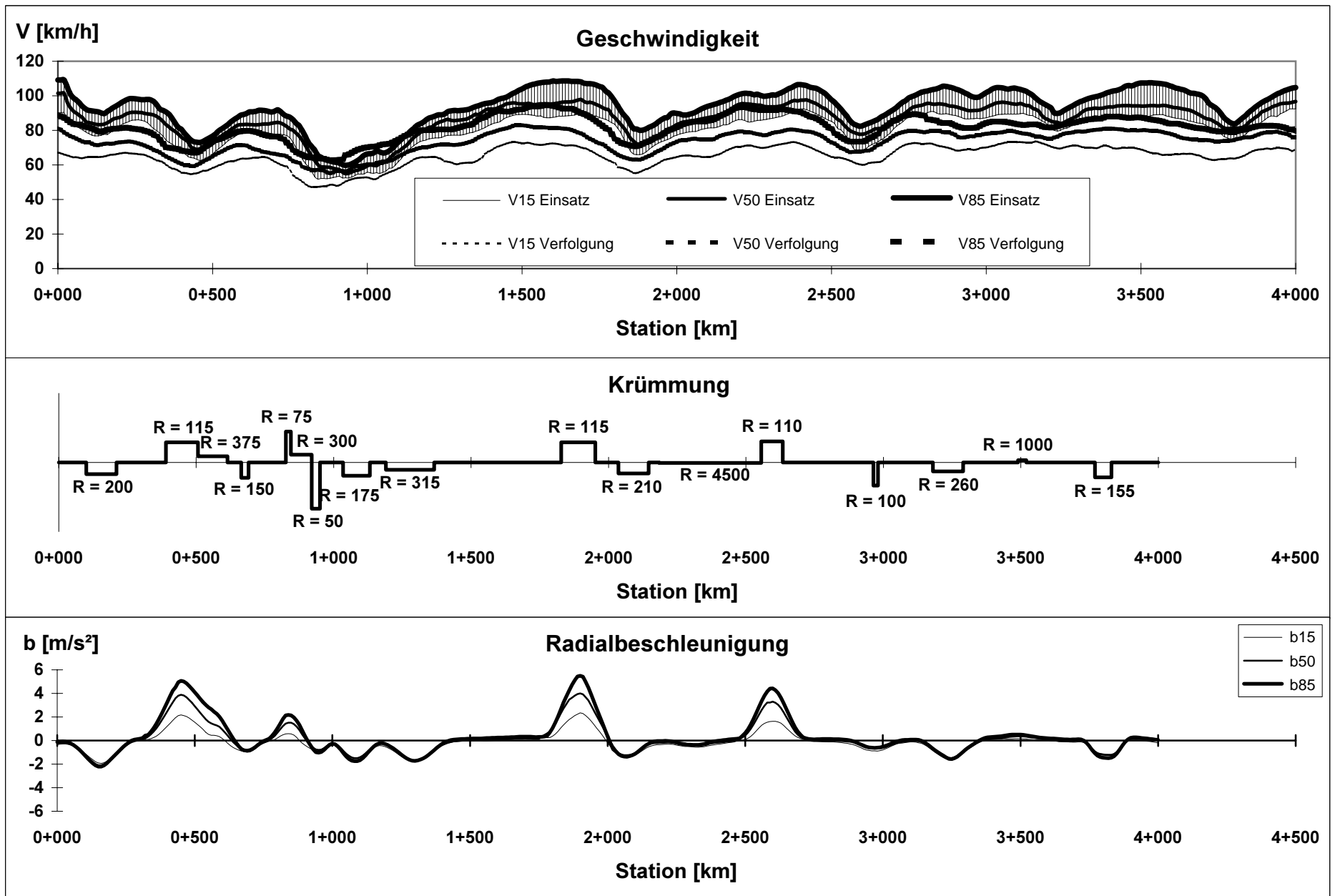






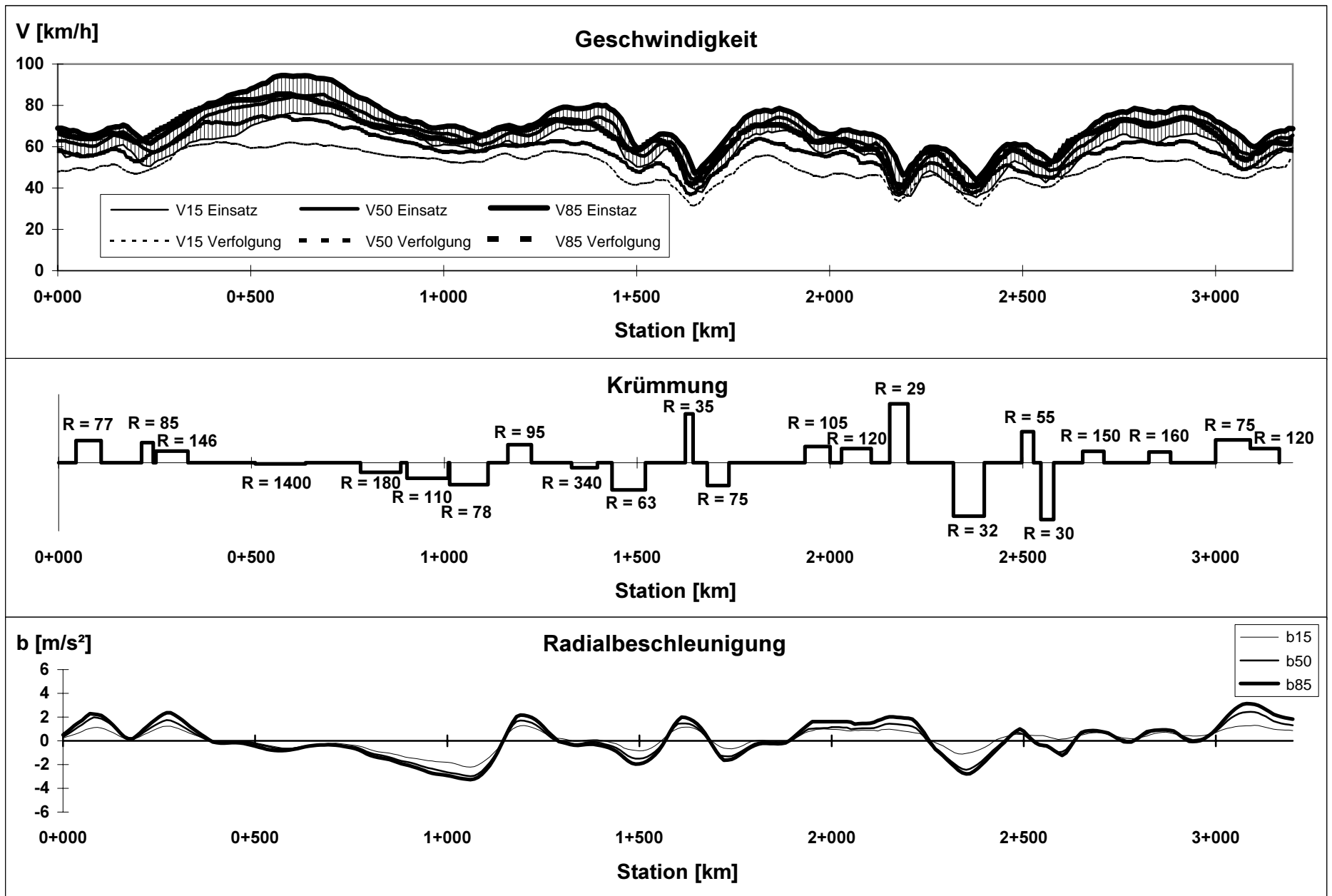


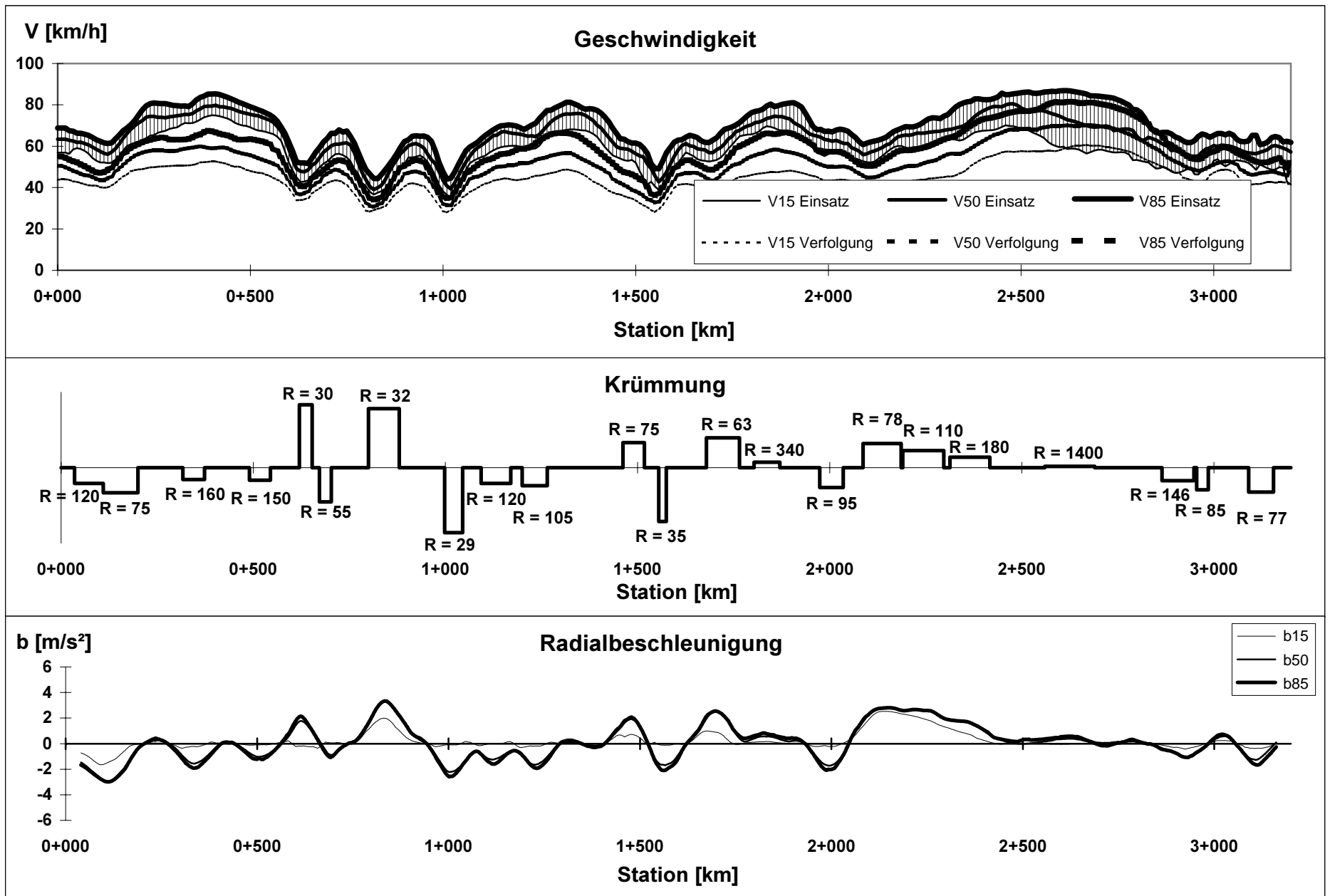
Anh. 1.4: Geschwindigkeits- und Radialbeschleunigungsprofile S 95 (Dresden - Radeberg)

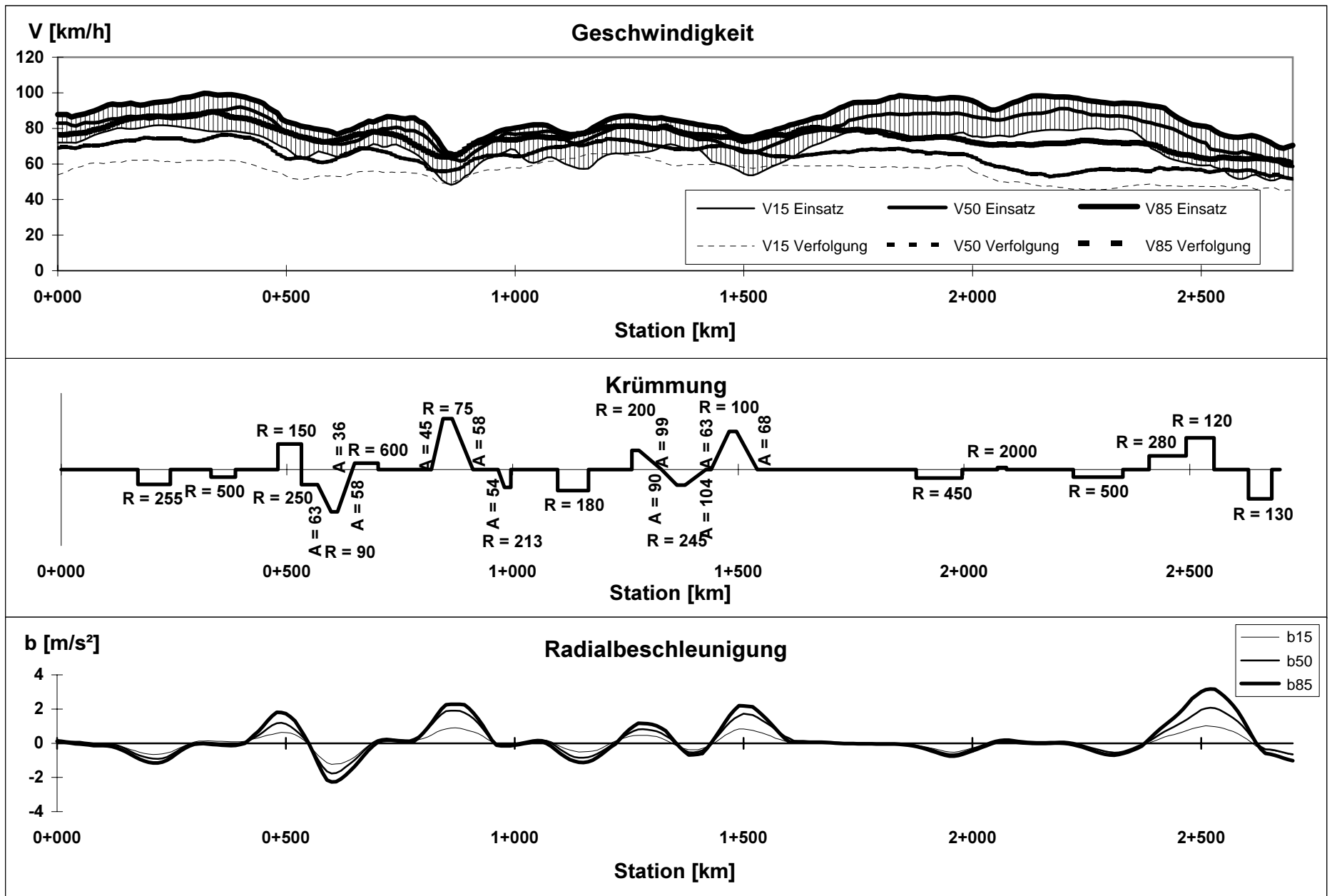


Anh. 1.4: Geschwindigkeits- und Radialbeschleunigungsprofile S 95 (Dresden - Radeberg)

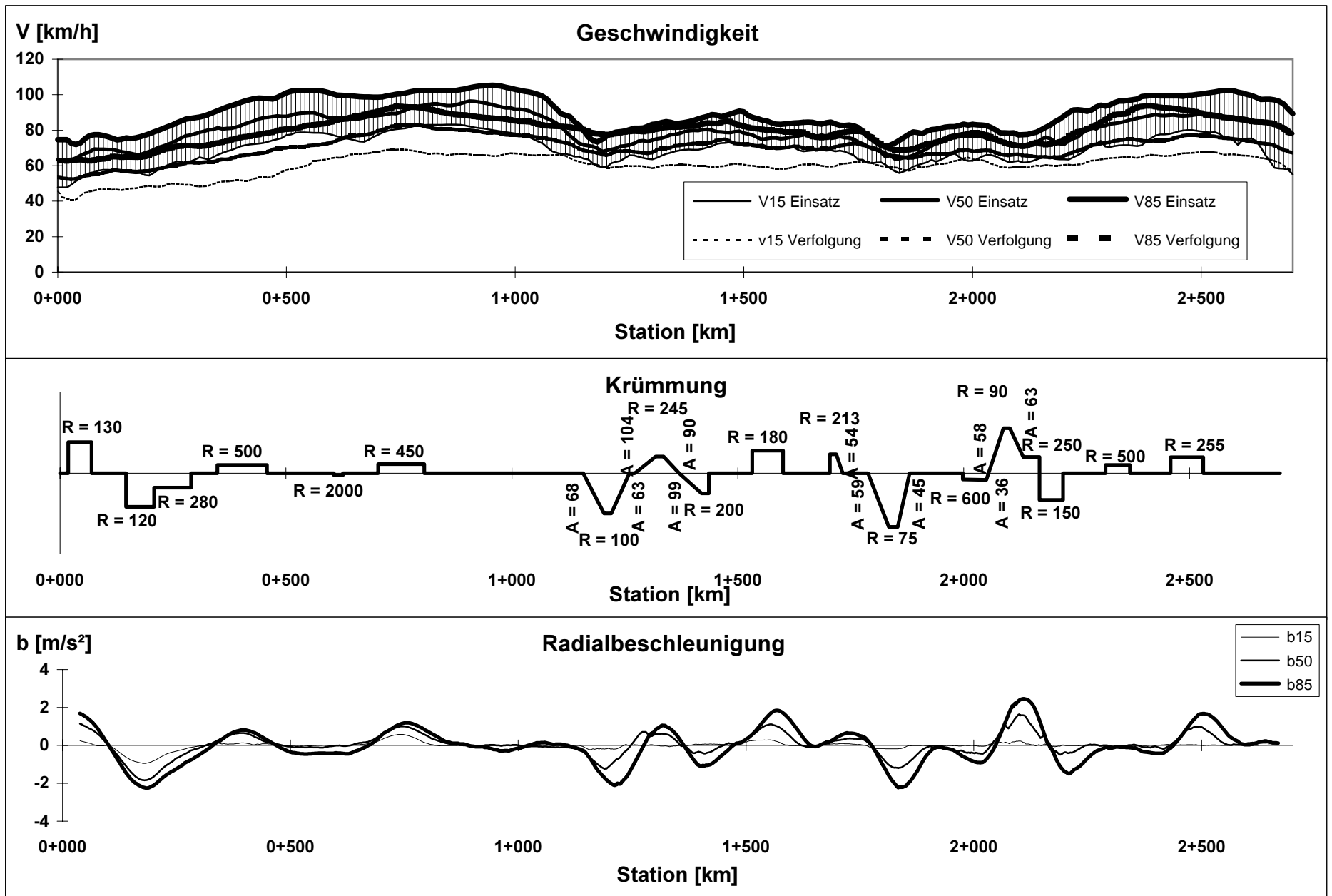


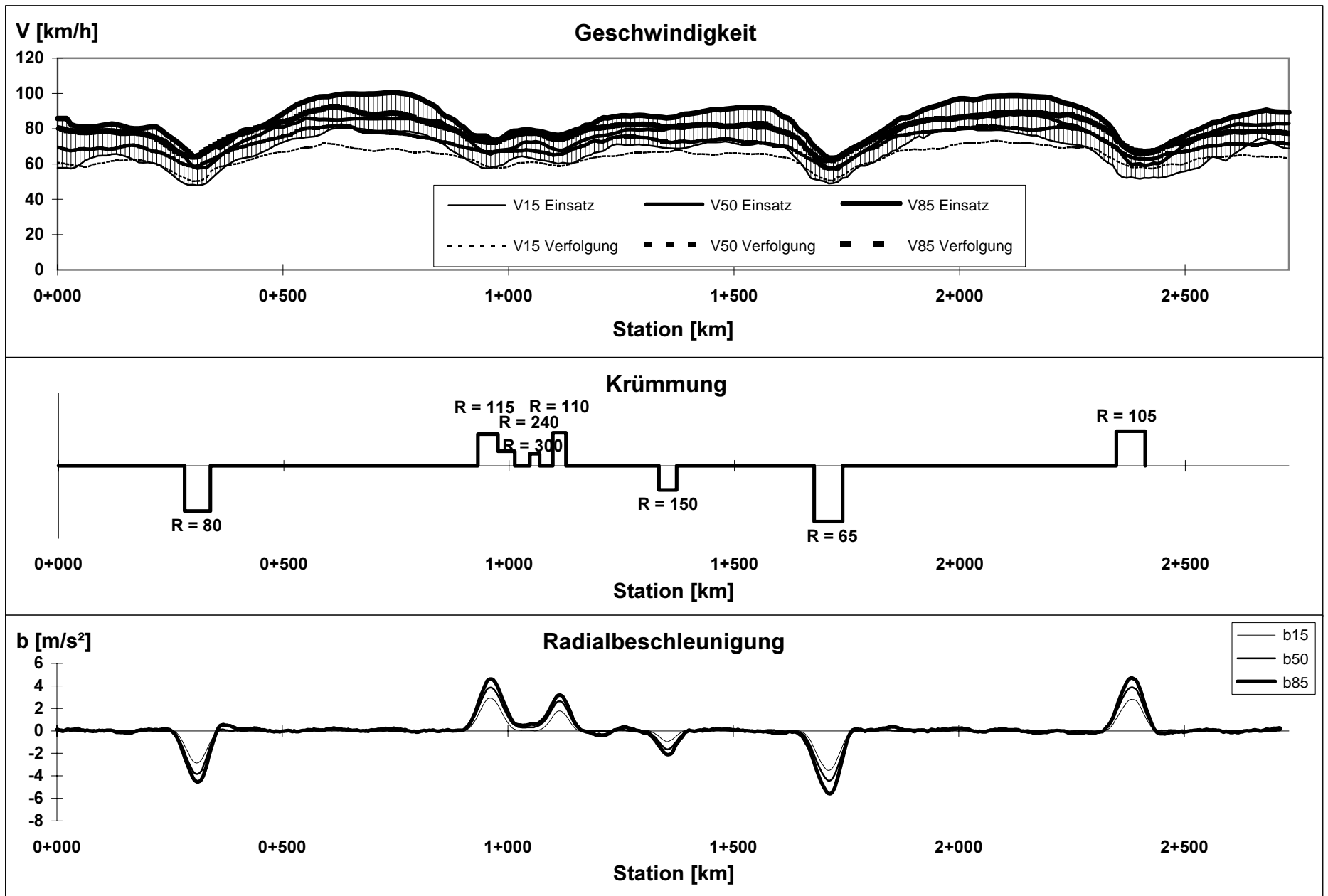




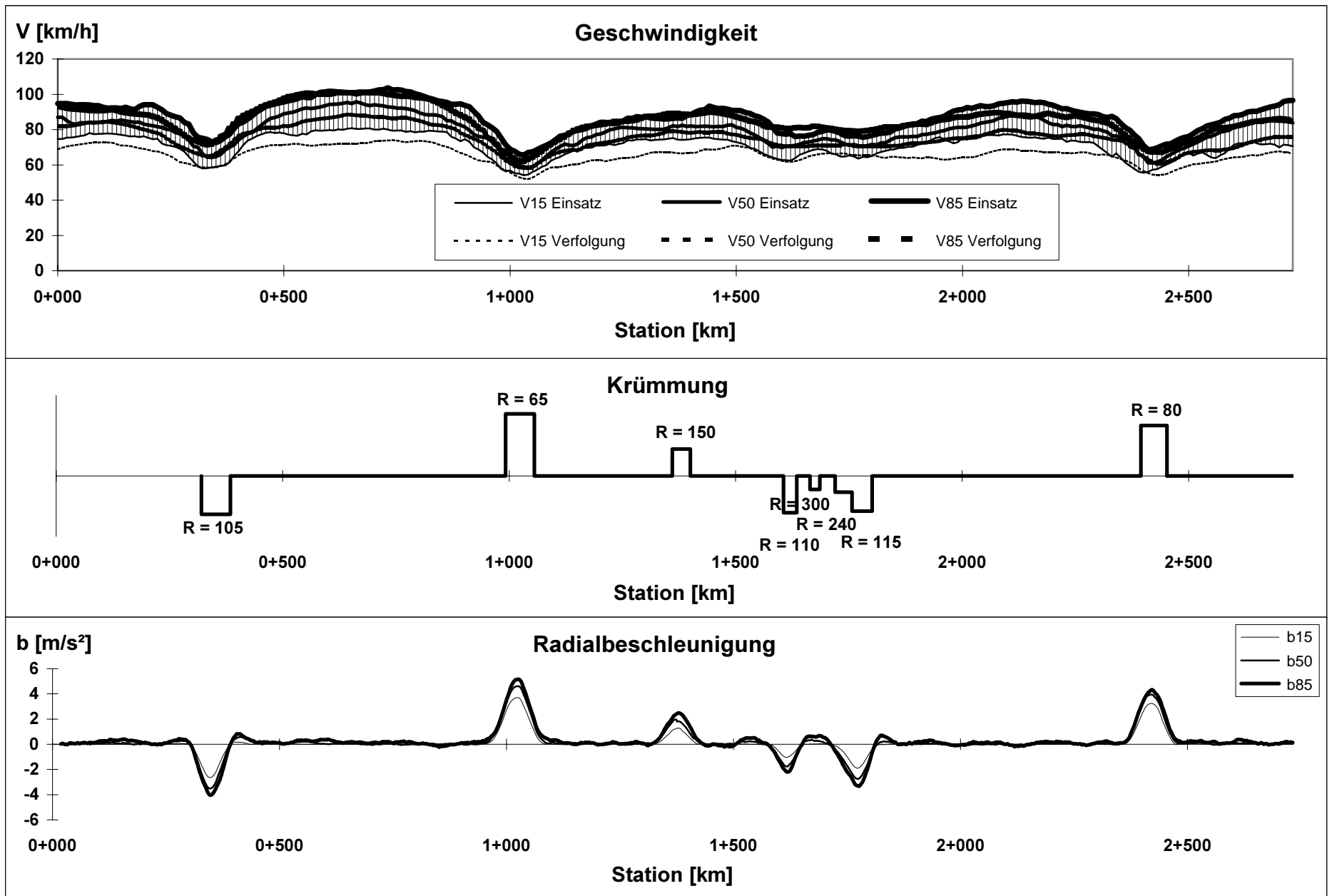


Anh. 1.4: Geschwindigkeits- und Radialbeschleunigungsprofile S 190 (Reichstädt - Ruppendorf)

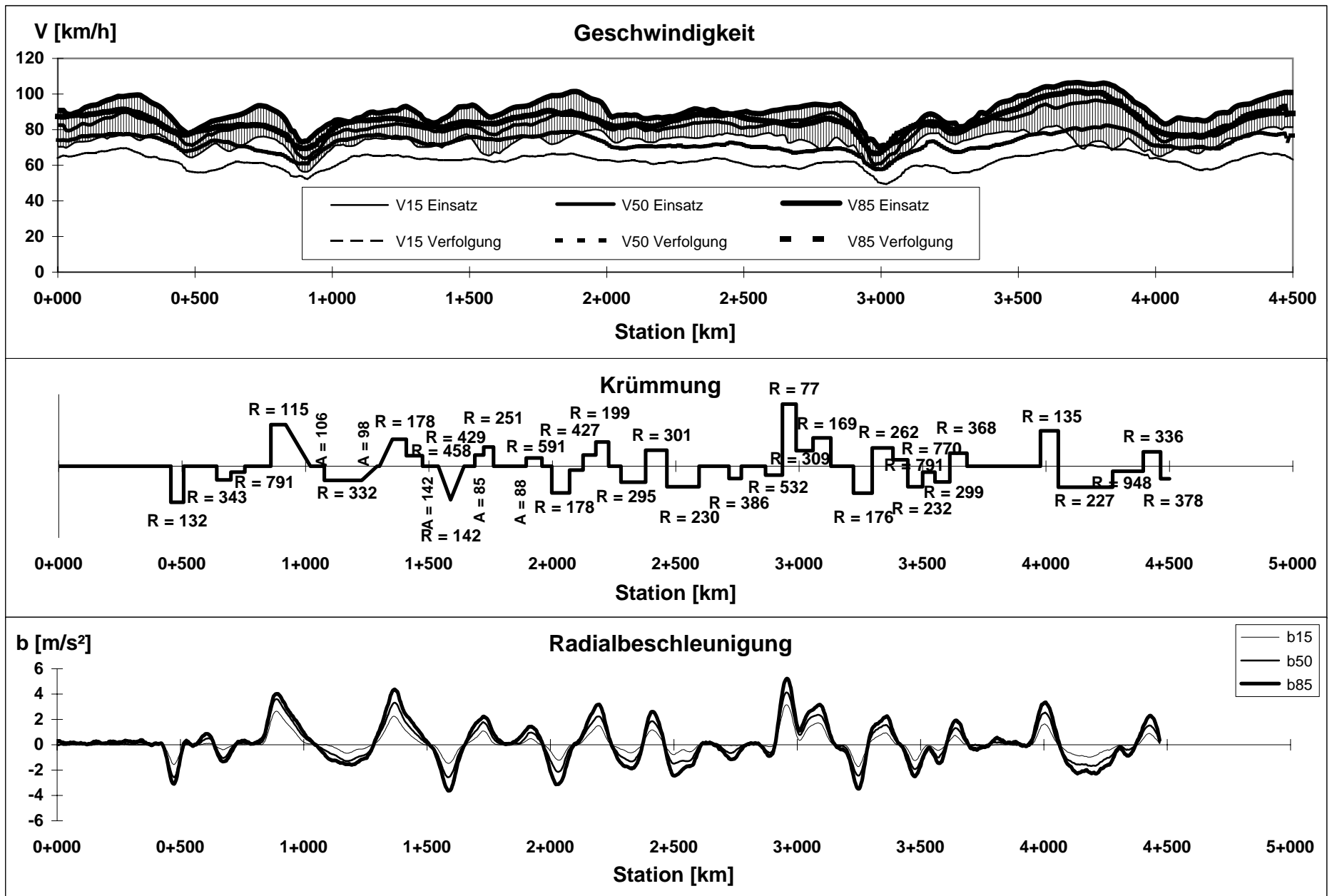


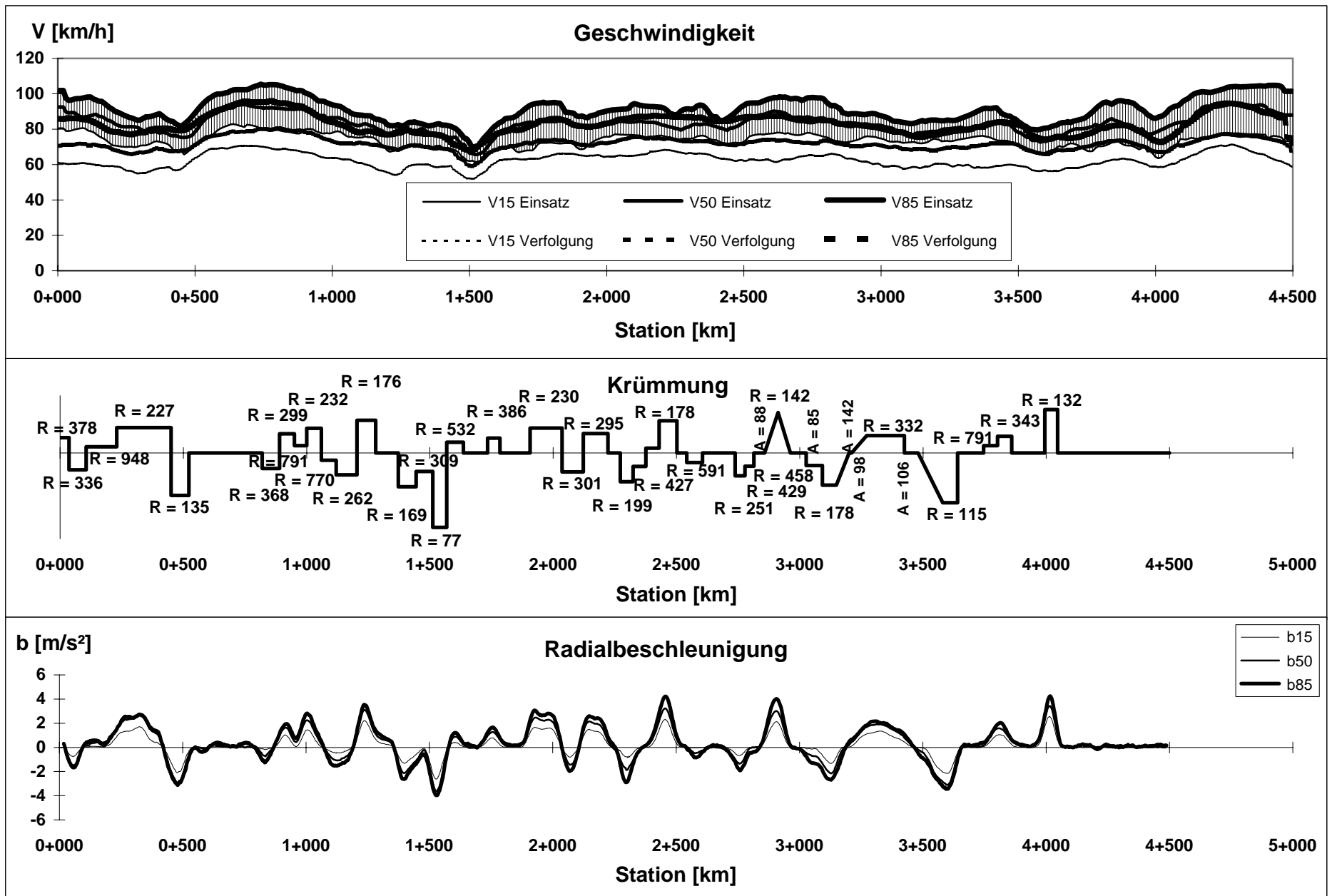


Anh. 1.4: Geschwindigkeits- und Radialbeschleunigungsprofile S 194 (Hartha - Grillenburg)

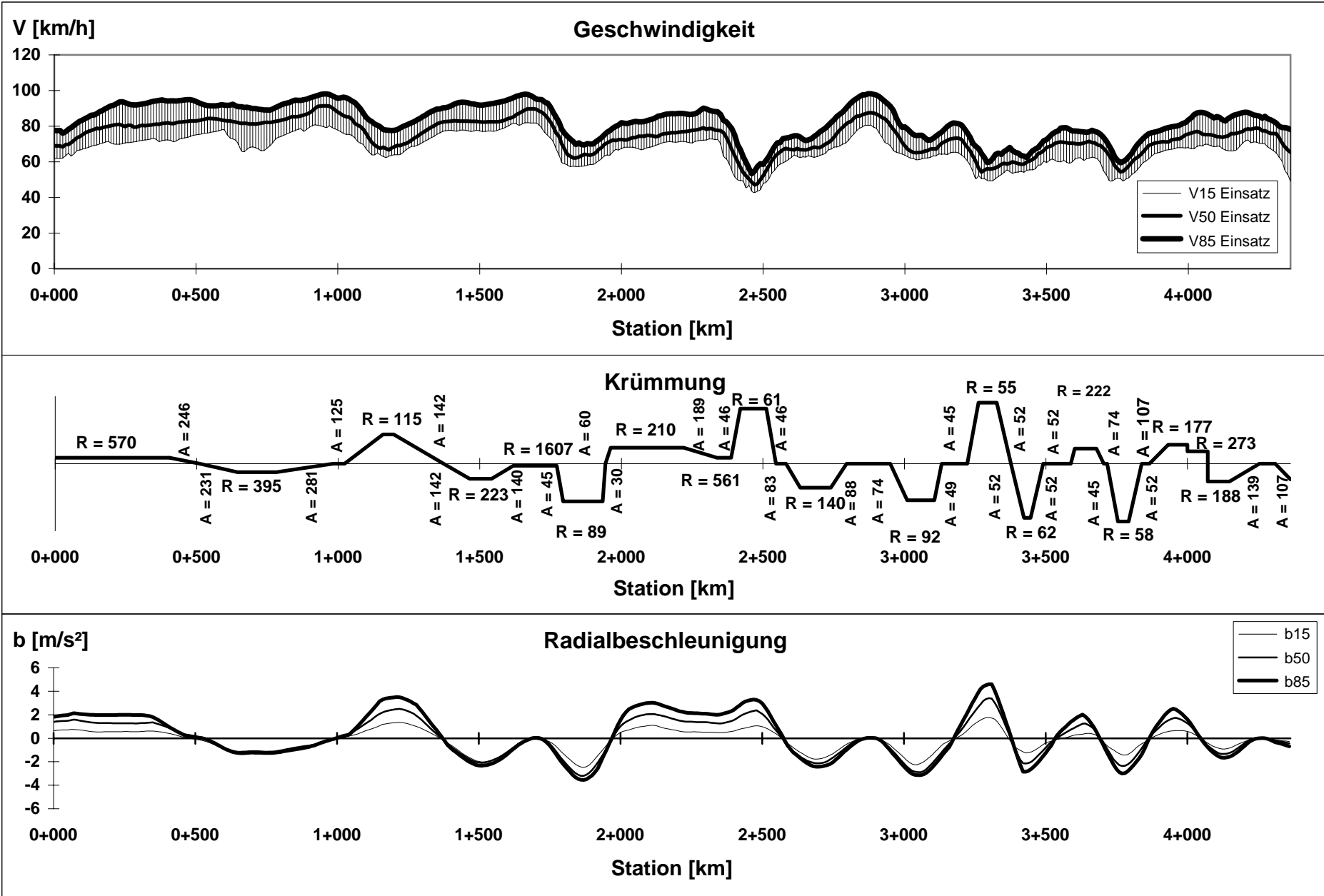


Anh. 1.4: Geschwindigkeits- und Radialbeschleunigungsprofile S 194 (Hartha - Grillenburg)

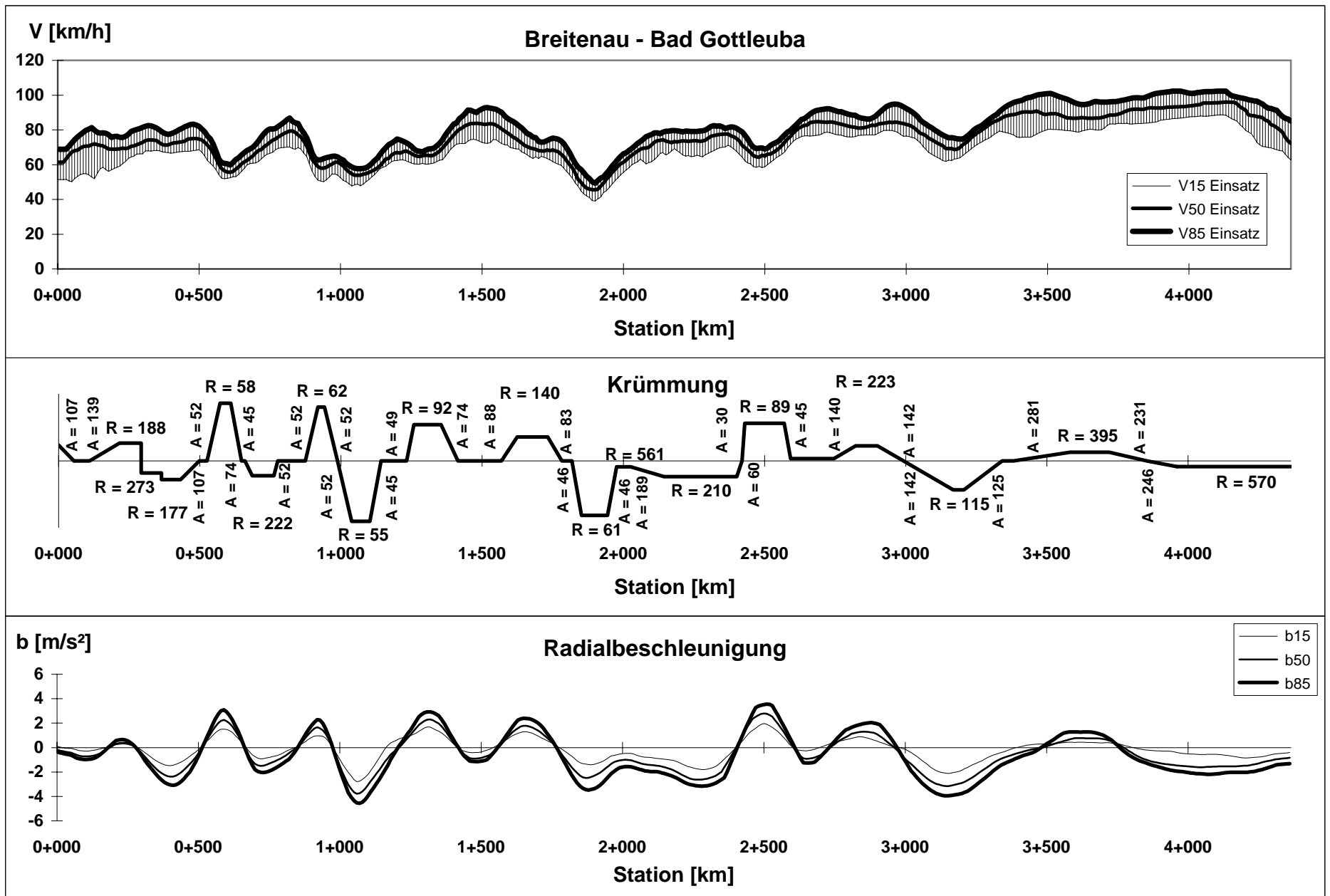




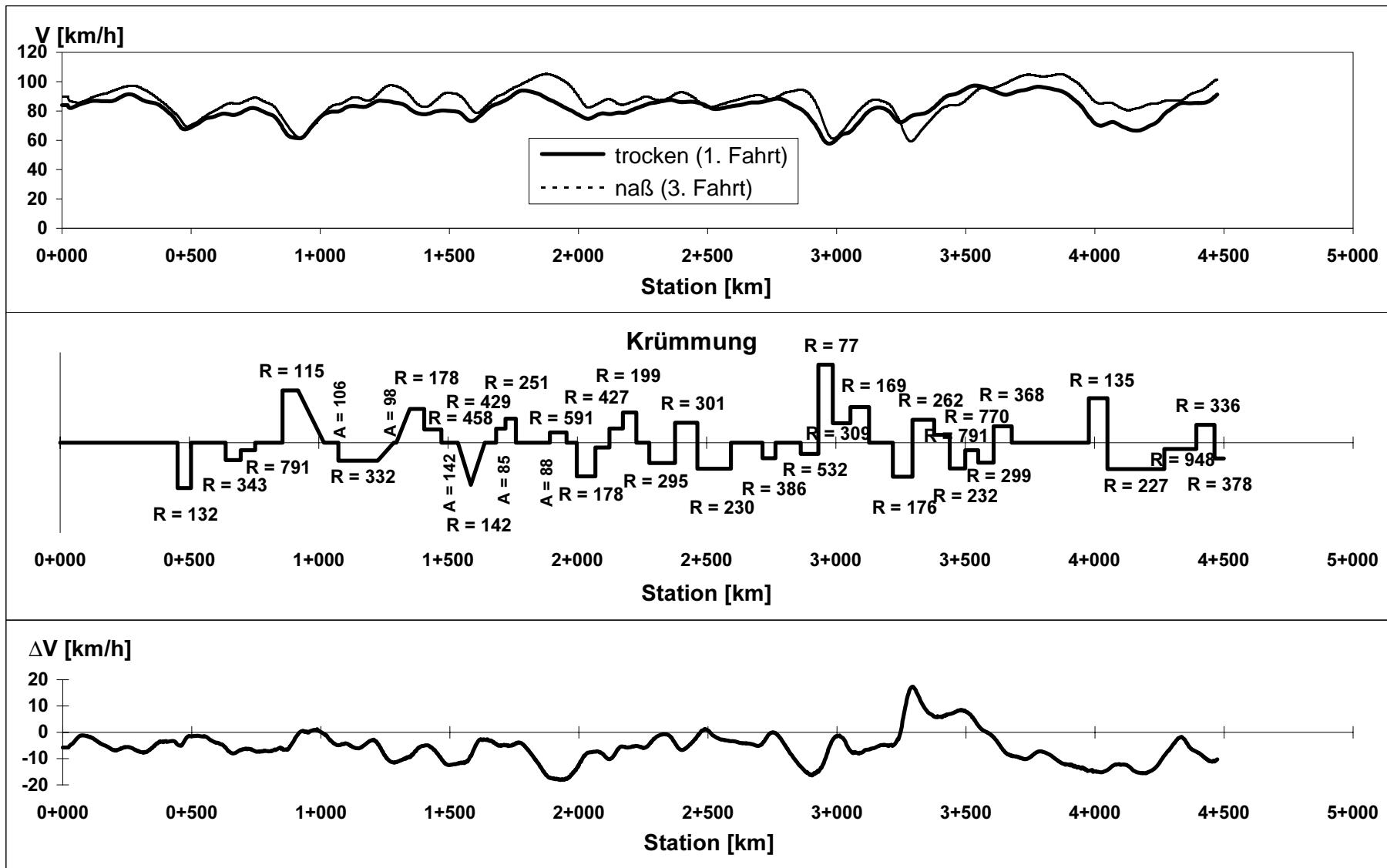


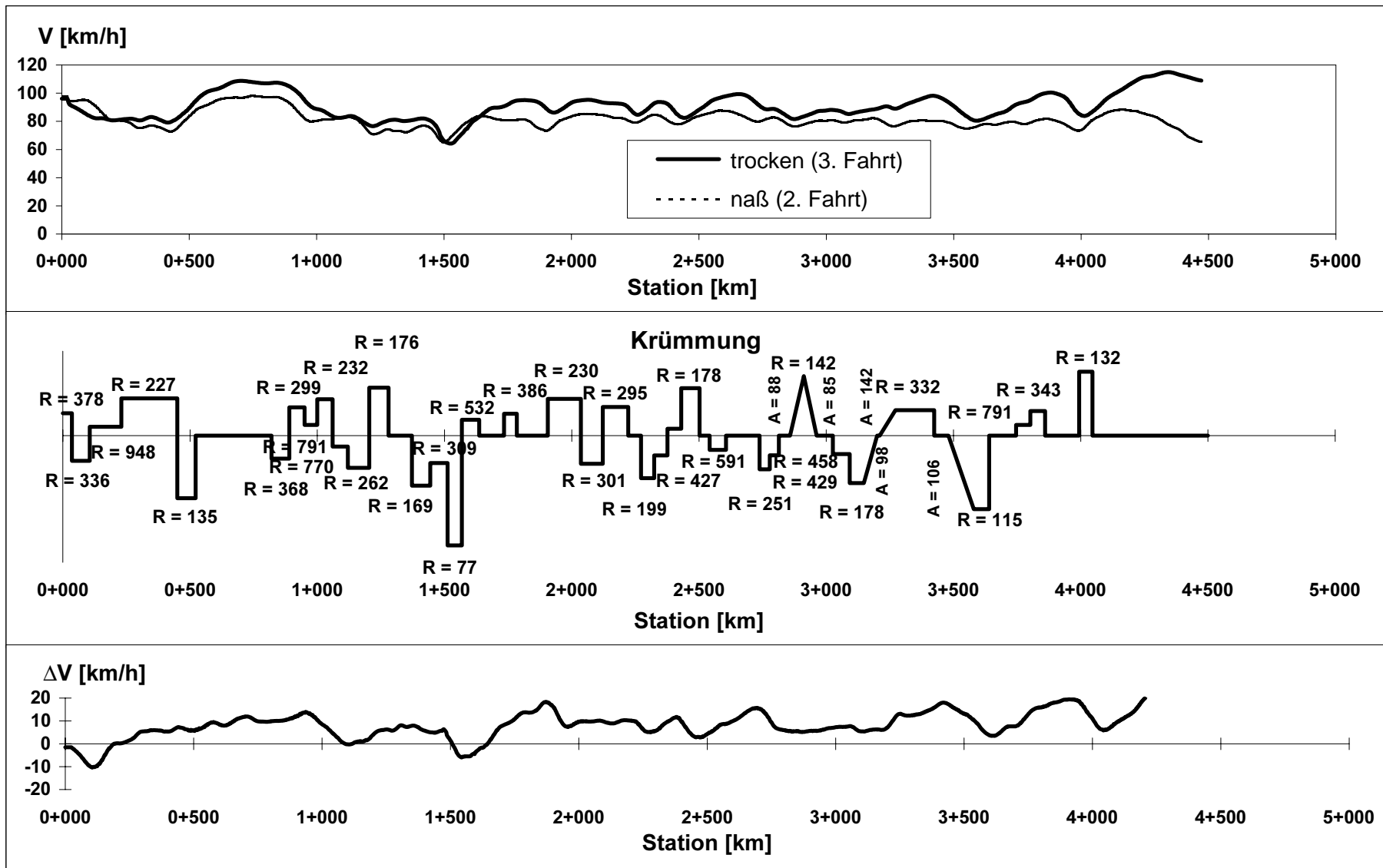


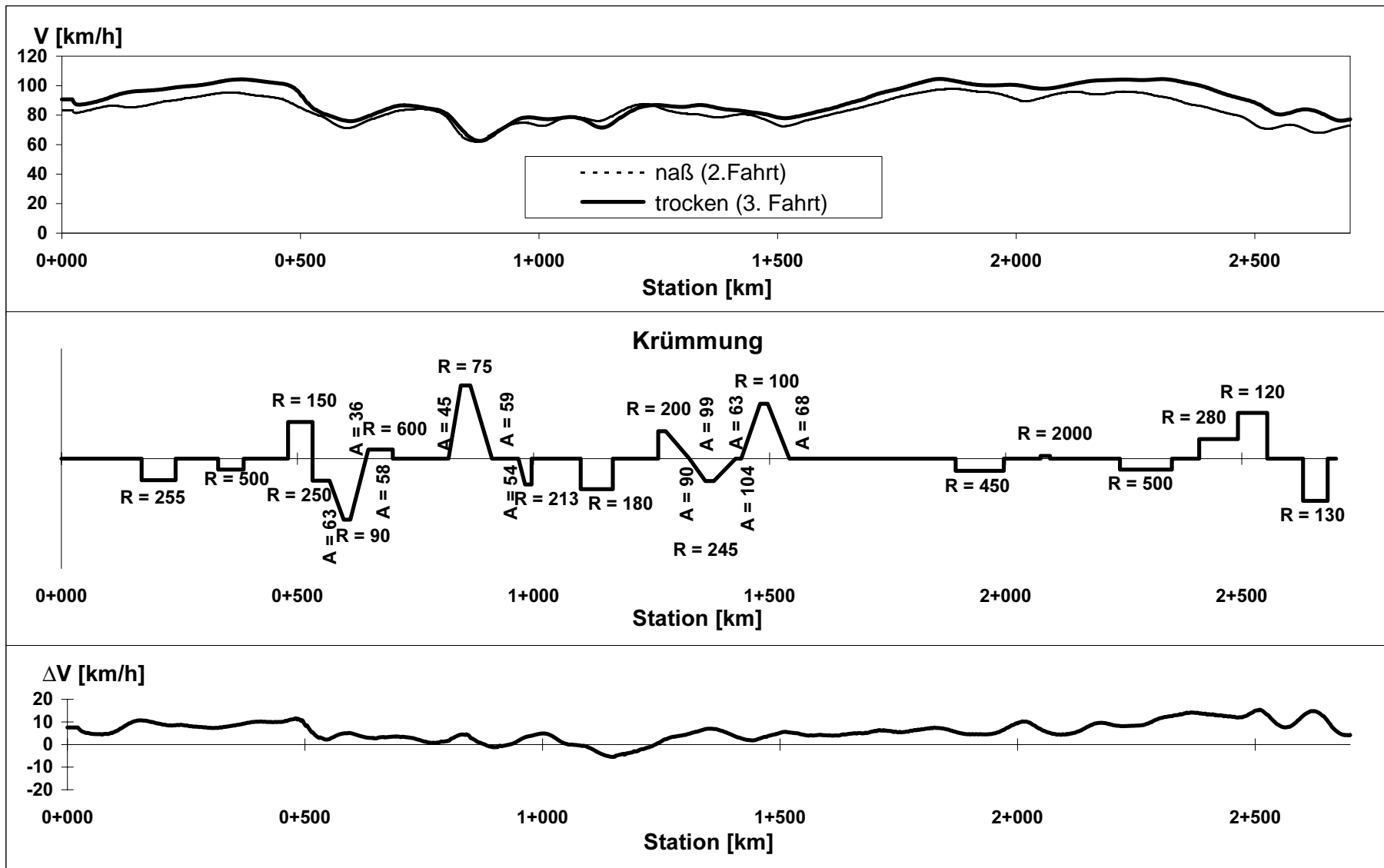
Anh. 1.4: Geschwindigkeits- und Radialbeschleunigungsprofile S 174 (Bad Gottleuba - Breitenau)

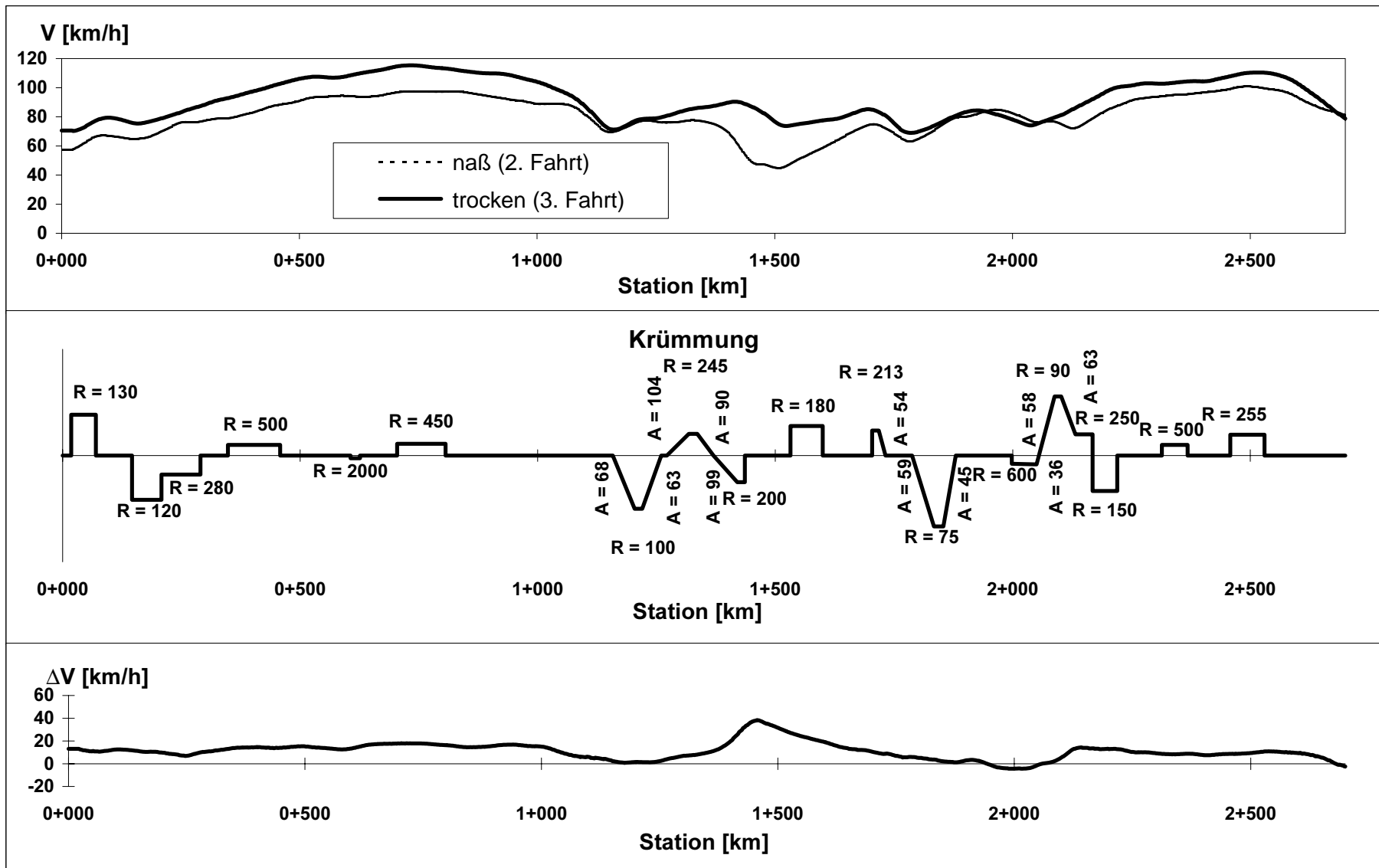


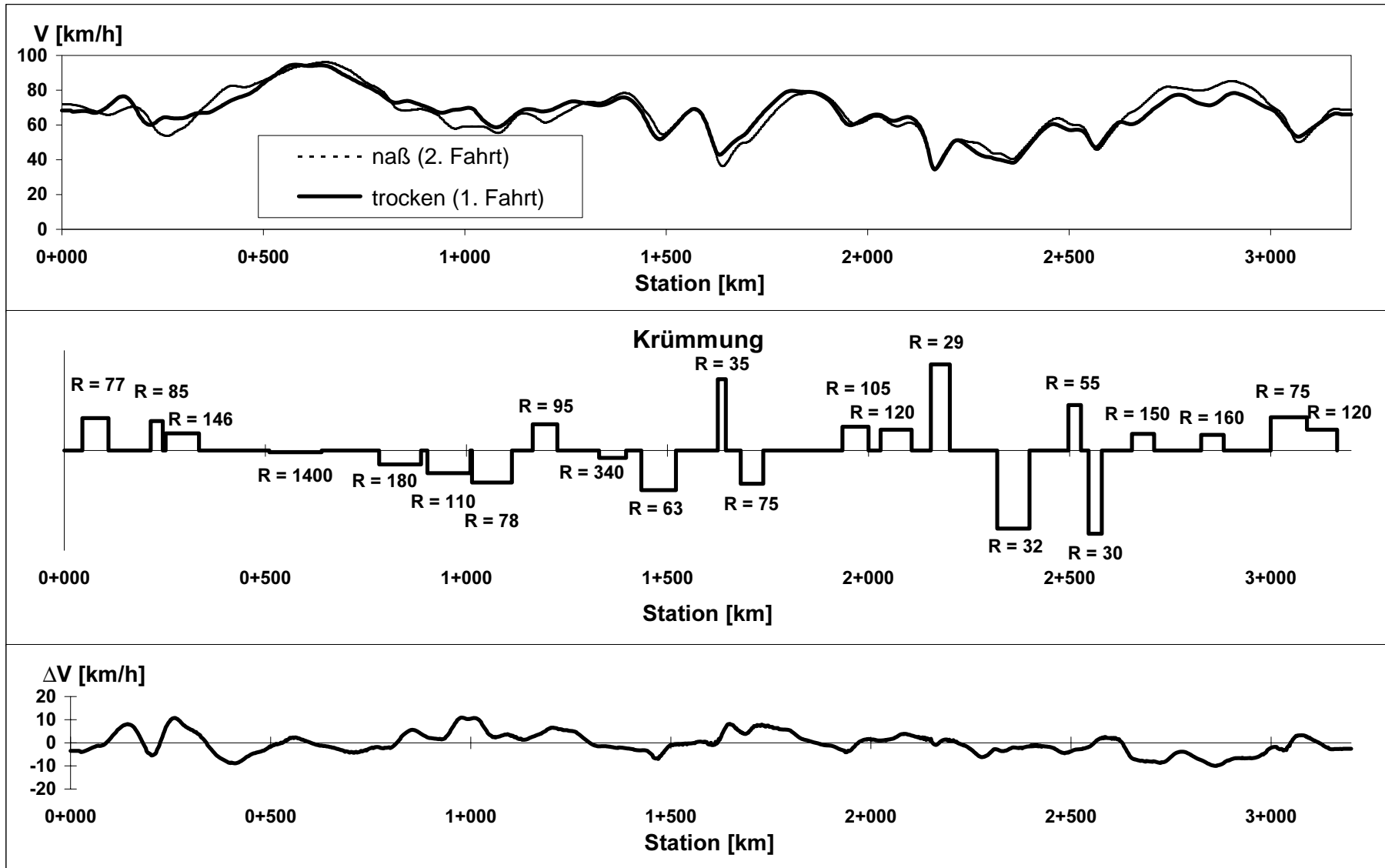
Anh. 1.4: Geschwindigkeits- und Radialbeschleunigungsprofile S 174 (Bad Gottleuba - Breitenau)







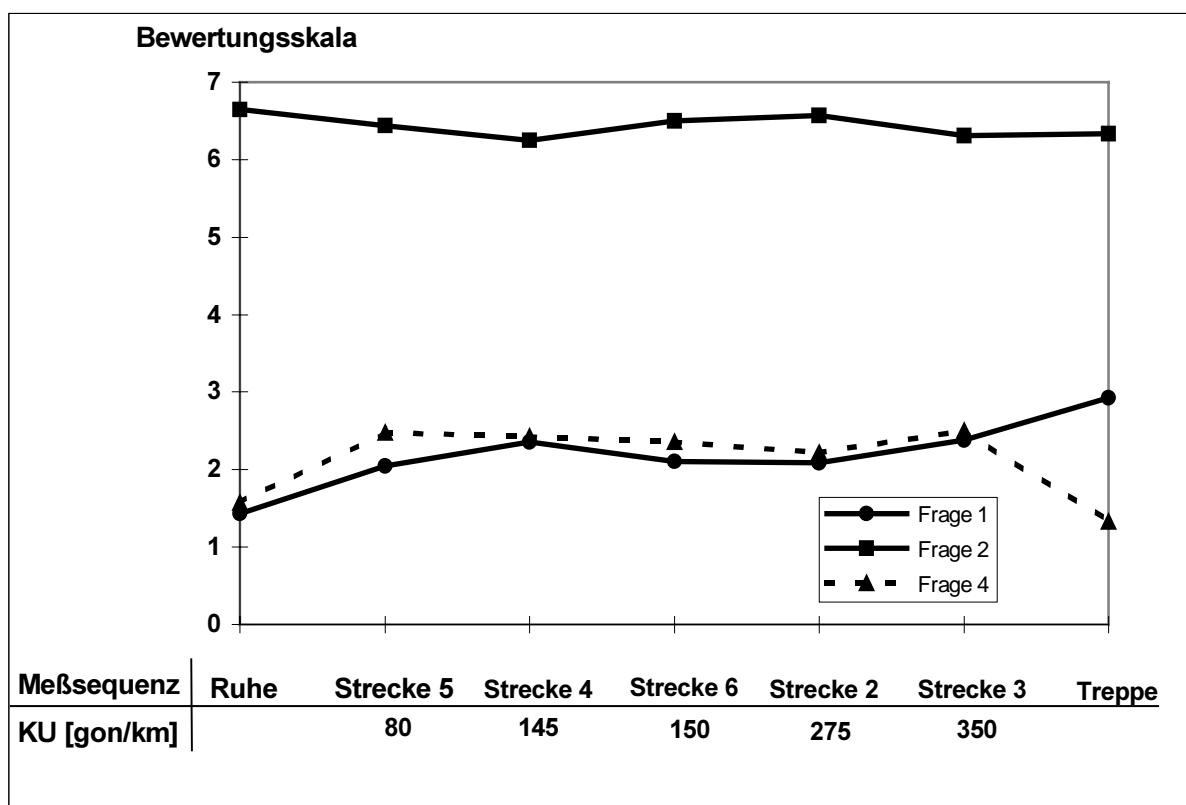




## Befindlichkeitsfragebogen

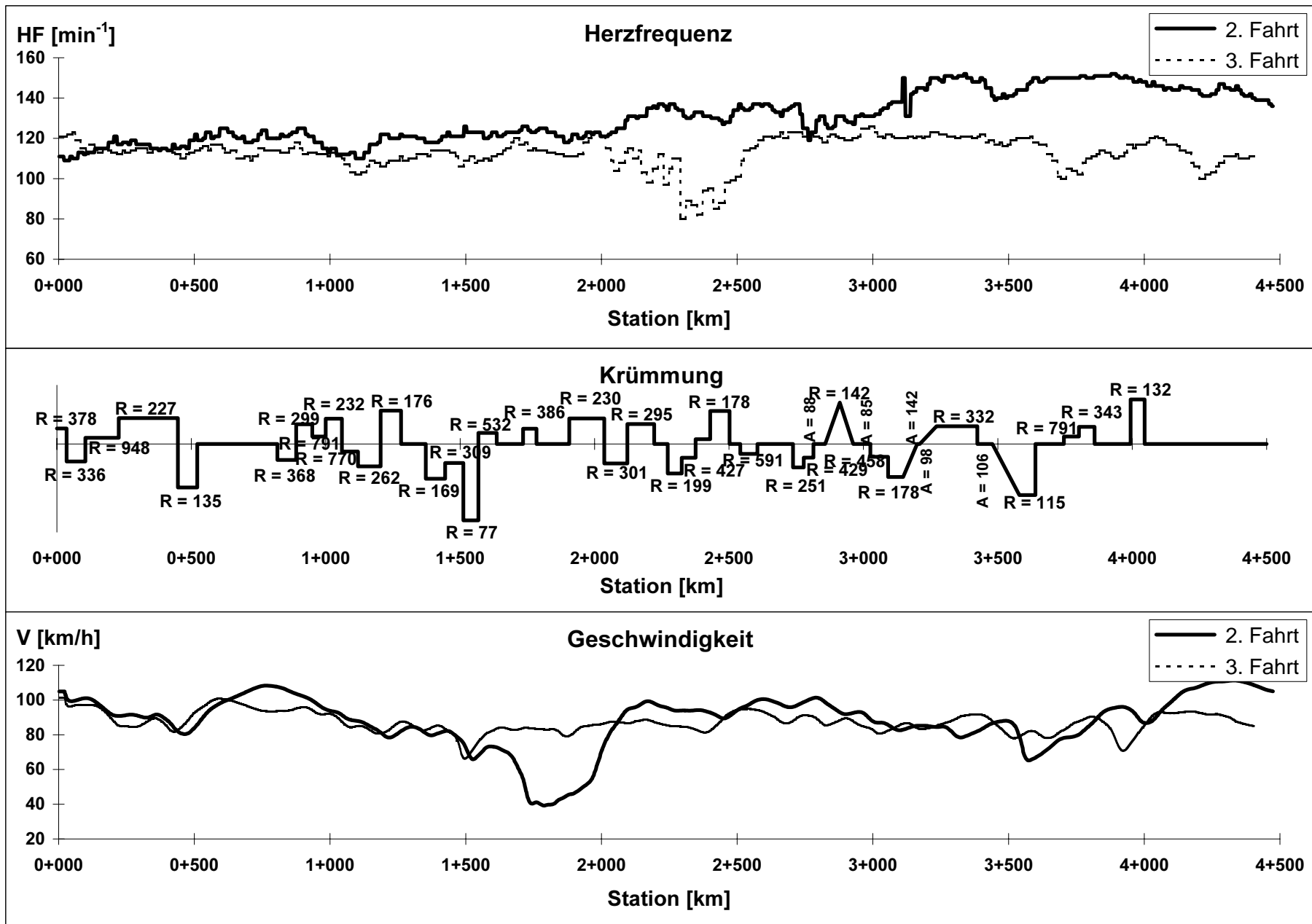
Bitte schätzen Sie Ihr Befinden während der letzten 5 Minuten ein, indem Sie eine Zahl auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht) bis 7 (sehr stark) nennen!

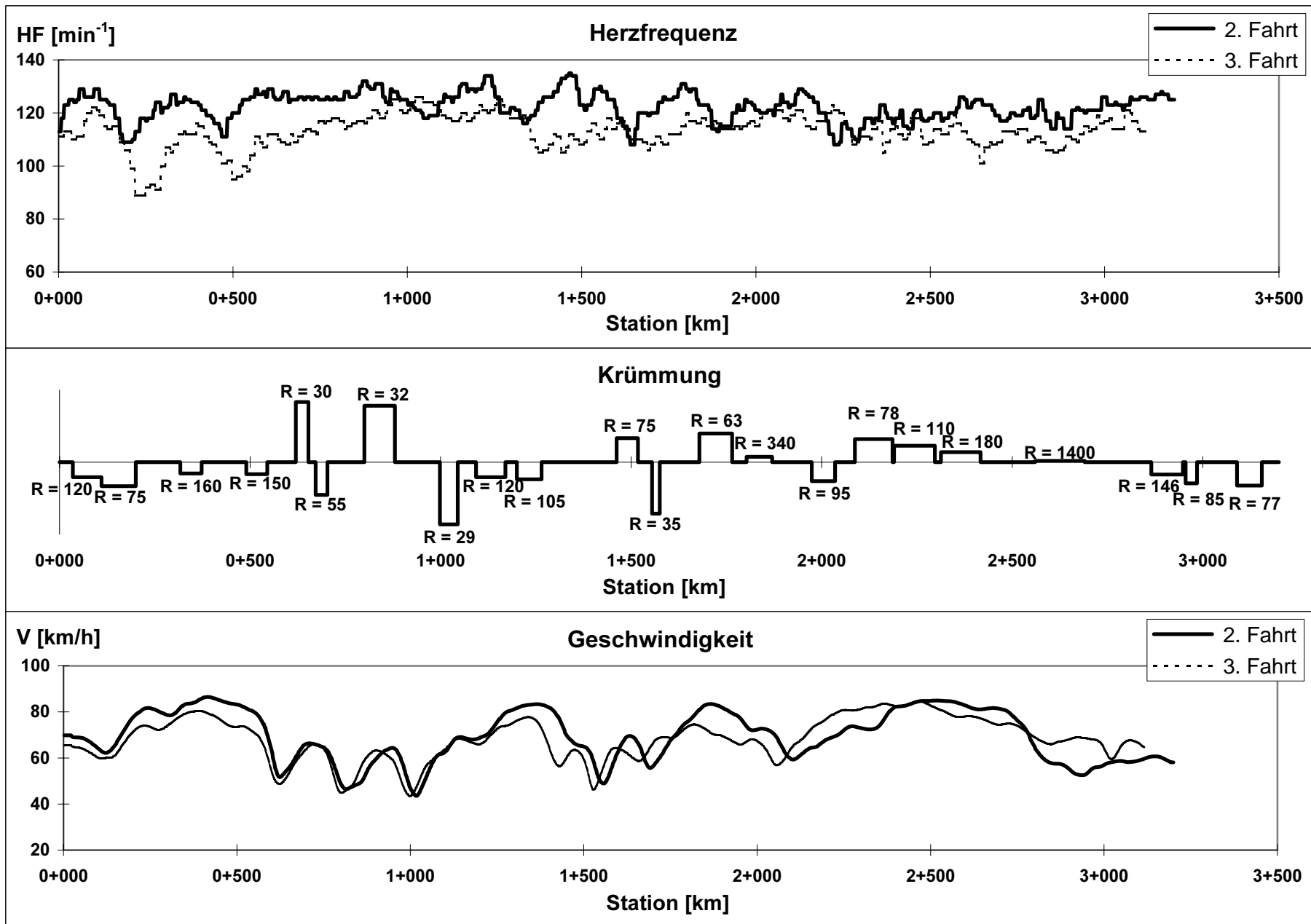
1. Ist die momentane Situation für Sie anstrengend, belastend?
2. Glauben Sie die momentane Situation im Griff zu haben?
3. Wie stark sind Sie an der Fortführung der Tätigkeit interessiert?
4. Wie stark fühlen Sie sich geistig angespannt?
5. Ist Ihre augenblickliche Stimmung eher vergnügt, locker?
6. Fühlen Sie sich momentan eher aufgeregt, nervös?
7. Ist Ihre augenblickliche Stimmung eher ärgerlich, gereizt?
8. Halten Sie die momentane Tätigkeit für erfolgreich?

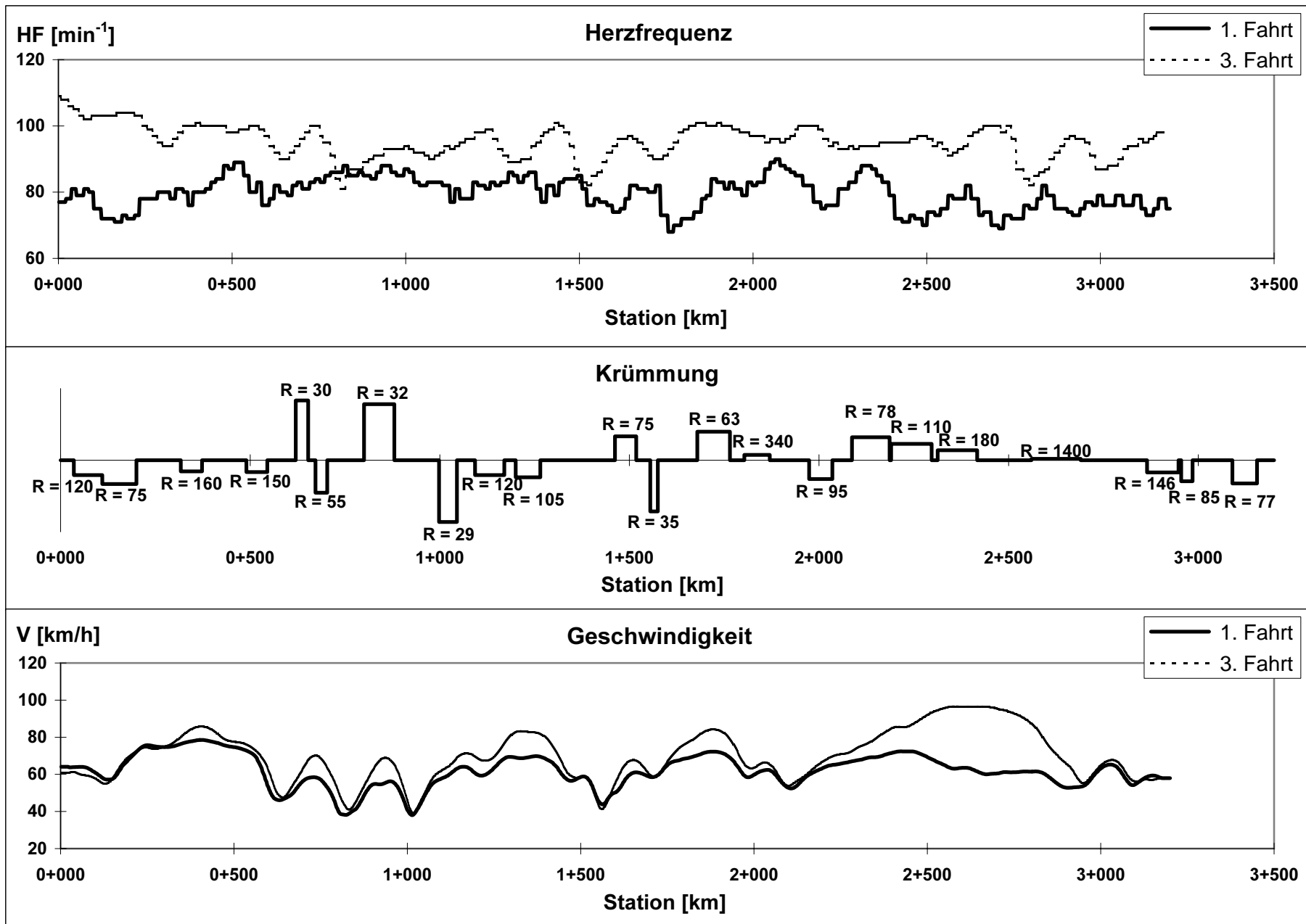


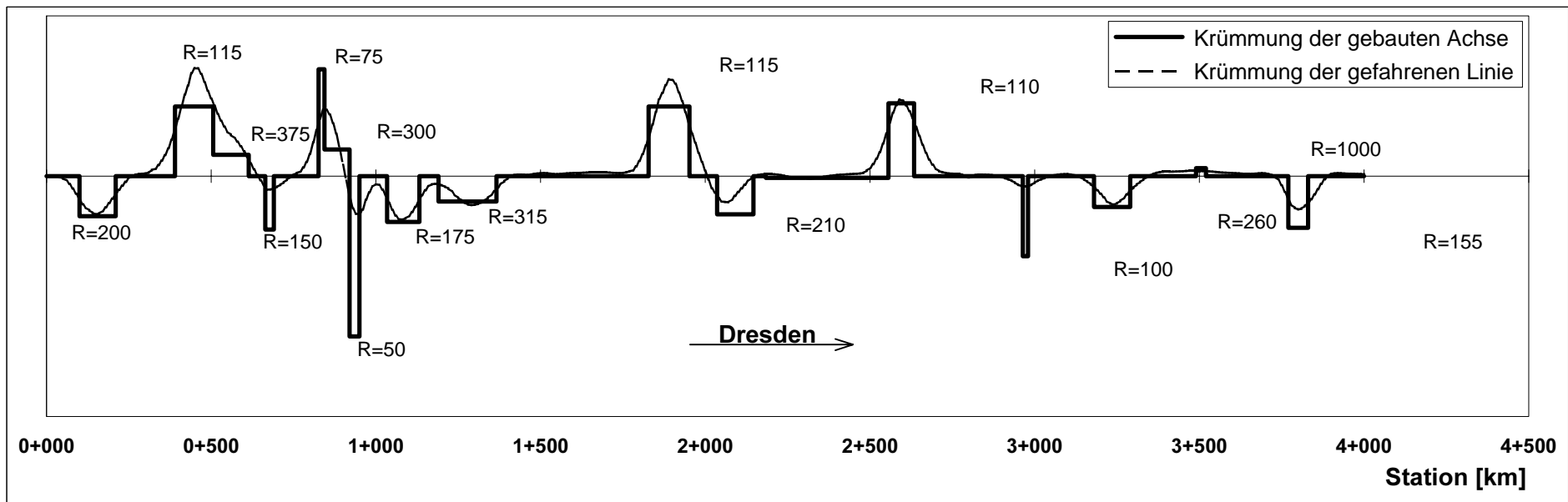
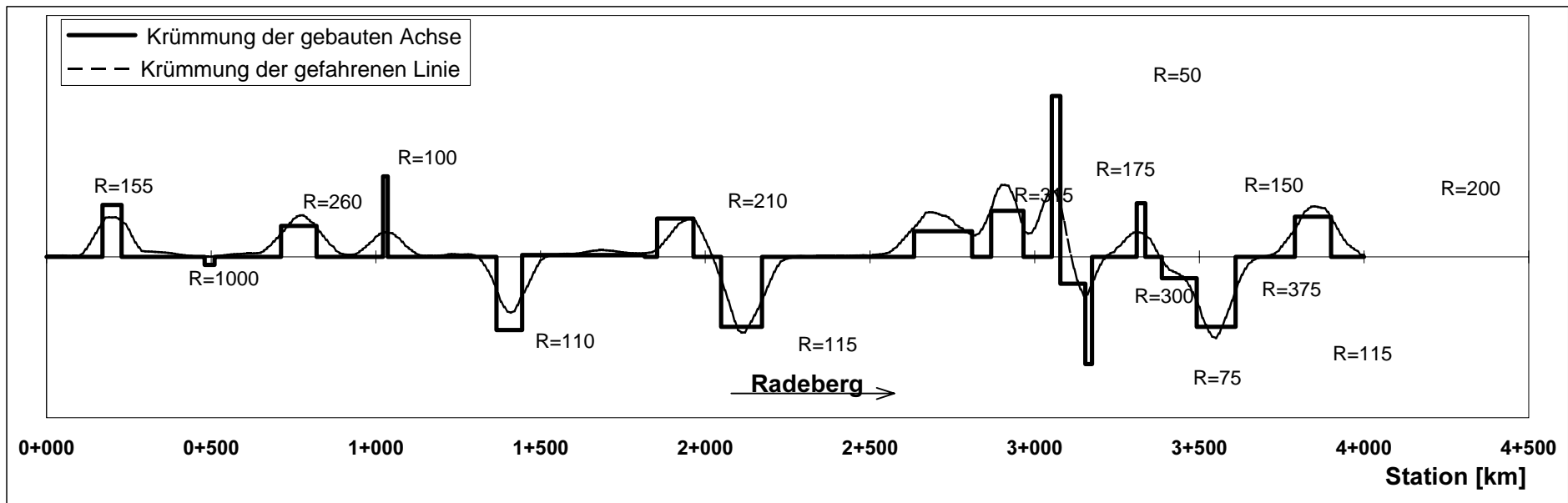
Anh. 1.6: Auswertung des Befindlichkeitsfragebogens





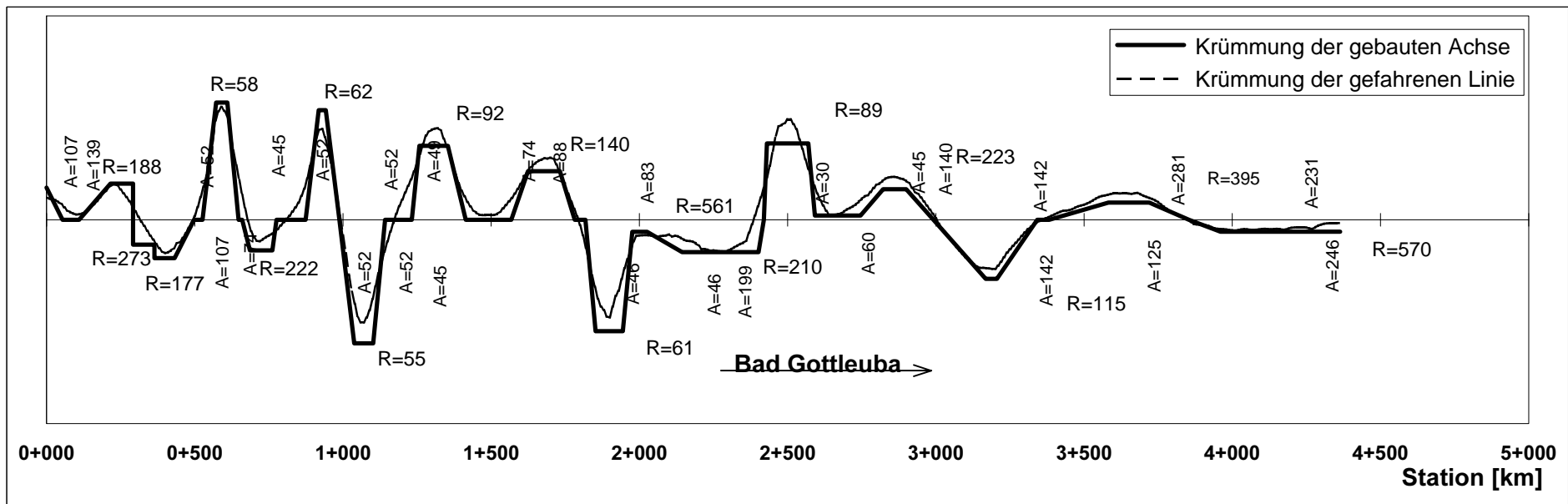
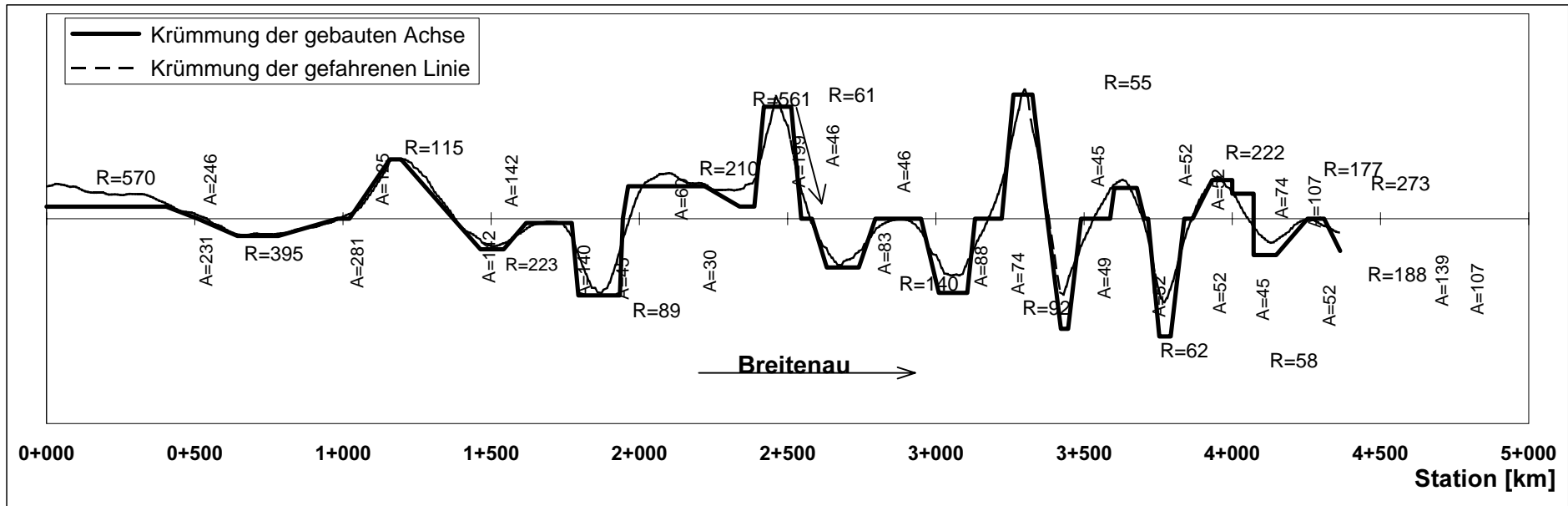






Anhang 2.1a:

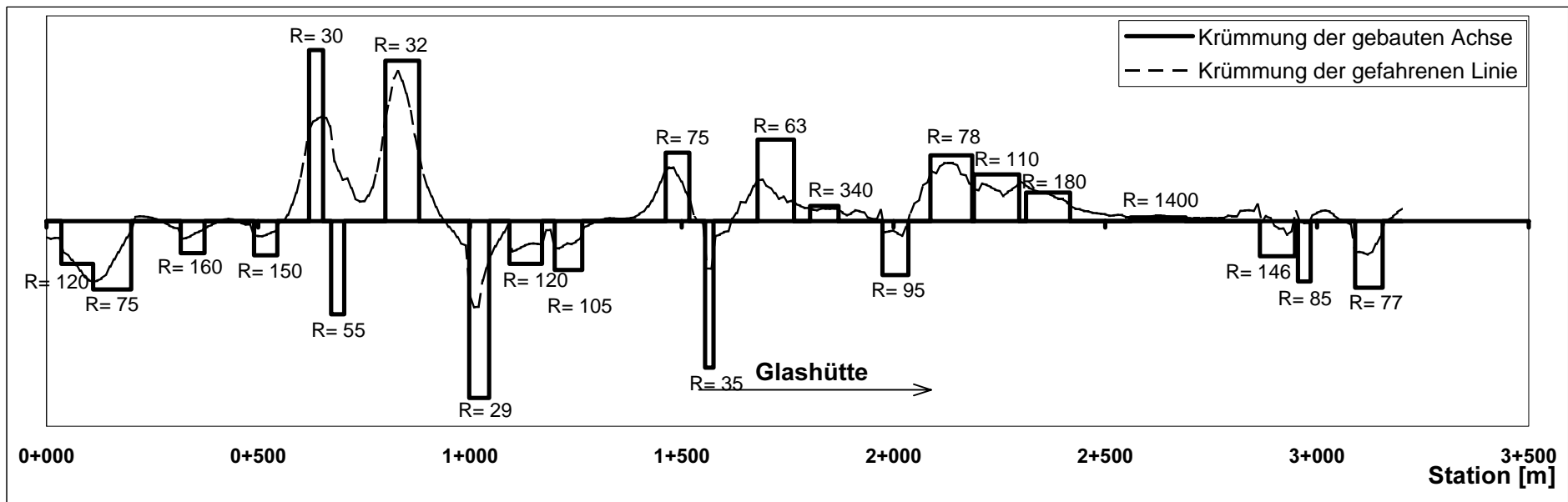
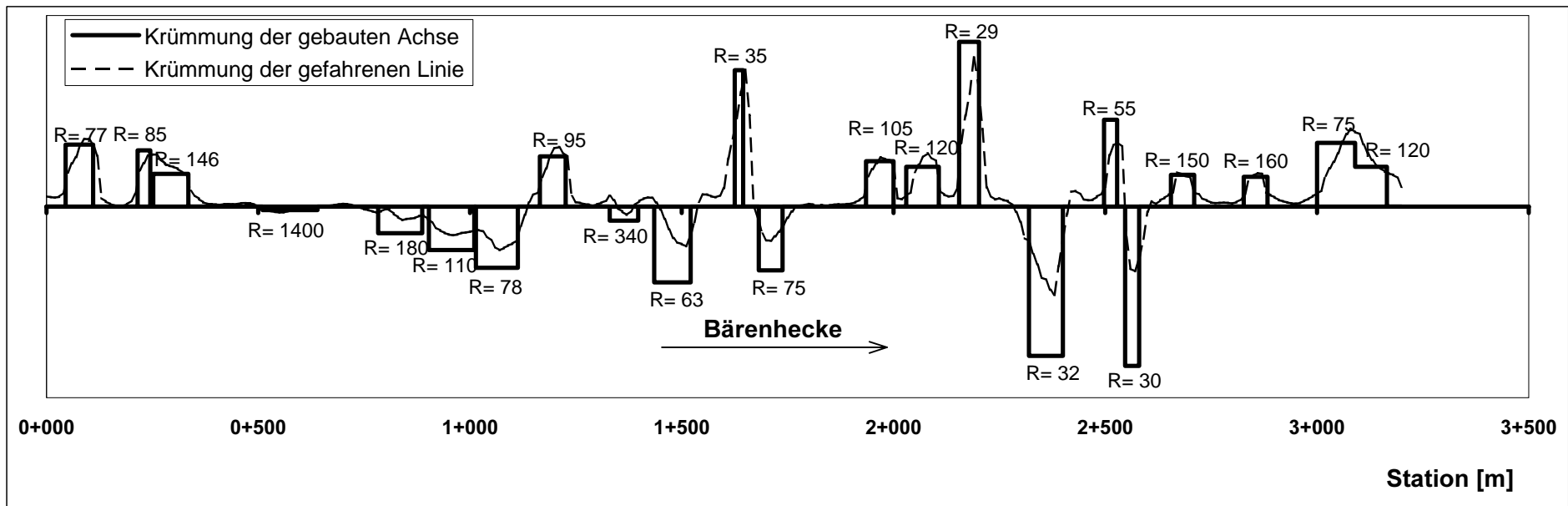
gebauter und gefahrener Krümmungslinien



Anhang 2.1b:

gebaute und gefahrene Krümmungslinien

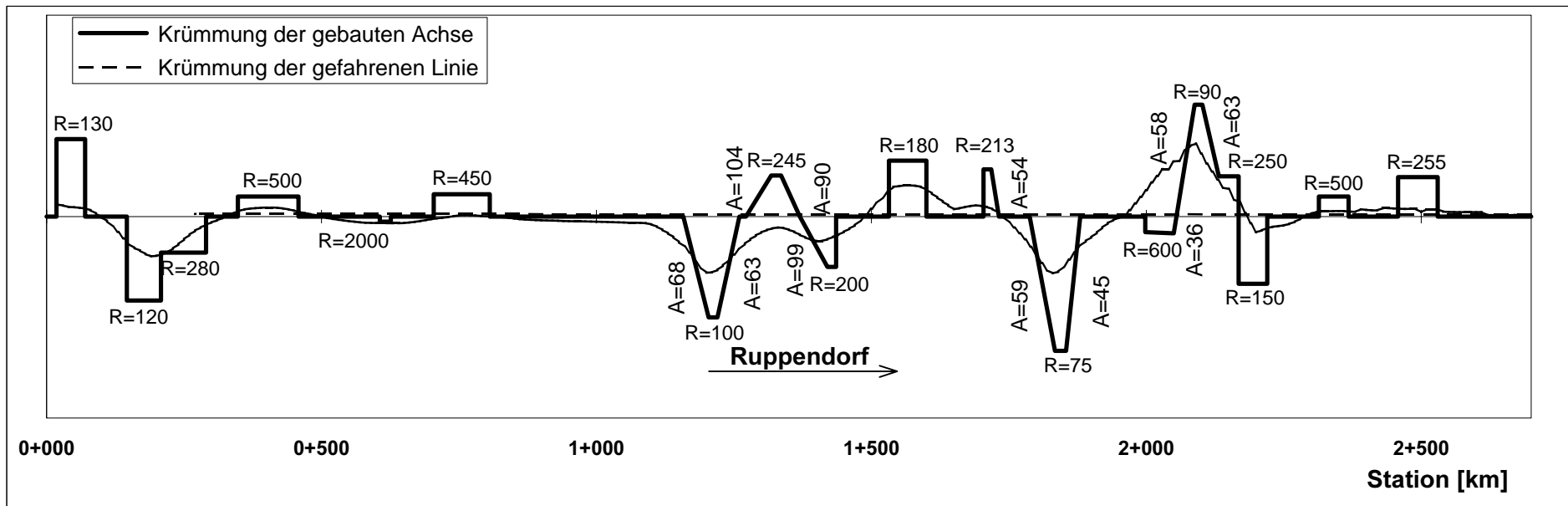
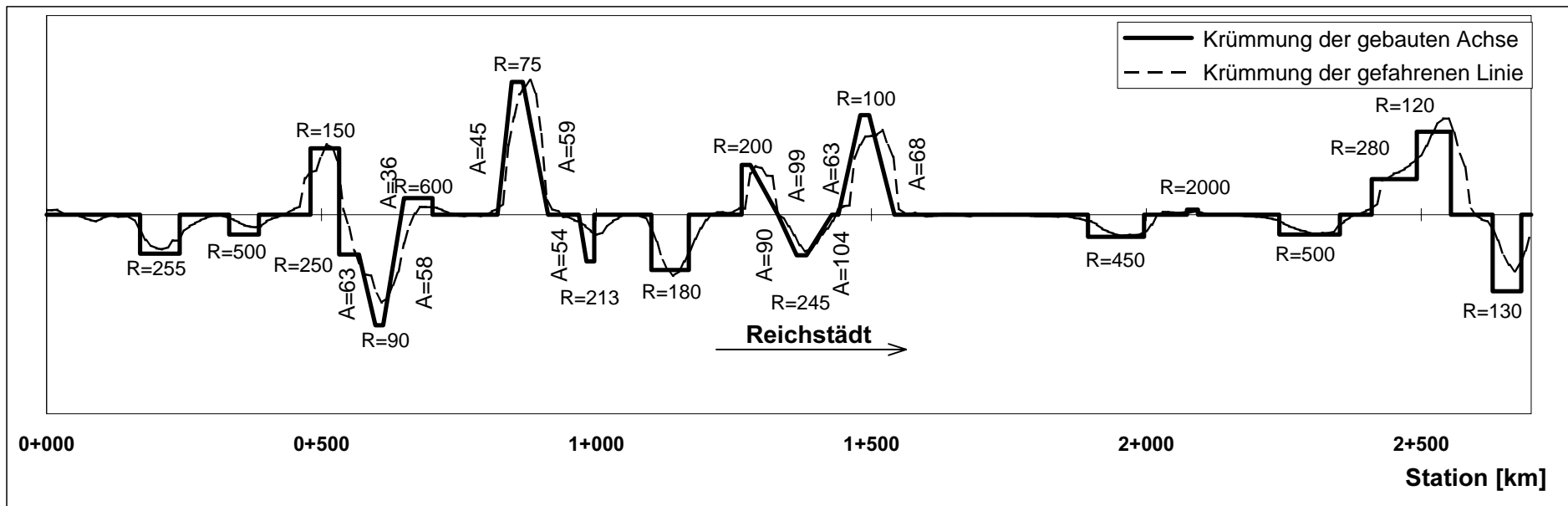
S 174 Bad Gottleuba - Breitenau



Anhang 2.1c:

gebauete und gefahrene Krümmungslinien

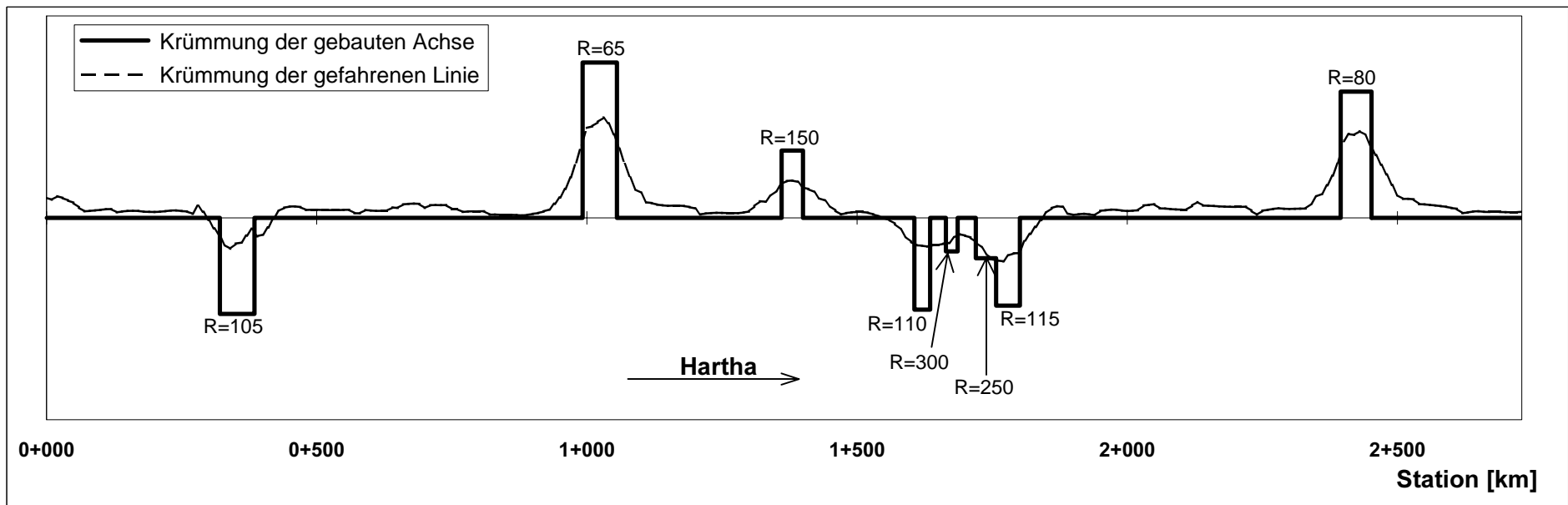
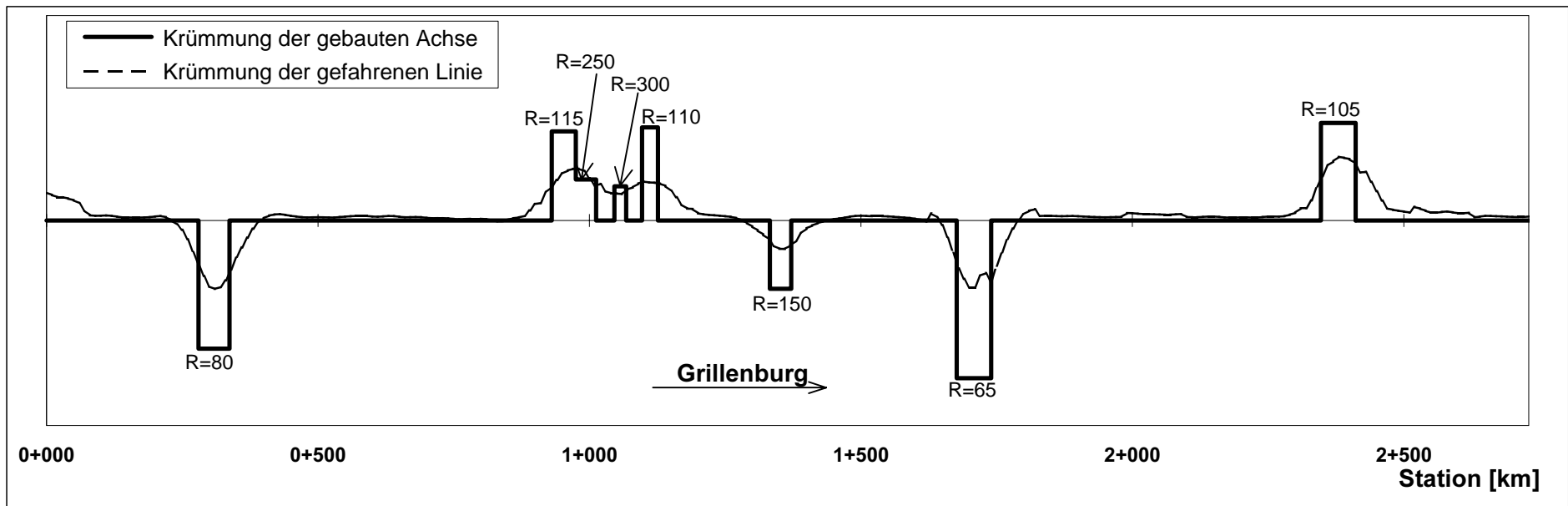
S 178 Glashütte - Bärenhecke



Anhang 2.1d:

gebaute und gefahrene Krümmungslinien

S 190 Ruppendorf - Reichstädt

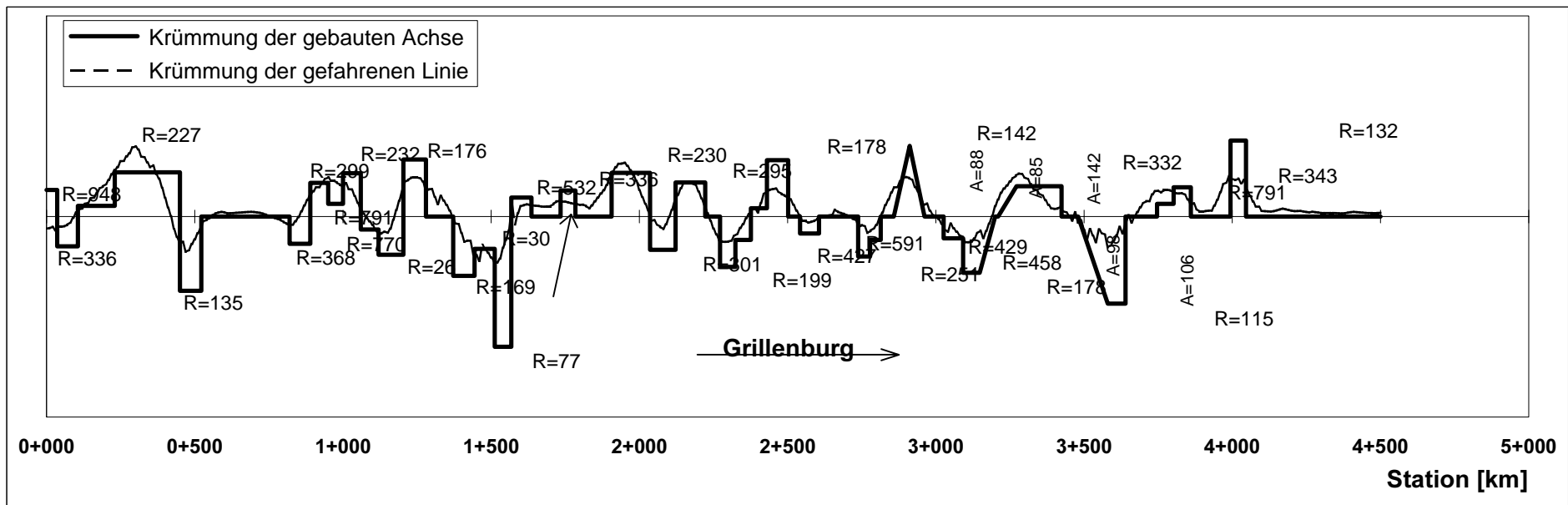
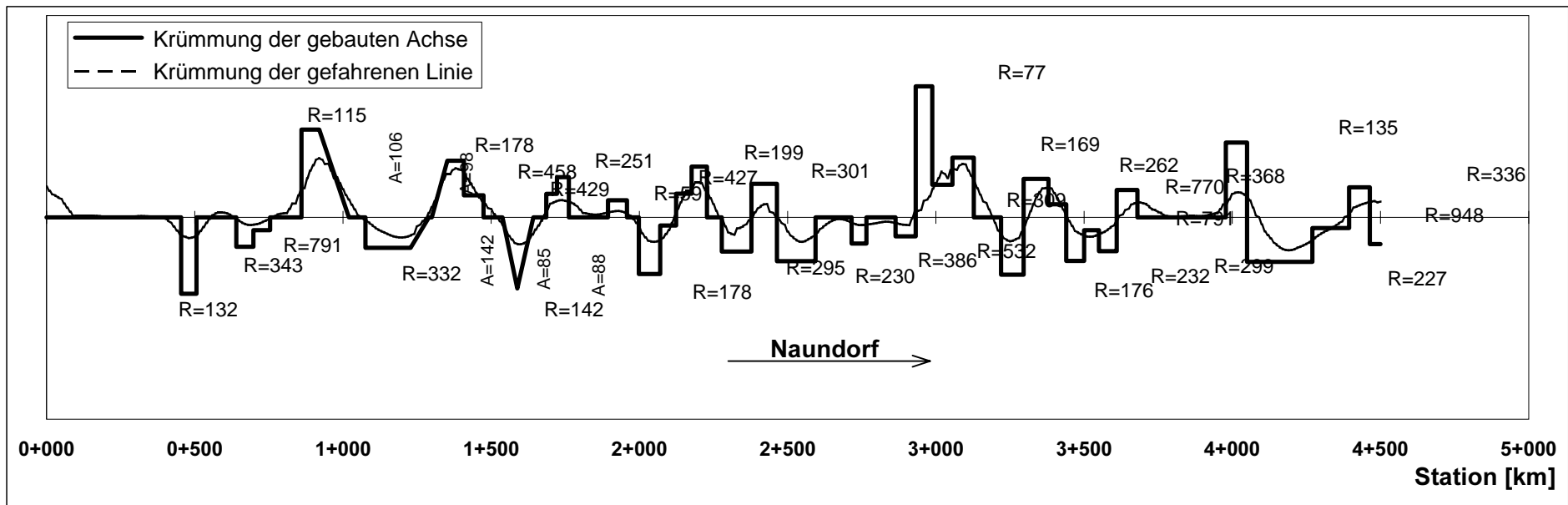


Anhang 2.1e:

gebauter und gefahrener Krümmungslinien

S 194 Hartha - Grillenburg

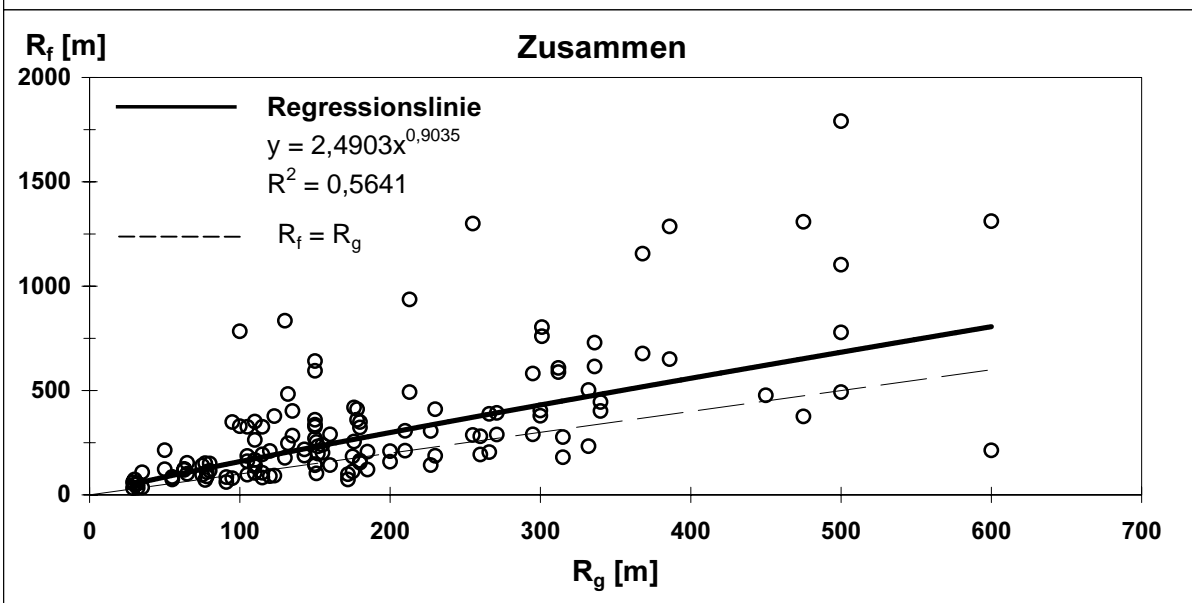
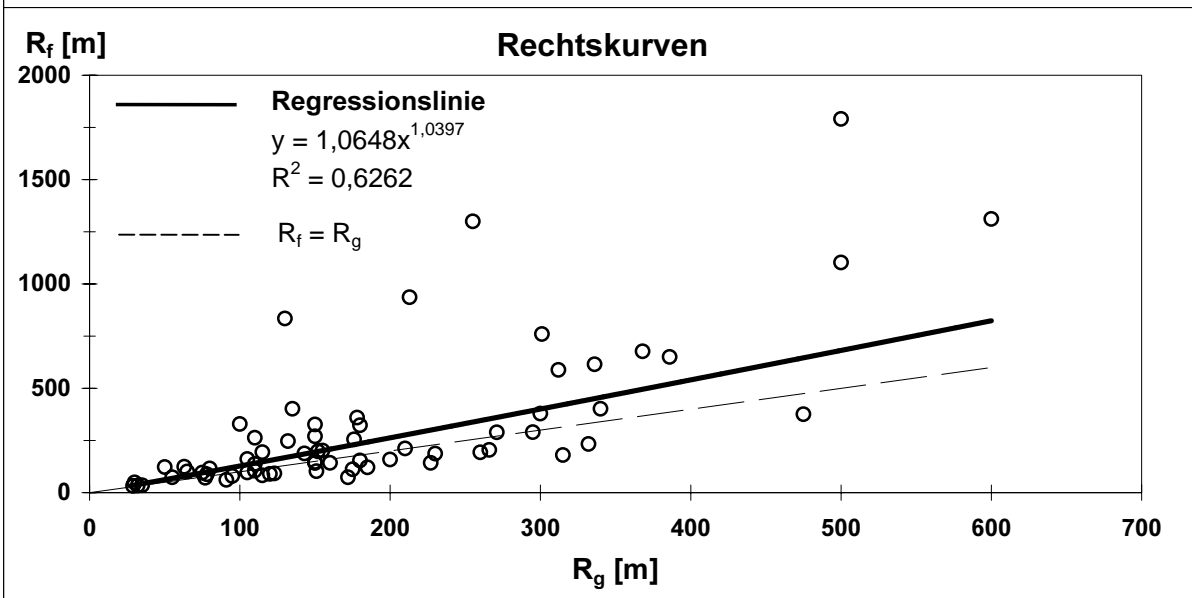
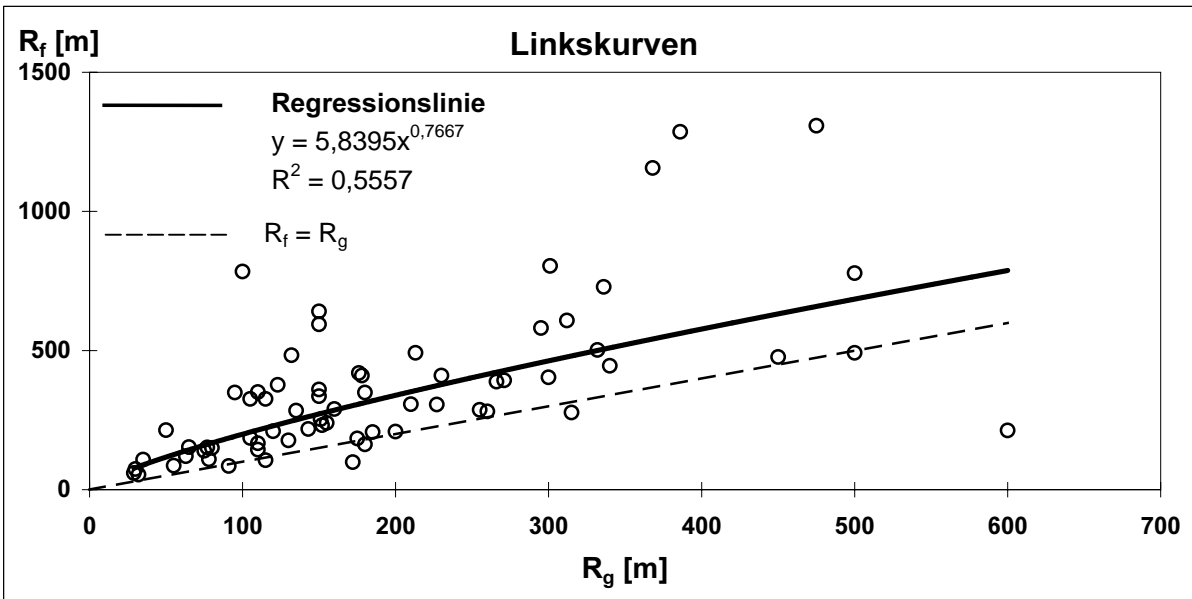


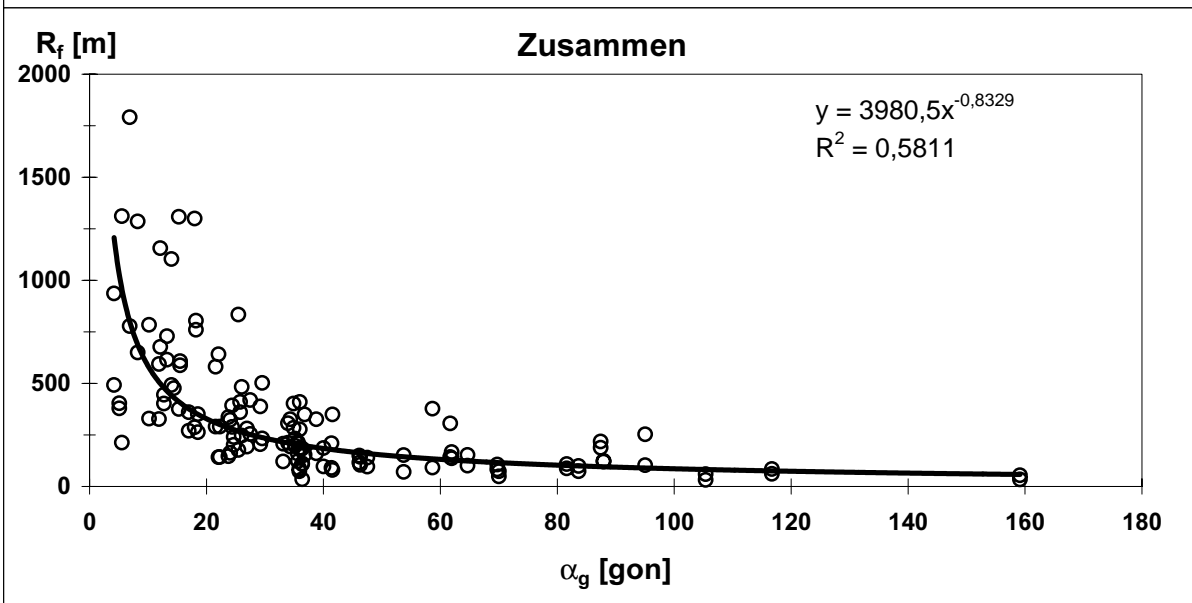
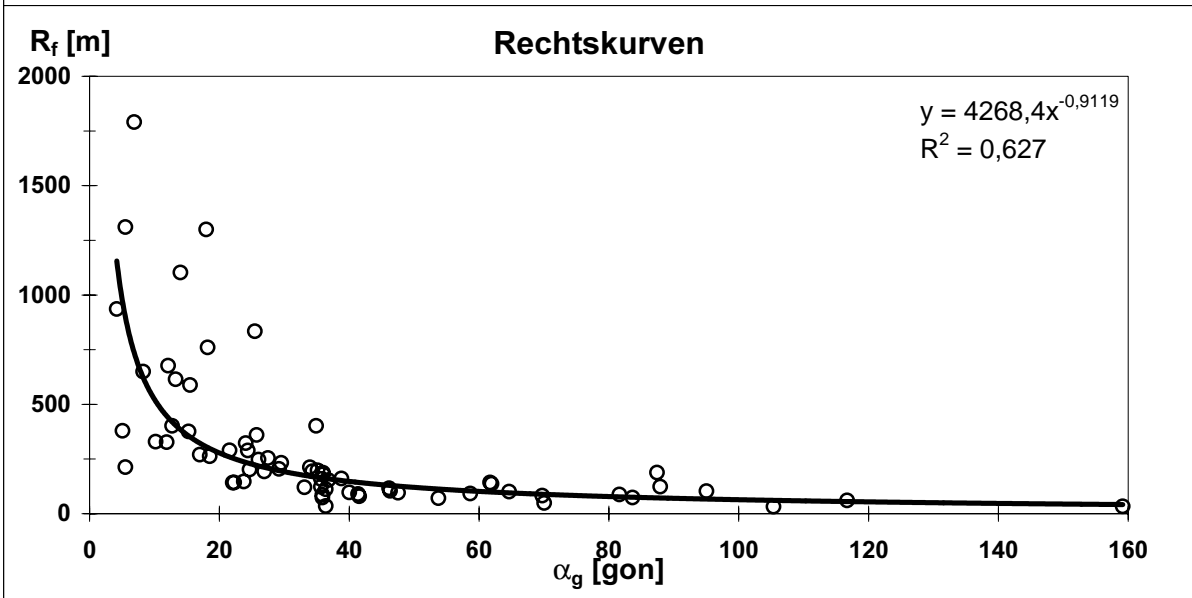
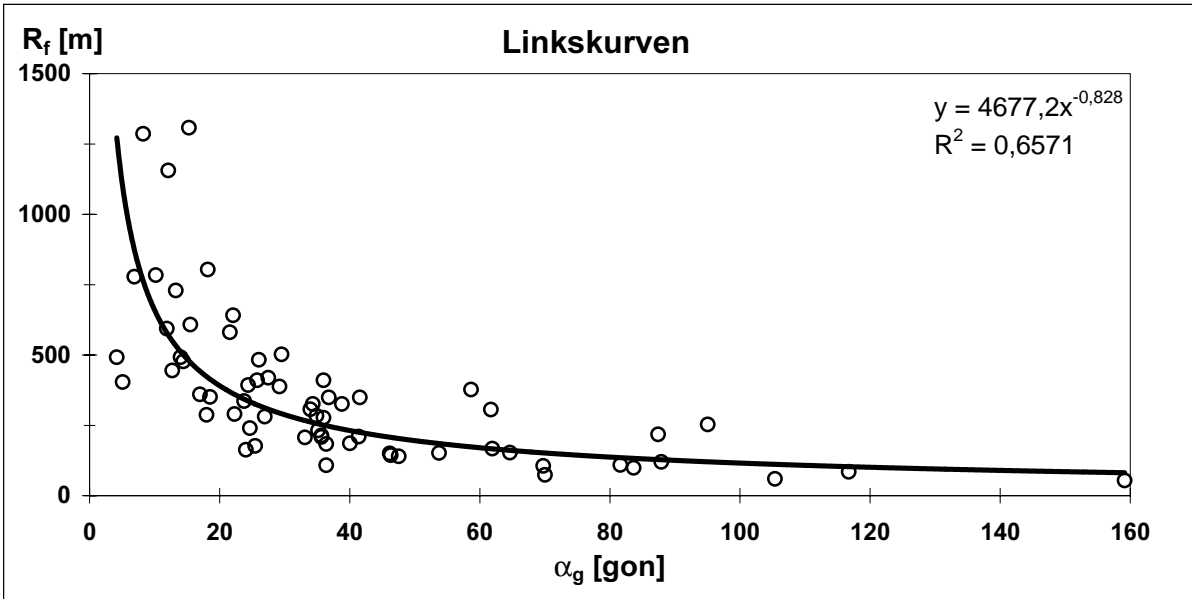


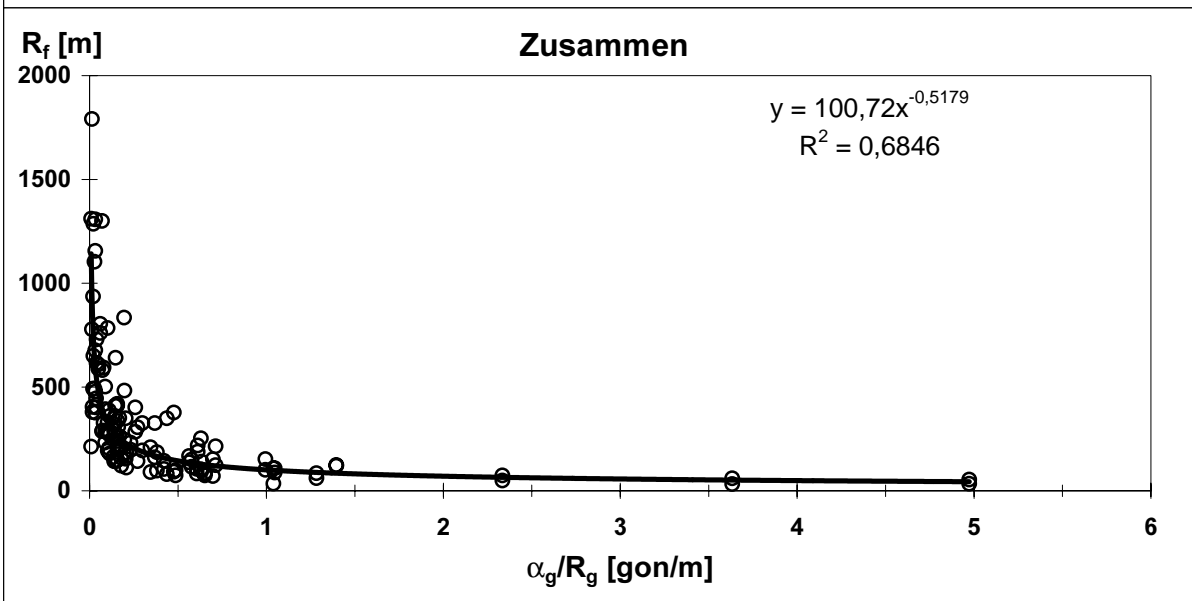
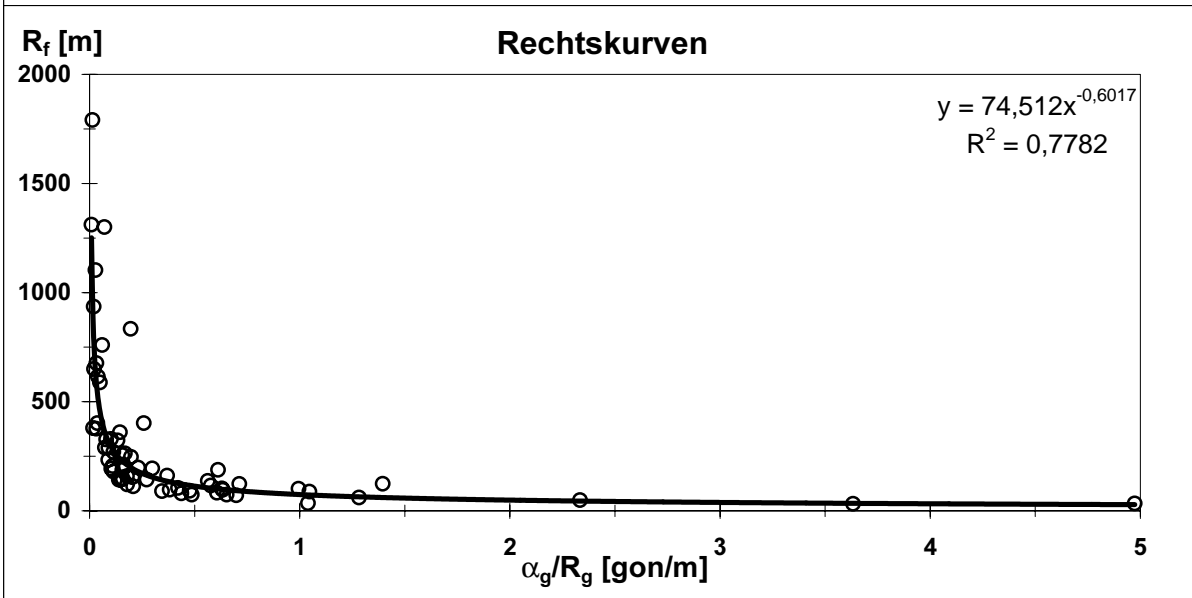
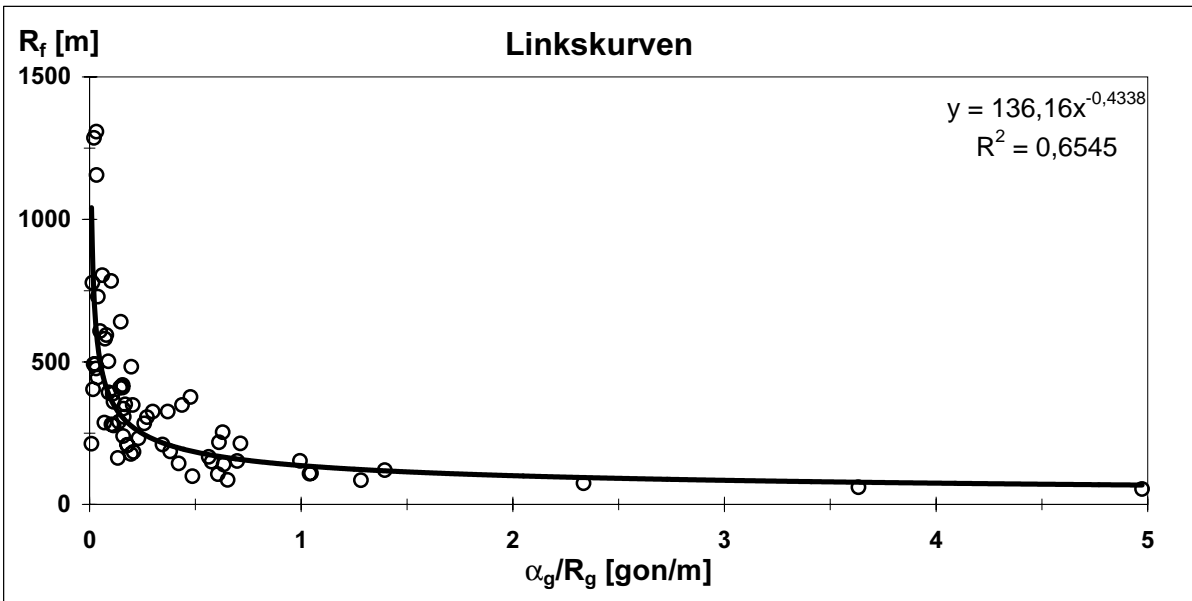
Anhang 2.1f:

gebauter und gefahrener Krümmungslinien

S 194 Grillenburg - Naundorf







Kurve Nr.	K <sub>E</sub> [gon/km]	Stationierungsrichtung			Gegenrichtung			Maßgebende Wertung
		K <sub>G</sub> [gon/km]	ΔKU [gon/km]	Wertung	K <sub>G</sub> [gon/km]	ΔKU [gon/km]	Wertung	
1	826,76	-	-	-	160,65	666,11	0	0
2	488,84	219,34	269,50	66	13,43	475,41	7	7
3	45,47	134,80	-89,33	100	220,86	-175,39	100	100
4	543,97	14,49	529,48	0	231,16	312,81	53	0
5	670,13	430,48	239,65	74	206,12	464,01	10	10
6	187,24	299,50	-	100	457,94	-270,70	100	100
7	1010,5	185,28	825,23	0	239,15	771,36	0	0
8	1818,9	292,59	1526,3	0	233,24	1585,67	0	0
9	848,83	384,00	464,83	10	157,46	691,37	0	0
10	606,30	181,31	424,99	21	544,31	61,99	100	21
11	530,52	236,73	293,79	59	698,35	-167,83	100	59
12	2195,2	255,51	1939,7	0	601,22	1594,02	0	0
13	1989,4	455,46	1533,9	0	357,34	1632,10	0	0
14	1157,4	652,92	504,57	0	389,19	768,30	0	0
15	2122,0	669,79	1452,2	0	119,42	2002,65	0	0
16	424,41	604,94	-	100	147,25	277,16	64	64
17	397,89	266,63	131,26	100	324,53	73,36	100	100
18	704,14	102,50	601,64	0	-	-	-	0
<b>Gesamtwertung der Strecke</b>				<b>35</b>			<b>37</b>	<b>26</b>

**Tab. A1.1:** Wertung der Stetigkeit im Lageplan für die Untersuchungsstrecke 3 (S 178)

Kurve Nr.	Stationierungsrichtung				Gegenrichtung			Maßgebende Wertung
	K <sub>E</sub> [gon/km]	K <sub>G</sub> [gon/km]	ΔKU [gon/km]	Wertung	K <sub>G</sub> [gon/km]	ΔKU [gon/km]	Wertung	
1	249,65	0	249,65	72	93,28	156,37	98	72
2	127,32	61,56	65,76	100	211,56	-84,24	100	100
3	424,41	53,32	371,09	37	347,77	76,64	100	37
4	399,94	135,08	264,86	67	282,53	117,41	100	67
5	127,82	262,40	-	100	295,97	-	100	100
6	468,62	226,24	242,38	74	83,10	385,52	33	33
7	224,16	317,48	-93,32	100	102,90	121,26	100	100
8	353,68	188,21	165,47	96	128,30	225,38	78	78
9	197,74	101,71	96,03	100	108,71	89,03	100	100
10	153,79	120,37	33,42	100	54,87	98,92	100	100
11	368,24	134,09	234,15	76	9,03	359,21	40	40
12	141,47	21,16	120,31	100	25,94	115,53	100	100
13	31,83	43,86	-12,03	100	55,01	-23,18	100	100
14	127,32	23,97	103,35	100	211,41	-84,09	100	100
15	357,89	44,83	313,06	53	-	-	-	-
16	489,71	171,92	317,79	52	-	-	-	-
<b>Gesamtwertung der Strecke</b>				<b>83</b>			<b>89</b>	<b>80</b>

**Tab. A1.2:** Wertung der Stetigkeit im Lageplan für die Untersuchungsstrecke 4 (S 190)

Kurve Nr.	K <sub>E</sub> [gon/km]	Stationierungsrichtung			Gegenrichtung			Maßgebende Wertung
		K <sub>G</sub> [gon/km]	ΔKU [gon/km]	Wertung	K <sub>G</sub> [gon/km]	ΔKU [gon/km]	Wertung	
1	795,77	0	795,77	0	0	795,77	0	0
2	416,35	0	416,35	24	97,41	318,94	52	24
3	268,36	123,78	144,58	100	39,40	228,96	77	77
4	424,41	80,69	343,72	45	115,81	308,60	55	45
5	979,42	31,99	947,43	0	0	979,42	0	0
6	606,30	0	606,3	0	0	606,3	0	0
<b>Gesamtwertung der Strecke</b>				<b>28</b>			<b>31</b>	<b>24</b>

**Tab. A1.3:** Wertung der Stetigkeit im Lageplan für die Untersuchungsstrecke 5 (S 194)

Kurve Nr.	K <sub>E</sub> [gon/km]	Stationierungsrichtung			Gegenrichtung			Maßgebende Wertung
		K <sub>G</sub> [gon/km]	ΔKU [gon/km]	Wertung	K <sub>G</sub> [gon/km]	ΔKU [gon/km]	Wertung	
1	482,29	0	482,29	5	68,48	413,81	25	5
2	148,05	69,81	78,24	100	173,27	-25,22	100	100
3	378,89	68,79	310,10	54	127,42	251,47	71	54
4	164,57	182,34	-17,77	100	173,36	-8,79	100	100
5	218,25	166,97	51,28	100	112,13	106,12	100	100
6	224,16	150,10	74,06	100	72,43	151,73	100	100
7	193,77	146,66	47,11	100	61,98	131,79	100	100
8	107,72	79,72	28,00	100	158,86	-51,14	100	100
9	198,16	56,58	141,58	100	203,22	-5,06	100	100
10	260,25	116,97	143,28	100	179,87	80,38	100	100
11	215,80	153,09	62,71	100	175,20	40,06	100	100
12	211,50	186,28	25,22	100	147,27	64,23	100	100
13	276,79	195,91	80,88	100	57,44	219,35	80	80
14	164,93	140,77	24,16	100	190,99	-26,06	100	100
15	119,67	63,99	55,68	100	319,79	-	100	100
16	448,33	67,60	380,73	34	140,65	307,68	55	34
17	361,72	236,31	125,41	100	177,30	184,42	90	90
18	169,56	274,87	-105,31	100	151,61	17,95	100	100
19	190,41	195,36	-4,95	100	67,20	123,21	100	100
20	172,99	200,14	-27,15	100	74,78	98,21	100	100
21	471,57	31,00	440,57	17	201,19	270,38	66	17
22	202,12	135,02	67,10	100	186,16	15,96	100	100
23	189,47	221,88	-32,41	100	-	-	-	-
24	168,42	198,12	-29,70	100	-	-	-	-
<b>Gesamtwertung der Strecke</b>				<b>88</b>			<b>90</b>	<b>85</b>

**Tab. A1.4:** Wertung der Stetigkeit im Lageplan für die Untersuchungsstrecke 6 (S 194)



Kurve Nr.	Stationierungsrichtung				Gegenrichtung			
	V <sub>A</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> /V <sub>A</sub> [-]	Wertung	V <sub>A</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> /V <sub>A</sub> [-]	Wertung
1	-	-	-	-	71	62	0,87	100
2	66	62	0,94	100	97	64	0,66	30
3	83	83	1,00	100	94	95	1,01	100
4	84	62	0,74	70	77	60	0,78	90
5	69	68	0,99	100	80	68	0,85	100
6	73	69	0,95	100	74	75	1,01	100
7	73	59	0,81	100	64	58	0,91	100
8	63	42	0,67	35	72	43	0,60	0
9	63	49	0,78	90	80	51	0,64	20
10	71	62	0,87	100	70	71	1,01	100
11	71	59	0,83	100	64	61	0,95	100
12	64	40	0,62	10	64	42	0,66	30
13	58	41	0,71	55	64	41	0,64	20
14	59	53	0,90	100	76	55	0,72	60
15	59	51	0,86	100	77	49	0,64	20
16	64	65	1,02	100	81	73	0,90	100
17	73	70	0,96	100	77	76	0,99	100
18	74	53	0,72	60	-	-	-	-
<b>Gesamtwertung der Strecke</b>				<b>84</b>				<b>69</b>

**Tab. A2.1:** Wertung der Geschwindigkeitsänderungen für die Untersuchungsstrecke 3 (S 178)

Kurve Nr.	Stationierungsrichtung				Gegenrichtung			
	V <sub>A</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> /V <sub>A</sub> [-]	Wertung	V <sub>A</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> /V <sub>A</sub> [-]	Wertung
1	85	86	1,01	100	94	88	0,94	100
2	88	86	0,98	100	87	89	1,02	100
3	89	75	0,84	100	79	72	0,91	100
4	89	72	0,81	100	80	71	0,89	100
5	89	73	0,82	100	80	72	0,90	100
6	89	64	0,72	60	85	69	0,81	100
7	78	74	0,95	100	85	78	0,92	100
8	78	75	0,96	100	85	79	0,93	100
9	81	80	0,99	100	87	82	0,94	100
10	81	76	0,94	100	89	79	0,89	100
11	81	73	0,90	100	93	77	0,83	100
12	80	72	0,90	100	90	91	1,01	100
13	80	71	0,89	100	85	86	1,01	100
14	76	72	0,95	100	72	73	1,01	100
15	73	63	0,86	100	-	-	-	-
16	73	62	0,85	100	-	-	-	-
<b>Gesamtwertung der Strecke</b>				<b>97</b>				<b>100</b>

**Tab.A2.2:** Wertung der Geschwindigkeitsänderungen für die Untersuchungsstrecke 4 (S 190)

Kurve Nr.	Stationierungsrichtung				Gegenrichtung			
	V <sub>A</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> /V <sub>A</sub> [-]	Wertung	V <sub>A</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> /V <sub>A</sub> [-]	Wertung
1	79	64	0,81	100	88	67	0,76	80
2	88	72	0,82	100	82	79	0,96	100
3	79	74	0,94	100	90	81	0,90	100
4	83	81	0,98	100	89	88	0,99	100
5	83	62	0,75	75	96	62	0,65	25
6	89	67	0,75	75	89	71	0,80	100
<b>Gesamtwertung der Strecke</b>				<b>92</b>				<b>84</b>

**Tab. A2.3:** Wertung der Geschwindigkeitsänderungen für die Untersuchungsstrecke 5 (S 194)

Kurve Nr.	Stationierungsrichtung				Gegenrichtung			
	V <sub>A</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> /V <sub>A</sub> [-]	Wertung	V <sub>A</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> [km/h]	V <sub>K</sub> /V <sub>A</sub> [-]	Wertung
1	90	77	0,86	100	82	73	0,89	100
2	82	82	1,00	100	77	77	1,00	100
3	83	69	0,83	100	84	74	0,88	100
4	84	84	1,00	100	79	77	0,97	100
5	86	81	0,94	100	83	75	0,90	100
6	84	83	0,99	100	85	81	0,95	100
7	87	87	1,00	100	87	84	0,97	100
8	91	86	0,95	100	87	87	1,00	100
9	89	82	0,92	100	87	84	0,97	100
10	85	82	0,96	100	88	85	0,97	100
11	86	87	1,01	100	87	87	1,00	100
12	89	88	0,99	100	84	85	1,01	100
13	89	85	0,96	100	85	81	0,95	100
14	85	83	0,98	100	82	83	1,01	100
15	86	73	0,85	100	75	75	1,00	100
16	86	67	0,78	90	80	68	0,85	100
17	84	80	0,95	100	82	77	0,94	100
18	84	81	0,96	100	92	77	0,84	100
19	89	89	1,00	100	96	81	0,84	100
20	99	99	1,00	100	96	93	0,97	100
21	99	77	0,78	90	81	79	0,98	100
22	93	76	0,82	100	86	77	0,90	100
23	90	90	1,00	100	-	-	-	-
24	92	88	0,96	100	-	-	-	-
<b>Gesamtwertung der Strecke</b>				<b>99</b>				<b>100</b>

**Tab. A2.4:** Wertung der Geschwindigkeitsänderungen für die Untersuchungsstrecke 6 (S 194)

Kurve Nr.	Stationierungsrichtung		Gegenrichtung	
	$a_{\min}$ [m/s <sup>2</sup> ]	Wertung	$a_{\min}$ [m/s <sup>2</sup> ]	Wertung
1	-	-	-0,75	100
2	-0,48	100	-1,32	13
3	-0,03	100	0,02	100
4	-0,89	85	-1,14	43
5	-0,30	100	-1,14	43
6	-0,25	100	-0,62	100
7	-0,75	100	-1,22	30
8	-1,79	0	-1,22	30
9	-1,79	0	-1,07	55
10	-0,58	100	0,11	100
11	-0,77	100	-1,81	0
12	-1,42	0	-1,81	0
13	-1,36	7	-1,61	0
14	-0,78	100	-1,98	0
15	-0,62	100	-1,98	0
16	-0,62	100	-0,54	100
17	-0,45	100	-0,37	100
18	-0,71	100	-	-
<b>Gesamt</b>		<b>76</b>		<b>48</b>

**Tab. A2.5:** Wertung der Längsverzögerungen für die Untersuchungsstrecke 3 (S 178)

Kurve Nr.	Stationierungsrichtung		Gegenrichtung	
	$a_{\min}$ [m/s <sup>2</sup> ]	Wertung	$a_{\min}$ [m/s <sup>2</sup> ]	Wertung
1	-0,01	100	-0,69	100
2	-0,20	100	-0,69	100
3	-0,63	100	-1,07	55
4	-0,63	100	-1,07	55
5	-0,63	100	-1,07	55
6	-0,63	100	-1,07	55
7	-0,97	72	-0,75	100
8	-0,97	72	-0,69	100
9	-0,19	100	-0,56	100
10	-0,35	100	-0,56	100
11	-0,81	98	-0,52	100
12	-0,58	100	-0,11	100
13	-0,57	100	-0,11	100
14	-0,44	100	-0,18	100
15	-0,42	100	-	-
16	-0,65	100	-	-
<b>Gesamt</b>		<b>96</b>		<b>87</b>

**Tab. A2.6:** Wertung der Längsverzögerungen für die Untersuchungsstrecke 4 (S 190)

Kurve Nr.	Stationierungsrichtung		Gegenrichtung	
	$a_{\min}$ [m/s <sup>2</sup> ]	Wertung	$a_{\min}$ [m/s <sup>2</sup> ]	Wertung
1	-0,96	73	-1,21	32
2	-1,12	47	-0,75	100
3	-1,12	47	-0,75	100
4	-0,26	100	0,00	100
5	-1,45	0	-1,49	0
6	-1,48	0	-1,13	45
<b>Gesamt</b>		<b>44</b>		<b>63</b>

**Tab. A2.7:** Wertung der Längsverzögerungen für die Untersuchungsstrecke 5 (S 194)

Kurve Nr.	Stationierungsrichtung		Gegenrichtung	
	$a_{\min}$ [m/s <sup>2</sup> ]	Wertung	$a_{\min}$ [m/s <sup>2</sup> ]	Wertung
1	-0,38	100	-0,65	100
2	-0,02	100	-0,29	100
3	-0,45	100	-0,23	100
4	0,07	100	-0,37	100
5	-0,12	100	-0,21	100
6	-0,11	100	-0,50	100
7	-0,09	100	-0,32	100
8	-0,22	100	-0,13	100
9	-0,31	100	-0,41	100
10	-0,31	100	-0,16	100
11	-0,13	100	0,13	100
12	-0,17	100	0,02	100
13	-0,17	100	-0,58	100
14	-0,18	100	-0,07	100
15	-0,20	100	-0,46	100
16	-0,52	100	-0,52	100
17	-0,21	100	-0,26	100
18	-0,32	100	-0,56	100
19	-0,01	100	-0,43	100
20	0,14	100	-0,43	100
21	-0,65	100	-0,27	100
22	-0,60	100	-0,18	100
23	0,00	100	-	-
24	-0,01	100	-	-
<b>Gesamt</b>		<b>100</b>		<b>100</b>

**Tab. A2.8:** Wertung der Längsverzögerungen für die Untersuchungsstrecke 6 (S 194)



Kurve Nr.	Stationierungsrichtung			Gegenrichtung			Maßgebend
	Wertung $V_k/V_A$	Wertung $a_{min}$	Zusammen	Wertung $V_k/V_A$	Wertung $a_{min}$	Zusammen	
1	-	-	-	100	100	100	-
2	100	100	100	30	13	21,5	21,5
3	100	100	100	100	100	100	100
4	70	85	77,5	90	43	66,5	66,5
5	100	100	100	100	43	71,5	71,5
6	100	100	100	100	100	100	100
7	100	100	100	100	30	65	65
8	35	0	17,5	0	30	15	15
9	90	0	45	20	55	37,5	37,5
10	100	100	100	100	100	100	100
11	100	100	100	100	0	50	50
12	10	0	5	30	0	15	5
13	55	7	31	20	0	10	10
14	100	100	100	60	0	30	30
15	100	100	100	20	0	10	10
16	100	100	100	100	100	100	100
17	100	100	100	100	100	100	100
18	60	100	80	-	-	-	-
	<b>84</b>	<b>76</b>	<b>80</b>	<b>69</b>	<b>48</b>	<b>58</b>	<b>55</b>

**Tab. A2.9:** Wertung des Geschwindigkeitsverhaltens für die Untersuchungsstrecke 3 (S 178)

Kurve Nr.	Stationierungsrichtung			Gegenrichtung			Maßgebend
	Wertung $V_k/V_A$	Wertung $a_{\min}$	Zusammen	Wertung $V_k/V_A$	Wertung $a_{\min}$	Zusammen	
1	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	55	77,5	77,5
4	100	100	100	100	55	77,5	77,5
5	100	100	100	100	55	77,5	77,5
6	60	100	80	100	55	77,5	77,5
7	100	72	86	100	100	100	86
8	100	72	86	100	100	100	86
9	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100
11	100	98	99	100	100	100	99
12	100	100	100	100	100	100	100
13	100	100	100	100	100	100	100
14	100	100	100	100	100	100	100
15	100	100	100	-	-	-	-
16	100	100	100	-	-	-	-
	<b>97</b>	<b>96</b>	<b>97</b>	<b>100</b>	<b>87</b>	<b>93</b>	<b>91</b>

**Tab. A2.10:** Wertung des Geschwindigkeitsverhaltens für die Untersuchungsstrecke 4 (S 190)

Kurve Nr.	Stationierungsrichtung			Gegenrichtung			Maßgebend
	Wertung $V_k/V_A$	Wertung $a_{\min}$	Zusammen	Wertung $V_k/V_A$	Wertung $a_{\min}$	Zusammen	
1	100	73	86,5	80	32	56	56
2	100	47	73,5	100	100	100	73,5
3	100	47	73,5	100	100	100	73,5
4	100	100	100	100	100	100	100
5	75	0	37,5	25	0	12,5	12,5
6	75	0	37,5	100	45	72,5	37,5
	<b>92</b>	<b>44</b>	<b>68</b>	<b>84</b>	<b>63</b>	<b>73</b>	<b>59</b>

**Tab. A2.11:** Wertung des Geschwindigkeitsverhaltens für die Untersuchungsstrecke 5  
(S 194)

Kurve Nr.	Stationierungsrichtung			Gegenrichtung			Maßgebend
	Wertung $V_k/V_A$	Wertung $a_{min}$	Zusammen	Wertung $V_k/V_A$	Wertung $a_{min}$	Zusammen	
1	100	100	100	100	100	100	100
2	100	100	100	100	100	100	100
3	100	100	100	100	100	100	100
4	100	100	100	100	100	100	100
5	100	100	100	100	100	100	100
6	100	100	100	100	100	100	100
7	100	100	100	100	100	100	100
8	100	100	100	100	100	100	100
9	100	100	100	100	100	100	100
10	100	100	100	100	100	100	100
11	100	100	100	100	100	100	100
12	100	100	100	100	100	100	100
13	100	100	100	100	100	100	100
14	100	100	100	100	100	100	100
15	100	100	100	100	100	100	100
16	90	100	95	100	100	100	95
17	100	100	100	100	100	100	100
18	100	100	100	100	100	100	100
19	100	100	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100	100	100
21	90	100	95	100	100	100	95
22	100	100	100	100	100	100	100
23	100	100	100	-	-	-	-
24	100	100	100	-	-	-	-
	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

**Tab. A2.12:** Wertung des Geschwindigkeitsverhaltens für die Untersuchungsstrecke 6 (S 194)

Kurve Nr.	R <sub>g</sub> [m]	α <sub>g</sub> [gon]	Stationierungsrichtung			Gegenrichtung			Gesamtwertung
			R <sub>f</sub> [m]	R <sub>f</sub> / R <sub>g</sub> [-]	Wertung	R <sub>f</sub> [m]	R <sub>f</sub> / R <sub>g</sub> [-]	Wertung	
1	77	53,74	71	0,92	87	-152	1,97	46	46
2	123	58,66	92	0,75	58	-377	3,07	0	0
3	-180	36,78	-349	1,94	48	154	0,86	77	48
4	-110	61,93	-167	1,52	71	137	1,25	75	71
5	-78	81,62	-109	1,40	78	88	1,13	87	78
6	95	41,55	80	0,84	73	-349	3,67	0	0
7	-340	12,73	-445	1,31	83	402	1,18	82	82
8	-63	87,91	-120	1,90	50	124	1,97	3	3
9	35	36,38	35	1,00	100	-108	3,09	0	0
10	-75	47,53	-140	1,87	52	96	1,28	72	52
11	105	40,02	97	0,92	87	-186	1,77	57	57
12	120	41,38	90	0,75	58	-210	1,75	58	58
13	29	105,37	32	1,10	90	-60	2,07	41	41
14	-32	159,15	-54	1,69	62	34	1,06	94	62
15	55	35,88	74	1,35	65	86	-1,56	0	0
16	-30	70,03	-74	2,47	18	49	1,63	37	18
17	150	23,77	147	0,98	97	-336	2,24	31	31
18	160	22,28	143	0,89	82	-290	1,81	55	55
19	91	116,71	61	0,67	45	-85	0,93	65	45
<b>Gesamtwertung der Strecke</b>					<b>69</b>			<b>46</b>	<b>39</b>

**Tab. A3.1:** Wertung der gefahrenen Krümmungslinie für die Untersuchungsstrecke 3 (S 178)

Kurve Nr.	R <sub>g</sub> [m]	α <sub>g</sub> [gon]	Stationierungsrichtung			Gegenrichtung			Gesamtwertung
			R <sub>f</sub> [m]	R <sub>f</sub> / R <sub>g</sub> [-]	Wertung	R <sub>f</sub> [m]	R <sub>f</sub> / R <sub>g</sub> [-]	Wertung	
1	-255	17,98	-287	1,13	93	1300	5,10	0	0
2	-500	6,88	-778	1,56	69	1791	3,58	0	0
3	150	22,07	142	0,95	92	-641	4,27	0	0
4	600	5,52	1311	2,18	0	213	-0,35	0	0
5	-213	4,19	-492	2,31	27	936	4,39	0	0
6	-180	24,05	-163	0,91	55	323	1,79	21	21
7	-450	14,43	-477	1,06	97	∞	∞	0	0
8	-500	14,01	-492	0,98	90	1103	2,21	0	0
9	151	95,04	103	0,68	47	-253	1,68	62	47
10	-130	25,46	-177	1,36	80	834	6,42	0	0
<b>Gesamtwertung der Strecke</b>					<b>65</b>			<b>8</b>	<b>7</b>

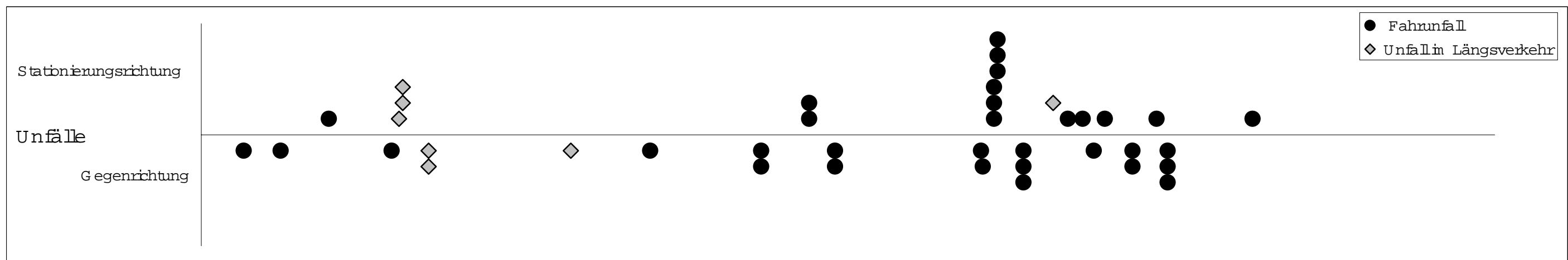
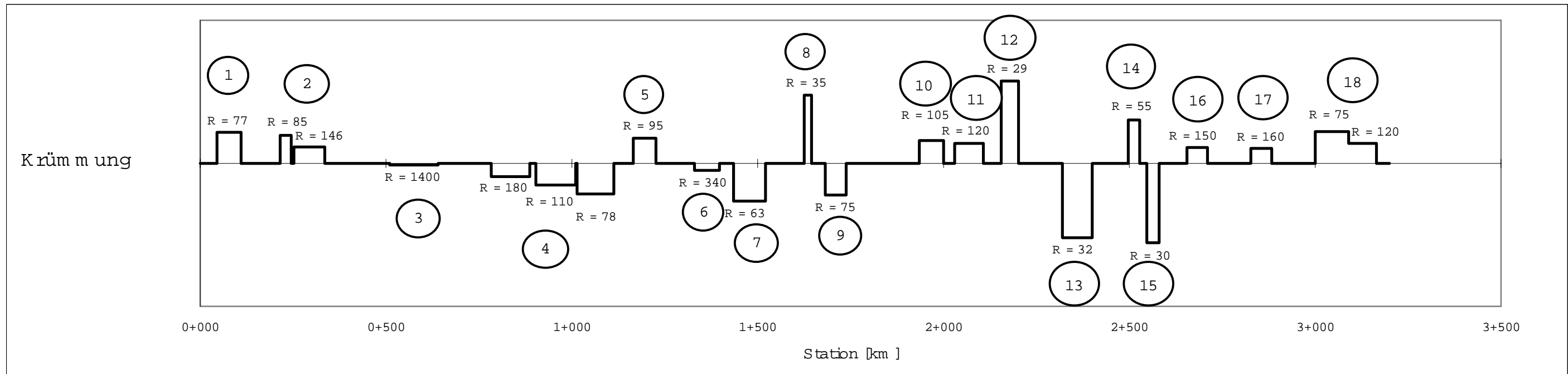
**Tab. A3.2:** Wertung der gefahrenen Krümmungslinie für die Untersuchungsstrecke 4  
(S 190)

Kurve Nr.	R <sub>g</sub> [m]	α <sub>g</sub> [gon]	Stationierungsrichtung			Gegenrichtung			Gesamtwertung
			R <sub>f</sub> [m]	R <sub>f</sub> / R <sub>g</sub> [-]	Wertung	R <sub>f</sub> [m]	R <sub>f</sub> / R <sub>g</sub> [-]	Wertung	
1	-80	46,15	-150	1,87	52	116	1,45	55	52
2	152	35,14	198	1,30	70	-232	1,53	71	70
3	300	5,09	379	1,26	74	-404	1,35	81	74
4	110	18,52	263	2,39	0	-351	3,19	0	0
5	-150	16,98	-360	2,40	22	270	1,80	20	20
6	-65	64,64	-153	2,35	25	101	1,55	45	25
7	105	38,80	161	1,53	47	-326	3,10	0	0
<b>Gesamtwertung der Strecke</b>					<b>41</b>			<b>39</b>	<b>34</b>

**Tab. A3.3:** Wertung der gefahrenen Krümmungslinie für die Untersuchungsstrecke 5  
(S 194)

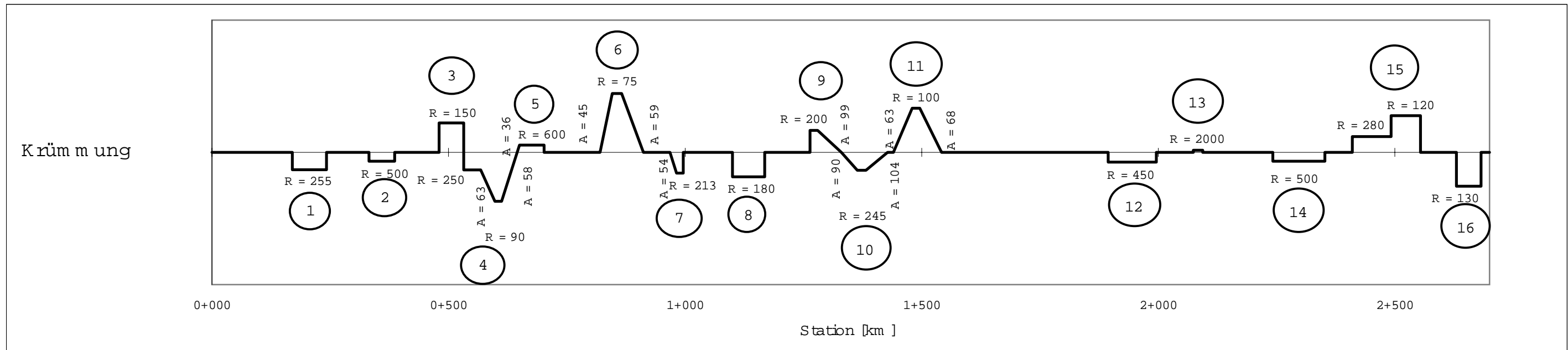
Kurve Nr.	R <sub>g</sub> [m]	α <sub>g</sub> [gon]	Richtung			Gegenrichtung			Gesamtwertung
			R <sub>f</sub> [m]	R <sub>f</sub> / R <sub>g</sub> [-]	Wertung	R <sub>f</sub> [m]	R <sub>f</sub> / R <sub>g</sub> [-]	Wertung	
1	-132	26,04	-483	3,66	0	247	1,87	13	0
2	-475	15,27	-1308	2,75	3	376	0,79	65	3
3	115	34,32	194	1,69	31	-326	2,83	0	0
4	-332	29,53	-502	1,51	72	233	0,70	50	50
5	266	29,20	205	0,77	62	-388	1,46	74	62
6	312	15,49	588	1,88	12	-608	1,95	47	12
7	-178	25,75	-410	2,30	28	360	2,02	0	0
8	271	24,39	289	1,07	93	-393	1,45	75	75
9	-295	21,58	-581	1,97	46	290	0,98	97	46
10	301	18,19	760	2,52	0	-804	2,67	7	0
11	-230	35,98	-410	1,78	57	187	0,81	68	57
12	-386	8,25	-1286	3,33	0	650	1,68	32	0
13	143	87,43	188	1,31	69	-218	1,52	71	69
14	-176	27,49	-419	2,38	23	255	1,45	55	23
15	368	12,11	677	1,84	16	-1156	3,14	0	0
16	135	34,90	402	2,98	0	-284	2,10	39	0
17	-227	61,70	-306	1,35	81	143	0,63	38	38
18	336	13,26	615	1,83	17	-729	2,17	35	17
<b>Gesamtwertung der Strecke</b>					<b>34</b>			<b>43</b>	<b>25</b>

**Tab. A3.4:** Wertung der gefahrenen Krümmungslinie für die Untersuchungsstrecke 6  
(S 194)

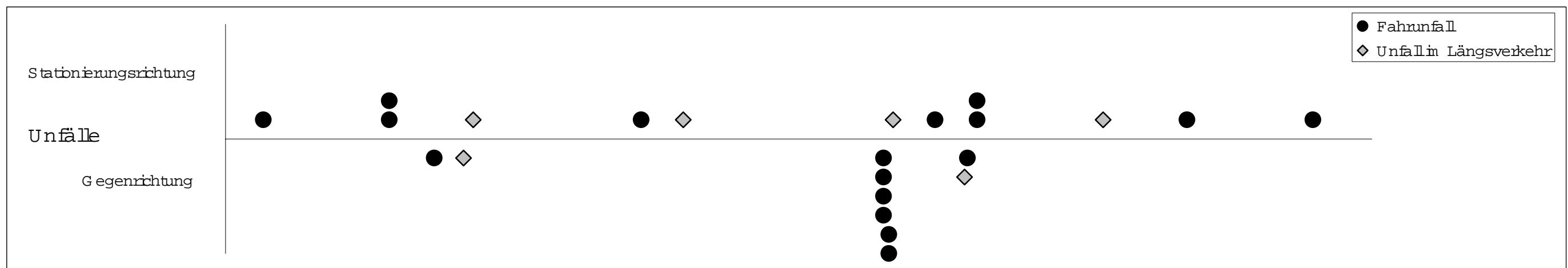
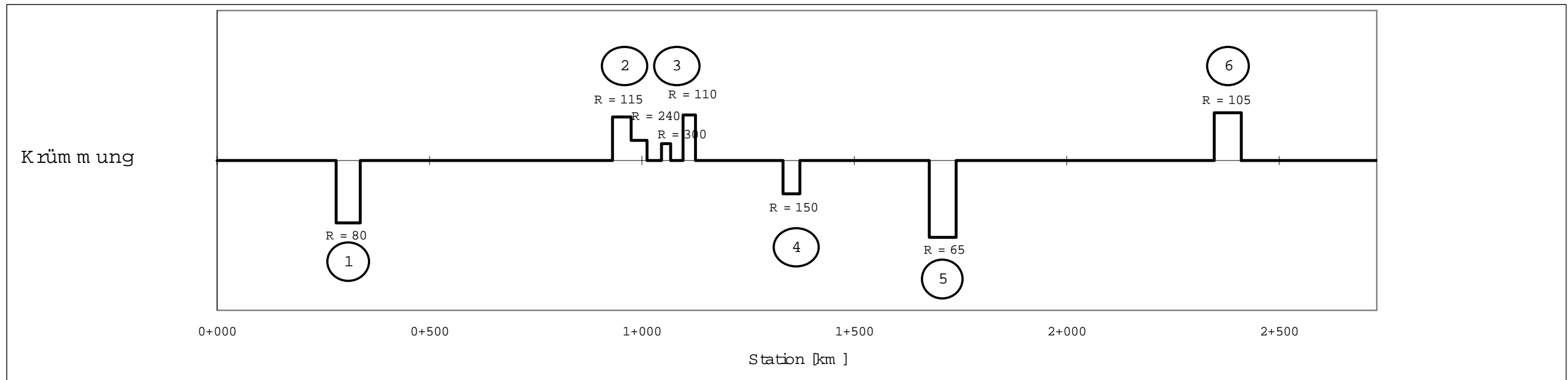


Kurve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Gesamt
Stationierungsrichtung	-	66	100	0	74	100	0	0	10	21	59	0	0	0	0	100	100	0	35
Gegenrichtung	0	7	100	53	10	100	0	0	0	100	100	0	0	0	0	64	100	-	37
Maßgebend	0	7	100	0	10	100	0	0	0	21	59	0	0	0	0	64	100	0	26

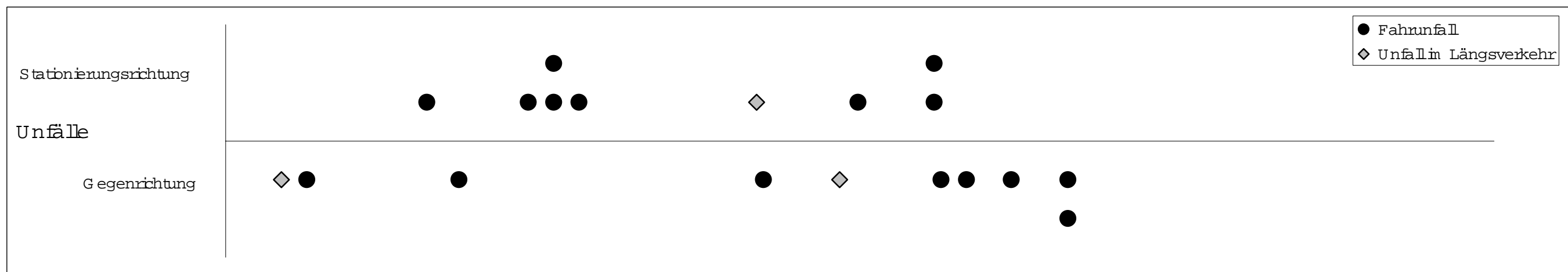
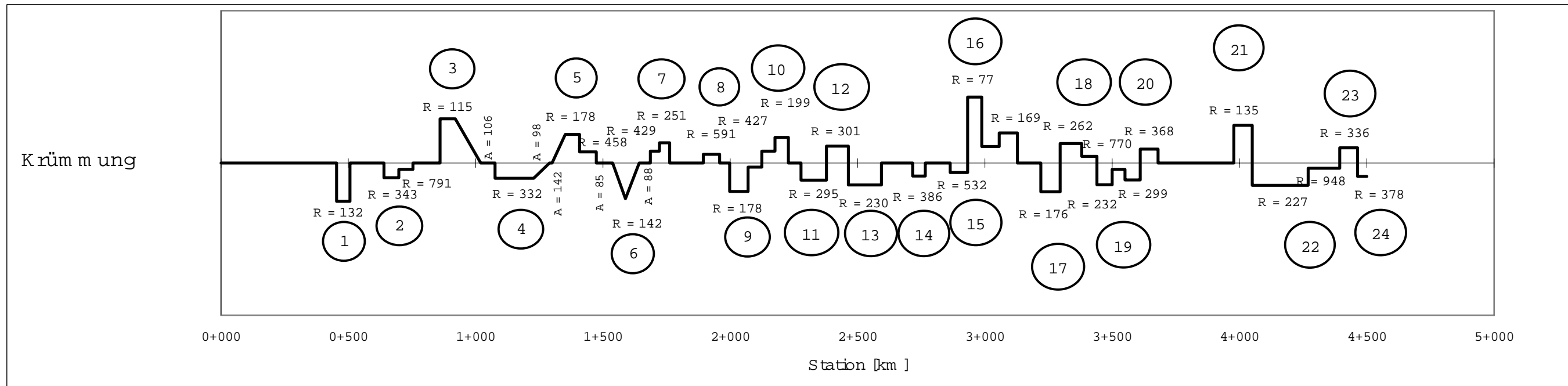




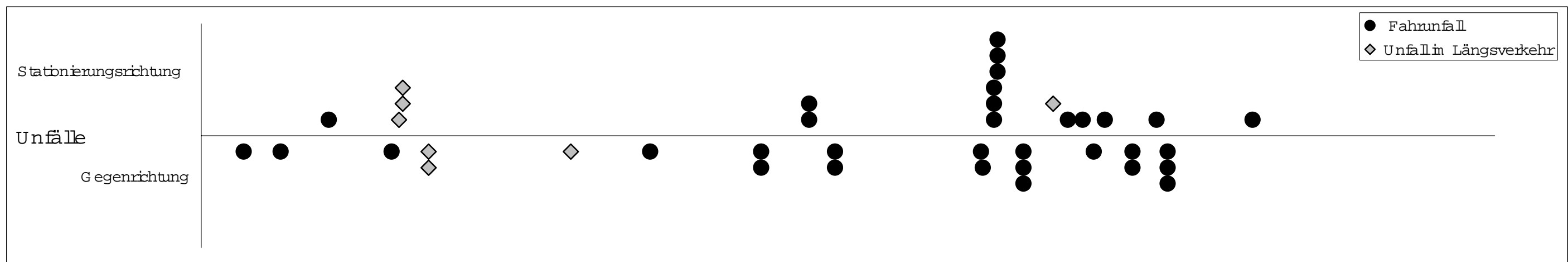
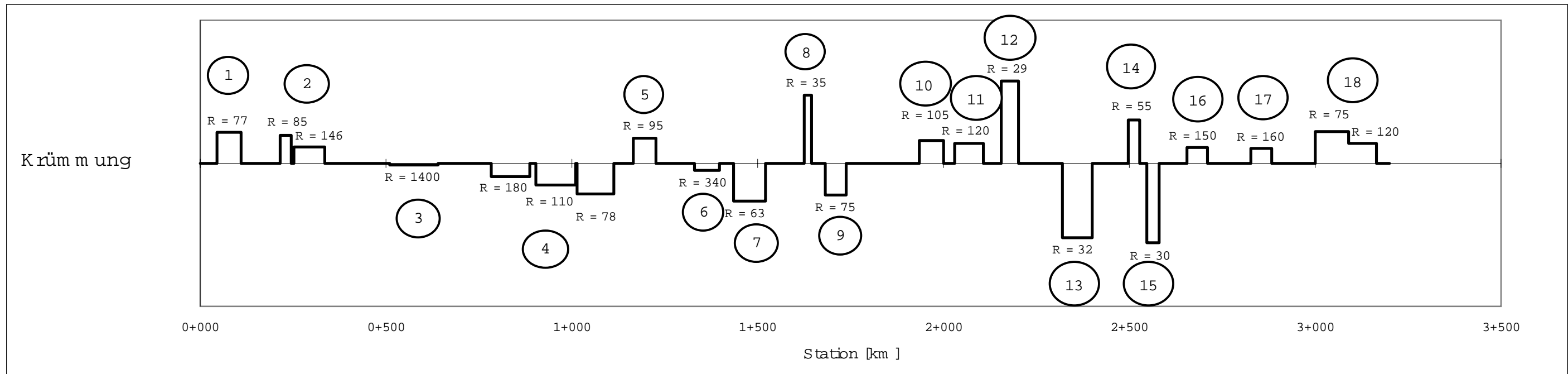
Kurve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Gesamt
Stationierungsrichtung	72	100	37	67	100	74	100	96	100	100	76	100	100	100	53	52	83
Gegenrichtung	98	100	100	100	100	33	100	78	100	100	40	100	100	100	-	-	89
Maßgebend	72	100	37	67	100	33	100	78	100	100	40	100	100	100	-	-	80



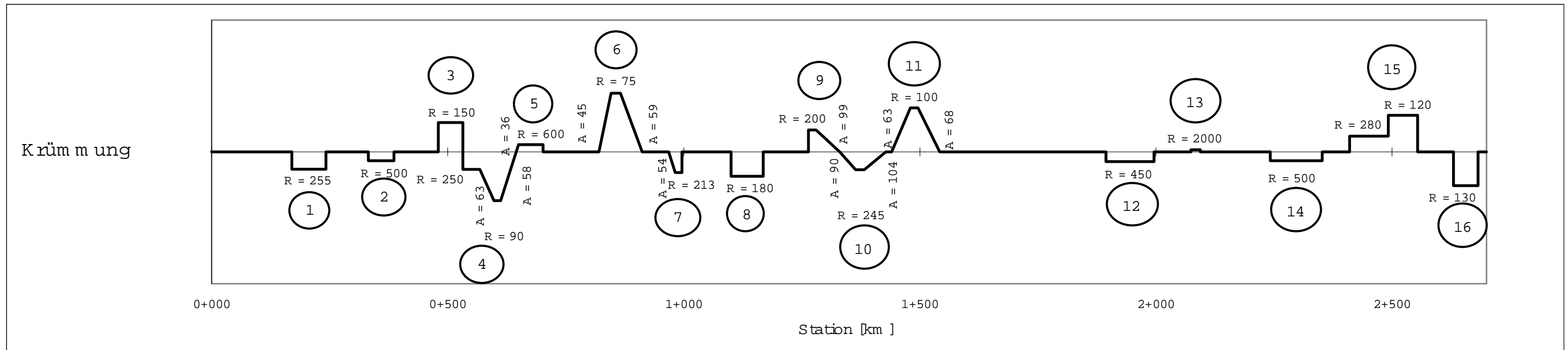
Kurve	1	2	3	4	5	6	Gesamt
Stationierungsrichtung	0	24	100	45	0	0	28
Gegenrichtung	0	52	77	55	0	0	31
Maßgebend	0	24	77	45	0	0	24



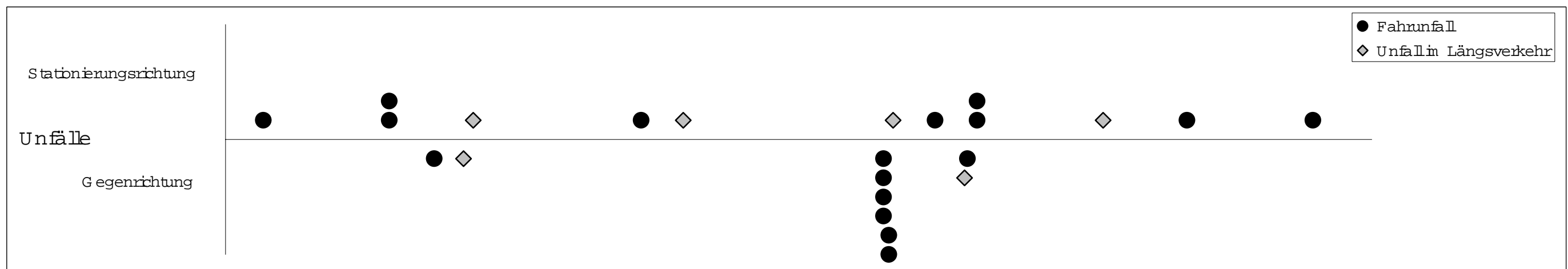
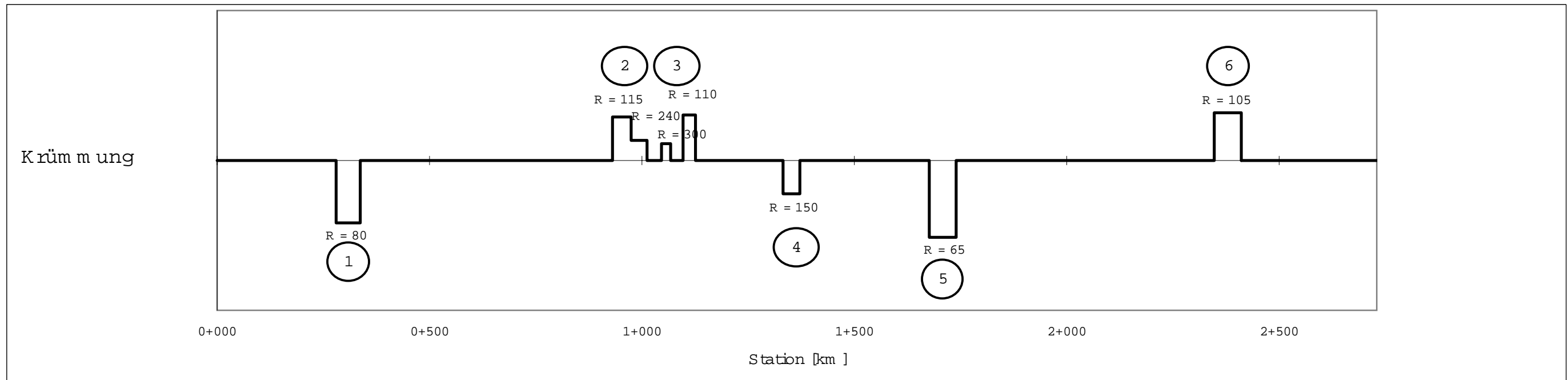
Kurve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Gesamt
Stationierungsrichtung	5	100	54	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	34	100	100	100	100	17	100	100	100	88
Gegenrichtung	25	100	71	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80	100	100	55	90	100	100	100	66	100	-	-	86
Maßgebend	5	100	54	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80	100	100	34	90	100	100	100	17	100	-	-	85



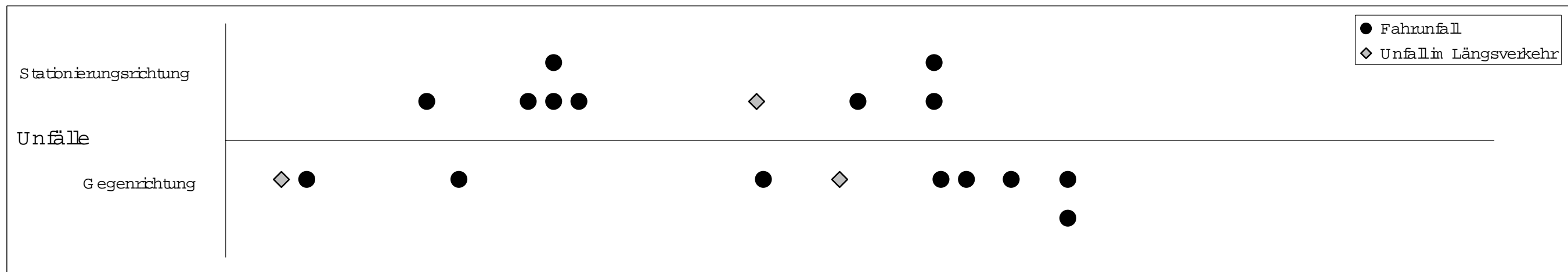
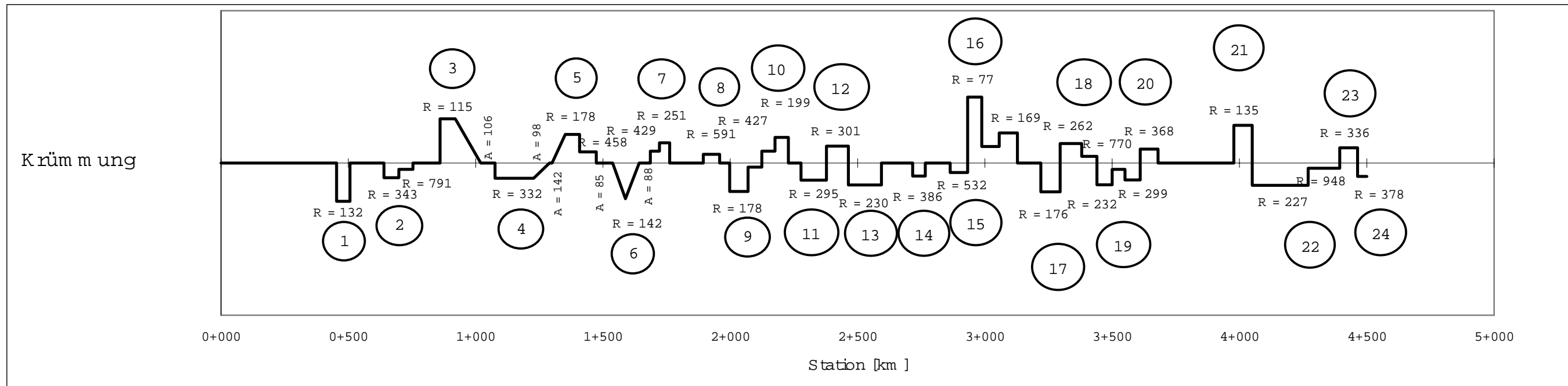
Kurve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Gesamt
Stationierungsrichtung	-	100	100	77,5	100	100	100	17,5	45	100	100	5	31	100	100	100	100	80	80
Gegenrichtung	100	21,5	100	66,5	71,5	100	65	15	37,5	100	50	15	10	30	10	100	100	-	58
Maßgebend	-	21,5	100	66,5	71,5	100	65	15	37,5	100	50	5	10	30	10	100	100	-	55



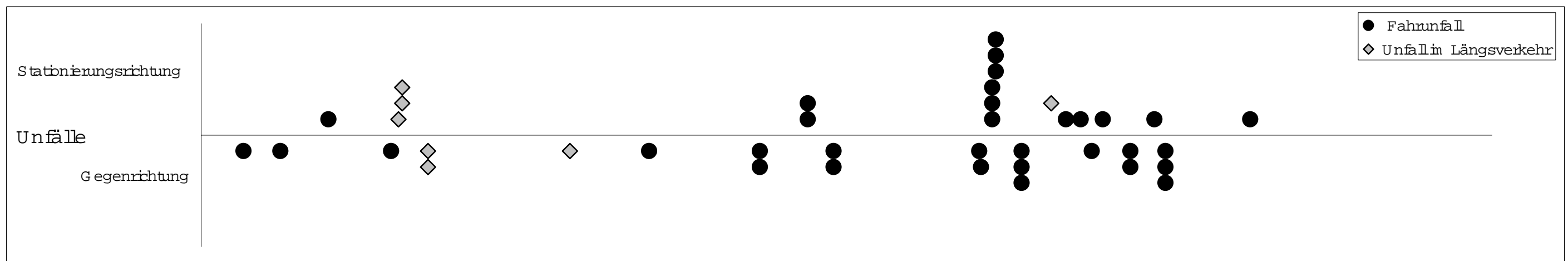
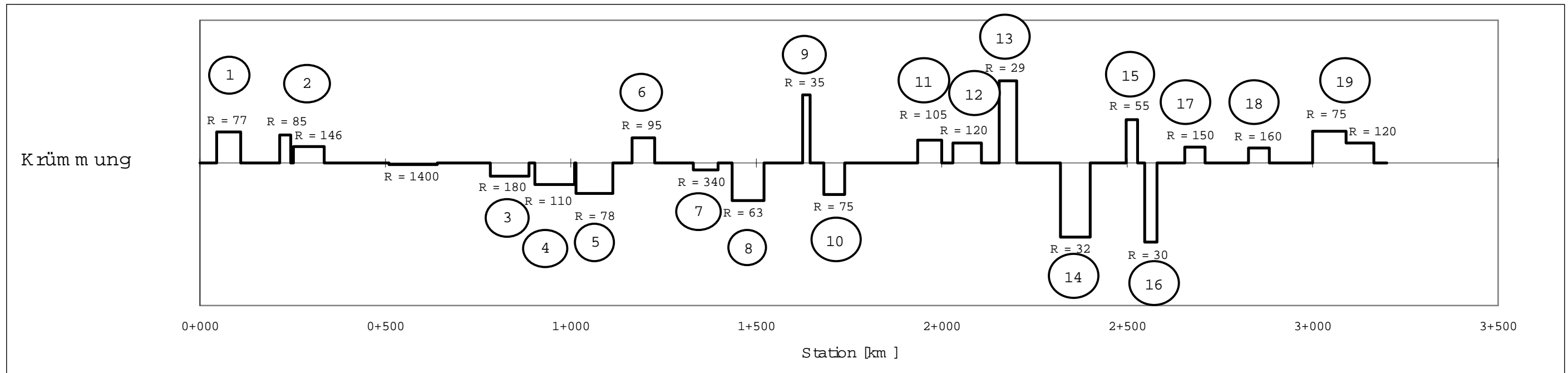
Kurve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Gesamt
Stationierungsrichtung	100	100	100	100	100	80	86	86	100	100	99	100	100	100	100	100	97
Gegenrichtung	100	100	77,5	77,5	77,5	77,5	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	93
Maßgebend	100	100	77,5	77,5	77,5	77,5	86	86	100	100	99	100	100	100	-	-	91



Kurve	1	2	3	4	5	6	Gesamt
Stationierungsrichtung	88,5	73,5	73,5	100	37,5	37,5	68
Gegenrichtung	56	100	100	100	12,5	72,5	73
Maßgebend	56	73,5	73,5	100	12,5	37,5	59

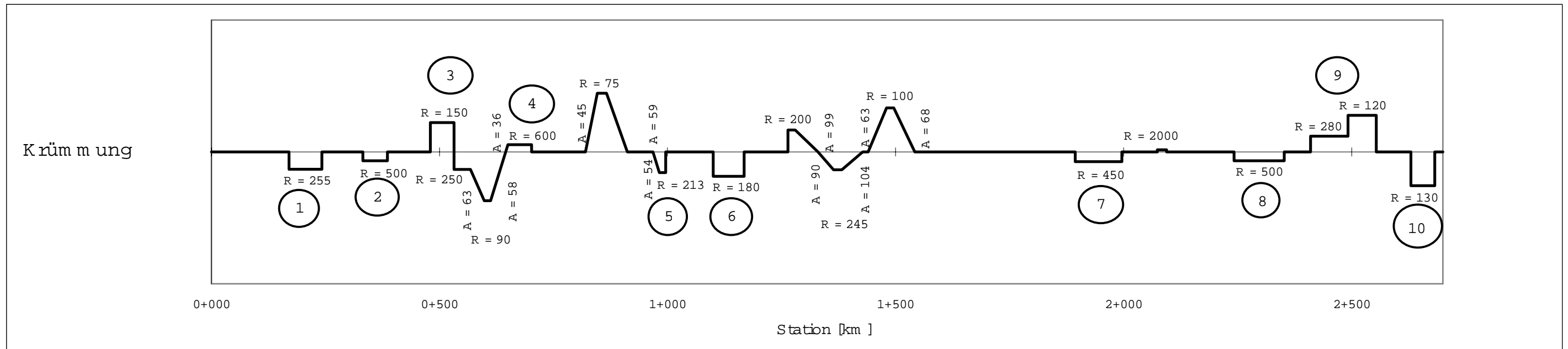


Kurve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Gesamt	
Stationierungsrichtung	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	100	100	100	100	95	100	100	100	100	100
Gegenrichtung	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-	100	
Maßgebend	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	100	100	100	100	95	100	-	-	100	

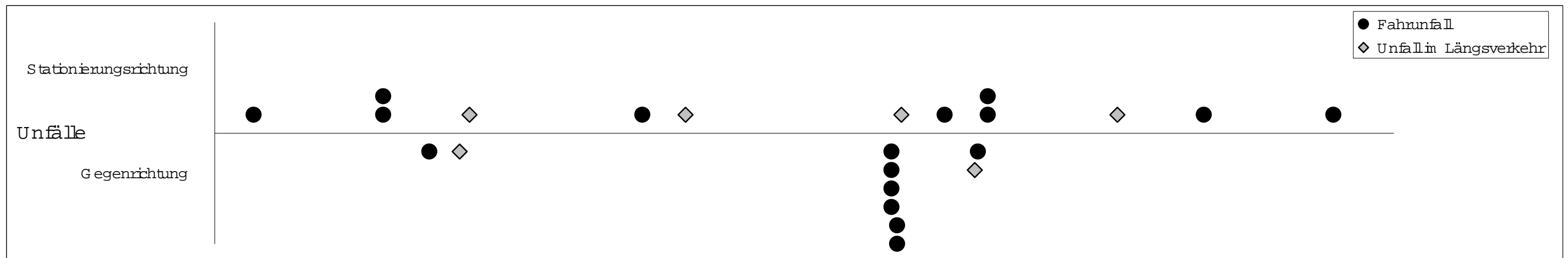
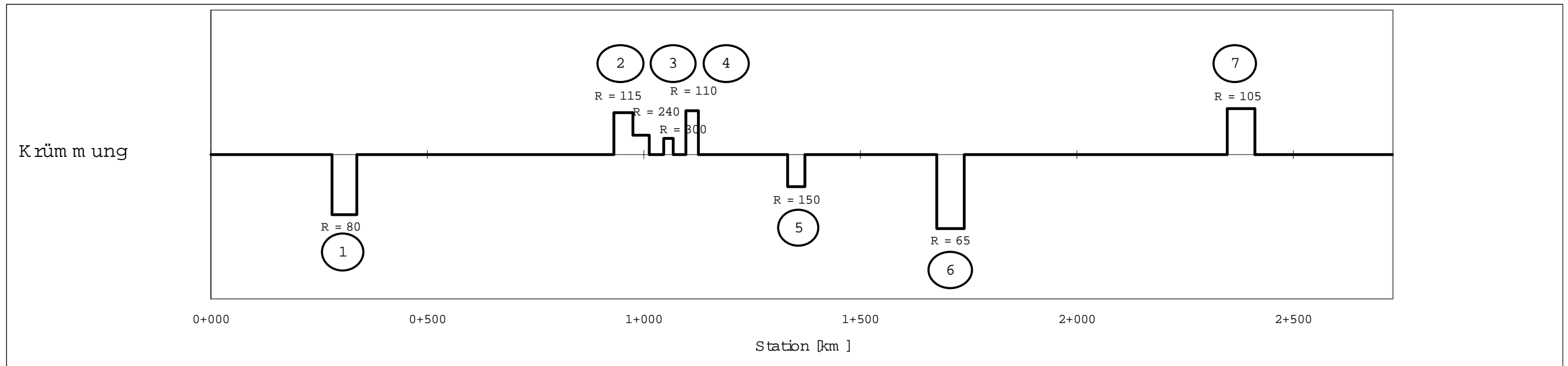


Kurve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Gesamt
Stationierungsrichtung	87	58	48	71	78	73	83	50	100	52	87	58	90	62	65	18	97	82	45	69
Gegenrichtung	46	0	77	75	87	0	82	3	0	72	57	58	41	94	0	37	31	55	65	46
Maßgebend	46	0	48	71	78	0	82	3	0	52	57	58	41	62	0	18	31	55	45	39

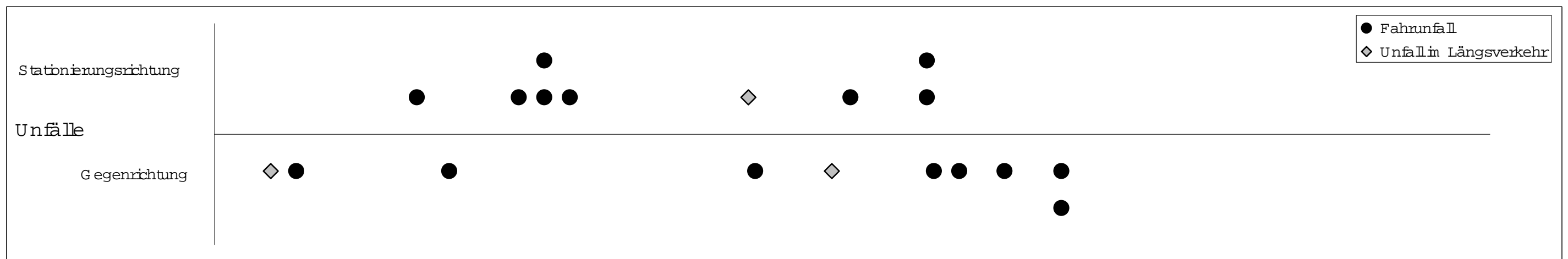
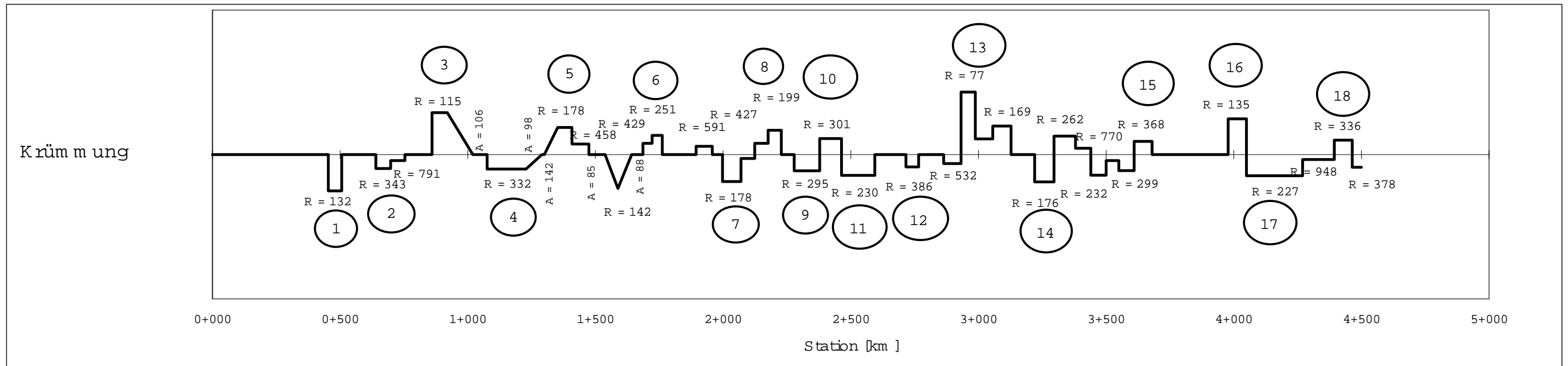




Kurve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gesamt
Stationierungsrichtung	93	69	92	0	27	55	97	90	47	80	65
Gegenrichtung	0	0	0	0	0	21	0	0	62	0	8
M maßgebend	0	0	0	0	0	21	0	0	47	0	7



Kurve	1	2	3	4	5	6	7	Gesamt
Stationierungsrichtung	52	70	74	0	22	25	47	41
Gegenrichtung	55	71	81	0	20	45	0	39
Maßgebend	52	70	74	0	20	25	0	34



Kurve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Gesamt
Stationierungsrichtung	0	3	31	72	62	12	28	93	46	0	57	0	69	23	16	0	81	17	34
Gegenrichtung	13	65	0	50	74	47	0	75	97	7	68	32	71	55	0	39	38	35	43
Maßgebend	0	3	0	50	62	12	0	75	46	0	57	0	69	23	0	0	38	17	25