

## Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	1-1
	1.1 Rechtsgrundlagen	1-1
	1.2 Straßenverwaltung	1-2
	1.3 Technisches Regelwerk	1-2
	1.4 Straßen- und Verkehrsstatistik	1-4
	1.5 Verständnisfragen	1-10
2	Planungsablauf	2-1
	2.1 Bedarfsplanung	2-2
	2.2 Vorplanung	2-4
	2.3 Entwurfsplanung	2-8
	2.4 Genehmigungsplanung	2-10
	2.5 Ausführungsplanung	2-10
	2.6 Verständnisfragen	2-10
3	Straßennetzgestaltung	3-1
	3.1 Grundgedanken der Richtlinien für integrierte Netzgestaltung	3-1
	3.2 Straßennetz für den Kfz-Verkehr	3-4
	3.3 Verständnisfragen	3-13
4	Grundlagen des Straßenentwurfs	4-1
	4.1 Regelkreis Fahrer – Fahrzeug - Straße	4-1
	4.2 Fahrdynamik	4-3
	4.3 Maßgebende Geschwindigkeiten	4-9
	4.4 Verständnisfragen	4-10

---

5	Entwurfsmethodik	5-1
5.1	Entwurfsgrundsätze	5-1
5.1.1	Landstraßen	5-1
5.1.2	Autobahnen	5-4
5.2	Entwurfselemente im Lageplan	5-5
5.2.1	Die Gerade	5-6
5.2.2	Der Kreisbogen	5-8
5.2.3	Der Übergangsbogen	5-9
5.2.4	Lageplankurven	5-22
5.3	Entwurfselemente im Höhenplan	5-23
5.3.1	Längsneigungen	5-24
5.3.2	Kuppen- und Wannenausrundungen	5-25
5.3.3	Räumliche Linienführung	5-30
5.4	Entwurfselemente im Querschnitt	5-32
5.4.1	Bestandteile der Straßenquerschnitte	5-33
5.4.2	Regelquerschnitte	5-36
5.4.3	Überprüfung des Regelquerschnittes	5-44
5.4.4	Überholfahrstreifen	5-44
5.4.5	Querneigung	5-45
5.4.6	Fahrbahnaufweitung	5-54
5.4.7	Fahrbahnverbreiterung in der Kurve	5-55
5.4.8	Entwässerung	5-55
5.4.9	Böschungsgestaltung	5-57
5.5	Verständnisfragen	5-58

## 1 Allgemeines

### 1.1 Rechtsgrundlagen

Durch den Bau und Betrieb von Straßen wird das Leben von Menschen nachhaltig beeinflusst. Damit die negativen Auswirkungen dabei möglichst gering gehalten werden, gibt es eine Vielzahl von Gesetzen und Verordnungen, die Straßen betreffen. Die wichtigsten werden hier kurz aufgeführt:

Das Grundgesetz (GG) der Bundesrepublik Deutschland bestimmt in seinen Artikeln 74 (22) und 90 (1.3) in Verbindung mit Artikel 85 das Recht der Straßengesetzgebung und die Verwaltung der Bundesfernstraßen.

Das Straßenverkehrsgesetz (StVG) regelt die Benutzung der öffentlichen Straßen und enthält Regelungen der zivilrechtlichen Haftung für Schäden sowie die Straf- und Bußgeldvorschriften im Zusammenhang mit dem Straßenverkehr. Es ermächtigt den Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, die Straßenverkehrsordnung (StVO) und Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) zu erlassen, die so relativ schnell der technischen Entwicklung und der sich verändernden Verkehrsnachfrage angepasst werden können.

In der Straßenverkehrsordnung (StVO) werden die Regeln für das Verhalten im Straßenverkehr festgelegt. Damit soll gewährleistet werden, dass möglichst niemand geschädigt und mehr als vermeidbar behindert oder belästigt wird. Für den Straßenentwurf und -betrieb sind von den Regelungen vor allem diejenigen von Interesse, die sich mit der Haltesichtweite, der Höchstgeschwindigkeit, der Beschilderung und der Markierung befassen.

Mit Hilfe der Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) werden die Voraussetzungen für die Zulassung zum Straßenverkehr geregelt. Hier finden sich die Vorschriften über die Bedingungen zum Führen von Fahrzeugen, die eingehenden Vorschriften über die Abmessungen, die Beschaffenheit und die Ausrüstung der Fahrzeuge und ihrer Teile. Für den Straßenentwurf sind vor allem die Regelungen zu den Fahrzeugabmessungen und den Bremseigenschaften für die am öffentlichen Straßenverkehr teilnehmenden Fahrzeuge interessant. Das Bundesfernstraßengesetz (FStrG) definiert den Begriff Bundesfernstraße und regelt deren normale Nutzung durch den Verkehr und für andere Zwecke (Sondernutzungen). Darüber hinaus werden die verwaltungsrechtlichen Verfahren beim Neubau und bei der Veränderung dieser Straßen geklärt. Hier werden auch die Rechte und Pflichten des Straßenbetreibers (i.a. des Straßenbaulastträgers), insbesondere die Verkehrssicherungspflicht, geregelt.

Entsprechende Normen befinden sich in den Straßengesetzen der einzelnen Länder für die Landesstraßen (Staatsstraßen), die Kreis- und die Gemeindestraßen. Für letztere gelten außerdem in vielen Gemeinden auch spezielle Ortssatzungen.

Darüber hinaus gibt es noch weitere, speziellere Regelungen wie die Verordnung über Kreuzungsanlagen im Zuge von Bundesfernstraßen, das Eisenbahnkreuzungsgesetz, das Straßenbaufinanzierungsgesetz und übergreifende Gesetze wie das Raumordnungsgesetz oder die Naturschutzgesetze.

## 1.2 Straßenverwaltung

Zum Bau und Betrieb von Straßen bedarf es einer Verwaltung (staatlich) oder Organisation (privat). In Deutschland werden praktisch alle öffentlichen Straßen von den Gebietskörperschaften gebaut und betrieben. Das bedeutet, dass die Bundesrepublik Deutschland für Bundesfernstraßen (Bundesautobahnen und Bundesstraßen), die Länder für Landes- bzw. Staatsstraßen, die Kreise für Kreisstraßen und die Gemeinden für Ortsverbindungswege und Gemeindestraßen zuständig sind. Die Bundesrepublik Deutschland beauftragt jedoch die Länder mit der Verwaltung der bundeseigenen Straßen (Auftragsverwaltung). Genauso verfahren in den meisten Bundesländern die Landkreise und lassen das Land die Kreisstraßen verwalten.

Die Struktur der Organisation der Verwaltung ist nicht durch den Bund vorgegeben, sondern ist Aufgabe der Bundesländer. Der konkrete Behördenaufbau der Straßenverwaltungen liegt somit in der Verantwortung des jeweiligen Landes und ist grundsätzlich mehrstufig. Häufig findet sich ein 4 bis 6-stufiger Aufbau, bei dem das zuständige Landesministerium über ein Landesamt für Straßenwesen oder Regierungspräsidien Leitlinien für die einheitliche Durchführung des Straßenrechtes erarbeitet und die nachgeordneten Straßenbehörden in ihren Tätigkeiten überwacht.

## 1.3 Technisches Regelwerk

Der aktuelle Stand der Technik im Straßenwesen wird in Richtlinien, Merkblättern, Empfehlungen und Hinweisen dokumentiert. Darüber hinaus gibt es noch Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen, Technische Lieferbedingungen, Technische Prüfvorschriften u.ä.

Diese technischen Regelwerke werden von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV) in Gremien erarbeitet, die sich aus ehrenamtlich tätigen Fachleuten der freien Wirtschaft, der Verwaltung und der Hochschulen oder anderer Forschungsinstitute zusammensetzen. Über die Handhabung der Richtlinien vermerkt der Bundesminister für Verkehr [BMV, RS 2 6 1980]:

„Die Anwendung der Richtlinien und Empfehlungen soll das Planen und Entwerfen verkehrssicherer, leistungsfähiger, funktionstüchtiger und umweltverträglicher, gestalterisch befriedi-

gender und wirtschaftlicher Straßen sicherstellen. Dabei soll dem Benutzer bei gleichartig genutzten Verkehrsanlagen ein möglichst einheitliches immer wiederkehrendes Erscheinungsbild geboten werden, aus dem die Funktion der Straße durch die bauliche Gestaltung erkennbar und begreifbar wird. Zugleich sollen Unterschiede im Erscheinungsbild ungleichartig genutzter Verkehrsanlagen die Verkehrsteilnehmer die unterschiedlichen Nutzungsansprüche erkennen lassen.“

Das aktuell von der FGSV herausgegebene Regelwerk wird entsprechend seiner Bedeutung in vier Kategorien eingeteilt. Dieser Unterschied spiegelt sich u.a. darin wider, dass bedeutendere Regelwerksteile zwischen den verschiedenen Gremien der FGSV abgestimmt und vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung für die Anwendung an Bundesfernstraßen verbindlich eingeführt werden, während z.B. Arbeitspapiere nur von einzelnen Gremien der FGSV veröffentlicht werden. Dieses Regelwerk wird seiner Bedeutung nach unterschieden in je zwei Kategorien Regelwerke (R1, R2) sowie Wissensdokumente (W1, W2):

- Richtlinien und Empfehlungen sollen eine einheitliche Gesetzesauslegung sichern. Sie enthalten Anleitungen für die Straßenbauverwaltungen und Planungsinstitutionen zur Planung, zum Entwurf, zur Vorbereitung und Abwicklung von Baumaßnahmen. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen, Technische Lieferbedingungen und Vorschriften enthalten Bestimmungen, die der Bauunternehmer bei seinen Bauleistungen einzuhalten hat. (R1)
- Merkblätter sind Regelwerke im Sinne von Anleitungen, Beschreibungen oder Erläuterungen, die meist mehr ins Detail gehen als Richtlinien. (i.d.R. R2)
- Hinweise dienen als Planungs- und Entscheidungshilfen für die Planung, den Entwurf und die Straßengestaltung. (R2 oder W1)
- Arbeitshilfen enthalten z.B. Festlegungen für die Durchführung von Versuchen oder den Einsatz von Messgeräten, um einheitliche Einsatzbedingungen festzulegen und eine Vergleichbarkeit von Ergebnissen zu gewährleisten. (W2)

Richtlinien und Empfehlungen sind technische Regelwerke. Bei ihrer Anwendung ist kein starrer Maßstab anzuwenden. Sie sind unter Beachtung der Aufgaben, die Straßen übernehmen, und der Anforderungen, die Straßen und Straßenräumen aus ihrem Umfeld erwachsen, sachgerecht, sinnvoll und flexibel anzuwenden. Die für den Entwurf von Straßen relevanten „Richtlinien für die Anlage von Autobahnen“ (RAA), „...Landstraßen“ (RAL) und „...Stadtstraßen“ (RASt) enthalten daher auch Hinweise auf mögliche Abweichungen von den genannten Richtwerten.

Richtlinien werden i.a. von den zuständigen Gebietskörperschaften mit Erlassen als Verwaltungsvorschriften eingeführt und erhalten dadurch eine zusätzliche Bedeutung als verwaltungsinterne Norm. Die in den Richtlinien vorgesehene Entscheidungsfreiheit bleibt davon unberührt. Richtlinien sind keine Gesetze und Abweichungen sind im Laufe einer Planung häufig notwendig.

#### 1.4 Straßen- und Verkehrsstatistik

Ein leistungsfähiges Straßennetz ist einerseits die Grundvoraussetzung für einen gut funktionierenden Wirtschaftsstandort, es sichert aber auch die Mobilität der Einwohner. Deshalb sollen auch in Zukunft ausreichend Mittel für Neu-, Um- und Ausbau von Straßen, aber vor allem auch für den Erhalt und die Instandsetzung vorhandener Straßen zur Verfügung stehen. Um die benötigten Mittel abschätzen zu können, werden für überörtliche Straßen regelmäßig deren Längen erfasst. Abbildung 1.1 zeigt die Länge der Straßen des überörtlichen Verkehrs, aufgeteilt nach den Bundesländern.

	Insgesamt		Bundesautobahnen		Bundesstraßen		Landesstraßen		Kreisstraßen	
	2001	2011	2001	2011	2001	2011	2001	2011	2001	2011
Baden-										
Württemberg	27,5	27,4	1,029	1,046	4,4	4,4	9,9	9,9	12,1	12,1
Bayern	41,8	41,9	2,283	2,509	6,8	6,5	14	14	18,7	18,8
Berlin	0,3	0,2	0,069	0,077	0,2	0,2	-	-	-	-
Brandenburg	12,5	12,3	0,788	0,795	2,8	2,8	5,8	5,8	3,1	3
Bremen	0,1	0,1	0,059	0,075	0	0	-	-	-	-
Hamburg	0,2	0,2	0,081	0,081	0,2	0,1	-	-	-	-
Hessen	15,9	16,1	0,956	0,972	3,1	3	7,2	7,2	4,7	5
Mecklenburg-										
Vorpommern	9,8	10	0,355	0,554	2,1	2	3,2	3,3	4,1	4,2
Niedersachsen	28,1	28,3	1,352	1,433	4,8	4,8	8,3	8,3	13,6	13,7
Nordrhein-										
Westfalen	29,6	29,6	2,18	2,207	5,1	4,8	12,6	12,8	9,8	9,8
Rheinland-										
Pfalz	18,5	18,4	0,839	0,875	3	2,9	7,2	7,2	7,5	7,4
Saarland	2	2	0,236	0,24	0,3	0,3	0,8	0,8	0,6	0,6
Sachsen	13,6	13,5	0,455	0,543	2,4	2,4	4,7	4,7	5,9	5,8
Sachsen-										
Anhalt	10,9	11	0,32	0,407	2,4	2,2	3,8	4,1	4,4	4,3
Schleswig-										
Holstein	9,9	9,9	0,485	0,533	1,7	1,6	3,6	3,7	4,1	4,1
Thüringen	10,3	9,7	0,299	0,498	1,9	1,6	5,6	4,6	2,4	3,1
Deutschland insg.	230,230,8	230,7	11,786	11,7845	11,245	39,7	41,2	86,8	86,9	91

86,5

**Abbildung 1.1 Länge der Straßen des überörtlichen Verkehrs nach Bundesländern in 1.000 km (Verkehr in Zahlen, 2012/2013)**

Neben den absoluten Längen sind für qualitative Vergleiche in der Planung die Straßennetzdichten von großem Aussagewert. Die derzeitigen Werte belegen, dass Deutschland ein relativ dichtes Straßennetz besitzt und dass künftig der Um- und Ausbau des Netzes Vorrang vor dem Neubau haben wird.

Einen Überblick über die Entwicklung der Verkehrsausgaben des Bundes, der Länder und Gemeinden zeigt Abbildung 1.2.

Jahr	Insgesamt	Bundesautobahnen	Bundes- und Landesstraßen	Kreisstraßen	Gemeindestraßen	Verwaltung und Sonstiges
<b>Unmittelbare Ausgaben</b>						
1950/1951	555	29	185	65	276	.
1955/1956	1.427	138	405	161	723	.
<b>Nettoausgaben</b>						
1965	5.102	542	1.746	454	2.091	269
1970	7.614	1.293	2.254	466	3.216	385
1975	8.980	2.002	2.323	563	3.691	401
1980	11.804	1.910	3.205	898	5.212	579
1985	10.413	1.656	2.942	766	4.468	581
1990	11.584	1.783	3.266	831	4.968	736
1995	16.397	3.008	4.747	820	6.597	1.226
2000	16.776	3.271	3.949	953	7.487	1.116
2005	16.424	4.483	3.311	925	6.402	1.303
2006	17.241	3.891	3.891	1.040	6.876	1.543
2007	17.735	3.310	4.345	1.066	7.724	1.290
2008	18.627	3.475	4.398	1.137	8.211	1.406
2009	20.651	4.176	5.286	1.072	8.524	1.593

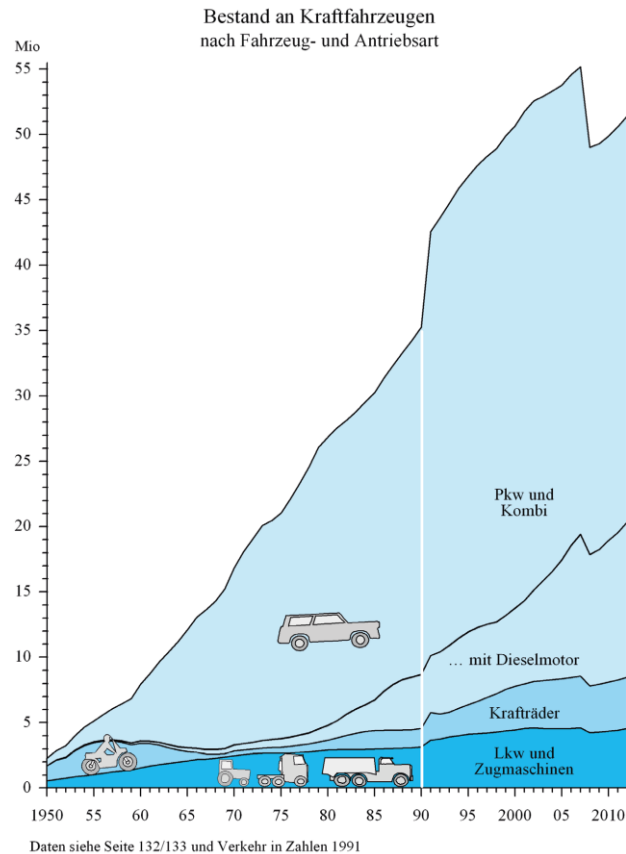
**Abbildung 1.2 Nettoausgaben des Bundes, der Länder und der Gemeinden für das Straßenwesen – in Mio. EUR (Verkehr in Zahlen, 2012/2013)**

Auch die Verkehrsentwicklung ist für die Straßenplanung und den Straßenbau eine wesentliche Richtgröße. Über den zukünftigen Fahrzeugbestand werden regelmäßig Prognosen aufgestellt (z.B. Shell AG). Abbildung 1.3 zeigt die Entwicklung der letzten Jahrzehnte. Das Diagramm in Abbildung 1.4 verdeutlicht, wie stark der Bestand an Kraftfahrzeugen vor allem nach der Wiedervereinigung zugenommen hat.

	1975	1980	1985	1990	2000	2005	2010	2011	2012 *
<b>Kraftfahrzeuge</b>	121.020	26.950	30.204	35.567	51.365	54.520	50.184	50.902	51.735
Personenkraftwagen und Kombi	17.898	23.192	25.845	30.685	42.840	45.376	41.738	42.302	42.928
dar. mit Dieselmotor	644	1.138	2.341	4.122	5.961	9.072	10.818	11.367	11.891
Krafträder	250	572	993	1.233	3.338	3.828	3.763	3.828	3.908
Kraftomnibusse und Obusse	60	70	69	70	86	86	76	76	76
Lastkraftwagen	1.121	1.277	1.281	1.389	2.527	2.572	2.385	2.441	2.529
Zugmaschinen	1.561	1.640	1.705	1.756	1.920	1.962	1.960	1.991	2.028
Übrige Kraftfahrzeuge	129	198	311	434	655	697	263	264	267
<b>Kraftfahrzeuganhänger</b>	931	1.329	1.763	2.246	4.853	5.449	5.911	6.057	6.214
zur Lastenbeförderung	598	861	1.225	1.631	3.632	4.149	4.618	4.700	
dar. Sattelanhänger	52	65	75	96	205	243	259	259	285
zur sonstigen Verwendung	333	468	538	615	1.221	1.300	1.292	1.358	
<b>Mopeds, Mofas und Mokicks</b>	1.719	2.110	1.474	954	1.743	1.786	2.104	2.043	2.096

(\* ab 2008 ohne vorübergehend abgemeldete Fahrzeuge)

**Abbildung 1.3 Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern – in Tausend (Verkehr in Zahlen, 2012/2013)**



**Abbildung 1.4 Bestand an Kraftfahrzeugen nach Fahrzeugart (Verkehr in Zahlen, 2012/2013)**

Neben den rein straßenbezogenen Daten und der Motorisierungsentwicklung sind für die Prognose des zukünftigen Bedarfs weitere statistische Größen erforderlich.

Dazu gehören

- die Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke (DTV), welche die Anzahl der Fahrzeuge beschreibt, die in 24 Stunden einen Straßenquerschnitt passieren,
- die jährliche Fahrleistung, d.h. die jährlich zurückgelegten Kilometer entweder eines durchschnittlichen Kraftfahrzeuges in km/a oder aller Kraftfahrzeuge eines Landes (Gesamtfahrleistung) in Mrd. km/a,
- die Motorisierungsdichte, d.h. die Anzahl der Kraftfahrzeuge bezogen auf die Länge des Gesamtstraßennetzes oder die Fläche der Bundesrepublik sowie
- die Motorisierungskennziffer bzw. der –grad, d.h. die Anzahl der Einwohner je Kfz bzw. die Anzahl der Kraftfahrzeuge je 1.000 Einwohner.



Die folgenden Tabellen zeigen Beispiele für die Entwicklung des DTV und der Gesamtfahrleistung in Deutschland.

Jahr	Bundesautobahnen			Bundesfernstraßen			Landesstraßen			Kreisstraßen		
	DTV	Personen- verkehr	Güter- verkehr	DTV	PV	GV	DTV	PV	GV	DTV	PV	GV
	Kfz/24	in vH	in vH	in Kfz/24 h	in vH	in vH	in Kfz/24 h	in vH	in vH	in Kfz/24 h	in vH	in vH
1953	4.578	.	.	1.640	73,1	26,9	567	75,3	24,7	.	.	.
1960	10.710	75,5	24,5	3.548	75,6	24,4	1.262	74,1	25,9	453	.	.
1965	16.568	75,3	24,7	4.551	79,7	20,3	1.524	76,2	23,8	663	.	.
1970	22.385	80,8	19,2	5.660	84,6	15,4	1.885	85,9	14,1	964	.	.
1975	25.687	85,3	14,7	6.108	88,9	11,1	2.166	90,3	9,7	1.1327	89,6	10,4
1980	29.917	84,3	15,7	6.785	88,9	11,1	2.566	90,3	9,7	1.325	90,1	9,9
1985	31.385	84,6	15,4	7.238	90,1	9,9	2.837	91,4	8,6	1.415	91,0	9,0
1990	41.967	85,4	14,6	9.005	90,7	9,3	3.527	92,1	7,9	1.655	91,7	8,3
1995	43.900	83,9	16,1	9.130	89,9	10,4	3.789	91,2	8,8	8	8	8
2000	47.800	84,9	15,1	9.270	91,6	8,4	.	.	.	.	.	.
2005	47.600	85,29	14,71	9.210	91,5	8,47	.	.	.	.	.	.

**Abbildung 1.5 Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke auf freien Strecken der überörtlichen Straßen (Verkehr in Zahlen, 2012/2013)**

	1965	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2011
<b>Durchschnittliche Fahrleistungen – in 1.000 km</b>								
-einschl. der vorübergehend abgemeldeten Fahrzeuge -								
Mopeds	3,9	3,5	2,8	2,3	2,4	2,37	2,3	2,3
Krafträder	5,3	5,0	4,5	4,1	3,9	3,34	3	3
Personenkraftwagen und Kombis	16,4	15,3	13,6	14,1	13,1	12,66	14,2	14,2
Kraftomnibusse	45,3	42,5	41,9	43,8	43,7	41,54	43,6	43,6
Lastkraftwagen	25,5	25,7	25,9	23,8	23,2	22,28	24,9	24,7
Sattelzugmaschinen	56,5	56,5	66,5	74,2	80,7	80,73	94,9	94,8
Sonstige Kraftfahrzeuge	7,9	8,1	8,2	8,5	8,0	7,77	6	5,9
Gesamtfahrleistungen – in Mrd. km								
<b>Kraftfahrzeuge insgesamt</b>	186,6	251,0	367,9	488,3	663,3	684,28	704,8	717,6
Mopeds	4,7	4,6	7,6	2,7	3,8	4,31	4,7	4,8
Krafträder	3,8	1,9	3,3	5,9	13,0	12,99	11,6	11,9
Personenkraftwagen und Kombis	151,7	212,9	314,3	431,5	559,5	578,16	599	608,8
Kraftomnibusse	1,7	2,0	3,0	3,1	3,7	3,50	3,3	3,3
Lastkraftwagen	22,5	26,4	33,1	33,1	58,7	57,32	60,7	62,5
Sattelzugmaschinen	1,3	2,0	4,0	5,8	13,1	15,18	16,9	17,5
Sonstige Kraftfahrzeuge	0,8	1,2	2,5	6,3	11,4	12,82	8,5	8,8

**Abbildung 1.6 Fahrleistung nach Kraftfahrzeugarten (Verkehr in Zahlen, 2012/2013)**

Wichtige Rückschlüsse für die verkehrsgerechte Gestaltung der Straßenverkehrsanlagen ermöglicht die kritische Beobachtung und Bewertung des Unfallgeschehens. Mit der Entwicklung der Motorisierung in den fünfziger Jahren setzte auch eine bedrohliche Unfallentwicklung ein, die Anfang der siebziger Jahre bei den getöteten und verletzten Personen ihren Höhepunkt erreichte (Abbildung 1.7, Abbildung 1.8). Maßgebende Gründe für die deutliche Reduzierung der Unfälle mit Getöteten und schwerem Personenschaden seit Mitte der siebziger Jahre sind vor allem die Weiterentwicklung der Fahrzeugtechnik (Crashsicherheit,

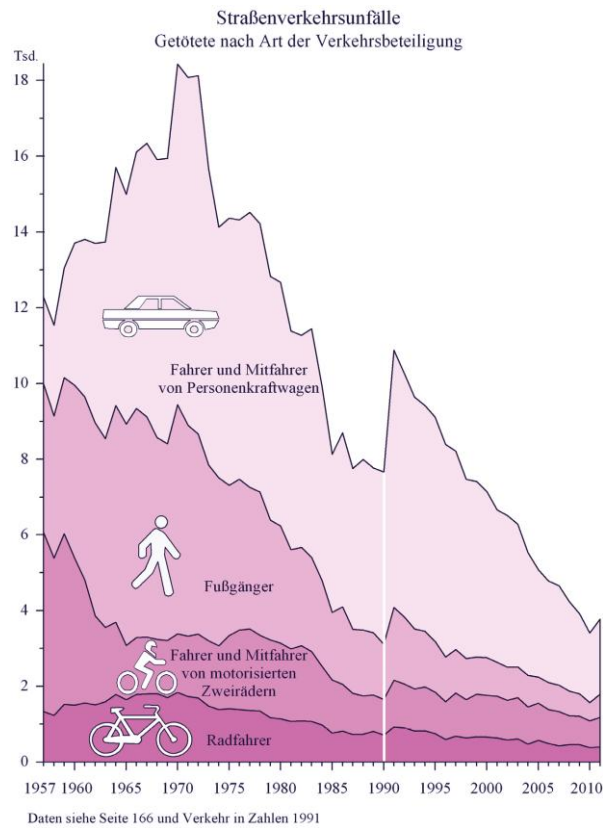
fahrerunterstützende Systeme wie ABS, ESP, ...), gesetzliche Regelungen (Helmpflicht, Anschnallpflicht etc.) und der Ausbau der Verkehrsanlagen (siehe Abbildung 1.9).

Jahr	mit Personenschaden						mit schwerem Sachschaden									
	insgesamt		mit		Innerhalb		außerhalb		insgesamt		innerhalb		außerhalb			
	Getöteten		Verletzten		von Ortschaften		von Ortschaften		in		in vH		in		in vH	
	in 1.000	in 1.000	in 1.000	in 1.000	in 1.000	in vH	in 1.000	in vH	in 1.000	in	in vH	in	in vH	in	in vH	
1960	349,3	13,5	335,8	352,8	72,4	96,5	27,6	347,2	263,4	75,8	83,9	24,2				
1965	316,4	14,6	301,7	214,7	67,9	101,7	32,1	111,7	71,0	63,5	40,7	36,5				
1970	377,6	17,5	360,1	254,2	67,3	123,4	32,7	166,5	113,1	68,0	53,4	32,0				
1975	337,7	13,5	324,2	231,2	68,5	106,5	31,5	234,3	166,3	71,0	68,0	29,0				
1980	379,2	11,9	367,3	261,3	68,9	117,9	31,1	462,1	337,6	73,0	124,5	27,0				
1985	327,7	7,7	320,1	225,6	68,8	102,1	31,2	242,2	159,4	65,8	82,8	34,2				
1990	340,0	7,1	333,0	218,2	64,2	121,9	35,8	260,5	157,8	60,6	102,8	39,4				
1995	388,0	8,5	379,5	246,6	63,6	141,4	36,4	163,7	100,0	61,1	63,7	38,9				
2000	382,9	6,8	376,1	245,5	64,1	137,5	35,9	133,3	80,2	60,1	53,1	39,9				
2004	339,3	5,4	333,9	223,3	65,8	116,0	34,2	120,8	72,4	59,9	48,4	40,1				
2005	336,6	5	331,6	225,9	67,1	110,7	32,9	119,5	71,9	60,2	47,6	39,8				
2006	328	4,7	323,3	221,5	67,5	106,5	32,5	115,4	70,7	61,3	44,7	38,7				
2007	335,8	4,6	331,2	228,7	68,1	107,1	31,9	116	71,6	61,7	44,4	38,3				
2008	320,6	4,1	316,5	221,3	69	99,3	31	109,3	69	63,1	40,3	36,9				
2009	310,8	3,9	306,9	213,4	68,6	97,4	31,4	106,7	66	61,9	40,7	38,1				
2010	288,3	3,4	284,9	195,8	67,9	92,5	32,1	108,1	64,8	59,9	43,3	40,1				
2011	306,3	3,7	302,5	210,4	68,7	95,8	31,3	97,7	62,1	63,5	35,7	36,5				

**Abbildung 1.7 Straßenverkehrsunfälle mit Personen- und Sachschaden (Verkehr in Zahlen, 2012/2013)**

Jahr	Getötete			Verletzte			Schwerverletzte			Leichtverletzte
	insg.	innerhalb	außerhalb	insg.	innerhalb	außerhalb	insg.	innerhalb	außerhalb	insg.
	von Ortschaften			von Ortschaften			von Ortschaften			
	Anzahl	Anzahl	Anzahl	in 1.000	in 1.000	in 1.000	in 1.000			
1960	14.406	6.858	7.548	455,0	313,5	141,5	145,4	90,6	54,8	309,5
1965	15.733	7.411	8.342	433,5	273,6	159,9	132,7	76,1	56,6	300,8
1970	19.193	8.494	10.699	531,8	331,2	200,6	164,4	92,9	71,6	367,4
1975	14.870	6.071	8.799	457,8	292,5	165,3	138,0	78,7	59,4	319,8
1980	13.041	5.132	7.909	500,5	324,2	176,3	149,0	85,0	64,0	351,5
1985	8.400	2.915	5.485	422,1	272,6	149,5	115,5	64,5	51,1	306,6
1990	7.906	2.205	5.701	448,2	265,6	182,5	103,4	49,8	53,6	344,8
1995	9.454	2.435	7.019	512,1	301,5	210,6	123,0	57,7	65,2	389,2
2000	7.503	1.829	5.674	504,1	300,8	203,3	102,4	47,7	54,7	401,7
2004	5.842	1.484	4.358	440,1	272,0	168,1	80,8	39,7	41,1	359,3
2005	5.361	1.471	3.890	433,4	274	159,4	77	39,3	37,7	356,5
2006	5.091	1.384	3.707	422,3	268,6	153,7	74,5	38,3	36,2	347,8
2007	4.949	1.335	3.614	431,4	277	154,4	75,4	39,2	36,3	356
2008	4.477	1.261	3.216	409	266,9	142,2	70,6	37,7	33	338,4
2009	4.152	1.225	2.927	397,7	257,7	140	68,6	36,4	32,2	329,1
2010	3.648	1.011	2.637	371,2	238,1	133	62,6	33,3	29,4	308,6
2011	4.009	1.115	2.894	392,4	254,3	138,1	69	37	32	323,4

**Abbildung 1.8 Straßenverkehrsunfälle mit getöteten und verletzten Verkehrsteilnehmern (Verkehr in Zahlen, 2012/2013)**



**Abbildung 1.9      Entwicklung der Straßenverkehrsunfälle (Unfälle mit Getöteten)  
(Verkehr in Zahlen, 2012/2013)**

In diesem Zusammenhang ist auch die Betrachtung der Entwicklung der Unfälle in Bezug auf die Straßenkategorien von Interesse. Gerade auf den gut ausgebauten und ausgestatteten Straßen stieg die Verkehrssicherheit (Abbildung 1.10).

	1965	1970	1975	1980	1990	2000	2005	2010	2011
<b>Unfälle mit Personenschaden in 1.000</b>	316,4	377,6	337,7	379,2	340,0	383,0	336,6	288,3	306,3
Bundesautobahnen	12,5	15,7	13,6	16,2	24,3	25,6	20,9	18,8	18,3
Bundesstraßen	94,1	108,4	81,5	87,0	76,8	83,7	68	53,5	55,5
Landesstraßen	55,9	74,9	68,4	81,8	73,1	84,6	72,7	61,9	66
Kreisstraßen	18,9	25,6	28,3	35,8	34,4	37,6	33,6	29,5	31,4
Gemeindestraßen	135,0	153,1	145,9	158,4	131,4	151,5	141,3	124,5	135,1
<b>Getötete - Anzahl</b>	<b>15.753</b>	<b>19.193</b>	<b>14.870</b>	<b>13.041</b>	<b>7.906</b>	<b>7.503</b>	5.361	3.648	4.009
Bundesautobahnen	707	7.945	949	804	936	907	662	430	453
Bundesstraßen	6.227	7.373	4.779	4.158	2.495	2.326	1.577	1.014	1.154
Landesstraßen	3.335	4.765	3.825	3.755	2.146	2.185	1.501	1.098	1.147
Kreisstraßen	1.209	1.702	1.725	1.643	1.033	965	746	487	544
Gemeindestraßen	4.275	4.408	3.592	2.681	1.296	1.120	875	619	711
<b>Schwerverletzte - in 1.000</b>	132,7	164,4	138,0	149	103,4	102,4	77	62,6	69
Bundesautobahnen	6,3	7,6	5,9	6,3	8,4	8,2	5,9	4,9	5,2
Bundesstraßen	43,6	52,2	35,6	36,9	25,2	24,8	17,2	13,3	14
Landesstraßen	26,8	37,7	33,4	38,3	26,3	27,6	19,9	15,7	17,6
Kreisstraßen	9,3	13,5	14,5	17,2	12,8	12,3	9,3	7,6	8,4
Gemeindestraßen	46,8	53,5	48,6	50,3	30,7	29,5	24,7	21,2	23,8
<b>Leichtverletzte - in 1.000</b>	300,8	367,4	319,8	351,5	344,8	401,7	356,57	308,6	323,4
Bundesautobahnen	15,5	19,5	16,5	18,8	30,7	32,0	26,5	23,9	23,5
Bundesstraßen	92,7	110,7	81,3	84,7	83,0	94,2	77,3	62	63,5
Landesstraßen	51,9	71,5	63,3	74,2	72,8	87,2	76,5	66,7	69,6
Kreisstraßen	16,6	22,9	24,6	30,7	32,2	36,8	34	30,5	31,8
Gemeindestraßen	124,1	142,7	134,1	143,2	126,1	151,5	142,2	125,4	135

**Abbildung 1.10** Entwicklung der Straßenverkehrsunfälle mit Getöteten und Verletzten, aufgeteilt nach Straßenkategorien (Verkehr in Zahlen, 2012/2013)

## 1.5 Verständnisfragen

- Welche technischen Regelwerke gibt es? In welche Kategorien sind sie unterteilt?
- Was bedeuten die Abkürzungen „RAA“, „RASt“, „DIN“, „ZTV“?
- Welche Richtlinien sind für Planung und Entwurf relevant?
- Wie sind Richtlinien zu handhaben im Gegensatz zu Gesetzen und Normen?
- Welche Informationen können aus der Verkehrsstatistik gewonnen werden?

## 2 Planungsablauf

Da eine Straße sehr lange existiert, muss sich ihre Planung und Bemessung auf einen dementsprechend langen Zeitraum (i.a. zwanzig Jahre) beziehen, wobei der ungünstigste im Bemessungszeitraum auftretende Zustand der für die Bemessung maßgebende ist. Als Grundlage eines Straßenentwurfs wird daher eine Prognose der maßgeblichen Parameter für diesen Bemessungszeitraum herangezogen.

Nach der Systematik der staatlichen bzw. kommunalen Haushalte wird unterschieden zwischen Straßenneubau, Verlegung, Ausbau, Erneuerung und Verstärkung sowie Instandsetzung. Beim Straßenneubau entsteht zusätzlich zu dem vorhandenen Netz eine völlig neue Trasse mit einer neuen Straßenbezeichnung, wie z.B. bei Autobahnen oder neuen Siedlungsstraßen. Im Gegensatz dazu wird bei einer Straßenverlegungen eine vorhandene Trasse durch eine neue ersetzt, z.B. beim Bau einer Ortsumgehung. Der Planungsablauf ist bei Neubau und Verlegung ähnlich. Beim Ausbau einer Straße wird lediglich ihre Linienführung, ihr Querschnitt oder ihre Verknüpfung mit dem übrigen Straßennetz verändert. Die Erneuerung, Verstärkung und Instandsetzung von Straßen beschränkt sich auf bautechnische und baubetriebliche Maßnahmen.

Die Ausarbeitung eines Straßenentwurfs vollzieht sich in mehreren Entwurfsstufen nach dem in Abbildung 2.1 gezeigten Schema. Den einzelnen Planungsschritten sind die jeweiligen Leistungsphasen der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) zugeordnet. Mit jeder Stufe werden die Vorstellungen konkreter und die Pläne immer detaillierter. Nach den Kriterien Sicherheit, Leistungsfähigkeit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit werden die brauchbaren Varianten ausgewählt.

Neben der technischen Bearbeitung sind im Laufe einer Planung auch rechtliche Verfahren abzuwickeln. Entsprechend dem Entwurfsfortschritt werden hierbei die Abstimmung mit der Raumplanung, der Erwerb des benötigten Grund und Bodens, die Erlangung notwendiger Rechte (Wasser, Betretungsrecht u.ä.), das Ausmaß von Entschädigungen und auch die Vergabe der Bauleistungen nach öffentlichem und bürgerlichem Recht geklärt und geregelt.

Planungs- und Entwurfsstufen	Unterlage	Verfahren	Leistungsphasen (Lph) HOAI und HVA F-StB
<b>Bedarfsplanung</b>	Bundesverkehrswegeplan / Bedarfsplan (Bundesfernstraßen) Bedarfspläne auf Landes- bzw. Regional-ebene und vergleichbare Pläne	Bundesverkehrswegeplanung Fernstraßenausbaugesetz (FStrAbG) mit Bedarfsplan Vergleichbare Verfahren für Landes- und Kreisstraßen	
<b>Vorplanung</b>	Voruntersuchung / Linienentwurf	Raumordnungsverfahren, Linienbestimmungsverfahren Flächennutzungsplan	Grundlagenermittlung (§ 55 Lph 1) Vorplanung (§ 55 Lph 2)
<b>Entwurfsplanung</b>	Vorentwurf nach RE/ Genehmigungsentwurf	technische und haushaltsrechtliche Prüfung mit verwaltungsinterner Genehmigung (Sichtvermerke)	Entwurfsplanung (§ 55 Lph 3)
<b>Genehmigungsplanung</b>	(Plan-) Feststellungsentwurf	Planfeststellungsverfahren Plangenehmigungsverfahren Bebauungsplanverfahren	Genehmigungsplanung (§ 55 Lph. 4)
<b>Ausführungsplanung</b>	Ausführungsentwurf / Bauentwurf	Technische Freigabe	Ausführungsplanung (§ 55 Lph. 5)

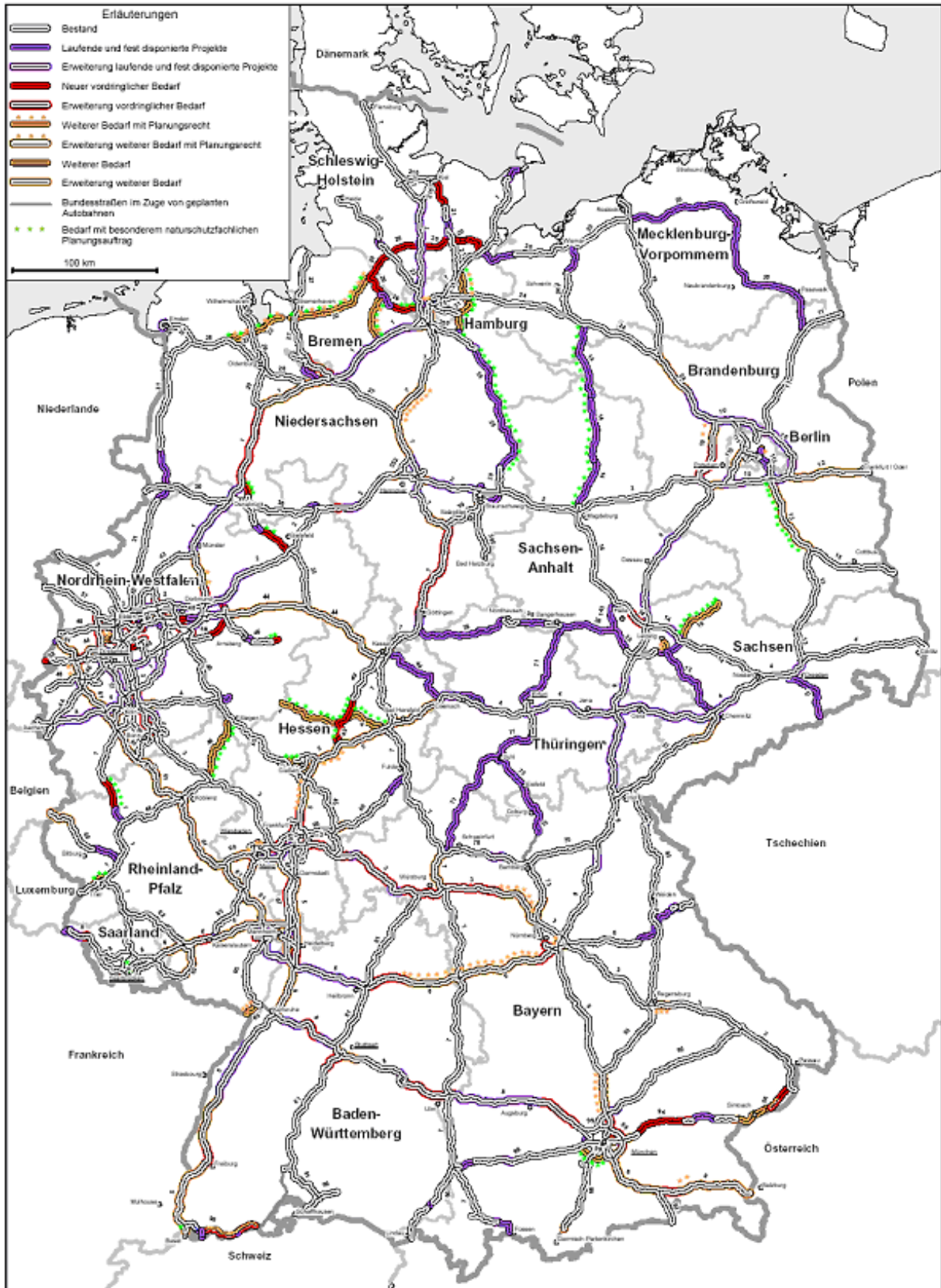
**Abbildung 2.1 Planungs- und Entwurfsstufen für Landstraßen (RAL, 2012)**

Bei dem Erstellen eines Entwurfes gibt es vielfältige Zusammenhänge zwischen Fahrverhalten, Straßengestaltung, Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Umwelt zu beachten. Somit kann eine Planung nur als iterativer Prozess ablaufen, das bedeutet, dass zunächst Annahmen getroffen werden, die sich erst in späteren Stadien des Entwurfs als richtig oder ungeeignet erweisen. Planung erfordert also ein logisches und vernetztes Denken, um die Konsequenzen einer Entscheidung im Voraus abschätzen zu können. Außerdem ist eine geschlossene Lösung nicht möglich, so dass für die anstehenden Probleme verschiedene Varianten untersucht werden müssen, um daraus die geeignetste, unter Abwägung aller Belange, auswählen zu können.

## 2.1 Bedarfsplanung

Grundlage für den Neubau oder die Verlegung einer Straße ist ein verkehrsplanerisches Konzept für den Planungsraum, das auf Prognosen basiert. In dem Konzept müssen neben





**Abbildung 2.2**

**Auszug aus dem Bundesverkehrswegeplan 2003 - Bundesautobahnen**

Aussagen über das Straßennetz auch Angaben über die anderen Verkehrsträger und vorhersehbare bzw. erwünschte Verkehrsverlagerungen enthalten sein. Jede Straßenplanung beginnt mit gesetzlichen Bedarfsplänen. In den Bedarfsplänen des Bundes und der Länder werden die zu bauenden oder auszubauenden Strecken festgelegt und mit einer Dringlichkeitsstufe versehen. Im Bundesverkehrswegeplan ist der Bedarfsplan für die Bundesfernstraßen ein Bestandteil. Die Abbildung 2.2 zeigt aus dem aktuellen Bundesverkehrswegeplan die Verkehrsprojekte für das Bundesautobahnnetz, wobei zwischen vordringlichem Bedarf und weiterem Bedarf unterschieden wird. In den Bundesländern gibt es Gesamtverkehrspläne und Ausbauplänen für die Landes- und Staatsstraßen. Für die Landkreise, Städte und Gemeinden existieren Verkehrsentwicklungspläne, in denen u.a. regelmäßig Angaben zu den geplanten Netzveränderungen gemacht werden. Die Aufstellung der Verkehrsentwicklungspläne erfolgt nach den Grundsätzen der Straßenverkehrsplanung. Parallel zur Feststellung des Bedarfes laufen die Umwelterheblichkeitsprüfung, der Nachweis der Wirtschaftlichkeit und die Prüfung der Genehmigungsfähigkeit.

Der Planer eines Verkehrsweges trägt eine große Verantwortung, da durch seine Planung erheblich in die Natur und Landschaft eingegriffen wird und somit auch viele Menschen auf lange Sicht beeinflusst werden. Die Beeinträchtigungen des Umfeldes durch die Planung können jedoch durch bestimmte Maßnahmen vermindert werden. Gerade der langfristige Einfluss einer Straße auf die Umwelt ist in heutiger Zeit von großer Bedeutung. Deshalb muss die Planung mit den Trägern öffentlicher Belange (Ministerien, Behörden, Zweckverbände etc.) und mit privat Betroffenen abgestimmt werden.

## 2.2 Vorplanung

Wenn der Bedarf einer neuen Straßenverbindung feststeht, wird zunächst eine Vorplanung veranlasst. Diese beginnt mit der Festlegung des Planungsraumes und der Analyse aller planungsrelevanten Daten. Die Vorplanung dient der Linienfindung und einer ersten Abschätzung der Folgen des Straßenbaues. Sie muss alle aus verkehrlicher Sicht sinnvollen Varianten einschließen und alle erheblichen Einflüsse auf das Umfeld der Straße erfassen. Aus dieser Raumanalyse sollen sowohl die besonders konfliktträchtigen Bereiche als auch konfliktärmere Korridore zu erkennen sein. In den konfliktärmeren Bereichen entsteht ein Linienentwurf, bei dem in kleinerem Maßstab (z.B. 1:10.000) grundsätzlich mehrere Wahllinien vergleichend untersucht werden. Dafür werden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Varianten ermittelt und einander gegenübergestellt. Bei der Beurteilung der verschiedenen Linien werden vornehmlich folgende Kriterien angesetzt:

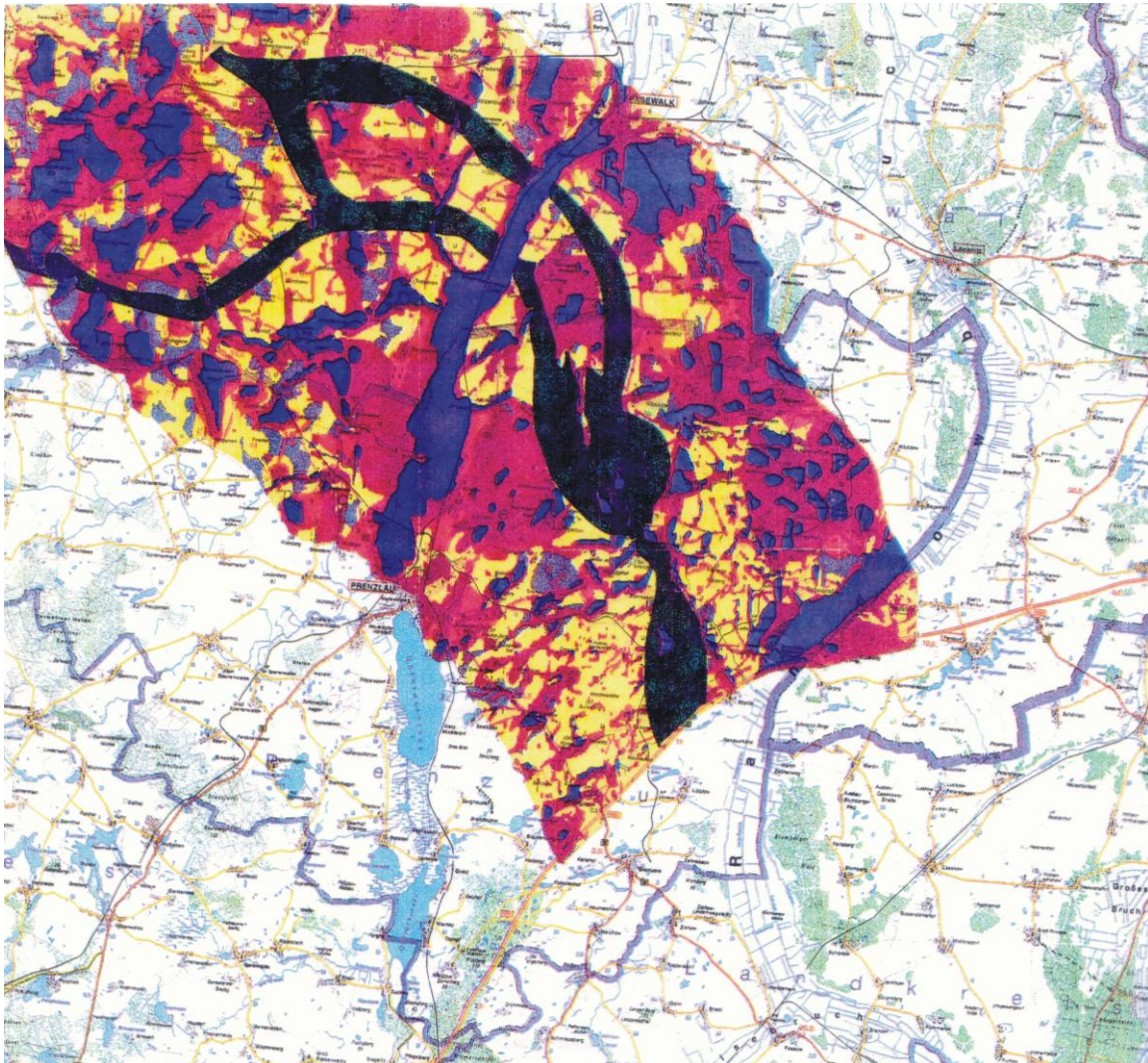


- verkehrliche Wirkungen (z.B. Verbindungsqualität, Leistungsfähigkeit, Verkehrssicherheit, Entlastung von Innerortsstraßen)
- Auswirkungen auf die Umweltschutzgüter gemäß Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) (Mensch, Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser, Luft, Klima, Landschaft, Kultur- und sonstige Sachgüter)
- raumplanerische Belange (z.B. Ortsbild, städtebauliche Entwicklungsmöglichkeiten, Beeinträchtigung von Ortsrändern)
- Eingriffe in vorhandene Strukturen (z.B. Siedlungs- und Wirtschaftsstruktur, Flächeninanspruchnahme, Durchschneidung)
- Wirtschaftliche Belange (z.B. Baukosten, Baudurchführung, Betriebskosten)

Als Ergebnis dieses Variantenvergleiches und des dazugehörigen Abwägungsprozesses entsteht eine Vorzugslinie. Diese ist Grundlage für das Raumordnungsverfahren, das bei raumordnerisch bedeutenden Projekten durchgeführt wird. Ziel des Raumordnungsverfahrens ist es, das Straßenbauvorhaben mit anderen raumbedeutsamen Planungen und mit den Zielen der Raumordnung und Landesplanung abzustimmen. Dieses behördeninterne Verfahren schließt mit einer landesplanerischen Stellungnahme ab.

Bei Bundesfernstraßen folgt nach dem Raumordnungsverfahren das (ebenfalls behördeninterne) Linienbestimmungsverfahren (nach § 16 Fernstraßengesetz) einschließlich der Umweltverträglichkeitsprüfung (Teil 1) auf Basis einer Umweltverträglichkeitsstudie. Damit können die Trasse und die wesentlichen Planungsvorgaben festgelegt werden.

Am Beispiel der Vorplanung eines Abschnittes der A 20 zeigen die folgenden Abbildungen von der Festlegung der Korridore (Abbildung 2.3) über das Finden der verschiedenen Linien (Abbildung 2.4) die Auswahl der Vorzugslinie für das Raumordnungsverfahren (Abbildung 2.5).



**Abbildung 2.3** Vorplanung der A 20 im Bereich Brandenburg – Korridorfindung auf Basis einer Raumwiderstandskarte



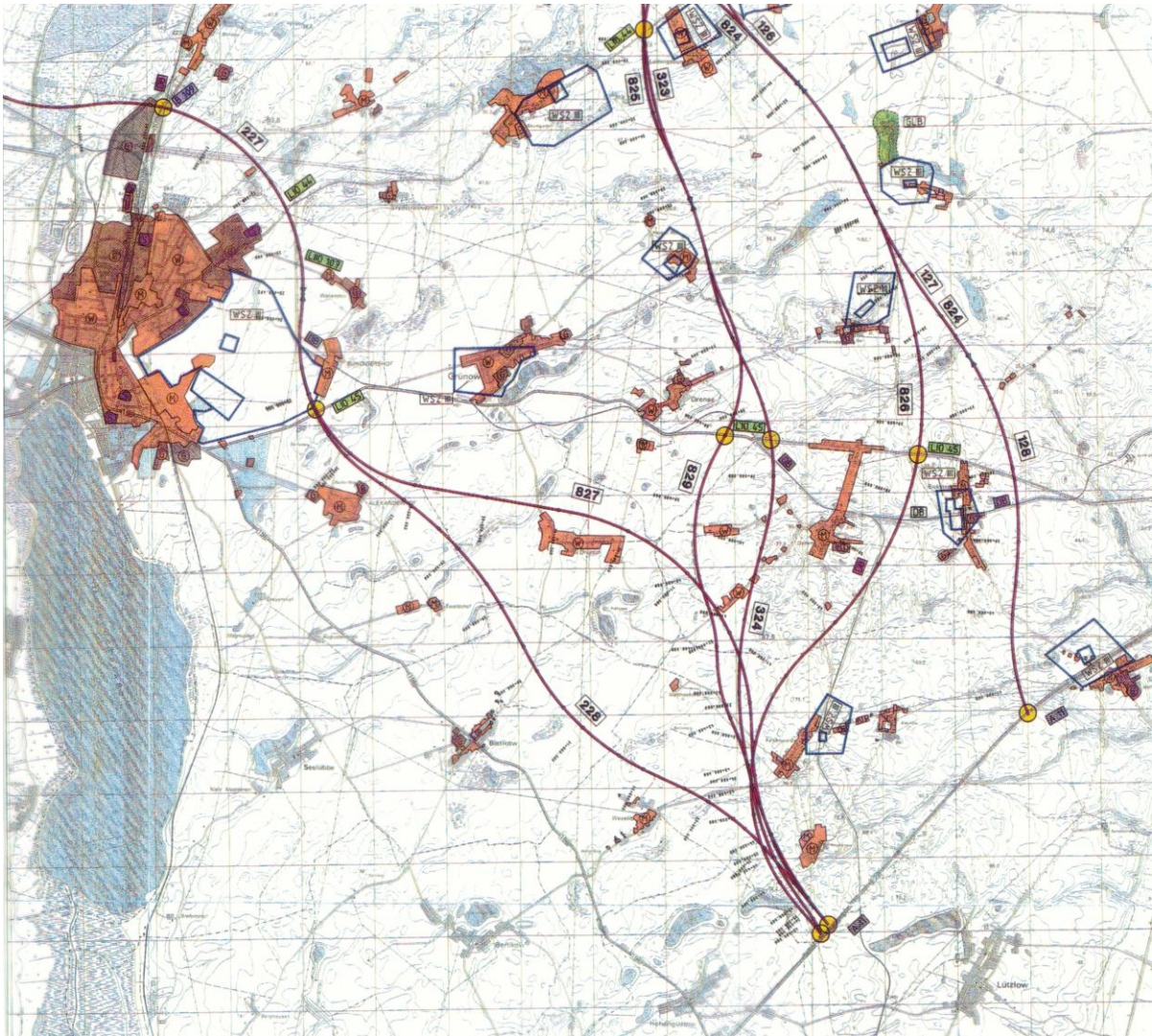


Abbildung 2.4 Vorplanung der A 20 im Bereich Brandenburg – Variantenvergleich (Ausschnitt)





**Abbildung 2.5** Vorplanung der A 20 im Bereich Brandenburg – Vorzugslinie für das Raumordnungsverfahren

### 2.3 Entwurfsplanung

Im Zuge der Entwurfsplanung werden die aus den vorangegangenen Untersuchungen resultierenden Ergebnisse in einem Vorentwurf dargestellt. Darin werden die Elemente des Entwurfes in Lage, Höhe und Querschnitt festgelegt. Die Entwurfsarbeit erfolgt hier nicht mehr nur in der Ebene, sondern stets mit Blick auf die Straße im dreidimensionalen Raum.

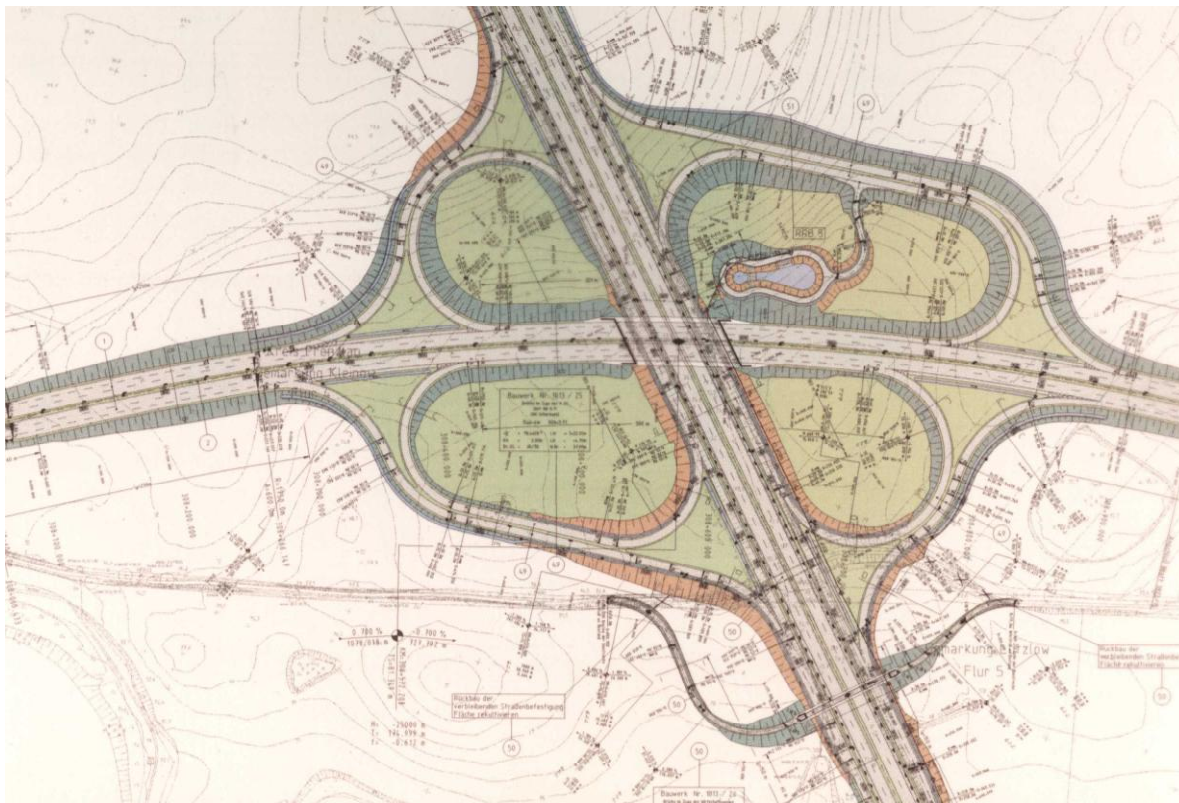
Dem Vorentwurf kommt große Bedeutung zu, da er die Grundlage für das Genehmigungsverfahren des Baulastträgers bildet. Aus ihm werden die Unterlagen zum Planfeststellungsverfahren entwickelt. Der Vorentwurf dient somit der grundsätzlichen Beurteilung der Planung, insbesondere im Hinblick auf die Zweckmäßigkeit der gewählten Lösung, die Umwelt-



verträglichkeit, die Wirtschaftlichkeit sowie die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften und der Regeln der Technik.

Der Vorentwurf muss folgende Unterlagen umfassen:

- Erläuterungsbericht
- Übersichtskarte (im Maßstab 1:25.000 oder 1:100.000)
- Übersichtslageplan (im Maßstab zwischen 1:5.000 und 1:25.000)
- Lageplan (Grundriss im Maßstab 1:5.000 bis 1:2.500 außerorts, bei Ortsdurchfahrten und komplizierteren Planungen bis zum Maßstab 1:500), in den auch die Abmessungen von Dämmen und Einschnitten sowie der erforderlichen Kunstbauwerke eingetragen werden
- Höhenplan (Längsschnitt der Straße in ihrer Achse, i.d.R. im gleichen Längenmaßstab wie der Lageplan, wobei die Höhen zehnfach überhöht dargestellt werden)
- Straßenquerschnitt (im Maßstab 1:50)
- Landschaftspflegerischer Begleitplan



**Abbildung 2.6** Lageplan eines Autobahnkreuzes (Vorentwurf als Ergebnis der Entwurfsplanung)

## 2.4 Genehmigungsplanung

Die Genehmigungsplanung ist eine Weiterführung der Entwurfsplanung sowie des Landschaftspflegerischen Begleitplanes. Danach geht die Planung in das Planfeststellungsverfahren (nach §§ 17 und 18 Fernstraßengesetz) einschließlich der Umweltverträglichkeitsprüfung (Teil 2) auf Basis des landschaftspflegerischen Begleitplans. Bei der Planfeststellung werden die von dem Vorhaben berührten öffentlichen und privaten Belange abgewogen. Da ein Straßenbauvorhaben in vorhandene Verhältnisse eingreift und bestehende Rechtsverhältnisse berührt, werden durch die Planfeststellung alle öffentlich-rechtlichen Beziehungen zwischen dem Träger der Straßenbaulast und anderen Behörden sowie durch die Planung Betroffenen umfassend rechtsverbindlich geregelt. Die Planunterlagen werden in den von dem Straßenbauvorhaben betroffenen Gemeinden einen Monat lang für jeden zur Einsicht ausgelegt. In dieser Zeit können Einwendungen eingereicht werden. Durch den Planfeststellungsbeschluss wird das Straßenbauvorhaben für zulässig erklärt (Baurecht).

## 2.5 Ausführungsplanung

In der Ausführungsplanung wird die Straße in hohem Detaillierungsgrad baureif geplant. Beschilderungs-, Markierungspläne etc. werden erstellt, auch wird ein Bauzeitenplan für den folgerichtigen Ablauf der einzelnen Teilbaumaßnahmen erarbeitet. Aus umweltfachlicher Sicht wird, aufbauend auf dem landschaftspflegerischen Begleitplan, ein landschaftspflegerischer Ausführungsplan erarbeitet. Anschließend folgen die Ausschreibung und Vergabe der Bauleistungen. Alle erforderlichen Leistungen sind in der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure) ausführlich festgelegt und beschrieben.

## 2.6 Verständnisfragen

- Welche Schritte des Entwurfs gibt es zwischen Idee und fertiger Straße?
- Wodurch unterscheiden sie sich?
- Welche Kriterien werden im Abwägungsprozess der Linienfindung herangezogen?
- Welche behördeninterne bzw. öffentlich-rechtliche Verfahren begleiten den Entwurfsprozess?
- Durch welche Unterlagen und Prüfungen werden im Planungsprozess die umweltrelevanten Aspekte berücksichtigt?
- Wann liegt Baurecht vor?

### **3 Straßennetzgestaltung**

#### **3.1 Grundgedanken der Richtlinien für integrierte Netzgestaltung**

Die Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN) greifen die Ziele der Raumordnung und Landesplanung für die Erreichbarkeit der zentralen Orte auf und leiten die funktionale Gliederung der Verkehrsnetze aus der zentralörtlichen Gliederung ab. Dadurch werden auf der Ebene der konzeptionellen Verkehrsnetzgestaltung die Zielvorgaben für die Entwicklung der Verkehrssysteme auf einem einheitlichen raumordnerischen Ansatz aufgebaut und eine aufeinander abgestimmte Verkehrsnetzentwicklung erreicht.

Neben dem raumordnerischen Ansatz für die Netzgestaltung beziehen die RIN auch umwelt- und landschaftsbezogene Planungsziele ein. Dabei wird die Empfindlichkeit des Umfelds der Verkehrswege betrachtet, um in der Phase der konzeptionellen Planung der Verkehrsnetze negative Auswirkungen des Verkehrssystems zu vermeiden oder zu mildern. Die RIN behandeln das Verkehrsangebot als Ganzes. Sie umfassen die aufeinander abgestimmte Netzentwicklung in den einzelnen Verkehrssystemen und den Aufbau systemübergreifender Verbindungen. Damit können die systemspezifischen Vorteile eines Verkehrssystems gestärkt und mit denen eines anderen Verkehrssystems in Verknüpfungspunkten kombiniert werden, womit eine optimale Systemlösung als Ganzes erreicht werden kann. Die RIN behandeln die Gestaltung der Verkehrsnetze einschließlich der Linienangebote des öffentlichen Personenverkehrs.

Die RIN bilden eine methodische Planungshilfe für die integrierte Verkehrsnetzplanung, in der die relevanten Aspekte der Raum- und Umweltplanung einbezogen sind. Damit können bestehende Verkehrsnetze analysiert und bewertet sowie Netzkonzepte für zukünftige Verkehrsnetze entwickelt werden.

Die Grundsätze für die Gestaltung der Verkehrssysteme leiten sich aus gesellschaftspolitischen Wertvorstellungen ab. Dies gilt auch für Verkehrsnetze, die mit ihren Verkehrswegen und Verknüpfungspunkten die Erreichbarkeit von Räumen und deren Verbindung untereinander ermöglichen. Erreichbarkeiten beeinflussen die Lagegunst von Räumen sowie deren strukturelle Entwicklungschancen als Wohn- und Wirtschaftsstandort. Dabei sind die Wirkungen der Verkehrsnetze auf den Wettbewerb der Regionen zu berücksichtigen. Durch die Verkehrssysteme können die lagebedingten Rahmenbedingungen zwar nicht kompensiert, aber die Erreichbarkeiten von Räumen verbessert werden. Die Verkehrsnetzplanung ist somit ein Instrument zur Unterstützung raumordnerischer und regionalplanerischer Ziele. Sie kann sowohl die Entwicklungshemmnisse von Räumen mindern und deren Entwicklungschancen fördern als auch zur Entlastung von Räumen beitragen.

Die Ziele der Raumordnung und der Verkehrsnetzplanung sind über das System der zentralen Orte eng verzahnt. Verkehrsnetze unterstützen die zentralen Orte in der Wahrnehmung

der Versorgungsfunktion für ihren Versorgungsbereich. Gleichzeitig ermöglichen die Verkehrswege den Leistungsaustausch zwischen zentralen Orten im Sinne einer Austauschfunktion. Damit stärken die Verkehrsnetze das Konzept der „dezentrale Konzentration“ und das polyzentrische Siedlungssystem.

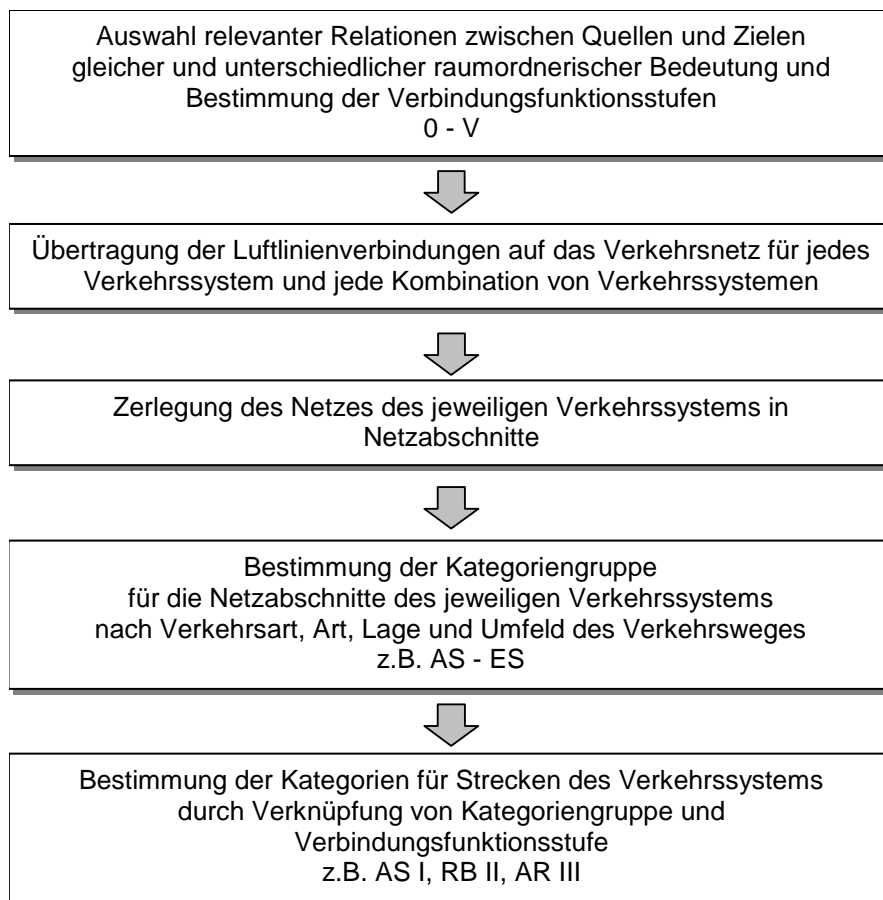
Die Verkehrsnetzgestaltung soll auch zu einer nachhaltigen Verkehrsentwicklung beitragen. Diese ist gekennzeichnet durch soziale Verträglichkeit, ökonomische Effizienz und ökologische Tragfähigkeit.

Die Wirkungen der Verkehrsnetze auf die Raum- und Stadtentwicklung gehen mit erheblichen Kosten für die Allgemeinheit einher, insbesondere hinsichtlich Transportkosten, Verkehrssicherheit, Umweltverträglichkeit sowie Investitions- und Betriebskosten. Die Ziele von Raumordnung und Verkehrsnetzplanung sollen möglichst mit den geringsten Kosten und negativen Folgewirkungen für die Allgemeinheit erreicht werden.

Die funktionale Gliederung der Verkehrsnetze zielt auf eine aufgabengerechte Bündelung der Verkehrsnachfrage ab. Diese schafft die Rahmenbedingungen für eine verkehrs- und stadtgerechte sowie landschaftsschonende und verkehrssichere Netzgestaltung. Sie liefert damit einen wesentlichen Beitrag für eine nachhaltige Verkehrsentwicklung.

Aufgabe der funktionalen Gliederung der Verkehrsnetze ist es, die für Planung, Entwurf und Betrieb der Verkehrsinfrastruktur maßgebenden Verkehrswegekategorien festzulegen. Bei allen weiteren Schritten zur Gestaltung der Netzelemente und Verknüpfungspunkte soll von der funktionalen Gliederung des Netzes ausgegangen werden. Sie ermöglicht es, einzelne Netzabschnitte abhängig von der Verbindungsbedeutung sowie dem städtebaulichen und natürlichen Umfeld zu kategorisieren und dementsprechend funktionsgerecht zu gestalten. Die Anwendung der funktionalen Gliederung kann dabei zu Neubau-, Umbau- und Ausbauefordernissen (einschließlich Rückbau) führen.





**Abbildung 3.1 Ableitung der Verkehrswegekategorien aus der funktionalen Gliederung (RIN, 2008)**

Die RIN behandeln entsprechend ihres integrierten Ansatzes die Netzgestaltung für alle Verkehrsträger sowohl des öffentlichen als auch des individuellen Verkehrs. Im Folgenden wird der Fokus auf die Netzgestaltung für den Straßenverkehr gelegt.

Verkehrsteilnehmer benutzen für eine Ortsveränderung eine Folge von Netzelementen. Ansprüche an die verbindungsbezogene Angebotsqualität sind deshalb Vorgaben für die Ausbauqualität der Netzelemente bzw. für die Qualität des Verkehrsangebotes eines Netzabschnittes. Dabei setzt sich ein Netzabschnitt aus mehreren Netzelementen einer Kategorie (einer Verbindungsfunktionsstufe und einer Kategoriengruppe) zusammen. Die verbindungsbezogene Angebotsqualität lässt sich wesentlich durch Maßnahmen an Netzelementen verbessern.

An Verknüpfungspunkten erfolgen Wechsel zwischen verschiedenen Verkehrssystemen insbesondere zum öffentlichen Verkehr. Die verbindungsbezogene Angebotsqualität des öffentlichen Personenverkehrs wird somit auch durch die Gestaltung der Verknüpfungspunkte bestimmt.

### 3.2 Straßennetz für den Kfz-Verkehr

Straßen außerhalb bebauter Gebiete übernehmen überwiegend Verbindungsfunktionen für den motorisierten Individualverkehr. Sie dienen darüber hinaus auch dem Radverkehr und dem öffentlichen Personenverkehr.

Straßen außerhalb bebauter Gebiete sollen ihre raumordnerische Funktion mit hoher Verkehrssicherheit und angemessener Qualität des Verkehrsablaufs erfüllen. Sie sollen die natürlichen Lebensgrundlagen schonen, soweit wie möglich in das Umfeld integriert werden und dabei nur in geringem Maße wertvolle Flächen in Anspruch nehmen. Sie sollen in ausreichendem Abstand zu umweltsensiblen Bereichen geführt werden und die Ansprüche des bebauten Umfeldes so wenig wie möglich beeinträchtigen.

Aus Gründen der Verkehrssicherheit und der Verkehrsqualität sollen Straßen außerhalb bebauter Gebiete möglichst so ausgebildet sein, dass sie vom motorisierten Individualverkehr gleichmäßig und mit einer der Kategorie angemessenen Geschwindigkeit befahren werden.

Um dem Verkehrsteilnehmer die unterschiedlichen Netzfunktionen zu verdeutlichen, gibt es für Straßen außerhalb bebauter Gebiete verschiedene Entwurfsklassen. Dem Nutzer soll dadurch für jede Kategorie eine möglichst einheitliche und unverwechselbare Streckencharakteristik geboten werden. Dies dient der Vermeidung von unerwarteten und damit unfallträchtigen Situationen.

Beim Übergang von Straßen außerhalb bebauter Gebiete zu Straßen innerhalb bebauter Gebiete müssen die Kategorien aufeinander abgestimmt werden.

Straßen innerhalb bebauter Gebiete dienen neben der Verbindung von innergemeindlichen Zentralitäten auch der Erschließung bzw. dem Aufenthalt. Deshalb sollen die umfeldbezogenen Wirkungen des motorisierten Verkehrs durch eine gute städtebauliche Einpassung soweit wie möglich gemildert werden. Da Straßen innerhalb bebauter Gebiete gemeinsam von motorisierten und nicht motorisierten Verkehren genutzt werden, sind Maßnahmen erforderlich, welche die Verträglichkeit der Verkehrsteilnehmer fördern.

Veränderungen im Straßennetz durch Neu-, Aus- und Umbaumaßnahmen sollen in Betracht gezogen werden, wenn erhebliche Verkehrsengpässe beseitigt, auffällige Sicherheitsdefizite behoben bzw. deutliche Belastungen der bebauten Umwelt gemindert werden sollen. Zu prüfen ist dabei, ob die umweltbezogenen Auswirkungen einer geplanten Maßnahme vertretbar, induzierte Kfz-Verkehre gering und Nachfrageverluste auf parallelen Verkehrswegen des öffentlichen Verkehrs akzeptabel sind.

Neu- oder Ausbaumaßnahmen sollen gesetzlich geschützte Gebiete, Freiräume mit ökologischer Bedeutung oder Flächen für eine vorrangige landschaftsbezogene Erholung möglichst meiden. Bei der Wahl einer Trasse sind die freiraumbezogenen Schutzzwecke zu berücksichtigen. Sofern aus übergeordneten Gründen eine Inanspruchnahme bzw. eine Durch-

schneidung von ökologisch und/oder für die landschaftsbezogene Erholung bedeutsamer Freiräume unvermeidbar ist, sind die hierfür vorgesehenen Verfahren durchzuführen (z.B. Umweltverträglichkeitsprüfung UVP). Ggf. kann auch ein Rückbau von Straßenabschnitten in Betracht kommen.

Straßenplanungen, die Verkehrswege des öffentlichen Personenverkehrs berühren, sollen die Belange dieses Verkehrssystems berücksichtigen. Dies beinhaltet z.B. bei der Wahl der Straßenquerschnitte oder Knotenpunkte technische Vorkehrungen für eine Beschleunigung des öffentlichen Personenverkehrs, sichere und für Straßenbaulastträger sowie Bahnbetreiber kostengünstige Lösungen an Eisenbahnkreuzungen und bei bahnparalleler Lage den Erhalt einer Option auf Ausbau oder – bei stillgelegten Bahnstrecken mit Potenzial für eine größere Nachfrage – Reaktivierung der Strecke.

Planungen von Verkehrswegen des öffentlichen Personenverkehrs, die Straßenanlagen betreffen, sollen die Belange des individuellen Kfz-Verkehrs berücksichtigen. Dies bedingt z.B. bei der Anlage von straßenbündigen Bahnkörpern, dass die verbleibenden Straßenflächen den motorisierten und nicht motorisierten Verkehrsteilnehmern einen sicheren und leichten Verkehrsablauf ermöglichen.

Straßen mit höherrangiger Verbindungsbedeutung verlaufen im Allgemeinen über eine größere Anzahl von Netzelementen. Dabei gelten außerhalb bebauter Gebiete aus Gründen der Verkehrssicherheit Kontinuitätsgrundsätze. Die Forderung einer möglichst einheitlichen Streckencharakteristik ist umso wichtiger, je höher die Verbindungsbedeutung ist.

Ortsdurchfahrten führen zu einem deutlichen Bruch in der Streckencharakteristik. Deshalb sollten Straßen der Verbindungsfunktionsstufe I aus Sicherheitsgründen und zur Entlastung der bebauten Umwelt möglichst frei von Ortsdurchfahrten sein. Bei den Straßen der Verbindungsfunktionsstufe II ist in Abhängigkeit der örtlichen Situation (hohe Verkehrsstärke, hohes Schwerverkehrsaufkommen, hoher Anteil des überregionalen Verkehrs, intensive Erschließungs- und Aufenthaltsnutzungen in der Ortsdurchfahrt) zu prüfen, ob eine Ortsumgehung angezeigt ist oder andere Maßnahmen (z.B. Umbau der Ortsdurchfahrt, Verlagerung des Durchgangsverkehrs auf andere Straßen, Verbesserung der Angebote alternativer Verkehrssysteme) zweckmäßiger sind.

Maßnahmen zur Veränderung des Netzes sind dann gerechtfertigt, wenn in einer Wirtschaftlichkeitsprüfung nachgewiesen wird, dass die Summe der gesamtgesellschaftlichen Nutzen die Kosten des Baulastträgers (Bau- und Unterhaltungskosten) übersteigt. Eine solche Maßnahme ist umso effizienter, je höher das Nutzen/Kosten-Verhältnis (NKV) ist. Daneben sollte geprüft werden, ob die mit der Maßnahme verfolgten Ziele durch Maßnahmen in anderen Bereichen, z.B. bei der Siedlungsstrukturentwicklung oder bei anderen Verkehrssystemen, wirtschaftlicher und umweltverträglicher erreicht werden können.

Durch die Verkehrsnetzgestaltung sollen die einzelnen Verbindungen so gestaltet werden, dass – entsprechend dem raumordnerischen Ziel der guten Erreichbarkeit – für die Netzelemente bestimmte Verkehrsqualitäten realisiert werden können. Daher werden für die Gestaltung und Bemessung der Netzabschnitte in Abhängigkeit von der jeweiligen Kategorie Zielgrößen für eine angemessene Verkehrsqualität bestimmt.

Abbildung 3.2 enthält Zielgrößen für die angestrebten mittleren Pkw-Fahrgeschwindigkeiten auf Netzabschnitten, diese beinhalten auch die notwendigen Wartezeiten an Knotenpunkten. Bei Straßen außerhalb bebauter Gebiete wird die Zielgröße auch von dem für die Verbindungsfunktion maßgebenden Entfernungsbereich bestimmt. Liegt die maßgebende Entfernung nahe der oberen Grenze des Standard-Entfernungsbereichs, so sind im Allgemeinen die höheren Werte anzustreben; liegt die maßgebende Entfernung nahe der unteren Grenze, so genügen die niedrigeren Werte.

Bei Straßen und Straßenabschnitten innerhalb bebauter Gebiete ist bei der Festlegung der angestrebten Pkw-Fahrgeschwindigkeit eine Abwägung zwischen den Ansprüchen aus der Verbindungsfunktion und den Straßenumfeldansprüchen (Erschließungs- und Aufenthaltsfunktion) erforderlich.

Kategoriengruppe		Kategorie		Standard-Entfernungsbereich [km]	angestrebte Pkw-Fahrgeschwindigkeiten [km/h]
<b>AS</b>	Autobahnen	AS 0/I	Fernautobahn	40 – 500	100 – 120
		AS II	Überregionalautobahn, Stadtautobahn	10 – 70	70 – 90
<b>LS</b>	Landstraßen	LS I	Fernstraße	40 – 160	80 – 90
		LS II	Überregionalstraße	10 – 70	70 – 80
		LS III	Regionalstraße	5 – 35	60 – 70
		LS IV	Nahbereichsstraße	bis 15	50 – 60
		LS V	Anbindungsstraße	-	keine
<b>VS</b>	anbaufreie Hauptverkehrsstraßen	VS II	Ortsdurchfahrt, anbaufreie Hauptverkehrsstraße	-	40 – 60
		VS III	Ortsdurchfahrt, anbaufreie Hauptverkehrsstraße	-	30 – 50
<b>HS</b>	angebaute Hauptverkehrsstraßen	HS III	Ortsdurchfahrt, innergemeindliche Hauptverkehrsstraße	-	20 - 30
		HS IV	Ortsdurchfahrt, innergemeindliche Hauptverkehrsstraße	-	15 – 25
<b>ES</b>	Erschließungsstraßen	ES IV	Sammelstraße	-	keine
		ES V	Anliegerstraße	-	keine

**Abbildung 3.2 Kategorie der Verkehrswege für den Kfz-Verkehr und angestrebte mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten (RIN, 2008)**

Die Zielgröße einer angestrebten Pkw-Fahrgeschwindigkeit bildet eine Vorgabe für die Ausbildung einer Straße nach den geltenden Entwurfsregelwerken. Mit dieser Zielgröße werden im Rahmen der verkehrstechnischen Bemessung (nach dem HBS) die auf Straßenzügen erreichbaren Fahrgeschwindigkeiten verglichen.

Die Festlegung einer Zielgröße ersetzt nicht die Notwendigkeit, die Wirkungen einer geplanten Maßnahme zur Verbesserung des Netzes zu analysieren und die Bauwürdigkeit einer solchen Maßnahme in einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung nachzuweisen.

Die Gestaltung des Straßennetzes unterliegt bestimmten Planungszielen, deren Grundlage die Aufgaben und Funktionen sind, die das Straßennetz zu erfüllen hat. Die Straße muss verkehrliche ebenso wie nichtverkehrliche Funktionen übernehmen. Mit der Straßennetz- und der Straßenraumgestaltung sollen die Konflikte zwischen den Funktionsbereichen unter Beachtung der Verkehrssicherheit, der Umweltverträglichkeit und der Wirtschaftlichkeit gelöst werden. Zudem wird unter Berücksichtigung der Fahrweite (großräumig, überregional, zwischenörtlich), des Fahrzwecks (Urlaubs-/Freizeitverkehr, Berufsverkehr, Wirtschaftsverkehr) und der Belastung der einzelnen Straßen eine bestimmte Verkehrsqualität (Reisegeschwindigkeit, Gleichmäßigkeit des Fahrtverlaufs) erwartet. Damit diese Abhängigkeiten systematisiert werden können, wird das Straßennetz funktional gegliedert.

Die Gliederung des Straßennetzes erfolgt nach drei Kriterien:

- Straßenfunktion
  - Verbindung: rein verkehrliche Funktion
  - Erschließung: Erreichbarkeit von Grundstücken, Parken
  - Aufenthalt: kaum verkehrliche Funktion, sondern auf den Aufenthalt von Menschen ausgerichtet (Spielen, Einkaufen, Kommunikation)
- Lage der Straße
  - außerhalb bebauter Gebiete
  - innerhalb bebauter Gebiete, einschließlich Übergangsbereich
- Straßenumfeld
  - anbaufrei
  - angebaut

Aus diesen Kriterien ergeben sich nach die in Abbildung 3.3 dargestellten fünf Kategoriengruppen AS bis ES. Die Abbildung 3.4 zeigt typische Beispiele für diese Kategoriengruppen.

Die Kategoriengruppe AS umfasst Autobahnen innerhalb und außerhalb bebauter Gebiete. Dazu gehören auch autobahnähnliche Straßen, die nicht als Autobahnen nach StVO gekennzeichnet sind.

Die Kategoriengruppe LS umfasst Landstraßen außerhalb bebauter Gebiete.

Die Kategoriengruppe VS umfasst anbaufreie Hauptverkehrsstraßen im Vorfeld und innerhalb bebauter Gebiete mit vorwiegender Verbindungsfunktion. Auch bei dieser Kategoriengruppe sind die Qualitätsansprüche aus der Verbindungsfunktion für die Gestaltung maßgebend, sie sind jedoch geringer anzusetzen als bei Außerortsstraßen.

Die Kategoriengruppe HS umfasst angebaute Hauptverkehrsstraßen, die vorwiegend Verbindungsfunktion haben. Allerdings müssen bei dieser Kategoriengruppe auch die Ansprü-

che aus den beiden anderen Funktionsbereichen – Erschließung und evtl. Aufenthalt - berücksichtigt bzw. Nutzungskonflikte minimiert werden.

In der Kategoriengruppe ES sind angebaute Straßen mit vorrangiger Erschließungsfunktion zusammengefasst, die jedoch auch Aufenthaltsfunktionen übernehmen können.

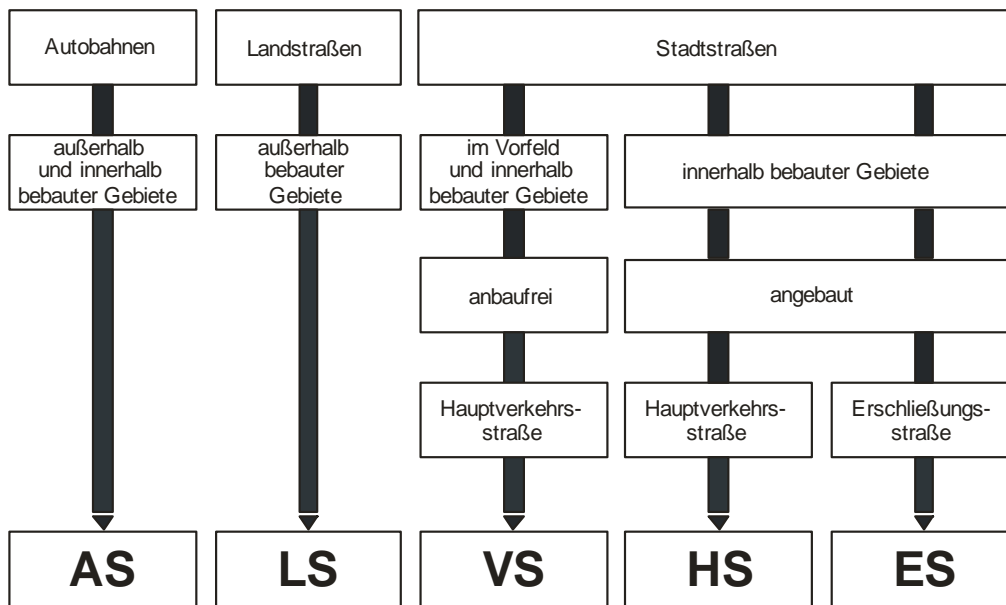


Abbildung 3.3 Kategoriengruppen der Verkehrswege für den Kfz-Verkehr (RIN, 2008)



Kategoriengruppe AS



Kategoriengruppe LS



Kategoriengruppe VS



Kategoriengruppe HS



Kategoriengruppe ES

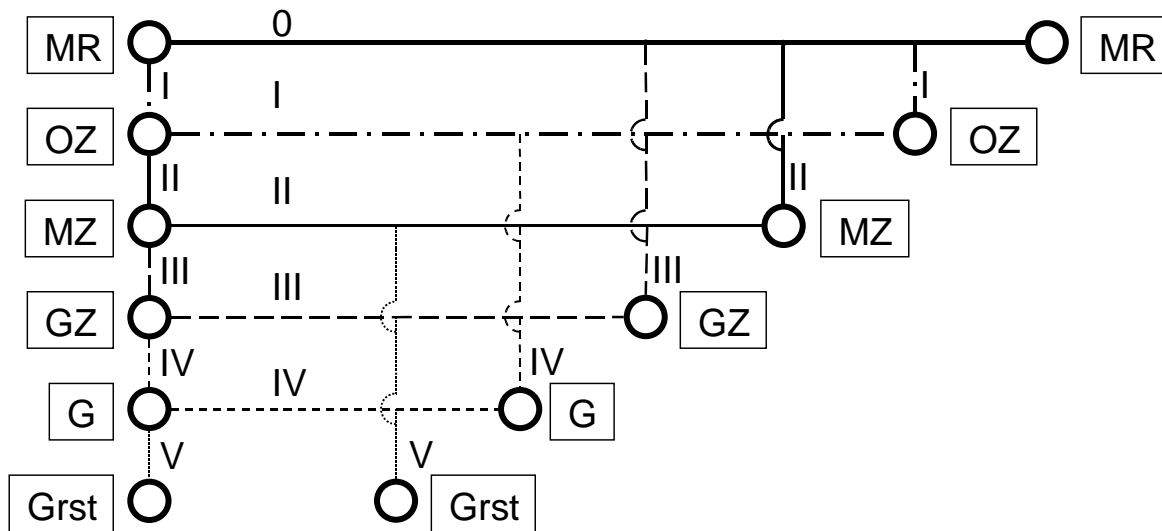
Abbildung 3.4 Beispiele für Straßen der Kategoriengruppen AS bis ES



Diese Unterteilung ist jedoch nicht ausreichend, um die Entwurfs- und Betriebsmerkmale im Hinblick auf die erwünschte Verkehrsqualität festzulegen. Hierzu sind weitere Kriterien notwendig, die sich aus der Raumplanung ergeben. Diese bedient sich des Systems der zentralen Orte, eines Knoten-/Kantenmodells. Dabei handelt es sich um eine siedlungsstrukturelle Modellvorstellung für die wirksame Versorgung der Bevölkerung mit wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Infrastruktureinrichtungen. Die Knoten dieses Modells, die „zentralen Orte“, werden dabei durch die Gemeinden, Städte und Wirtschaftszentren, innerhalb der Gemeinden selbst durch die einzelnen Stadtteile gebildet. Die Knoten werden hierarchisch entsprechend ihrer Zentralitätsstufe von 0 bis V gegliedert. Daraus ergeben sich Ober-, Mittel- und Unterzentren sowie sonstige Gemeinden oder bedeutende Verknüpfungspunkte (z.B. Flughäfen) mit entsprechender Zentrenfunktion.

Die Verbindungen dieser Knoten sind die Kanten des Modells. Diesen wird je nach Bedeutung eine Funktionsstufe zugeordnet, welche die Zentralitätsstufe der Zentren angibt, die miteinander verbunden werden (Abbildung 3.5). Aus der unterschiedlichen verkehrlichen Bedeutung dieser Verbindungen ergibt sich die gewünschte Verkehrsqualität. Diese ist grundsätzlich für hochrangige Verbindungen über weite Entfernungen höher anzusetzen als für nachrangige Verbindungen mit kurzen Entfernungen (siehe Abbildung 3.2). Mit der Einstufung in die Verbindungsfunktionsstufe wird die Ausbauqualität der einzelnen Straßenabschnitte festgelegt.





- MR Metropolregion  
 OZ Oberzentrum  
 MZ Mittelzentrum, auch innergemeindliches Mittelzentrum  
 GZ Grundzentrum, Unter- und Kleinzentren, auch innergemeindliches Grundzentrum  
 G Gemeinde (Gemeindeteile) ohne zentralörtliche Funktion  
 Grst Grundstück

**Abbildung 3.5 Verbindungsfunktionsstufen für Verbindungen und Anbindungen (RIN, 2008)**

Aus der Kombination der Kategoriengruppe (Abbildung 3.3) mit der Verbindungsfunktionsstufe (Abbildung 3.5) ergibt sich eine Verknüpfungsmatrix mit 30 theoretisch möglichen Straßenkategorien. Davon sind jedoch nicht alle in der Praxis sinnvoll, da sie entweder zu unlogischen Verbindungen der definierten Kriterien führen oder weil die so bestimmten Kategorien wegen deutlicher Nutzungskonflikte problematisch sind. Abbildung 3.6 zeigt die verbleibenden planerisch sinnvollen Straßenkategorien, wie sie in den RIN (2008) festgelegt sind.

Kategoriengruppe		Autobahnen	Landstraßen	anbaufreie Hauptver- kehrsstraßen	angebaute Hauptver- kehrsstraßen	Erschließungs- straßen
		AS	LS	VS	HS	ES
kontinental	0	AS 0		-	-	-
großräumig	I	AS I	LS I		-	-
überregional	II	AS II	LS II	VS II		-
regional	III	-	LS III	VS III	HS III	
nahräumig	IV	-	LS IV	-	HS IV	ES IV
kleinräumig	V	-	LS V	-	-	ES V

<b>AS I</b>	vorkommend, Bezeichnung der Kategorie
	problematisch aufgrund von Konflikten aus Funktionsüberlagerungen
-	nicht vorkommend oder nicht vertretbar

**Abbildung 3.6 Verknüpfungsmatrix zur Ableitung der Verkehrswegekategorien für den Kfz-Verkehr (RIN, 2008)**

Die Bezeichnung der Straßenkategorien erfolgt somit durch zwei Elemente: Die Verbindungsfunktionsstufe gibt die verkehrliche Bedeutung des Straßenabschnittes im Netz an, während die Kategoriengruppe die Anforderungen kennzeichnet, die dem Straßenabschnitt aus der Nutzung des Straßenumfeldes erwachsen.

Da die Straßen der verschiedenen Kategorien eine sehr unterschiedliche Charakteristik aufweisen, müssen sie auch unterschiedlich entworfen und gestaltet werden. Die Entwurfsrichtlinien haben daher verschiedene Geltungsbereiche: Die Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA) gelten für die Kategoriengruppe AS, die Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL) für die Kategoriengruppe LS und die Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt) für die übrigen (innerörtlichen) Kategoriengruppen.

### 3.3 Verständnisfragen

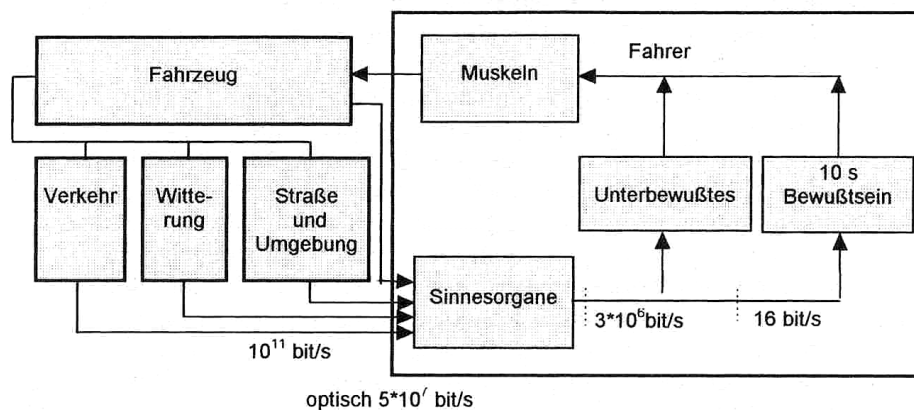
- Nach welchen Kriterien erfolgt die Gliederung des Straßennetzes?
- Was versteht man unter dem System der zentralen Orte?
- Was haben die Straßenkategorien LS I, LS II, LS III gemeinsam, was die Straßenkategorien LS III, VS III, HS III?
- Zu welcher Kategoriengruppe gehört eine Autobahn, zu welcher eine Wohnstraße?
- Was ist eine anbaufreie Straße?
- Welche Kategorie hat eine zwischengemeindliche Verbindungsstraße, welche Entwurfsrichtlinien gelten für sie und wie hoch ist die planerisch angestrebte Fahrgeschwindigkeit der Pkw?

## 4 Grundlagen des Straßenentwurfs

Unter Straßenentwurf ist die Trassierung und Dimensionierung einer Straße in Lage, Höhe und Querschnitt zu verstehen. Das Ziel des Straßenentwurfs ist, Straßen zu erstellen, die gemäß den Vorgaben der RIN (2008) funktionsgerecht sind und die den Anforderungen bezüglich der Leistungsfähigkeit, der Sicherheit, der Wirtschaftlichkeit und der Umweltverträglichkeit gerecht werden. Manche dieser Ziele können dabei im Widerspruch zueinander stehen und müssen gegeneinander abgewogen werden.

### 4.1 Regelkreis Fahrer – Fahrzeug - Straße

Die Verkehrssicherheit ist ein besonders wichtiger Aspekt in Bezug auf den Straßenentwurf. Sie unterliegt verschiedenen Einflussfaktoren, die sich in einem Regelkreis von Fahrer, Fahrzeug und Straße verdeutlichen lassen. Abbildung 4.1 zeigt zunächst vereinfacht den Informationsfluss zwischen Fahrer, Fahrzeug und Straße. Hier ist die Größenordnung der auf den Fahrer einwirkenden, von seinem Unterbewusstsein und schließlich bewusst aufnehmbaren Informationen zu sehen.



**Abbildung 4.1** Informationsfluss zwischen Fahrer, Fahrzeug und Straße (WEISE / DURTH, 1997)

Eine detaillierte Darstellung des komplexen und vielschichtigen Regelsystems enthält Abbildung 4.2. Auf den Fahrer wirken neben Verkehr und Witterung auch die Straße und deren Umfeld ein. Die Wahrnehmung des Fahrers erfolgt mit den Sinnesorganen, wobei die Augen die größte Bedeutung haben. Danach folgen das Gefühl durch die greifenden Hände am Lenkrad und den Druck am Körper sowie in den Ohren und die über die Muskeln und Gleichgewichtsorgane übertragenen Körperreaktionen. Der größte Teil der Wahrnehmung wirkt sich über unbewusste Reflexe in Steuer-, Blickbewegungen u.s.w. aus. Das Bewusstsein des Fahrers hat nur begrenzte Aufnahmemöglichkeiten und konzentriert sich daher auf

die am wichtigsten erscheinenden Meldungen. Die Grenzen der Aufnahmefähigkeit sind z. B. abhängig vom Verkehrsablauf, von der Informationsfülle und von den Eigenschaften des Fahrers. Dieser reagiert und wirkt entsprechend seiner Entscheidung auf das Fahrzeug ein. Dieses wird jedoch auch von der Witterung und dem Straßenzustand beeinflusst. Dann erfolgt die Rückmeldung an den Fahrer, dessen Sinnesorgane die Reaktionen des Fahrzeugs wieder erfassen.

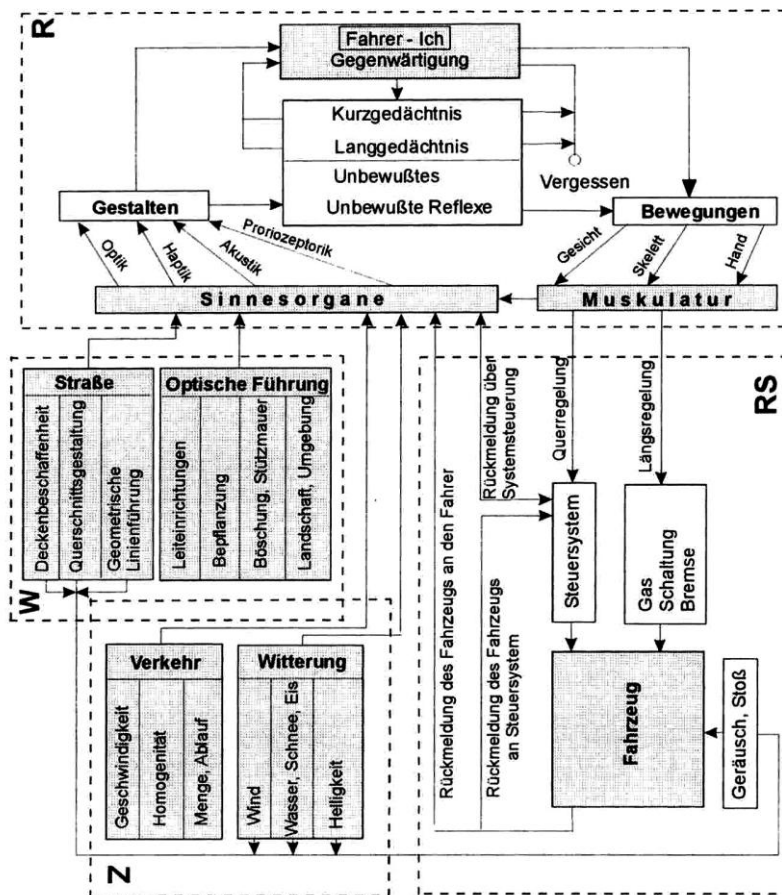


Abbildung 4.2 Regelkreis Fahrer – Fahrzeug - Straße (WEISE / DURTH, 1997)

Die Elemente dieses Regelsystems Mensch – Fahrzeug - Fahrbahn und Umfeld werden auf unterschiedliche Art beeinflusst. Der **Mensch** muss beim Fahren nacheinander verschiedene Aufgaben lösen, weshalb sowohl zu viele als auch zu wenige Informationen ungünstig sind. Eine Straße muss daher so gestaltet werden, dass die für die Entscheidung des Fahrers wesentlichen Informationen deutlich gezeigt werden.

Das **Fahrzeug** selbst beeinflusst den Regelkreis durch die Geschwindigkeit, das Beschleunigungs- und Verzögerungsverhalten, die Achs- bzw. Radlasten, die Abmessungen in Länge, Höhe und Breite sowie Achsabstand, Spurweite und Reifeneigenschaften.

Die entscheidenden Einflussgrößen bei der **Fahrbahn** sind die Ebenheit in Längs- und Quer-  
richtung, die Querneigung, die Rauheit sowie eventuelle Schäden an der Fahrbahndecke.

Aus dem **Umfeld** resultieren Einflüsse wie Witterung, Helligkeit, optische Führung oder Nut-  
zung.

## 4.2 Fahrdynamik

In der Fahrdynamik werden die am Fahrzeug auftretenden Kräfte und Momente sowie die  
von ihnen verursachten Bewegungen untersucht. Um die Kräfte und Beschleunigungen, die  
auf ein sich bewegendes Straßenfahrzeug wirken, vollständig zu berechnen, werden sehr  
komplexe und damit schwierig zu handhabende mathematische Modelle benötigt, wie sie bei  
der Bemessung und Konstruktion der Fahrzeuge selbst auch angewandt werden. Für die  
Anwendung im Straßenentwurf ist jedoch eine exakte Berechnung aufgrund der vielen Ein-  
flussfaktoren nicht möglich und auch nicht sinnvoll. Hier genügt ein einfaches Punkt-Masse-  
Modell. Dazu werden folgende Vereinfachungen getroffen:

- die gesamte Fahrzeugmasse ist im Schwerpunkt vereinigt
- alle Kräfte greifen im Schwerpunkt an
- die Aufstandsfläche der Reifen wird zu einer Fläche zusammengefasst
- zusätzliche Einflüsse aus plötzlichen Bewegungsänderungen werden vernachlässigt
- die räumliche Bewegung wird in drei Ebenen untersucht

Der übliche Bemessungsfall im Straßenentwurf ist ein mit konstanter Geschwindigkeit in  
Längsrichtung rollendes Einzelfahrzeug (Pkw) auf nasser, sauberer Fahrbahn. Hierbei wird  
der Zustand betrachtet, bei dem das Fahrzeug gerade ins Rutschen kommen würde. Die  
übertragene Kraft entspricht dann der Gleitreibungskraft.

Die Übertragung der Längs- und Seitenkräfte für Antrieb, Bremsen und Spurhaltung vom  
Fahrzeug auf die Fahrbahn findet über den Kraftschluss statt. Dabei handelt es sich um ei-  
nen aus Adhäsion, Verformung und Verzahnung bestehenden Zustand bei der Übertragung  
der Kräfte. Die in der Kontaktfläche zwischen Reifen und Fahrbahn von einem Rad zu über-  
tragende Kraft wird durch das Produkt von

$$\text{Kraftschlussbeiwert} \cdot \text{Radlast} = \text{Kraft}$$

definiert, wobei die Radlast die senkrecht zur Fahrbahnebene wirkende Kraft ist. Nach Ab-  
bildung 4.3 ergibt sich folgender Zusammenhang:

- in tangentialer Richtung

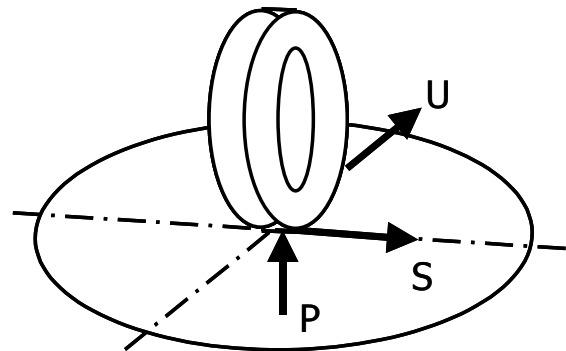
$$U = f_T \cdot P \Rightarrow f_T = \frac{U}{P} = \frac{a}{g}$$

- in radialer Richtung

$$S = f_R \cdot P \Rightarrow f_R = \frac{S}{P} = \frac{v^2}{g \cdot R} - q$$

mit:

U	Umfangkraft am Rad [N]
P	Radlast [N]
S	Seitenkraft am Rad [N]
$f_T$	tangentialer Kraftschlussbeiwert [-]
$f_R$	radialer Kraftschlussbeiwert [-]
a	(Längs-)Beschleunigung [ $m/s^2$ ]
g	Erdbeschleunigung [ $m/s^2$ ]
v	Geschwindigkeit [ $m/s$ ]
q	Querneigung [-]



### Abbildung 4.3 Kräfte zwischen Fahrbahn und Rad

Zur Übertragung der Kräfte zwischen Fahrbahn und Fahrzeug ist zudem ein gewisser Schlupf notwendig, d.h. die Umfangsgeschwindigkeit des Rades unterscheidet sich von der Fortbewegungsgeschwindigkeit des Fahrzeugs. Je nach Betriebszustand (Beschleunigen oder Bremsen) ist die Umfangsgeschwindigkeit des Rades größer oder kleiner als die Fahrgeschwindigkeit. Der Schlupf ist definiert als das Verhältnis zwischen der Rotationsgeschwindigkeit des Rades und der Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs. Man unterscheidet Antriebs- ( $\zeta_A$ ) und Bremsschlupf ( $\zeta_B$ ).

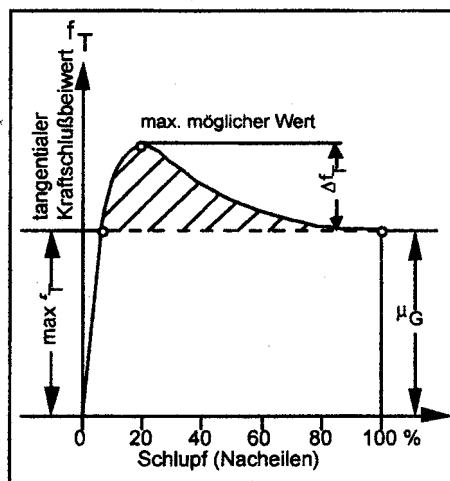
$$\zeta_A = \frac{r \cdot \omega - v}{r \cdot \omega} \quad \text{mit} \quad r \cdot \omega > v$$

$$\zeta_B = \frac{v - r \cdot \omega}{v} \quad \text{mit} \quad v > r \cdot \omega$$

mit:

v	Geschwindigkeit des Fahrzeuges
$r \cdot \omega$	Rotationsgeschwindigkeit des Rades

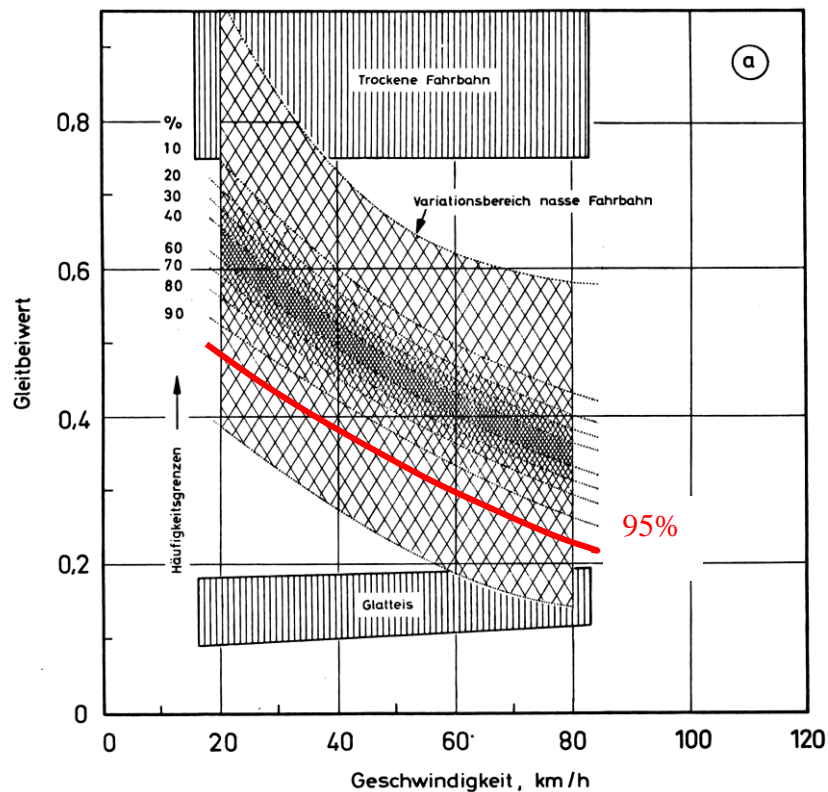
Der qualitative Verlauf des Kraftschlussbeiwertes von Luftreifen ist in Abbildung 4.4 dargestellt. Hier ist erkennbar, dass der Kraftschlussbeiwert zunächst mit zunehmendem Schlupf ansteigt, sein Maximum bei ca. 20 % Schlupf erreicht und anschließend bis zum Gleitbeiwert  $\mu_g$  (bei 100 % Schlupf) abfällt. Bei rollendem Rad entspricht somit der Kraftschlussbeiwert dem Haftreibungsbeiwert  $\mu_h$ , bei blockierendem bzw. durchdrehendem Rad dem Gleitbeiwert  $\mu_g$ . Aus Sicherheitsgründen wird zur Bemessung im Straßenentwurf diese bei 100 % Schlupf vorhandene Reibungskraft angesetzt, da dieser Wert immer erreicht wird, auch bei nicht geregelten Systemen, also z.B. blockierendem Rad. Der zugehörige Kraftschlussbeiwert wird als  $\max f_T$  bezeichnet. Es verbleibt eine Sicherheitsreserve  $\Delta f_T$ .



**Abbildung 4.4** Verlauf des Kraftschlussbeiwertes in Abhängigkeit vom Schlupf

Zur Bestimmung des maximalen tangentialen Kraftschlussbeiwertes  $\max f_T$  in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit  $V$  wurden Versuche auf verschiedenen nassen, sauberen Fahrbahnen mit genormten Reifen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4.5 dargestellt. Für die Berechnung von  $\max f_T$  in Abhängigkeit von  $V$  wird die 95 %-Linie verwendet, d.h. dass dieser Gleitwert nur in 5 % der Fälle unterschritten wird.





**Abbildung 4.5** Bewertungshintergrund der Gleitbeiwerte nach DAMES / MERCKENS / BERGMANN

Die Grenzlinie lässt sich durch folgende Gleichung beschreiben:

$$\mu_g = \max f_T = 0,241 \cdot \left( \frac{V}{100} \right)^2 - 0,721 \cdot \left( \frac{V}{100} \right) + 0,708$$

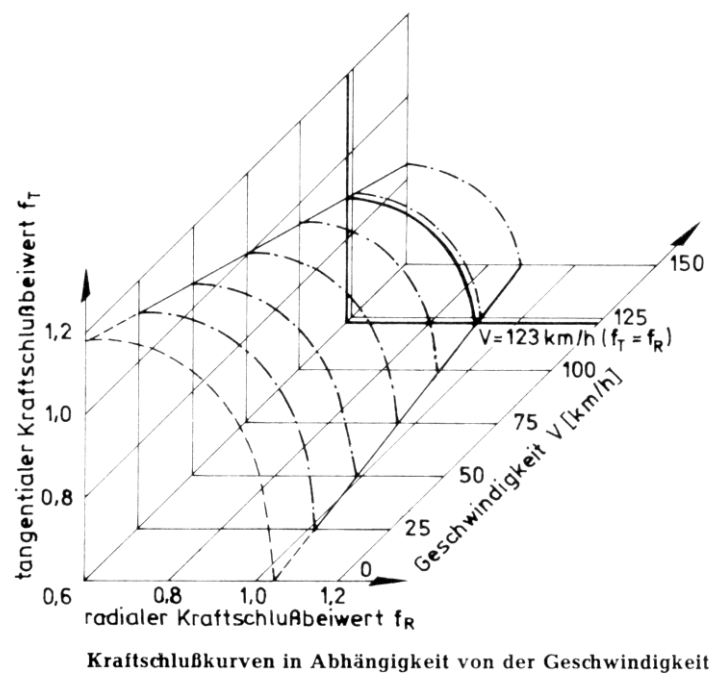
Für die Kraftübertragung in seitlicher Richtung gelten grundsätzlich die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie in Umfangsrichtung. Die seitliche Reibungskraft wird auf der Fahrbahnoberfläche durch seitwärts gerichtete Gleitbewegungen des Reifens aktiviert, die dem Schlupf in Umfangsrichtung entsprechen. Bei der Fahrt durch eine Kurve wird die Kraft in eine radiale und eine tangentielle Komponente zerlegt. Die vektorielle Summe darf  $F_{\max}$  nicht überschreiten:

$$F_{\max}^2 = F_R^2 + F_T^2$$

Da im Straßenentwurf üblicherweise nicht die absoluten Kräfte betrachtet werden, sondern die vom Fahrzeuggewicht unabhängigen Reibungsbeiwerte, ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$f_{\max}^2 = f_R^2 + f_T^2$$

Aus Untersuchungen von Kamm über das Schräglaufverhalten von Reifen entwickelte sich der Kamm'sche Reibungskreis. Dieser setzt voraus, dass die Vektorsumme aus Längs- und Seitenkräften konstant ist. Neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass dies nur für wenige Sonderfälle zutrifft. Bei niedrigen Geschwindigkeiten ist  $f_T$  größer als  $f_R$ , bei hohen Geschwindigkeiten ist  $f_T$  kleiner als  $f_R$  und bei einer Geschwindigkeit von  $V = 123 \text{ km/h}$  sind beide Kraftschlussbeiwerte gleich. Dies führt zu einer Reibungsellipse, wie sie in Abbildung 4.6 dargestellt ist.



**Abbildung 4.6** Beziehung zwischen radialem und tangentialem Kraftschlussbeiwert in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

Zum Zweck der Bemessung wird jedoch vereinfacht folgender von der Geschwindigkeit unabhängige Wert angesetzt, der sich aus der Darstellung von  $\max f$  in der Ellipse des maximalen Reibungsbeiwertes ergibt:

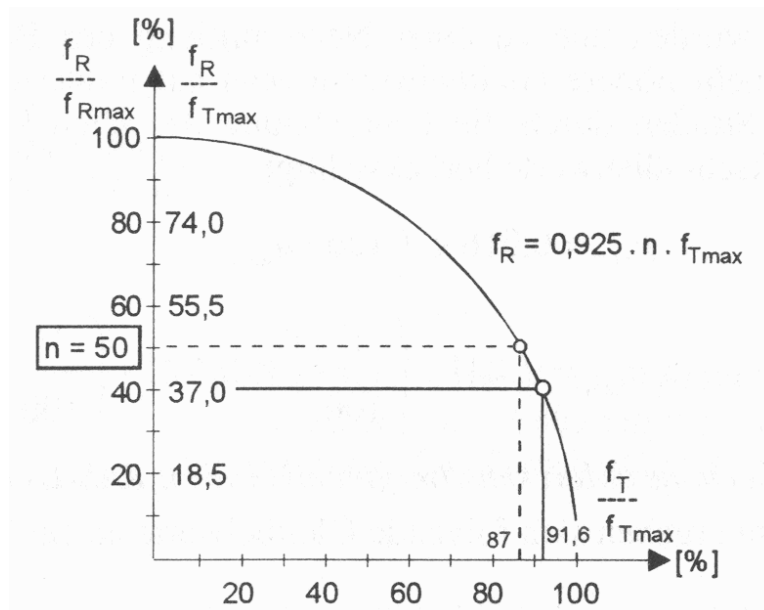
$$\max f_R = 0,925 \cdot \max f_T$$

Der für die Kurvenbemessung rechnerisch maximal zulässige radiale Kraftschlussbeiwert (zul  $f_R$ ) sollte so ausgelegt sein, dass sowohl in radialer als auch in tangentialer Richtung noch möglichst große Kraftschlussreserven zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund wird zur Gewährleistung ausreichender Reibung in tangentialer Richtung ein höchstzulässiger

Ausnutzungsgrad  $n$  des radialen Kraftschlussbeiwertes angesetzt, der in der Regel 50 % nicht übersteigt. Die höchstzulässigen radialen Kraftschlussbeiwerte ergeben sich somit als:

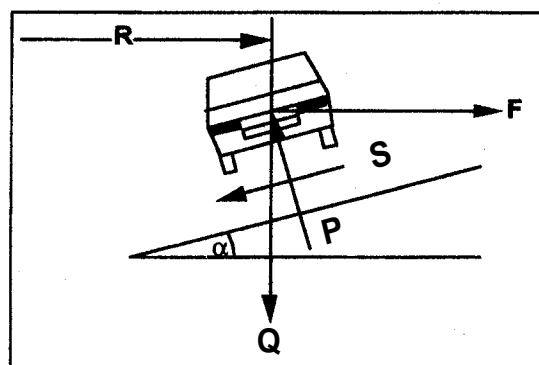
$$\text{zul } f_R = n \cdot \max f_R = n \cdot 0,925 \cdot \max f_T$$

Damit ist sichergestellt, dass ein mit Bemessungsgeschwindigkeit in der Kurve fahrendes Fahrzeug vor einem plötzlich auftauchenden Hindernis noch rechtzeitig angehalten werden kann, da gleichzeitig auch ein sehr hoher Anteil von  $f_T$  zur Verfügung steht.



**Abbildung 4.7 Anteil des maximalen radialen Kraftschlussbeiwertes zur Radienbemessung (WEISE / DURTH, 1997)**

Bei der Fahrt durch eine Kurve entsteht in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und dem Kreisbogenradius eine zur Kurvenaußenseite gerichtete Fliehkraft  $F$ . Um dieser Fliehkraft entgegenwirken zu können, ist in der Regel bei Straßen eine zur Kurveninnenseite gerichtete Querneigung erforderlich.



**Abbildung 4.8 Kräfteansatz bei Kurvenfahrt eines Fahrzeuges**

Der in Abbildung 4.8 dargestellte Kräfteansatz dient zur Berechnung dieser Querneigung. Unter Verwendung der Gleichgewichtsbedingungen parallel und senkrecht zur Fahrbahn ergibt sich folgende Systembeziehung:

$$S = F \cdot \cos \alpha - Q \cdot \sin \alpha = f_R \cdot P$$

$$P = Q \cdot \cos \alpha + F \cdot \sin \alpha$$

Damit es nicht zum Gleiten in radialer Richtung kommt, müssen die haltenden Kräfte gleich den treibenden Kräften sein. Also muss gelten:

$$f_R(Q \cdot \cos \alpha + F \cdot \sin \alpha) = F \cdot \cos \alpha - Q \cdot \sin \alpha$$

$$\text{Mit } F = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad \text{und} \quad Q = m \cdot g$$

sowie nach Division durch  $m$  und  $\cos \alpha$ , der Vereinfachung  $\tan \alpha = q$  (für kleine Winkel  $\alpha$ ) und bei Vernachlässigung von  $f_R \cdot q \approx 0$  ergibt sich die fahrdynamische Grundgleichung:

$$\frac{v^2}{R \cdot g} = f_R + q$$

mit:

- $v$       Geschwindigkeit des Fahrzeugs in m/s
- $R$       Kurvenradius
- $g$       Erdbeschleunigung in m/s<sup>2</sup>
- $f_R$      radialer Kraftschlussbeiwert
- $q$       Querneigung

Diese Gleichung dient als Grundlage für die Berechnung von fahrdynamisch notwendigen Radien in Abhängigkeit von der gefahrenen Geschwindigkeit und der Querneigung der Fahrbahn.

### 4.3 Maßgebende Geschwindigkeiten

Eine wichtige Größe für den Entwurf fahrdynamisch zu bemessender Straßen ist die Geschwindigkeit der Fahrzeuge auf der Straße. Sie ist die am schwersten zu fassende Größe im Straßenentwurf. In den Planungs- und Entwurfsrichtlinien wird daher von mehr als einer Geschwindigkeit ausgegangen, die alle aus den angestrebten Reisegeschwindigkeiten hergeleitet werden.

- Zulässige Geschwindigkeit

Neben den für den Entwurf definierten Geschwindigkeiten ist die zulässige Geschwindigkeit  $V_{zul}$  nach der Straßenverkehrsordnung (StVO) zu berücksichtigen.

- Angestrebte Fahrgeschwindigkeit nach RIN (2008)

Diese Geschwindigkeit soll auf einer längeren Strecke im Straßennetz erreichbar sein. Sie ist ein Maß der Verkehrsqualität und stellt somit eine Zielgröße dar. Die angestrebte Fahrgeschwindigkeit wird der Grundtabelle zur Straßennetzgestaltung entnommen.

- Planerisch angemessene Geschwindigkeit (Planungsgeschwindigkeit) nach RAL (2012)

Die Festlegung von Entwurfsparametern erfolgt in den RAL anhand der zugeordneten Entwurfsklassen, die sich vor allem aus den Straßenkategorien ergeben. Aus Gründen der Verkehrssicherheit und der Verkehrsqualität soll allerdings auch gewährleistet sein, dass die Straßen mit der Planungsgeschwindigkeit befahrbar sind, die eine der Netzfunktion angemessene Geschwindigkeit repräsentiert. Die Höhe dieser Planungsgeschwindigkeit leitet sich aus der Kategorie der Straße und den zugehörigen Regelfahrweiten ab.

- Richtgeschwindigkeit nach RAA (2007)

Der Entwurf von Autobahnen der EKA 1 soll in der Regel das sichere Fahren eines Pkw bei nasser Fahrbahn bei regulären Randbedingungen (z.B. Griffbarkeit) mit der auf Autobahnen geltenden Richtgeschwindigkeit von 130 km/h ermöglichen.

#### 4.4 Verständnisfragen

- Was ist ein Reibungskreis?
- Wie ist die Abhängigkeit von Schlupf und übertragender Kraft, die zwischen Rad und Fahrbahn vorherrscht?
- Was geschieht, wenn bei einer Kurvenfahrt der erforderliche radiale Kraftschlussbeiwert größer wird als der zulässige? Was geschieht, wenn er größer wird als der maximal mögliche?
- Bei der Ermittlung der Mindeststradien werden Annahmen über den Kraftschlussbeiwert zwischen Rad und Straße getroffen. Wie verhalten sich die auf der Straße tatsächlich angetroffenen Kraftschlussbeiwerte zu den angenommenen? Woher kommen die Differenzen?
- Warum wird für die fahrdynamische Bemessung von Kurven der radiale Kraftschluss nicht vollständig angesetzt?
- Wie wird die für Straßen maßgebliche Geschwindigkeit bestimmt?



## 5 Entwurfsmethodik

Der Straßenkörper als räumliches Gebilde wird in den Planunterlagen in drei verschiedenen Projektionen dargestellt: Im Lageplan, im Höhenplan und im Querschnitt. Die in der Regel im Höhenplan enthaltenen Krümmungs-, Rampen- und Sichtweitenbänder dienen der Verknüpfung dieser Pläne.

Bei der Trassierung wird eine geeignete geometrische Raumlinie einer Straße nach Lage und Höhe ermittelt und durch die Straßenachse (Trasse) im Grundriss sowie deren Höhenverlauf (Gradiente) beschrieben. Trasse und Gradiente sind durch eine Folge geometrisch definierter Entwurfselemente gekennzeichnet. Der Entwurf einer Straße umfasst jedoch nicht nur das Aneinanderreihen geometrischer Größen zu einem Linienbauwerk. Vielmehr geht es darum, ein räumliches Fahrband zu finden, das die Forderungen des Landschafts- und Umweltschutzes, der Ökonomie, der Fahrdynamik und der Leistungsfähigkeit erfüllt. Der bestmögliche Entwurf kann nur durch iteratives Vorgehen gefunden werden. Somit sind die Untersuchung verschiedener Varianten, das Abbrechen untersuchter Möglichkeiten und Mehrfachplanungen die normale Vorgehensweise beim Entwurf einer Straße.

### 5.1 Entwurfsgrundsätze

#### 5.1.1 Landstraßen

Die früheren Regelwerke für den Entwurf von (Land-)Straßen beinhalteten als maßgebliche Größe für die Wahl der meisten Entwurfparameter die Entwurfsgeschwindigkeit  $V_e$ . Diese leitete sich zwar prinzipiell aus der anzustrebenden Reisegeschwindigkeit einer Verbindung – und damit indirekt der Netzfunktion – ab, die Spannweite der möglichen  $V_e$  war jedoch relativ groß. Eine ähnlich große Bandbreite war bei der Wahl des Querschnittes möglich; in der Regel leitete er sich lediglich von der Verkehrsbelastung ab. Auch für die Knotenpunktgestaltung stand – abgesehen von der frühzeitig zu beantwortenden Frage von planfreier oder plangleicher Führung – theoretisch das gesamte Spektrum an Grundtypen offen.

Die aktuelle Regelwerksgeneration hat sich zum Ziel gesetzt, neben der Neusortierung der Inhalte und Ausrichtung auf den maßgeblichen Straßentyp (Autobahnen (RAA), Landstraßen (RAL), Stadtstraßen (RASt)) auch eine Standardisierung der Straßen zu erreichen.

Für den Entwurf von Landstraßen werden daher in den RAL folgende Grundsätze festgelegt: „Aus Gründen der Verkehrssicherheit und der Verkehrsqualität sollen Landstraßen möglichst so ausgebildet sein, dass sie von Kraftfahrern gleichmäßig und mit einer der Netzfunktion angemessenen Geschwindigkeit befahren werden. Die Höhe dieser planerisch angemessenen Geschwindigkeit leitet sich aus der Kategorie der Straße und den damit im Regelfall verbundenen Fahrtweiten ab.“

Um dem Verkehrsteilnehmer die unterschiedlichen Netzfunktionen von Straßen zu verdeutlichen, gibt es für Landstraßen verschiedene Entwurfsklassen (EKL 1 bis EKL 4). Straßen unterschiedlicher Entwurfsklassen sollen sich in ihrem Erscheinungsbild deutlich voneinander unterscheiden.

Innerhalb einer Entwurfsklasse soll das Erscheinungsbild der Straßen möglichst einheitlich sein („wieder erkennbar“). Eingangsgröße zur Bestimmung der Entwurfsklasse für Landstraßen ist die Straßenkategorie gemäß den RIN, d.h. die Straßenkategorie LS I führt prinzipiell zur Entwurfsklasse EKL 1. Dies gilt nicht nur für den Neubau sowie den Um- und Ausbau von Straßen, sondern auch für die Zuordnung der damit verknüpften Straßen im Bestand.

Wenn die Verkehrsbelastung einer Straße einer bestimmten Kategorie außergewöhnlich hoch ist, kann die Straße auch mit einer höherrangigen Entwurfsklasse geplant werden.

Wenn die Verkehrsbelastung einer Straße einer bestimmten Kategorie außergewöhnlich gering ist, kann die Straße auch mit einer niederrangigen Entwurfsklasse geplant werden.

Abbildung 5.1 zeigt Anhaltswerte der Verkehrsnachfrage, bei deren Über- oder Unterschreitung im Planungsfall überprüft werden soll, ob unter Berücksichtigung der Ziele Verkehrssicherheit, Verkehrsqualität, Umweltverträglichkeit und Baulastträgerkosten bei der Zuweisung der Entwurfsklasse eines Streckenzugs eine Abweichung sinnvoll ist.

Straßenkategorie	Verkehrsnachfrage auf dem Streckenzug DTV <sub>Querschnitt</sub> [Kfz/24h]	
	Prüfung einer niederrangigen EKL	Prüfung einer höherrangigen EKL
LS I	< 12.000	
LS II	< 8.000	> 15.000
LS III		> 13.000
LS IV		> 3.000*

\*) höherrangige EKL immer erforderlich (gilt auch für SV > 150 Fz/24h)

**Abbildung 5.1 Anhaltswerte für Abweichungen von der grundsätzlichen Zuordnung Verbindungsfunktionsstufe zu Entwurfsklasse**

Landstraßen einer Entwurfsklasse sollen gleichmäßig mit einer der Netzfunktion angemessenen Geschwindigkeit befahren werden. Dazu werden für die Entwurfsklassen alle wesentlichen die Geschwindigkeit beeinflussenden Entwurfs- und Betriebsmerkmale festgelegt.

Es kann zweckmäßig sein, das Entwurfsprinzip einer standardisierten Ausbildung nach planerisch angemessenen Geschwindigkeiten durch eine entsprechende Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten zu unterstützen.

Sowohl die Einheitlichkeit von Straßen einer Entwurfsklasse als auch der Unterschied von Straßen verschiedener Entwurfsklassen sollen für den Kraftfahrer begreifbar sein. Dazu dient insbesondere die unterschiedliche Ausbildung der für den Verkehrsteilnehmer kontinuierlich erkennbaren Längsmarkierung der Fahrbahn und der Fahrstreifen („selbst erklärend“). Von der Entwurfsklasse werden darüber hinaus unmittelbar bestimmt:

- die Betriebsform
- der Regelquerschnitt einschließlich des damit verbundenen Überholprinzips
- die Elemente der Linienführung im Lageplan, Höhenplan und im Raum
- die Führungsform des Verkehrs in Knotenpunkten
- die weiteren Betriebsmerkmale

Da nur die sinnvolle Kombination aller Elemente den Charakter einer Straße prägt, sind diese Merkmale innerhalb einer Entwurfsklasse einheitlich aufeinander abzustimmen („standardisiert“). Gleichzeitig unterscheiden sie sich zwischen den Straßen verschiedener Entwurfsklassen hinreichend deutlich („wieder erkennbar“).“

Abbildung 5.2 zeigt die grundsätzlichen Gestaltungsmerkmale von Landstraßen verschiedener Entwurfsklassen.

Entwurfsklasse	Entwurfs-/ Betriebsmerkmale					Führung auf der Strecke				Führung im Knotenpunkt
	Planungsgeschwindigkeit [km/h]	Betriebsform	Querschnitt	gesicherte Überholabschnitte pro Richtung	Führung des Radverkehrs	Linienführung	empfohlener Radienbereich R [m]	Höchstlängsneigung max s [%]	empfohlener Kuppenhalbmesser $H_k$ [m]	Regel-Lösung auf der übergeordneten Straße *
EKL 1	110	Kraftfahrstraße	RQ 15,5	~ 40 %	straßenunabhängig	sehr gestreckt	$\geq 500$	4,5	$\geq 8.000$	Ein-/ Ausfädeln
EKL 2	100	allg. Verkehr	RQ 11,5+	$\geq 20$ %	straßenunabhängig oder fahrbahnbegleitend	gestreckt	400-900	5,5	$\geq 6.000$	Ein-/ Abbiegen / Kreuzen mit Lichtsignalanlage
EKL 3	90	allg. Verkehr	RQ 11	keine	fahrbahnbegleitend oder auf der Fahrbahn	angepasst	300-600	6,5	$\geq 5.000$	Ein-/ Abbiegen / Kreuzen mit / ohne Lichtsignalanlage
EKL 4	70	allg. Verkehr	RQ 9	keine	auf der Fahrbahn	sehr angepasst	200-400	8,0	$\geq 3.000$	Ein-/ Abbiegen / Kreuzen ohne Lichtsignalanlage

\*) weitere Einsatzmöglichkeiten der Knotenpunktarten in Abhängigkeit von den Entwurfsklassen sind in Ziffer 6.3.3 dargestellt.

**Abbildung 5.2 Entwurfsklassen und grundsätzliche Gestaltungsmerkmale von Landstraßen (RAL, 2012)**

### 5.1.2 Autobahnen

Auch Autobahnen sollten bei vergleichbarer Netzfunktion und Verkehrsbedeutung einheitlich gestaltet sein. Die als Unterscheidungsmerkmal verwendete Entwurfsklasse ergibt sich weitgehend aus der Straßenkategorie sowie der Lage zu bebauten Gebieten. Da Autobahnen allerdings in sich deutlich homogener sind als Landstraßen, werden lediglich zwei Entwurfsklassen unterschieden: Alle Autobahnen der Straßenkategorien AA 0 und AA I sowie die außerhalb bebauter Gebiete gelegenen Autobahnen der Straßenkategorie AA II werden der Entwurfsklasse EKA 1 zugeordnet, lediglich Stadtautobahnen (Autobahnen der Straßenkategorie AA II innerhalb bebauter Gebiete) werden der Entwurfsklasse EKA 2 zugeordnet.

Von der Entwurfsklasse werden unmittelbar bestimmt:

- der Regelquerschnitt
- die Grenz- und Richtwerte der Entwurfselemente
- die Grundformen und Abstände der Knotenpunkte
- ggf. Beschränkungen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit

Entwurfsklasse	EKA 1			EKA 2
	AA 0	AA I	AA II	AA II
<b>Betriebsmerkmale</b>				
Netzfunktion	Fernautobahn		Überregionalautobahn	Stadtautobahn
Geschwindigkeit	Richtgeschwindigkeit 130 km/h			Zul. Geschwindigkeit 80 km/h
Verkehrsführung in Arbeitsstellen	4+0 erforderlich			4+0 nicht erforderlich
<b>Entwurfsmerkmale</b>				
Querschnitt	Zweibahnig			
	RQ 43,5 RQ 36,0 RQ 31,0			RQ 31,5 RQ 25,0
<b>Unterführung</b>				
Lageplan				
Höchstlänge der Geraden L [m]	2.000			
Kurvenmindestradius R [m]	1.000	800	550	350
Klothoidenmindestparameter A [m]	330	260	180	120
Kurvenmindestradius bei einer Quermelung zur Kurvenaußenseite R [m]	5.500			***
<b>Höhenplan</b>				
Höchstlängsneigung s [%]	4,0		4,5	6,0
Kuppenmindesthalbmesser H <sub>k</sub> [m]	13.000	10.000	5.000	3.000
Wannenmindesthalbmesser H <sub>w</sub> [m]	8.800	5.700	4.000	2.600
<b>Sichtweite</b>				
Halesichtweite (s=0%) S <sub>h</sub> [m]	248			111
<b>Straßenflächengestaltung</b>				
Mindestquemeigung q [%]	2,5			
Höchstquemeigung in Kurven q [%]	7,0			
Anrampungshöchstneigung max Δs [%]	0,9 (a ≥ 4,0 m) 0,225·a (a < 4,0 m)			0,9 (a ≥ 4,0 m) 0,225·a (a < 4,0 m)
Anrampungsmindestneigung min Δs [%]	0,10 · a			
Knotenpunkte	plantfrei			
Empfohlene Knotenpunktabstände	> 5.000 m			> 3.000 m

Abbildung 5.3 Zusammenfassung Betriebs- und Entwurfsmerkmale von Autobahnen (RAA, 2008)

## 5.2 Entwurfselemente im Lageplan

Anmerkung: Im Folgenden werden die Regelungen für die einzelnen Entwurfsebenen wie auch für deren Überlagerung und Querschnitte am Beispiel der Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL) erläutert. Zwar ist das System der Entwurfsklassen auch in den Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA) verankert, bei Landstraßen sind allerdings die Unterschiede zwischen verschiedenen Entwurfsklassen einer Kategoriengruppe deutlich größer, so dass sich die Abhängigkeiten am Beispiel der RAL am besten erläutern lassen. Die Richtlinien RAA für Autobahnen und RAS für Stadtstraßen sind Pflichtlektüre für Studierende der Vertiefungsrichtung III.)



Die Lageplantrassierung bezieht sich normalerweise auf die Straßenachse, die in der Regel in der Mitte der Fahrbahn verläuft oder bei zweibahnigen Straßen in der Mitte des Mittelstreifens liegt. Die Trasse entsteht durch das Aneinanderreihen von bestimmten geometrischen Elementen.

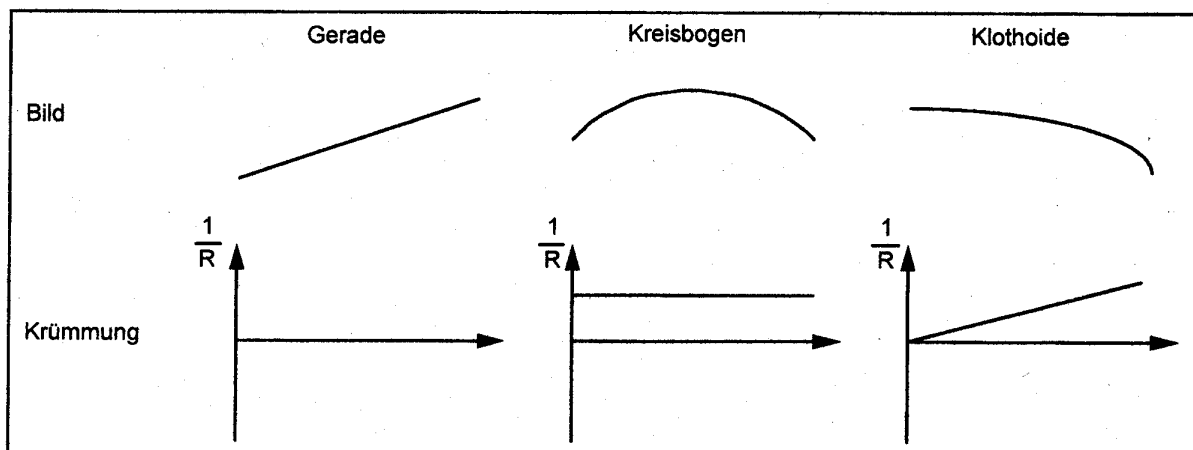
Als geometrische Entwurfselemente im Lageplan werden mit konstanter Krümmung die **Gerade** und der **Kreisbogen**, mit linear veränderlicher Krümmung der **Übergangsbogen (Klothoide)** verwendet. Die Krümmung dient der symbolischen Darstellung des Straßenverlaufes in den Planunterlagen, die als Änderung der Tangentenrichtung  $d\alpha$  in der Wegeinheit  $ds$  definiert ist:

$$K = \frac{d\alpha}{ds} = \frac{1}{R}$$

$\alpha$  Richtungswinkel im Lageplan [gon]

$R$  Radius [m]

Die Krümmung wird über die Strecke als Krümmungsband dargestellt. Die Krümmungslinien der Trassierungselemente im Lageplan zeigt Abbildung 5.4. Dabei gilt die Festlegung, dass in Stationierungsrichtung Rechtskurven mit einem positiven und Linkskurven mit einem negativen Krümmungswert ausgezeichnet werden.



**Abbildung 5.4** Trassierungselemente des Lageplanes mit ihren Krümmungslinien

### 5.2.1 Die Gerade

Da die Gerade die direkte und somit kürzeste Verbindung zweier Punkte darstellt, ist sie im geschichtlichen Rückblick das trassierungstechnische Ideal. Im heutigen Straßenentwurf sollen bei Außerortsstraßen längere Geraden mit konstanter Längsneigung vermieden werden. Sie erschweren das Schätzen von Entfernungen, was sich vor allem negativ auf die

Überholvorgänge auswirkt, sie ermüden den Fahrer, nachts besteht die Gefahr der Blendung durch den Gegenverkehr und die Einpassung in das Gelände ist meist nicht befriedigend. Es kann jedoch auch von Vorteil sein, mit Geraden zu trassieren, z.B.

- in Ebenen und weiten Tälern, besonders zur Führung parallel zu bereits vorhandenen Bahnlinien, Kanälen oder dergleichen,
- wenn aus verkehrstechnischen Gründen Strecken mit großer Sichtweite für Entflechtungsvorgänge oder zur übersichtlichen Anlage von Knotenpunkten erforderlich sind und
- zur Schaffung von Überholsichtweiten bei zweistreifigen Straßen der EKL 3.

In diesen Fällen sollten Geraden in ihrer Länge immer auf einen für den Fahrer noch zumutbaren Wert begrenzt bleiben. Als Erfahrungswert gilt nach RAL (2012) in der Regel  $L_G = 1.500$  m.

Aus Sicherheitsgründen sollte die Länge von Geraden und anschließenden Kreisbögen in einem ausgewogenen Verhältnis stehen. Dies bedingt sowohl eine Mindestlänge von Geraden zwischen Kreisbögen als auch einen Mindestradius im Anschluss an Geraden einer bestimmten Länge. In der nachfolgenden Darstellung der nach RAL (2012) zulässigen Radien im Anschluss an Geraden ist daher im Regelfall für die Entwurfsklassen EKL 1 bis EKL 3 nur der gute Bereich mit  $R/L_G > 1,5$  bzw.  $R > 450$  m vorgesehen.

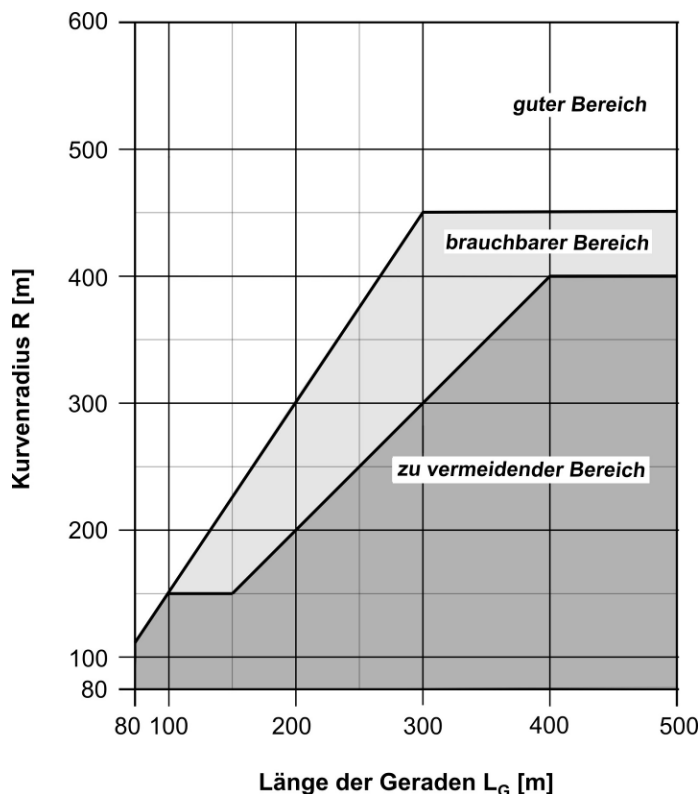


Abbildung 5.5 Zulässige Radien im Anschluss an eine Gerade (RAL, 2012)

Geraden zwischen gleichsinnig gekrümmten Kurven sollten vermieden werden, statt dessen sollte z.B. ein größerer durchgängiger Kreisbogen verwendet werden. Ist das nicht möglich, soll ihre Länge bei Straßen der EKL 1 bis EKL 3 mindestens 600 m und bei Straßen der EKL 4 mindestens 400 m betragen. Auch nach solchen Geraden sind die Bedingungen nach Abbildung 5.5 zu beachten.

Die Krümmung der Geraden ist 0; somit liegt ihre Krümmungslinie auf der x-Achse des Krümmungsbandes (vgl. Abbildung 5.4).

### 5.2.2 Der Kreisbogen

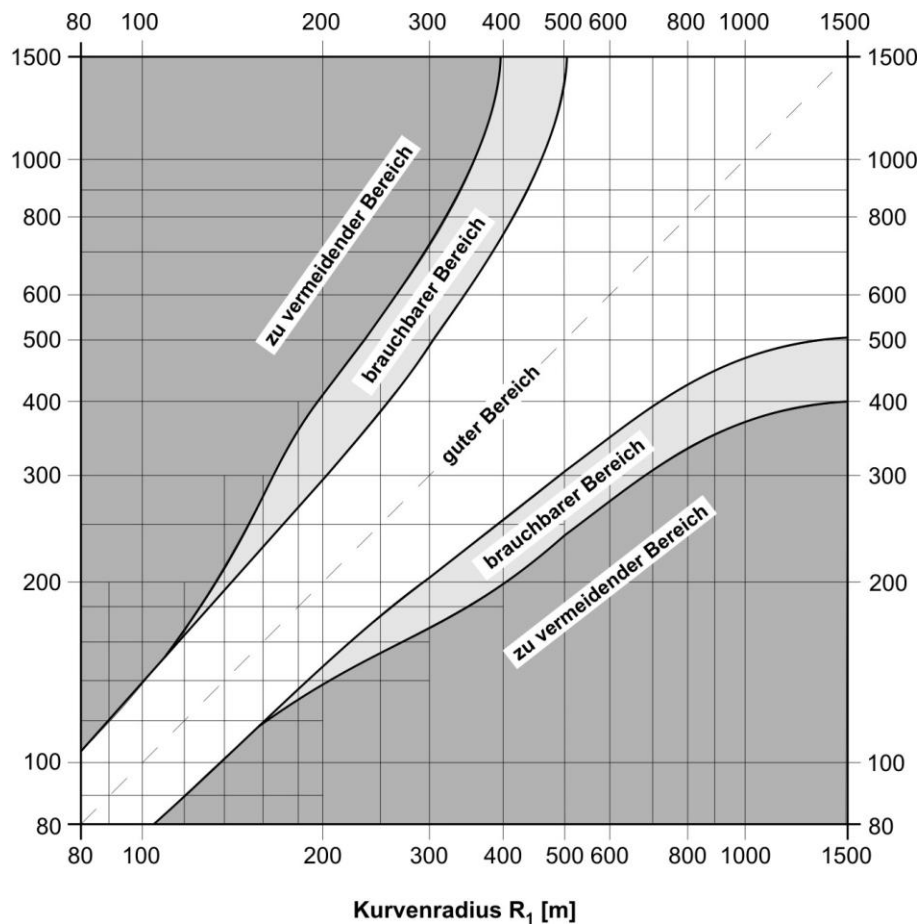
Der Kreisbogen ist das am häufigsten verwendete Trassierungselement. Er wird charakterisiert durch seinen Radius und die für die Straßenachse ausgenutzte Bogenlänge. Die verwendeten Radien und deren Folgen sollen ein gleichmäßiges Fahren mit einer der Entwurfsklasse angemessenen Geschwindigkeit ermöglichen und mit der Topographie in Einklang stehen. In Ergänzung der fahrdynamisch notwendigen Untergrenzen dieser Radiengröße legen die RAL (2012) auch Obergrenzen der empfohlenen Radien fest. Diese sollen gewährleisten, dass sowohl zu gestreckte Linienführungen in den Entwurfsklassen EKL 3 und EKL 4 mit evtl. suggerierten Überholmöglichkeiten vermieden werden als auch die angestrebte Gesamtwirkung der unterschiedlichen Straßentypen und deren Unterscheidbarkeit erhalten bleibt.

Die empfohlenen Radien (Abbildung 5.6) können bei Straßen der EKL 2 bis EKL 4 in zu begründenden Ausnahmefällen um maximal 15 % unterschritten werden. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Verhältnisse aufeinander folgender Radien dann im guten Bereich liegen. Die dargestellten Mindestlängen gewährleisten eine Mindestdurchfahrdauer und damit die Wahrnehmbarkeit als eigenständiges Element.

Entwurfs- klasse	Radienbereiche R [m]	Mindestlängen von Kreisbögen min L [m]
EKL 1	$\geq 500$	70
EKL 2	400 – 900	60
EKL 3	300 – 600	50
EKL 4	200 – 400	40

**Abbildung 5.6**      **Empfohlene Radien und Mindestlängen von Kreisbögen (RAL, 2012)**

Eine besondere Rolle kommt dem ausgewogenen Verhältnis aufeinander folgender Kreisbögen zu, das deutlich unterschiedliche Geschwindigkeitsniveaus in aufeinander folgenden Kurven vermeiden hilft. In den Entwurfsklassen EKL 1, EKL 2 und EKL 3 ist der gute Bereich maßgebend; für Straßen der Entwurfsklasse EKL 4 ist der brauchbare Bereich ausreichend.



**Abbildung 5.7** Verhältnis aufeinander folgender Radien (RAL, 2012)

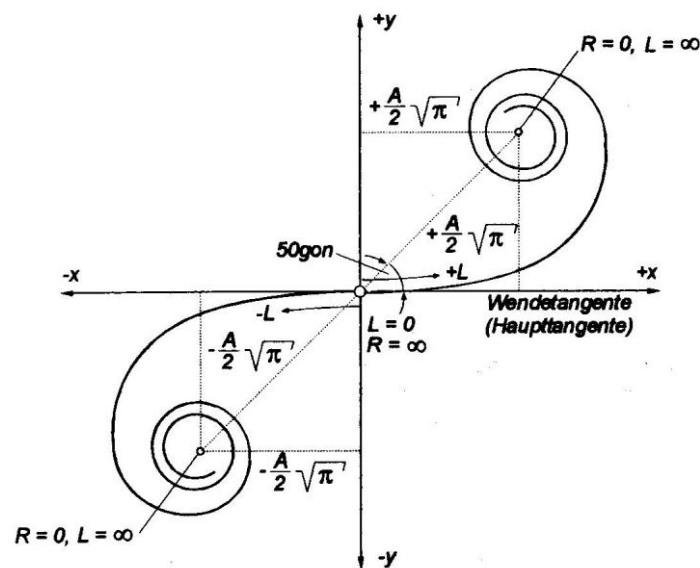
Sind in zu begründenden Ausnahmefällen diese Vorgaben nicht einzuhalten, soll darauf nach RAL mit flankierenden verkehrstechnischen Maßnahmen hingewiesen werden. In jedem Fall auszuschließen sind gleichzeitige Unterschreitungen des brauchbaren Verhältnisses der Radienfolge und der empfohlenen Radienbereiche.

### 5.2.3 Der Übergangsbogen

Die unmittelbare Verbindung von Gerade und Kreisbogen ergibt einen unstetigen Übergang, der durch den Sprung in der Krümmungslinie (von  $K = 0$  zu  $K = \text{konst.}$ ) verdeutlicht wird. Der Fahrer vermeidet die dadurch erforderliche plötzliche Änderung in der Lenkbewegung durch das Abweichen von der Normalfahrt, die stets parallel zur geplanten Straßenachse verläuft. Dennoch verursachen solche Stellen schnelle, ruckartige Lenkbewegungen, die einen Quer-

ruck zur Folge haben. Um dies zu verhindern, wird als Ausgleich ein weiteres Entwurfselement eingefügt: Ein Übergangsbogen zwischen Gerade und Kreisbogen bzw. zwischen Kreisbögen mit gleichem oder entgegengesetzt gerichteten Krümmungssinn, aber unterschiedlichen Radien.

Als Übergangsbogen kommt im Straßenentwurf die Klothoide zum Einsatz. Dies ist eine Kurve, bei der die Krümmung stetig linear mit der Bogenlänge von  $K = 0$  bis  $K = 1/R$  zunimmt. Damit ergibt sich die in Abbildung 5.8 gezeigte Form der Klothoide.



**Abbildung 5.8** Form der Klothoide im rechtwinkligen Koordinatensystem (WEI-SE / DURTH, 1997)

Das Produkt von beliebiger Bogenlänge der Klothoide mit dem jeweils zugehörigen Radius ist konstant.

$$R \cdot L_{KI} = \text{konstant}$$

Diese Konstante wird durch den Parameter A in quadratischer Schreibweise ersetzt, um einen dimensionsreinen Ansatz zu erhalten. Damit ergibt sich die Bestimmungsgleichung der Klothoide zu:

$$A^2 = R \cdot L_{KI}$$

A	Klothoidenparameter	[m]
R	Radius am Ende des Klothoidenabschnittes	[m]
$L_{KI}$	Länge des Klothoidenabschnittes	[m]

Ein Verzicht auf Übergangsbögen ist nur zulässig, wenn

- der Radius sehr groß ist ( $R > 1.000 \text{ m}$ )
- oder die Winkeländerung der Kurve  $\gamma < 10 \text{ gon}$  (Flachbogen) beträgt.

Da sich bei der Klothoide die Krümmung linear mit der Bogenlänge ändert, hat dies für den Kraftfahrer die Auswirkung, dass er bei konstanter Geschwindigkeit sein Lenkrad mit gleichbleibender Winkelgeschwindigkeit drehen muss, um den trassierten Übergangsbogen zu fahren. Die Krümmungsgleichung für die Klothoide lautet:

$$K = \frac{1}{R} = \frac{L_{KI}}{A^2}$$

und ergibt das in Abbildung 5.9 gezeigte Krümmungsband.

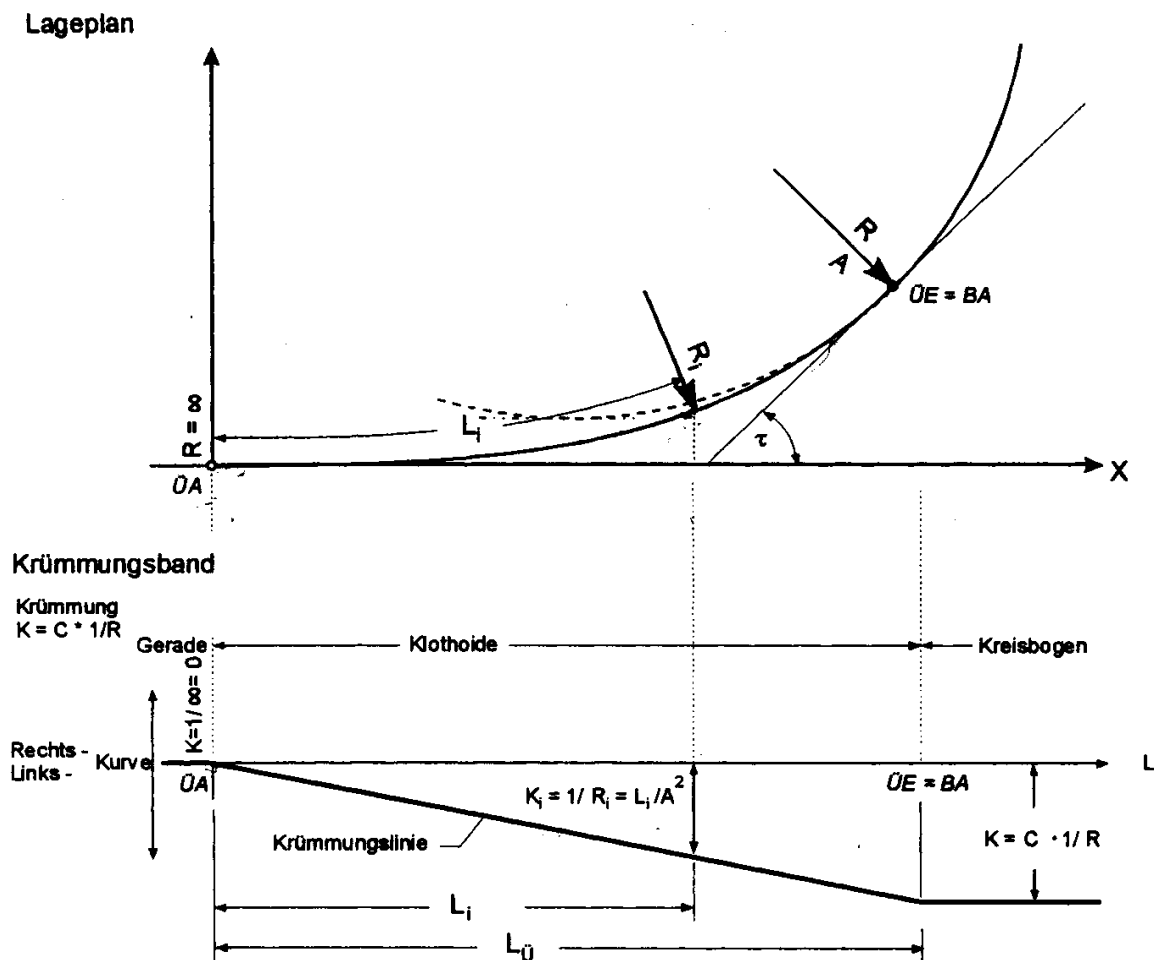


Abbildung 5.9 Lageplan und Krümmungslinie der Klothoide (WEISE / DURTH, 1997)

Alle Klothoiden sind geometrisch ähnlich und lassen sich auf die Einheitsklothoide mit dem Parameter  $A = 1$  zurückführen. Durch den Klothoidenparameter  $A$ , der die Größe der Klothoide festlegt, können sich unendlich viele Klothoiden ergeben. Mit dem Parameter  $A$



lassen sich zwar alle Längenwerte proportional ändern, jedoch bleiben an den Formstellen alle Winkel und Verhältniswerte unverändert. Diese charakteristischen Formstellen werden Kennstellen genannt. Die Kennstelle 1 kennzeichnet den Punkt auf der Klothoide, bei dem  $R = L_{K1} = A$  ist. Der Tangentenwinkel an dieser Stelle beträgt  $\tau$  [gon] = 31,8310. Über diese Kennstellen hinaus haben Klothoiden eine sehr große Richtungsänderung, die in der Entwurfspraxis vermieden werden sollte. Die minimale Richtungsänderung sollte dagegen 3,5 gon betragen, damit die Richtungsänderung für den Fahrer erkennbar wird. Die Klothoide darf nicht zu kurz sein, damit sie optisch in Erscheinung tritt, aber auch nicht zu lang, um den anschließenden Kreisbogen nicht zu verbergen. Daraus ergeben sich bestimmte Grenzwerte für die Klothoide, die nicht über- bzw. unterschritten werden sollen. Die Klothoidenparameter sollen daher in folgendem Bereich liegen:

$$R \geq A \geq \frac{R}{3}$$

Darüber hinaus soll der Klothoidenparameter A gewährleisten, dass mit der maximal zulässigen Anrampungsneigung  $\max \Delta s$  [%] die Anrampung der Fahrbahnränder vollständig innerhalb des Übergangsbogens liegt:

$$\min A = \sqrt{\frac{a(q_e - q_a)}{\max \Delta s}} \cdot R$$

a	Abstand des Fahrbahnrandes von der Drehachse der Fahrbahn	[m]
$q_e$	Querneigung am Klothoidenende	[%]
$q_a$	Querneigung am Klothoidenanfang	[%]
$\max \Delta s$	maximale Anrampungsneigung	[%]
R	Radius am Ende des Klothoidenabschnittes	[m]

Die berechneten Klothoidenparameter werden üblicherweise auf volle Zehnerwerte gerundet.

Einige wichtige Gleichungen und Näherungsformeln für die Geometrie der Klothoide ergeben sich nach Abbildung 5.10.

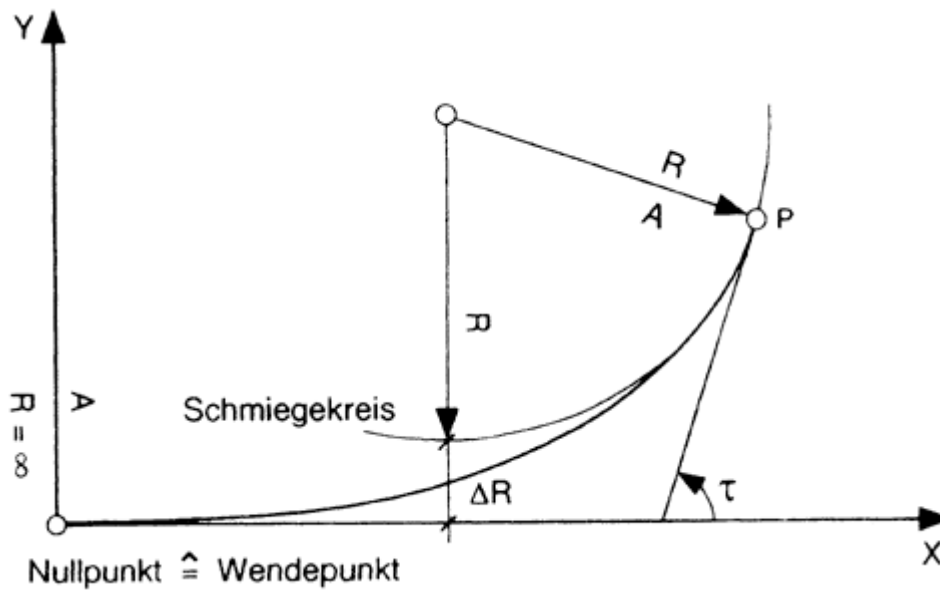


Abbildung 5.10 Geometrie der Klothoide (RAS-L, 1995)

Um zwischen Gerade und Kreisbogen eine Klothoide anordnen zu können, muss der Kreisbogen von der Geraden um das Maß  $\Delta R$  abgerückt werden. Am Anfang des Übergangsbogens bildet die Gerade die Tangente an die Klothoide. An diesem Punkt hat die Klothoide den Radius  $R = \infty$  und die Krümmung  $K = 0$ . Die Klothoidenlänge reicht bis zum Übergangsbogenende, an dem die Klothoide tangential in den Kreisbogen übergeht. An diesem Punkt P hat sie den gleichen Krümmungsradius wie der Kreisbogen und die Krümmung  $K = 1/R$ . Die Anfangstangente im Übergangsbogenanfang bildet mit der Endtangente im Kreisbogenanfang den Tangentenwinkel  $\tau$ .

Es gelten folgende Beziehungen:

$$X_P = \int_0^{L_K} \cos \frac{L^2}{2 \cdot R^2} \cdot dL \Rightarrow L_K \cong X_P$$

$$Y_P = \int_0^{L_K} \sin \frac{L^2}{2 \cdot R^2} \cdot dL \Rightarrow \frac{L_K^2}{6 \cdot R} \cong Y_P$$

$$\Delta R \cong \frac{L_K^2}{24 \cdot R}$$

$$\tau[\text{rad}] = \frac{L_K}{2 \cdot R}$$

$$\tau[\text{gon}] = \frac{L_K}{2 \cdot R} \cdot \frac{200}{\pi}$$

Abbildung 5.11 zeigt die gebräuchlichen Formen von Übergangsbögen.

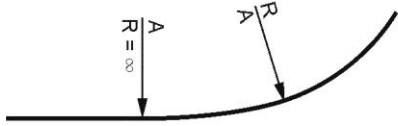
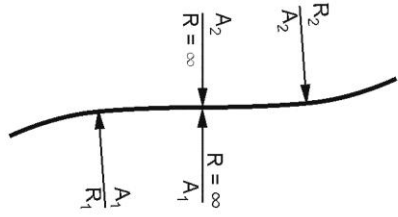
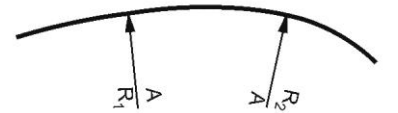
Verbindung	Anwendungsformen
Gerade mit Kreisbogen	<p>einfache Klothoide</p> 
zwei Kreisbögen	<p>Wendeklothoide</p> 
	<p>Eiklothoide</p> 

Abbildung 5.11 Anwendungsformen der Übergangsbögen (RAL, 2012)

Der Übergang von einer Geraden zu einem Kreisbogen erfolgt mit einer **einfachen Klothoide**. Sie ist unter Beachtung der Radienrelation uneingeschränkt einsetzbar. Für die Ermittlung des Klothoidenparameters  $A$  gibt es eine Vielzahl von Tabellen. In Abhängigkeit von den bekannten Eingangsparametern können mit deren Hilfe alle gängigen Klothoiden bestimmt werden. Abbildung 5.12 zeigt ein Beispiel für eine Tabelle, mit der bei bekanntem Kreisbogenradius  $R$  und dem Maß  $\Delta R$  der Parameter  $A$  bestimmt werden kann.

R = 600										
A	L	$\tau^g$	$\tau^0$	$\Delta R$	$X_M$	X	Y	$T_K$	$T_L$	A
170	48,167	2,5553	2 17 59	0,161	24,082	48,159	0,644	16,058	32,114	170
175	51,042	2,7079	2 26 14	0,181	25,519	51,033	0,724	17,017	34,031	175
180	54,000	2,8648	2 34 42	0,203	26,998	53,989	0,810	18,004	36,004	180
190	60,167	3,1920	2 52 22	0,251	30,081	60,152	1,005	20,060	40,116	190
200	66,667	3,5368	3 10 59	0,309	33,330	66,646	1,234	22,229	44,452	200
225	84,375	4,4762	4 01 43	0,494	42,181	84,333	1,977	28,138	56,265	225
250	104,167	5,5262	4 58 25	0,753	52,070	104,088	3,012	34,747	69,472	250
275	126,042	6,6867	6 01 05	1,103	62,998	125,903	4,409	42,058	84,076	275
300	150,000	7,9578	7 09 43	1,562	74,961	149,766	6,243	50,075	100,082	300
325	176,042	9,3393	8 24 19	2,150	87,958	175,663	8,595	58,801	117,494	325
350	204,167	10,8314	9 44 54	2,892	101,985	203,576	11,555	68,244	136,318	350
375	234,375	12,4340	11 11 26	3,810	117,039	233,483	15,217	78,410	156,563	375
400	266,667	14,1471	12 43 57	4,929	133,114	265,353	19,684	89,309	178,240	400
450	337,500	17,9049	16 06 52	7,888	168,306	334,840	31,462	113,355	225,940	450
500	416,667	22,1048	19 53 40	12,004	207,499	411,671	47,812	140,504	279,553	500
550	504,167	26,7469	24 04 20	17,541	250,608	495,340	69,722	170,933	339,273	550
600	600,000	31,8310	28 38 52	24,778	297,517	585,173	98,228	204,888	405,367	600
650	704,167	37,3572	33 37 17	34,014	348,080	680,303	134,386	242,703	478,201	650
700	816,667	43,3255	38 59 35	45,557	402,110	779,645	179,223	284,831	558,267	700
750	937,500	49,7359	44 45 44	59,722	459,374	881,874	233,701	331,883	646,226	750
800	1066,667	56,5884	50 55 46	76,819	519,591	985,414	298,655	384,680	742,960	800
900	1350,000	71,6197	64 27 28	120,992	647,504	1188,865	462,287	512,361	967,946	900
1000	1666,667	88,4195	79 34 39	180,142	782,532	1372,632	671,599	682,866	1249,098	1000
1100	2016,67	106,9875	96 17 20	255,58	920,52	1516,91	921,31	926,89	1618,44	1100

Abbildung 5.12 Tabelle zur Ermittlung des Klothoidenparameters A bei einfachen Klothoiden (Beispiel R = 600) (KASPER / SCHÜRBA / LORENZ, 1968)

Zwei Kreisbögen, die entgegengesetzt gekrümmt sind, werden durch eine **Wendeklothoide** verbunden. Sie besteht aus zwei einfachen Klothoiden, die an ihrem Ursprung aneinander stoßen. Wenn beide Klothoidenparameter gleich groß sind, spricht man von einer symmetrischen Wendeklothoide (Abbildung 5.13). Wenn unterschiedliche Parameter angewendet werden, dann sollten sie im Interesse einer harmonischen Linienführung nicht zu stark voneinander abweichen.

Sind aus Gründen der Anpassung an örtliche Zwangsbedingungen Zwischengeraden in die Wendelinie einzufügen, dann sollten sie eine Länge von  $L \leq 0,08 (A_1 + A_2)$  nicht überschreiten.

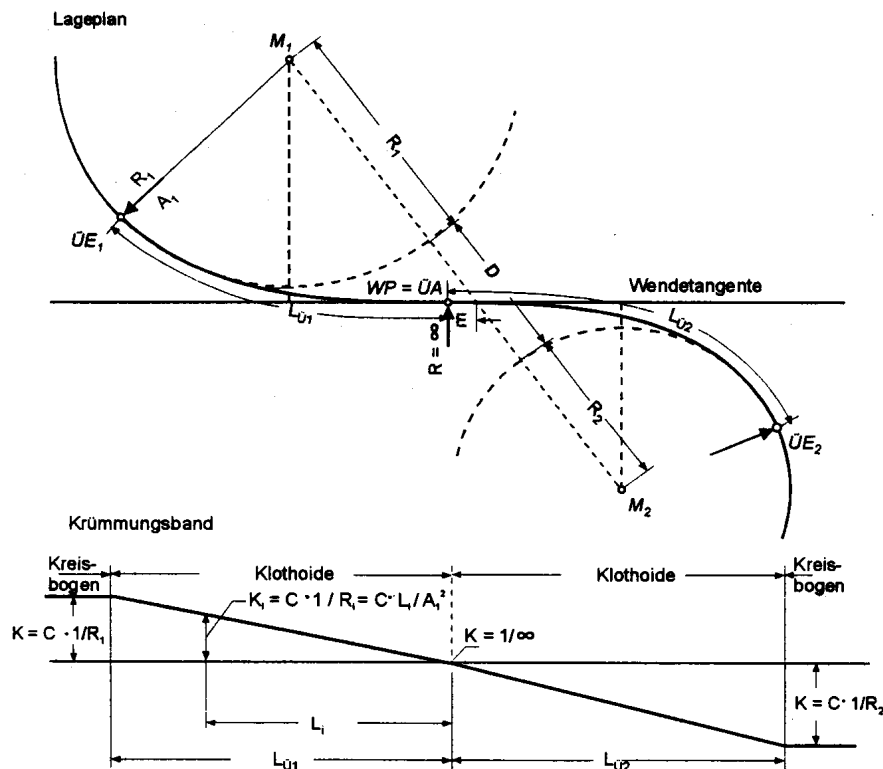


Abbildung 5.13 Lageplan und Krümmungsband der symmetrischen Wendeklothoide (WEISE / DURTH, 1997)

Um eine geeignete Wendelinie zwischen zwei Kreisbögen zu finden, kommen Nomogramme zum Einsatz. Ausschlaggebende Bedeutung hat der kleinste Abstand der beiden Kreisbögen  $D$  (Abbildung 5.13). Durch ihn und die bekannten Kreisbogenradien  $R_2$  und  $R_1$  kann bei einer symmetrischen Wendeklothoide der Klothoidenparameter  $A$  bestimmt werden. Dafür werden in dem Nomogramm in Abbildung 5.14 die Werte  $R_2/R_1$  und  $D/R_1$  abgetragen. Damit ergibt sich ein Wert  $A/R_g$ , aus dem der Klothoidenparameter  $A$  errechnet wird.



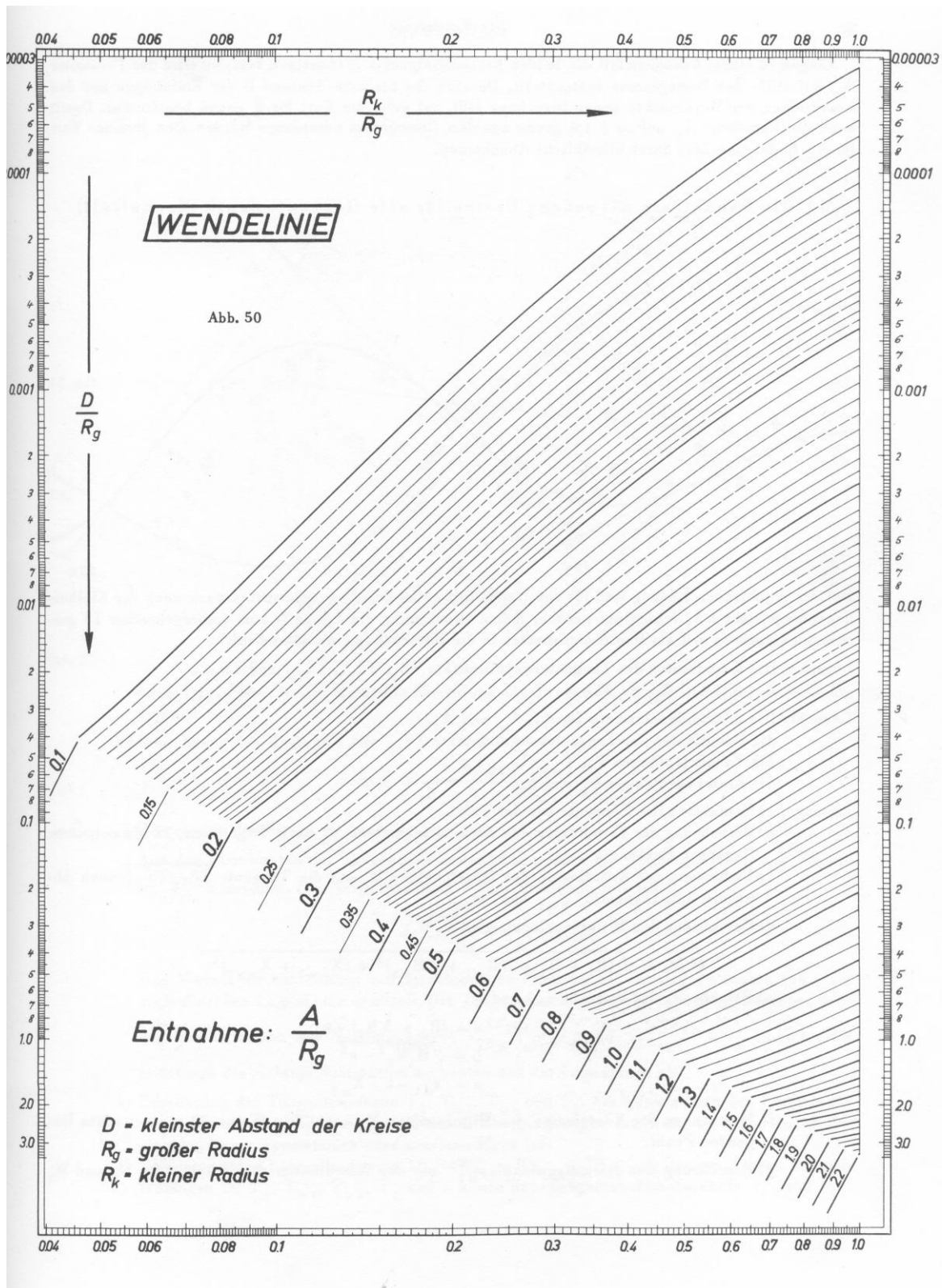


Abbildung 5.14 Nomogramm zur Parameterermittlung für symmetrische Wendeklothoiden (OSTERLOH, 1991)



Auch für unsymmetrische Wendelinien stehen dem Entwurfsingenieur Nomogramme zur Ermittlung der Parameter der großen Klothoide  $A_g$  und der kleinen Klothoide  $A_k$  zur Verfügung (Abbildung 5.15). Die Eingangsgrößen sind: Kleiner Kreisbogenradius  $R_k$ , großer Kreisbogenradius  $R_g$ , Kreisbogenabstand  $D$  und Klothoidenparameter  $A_w$ , der sich bei Verwendung einer symmetrischen Wendeklothoide ergeben würde. Mit der Wahl eines der beiden Parameter  $A_k$  oder  $A_g$  können die Werte  $R_k/R_g$ ,  $A_k/A_w$  bzw.  $A_g/A_w$  berechnet und in dem Nomogramm abgetragen werden. Abgelesen wird dann der Wert  $A_g/A_w$  oder  $A_k/A_w$ , woraus sich  $A_g = (A_g/A_w) \cdot A_w$  oder  $A_k = (A_k/A_w) \cdot A_w$  berechnen lassen.

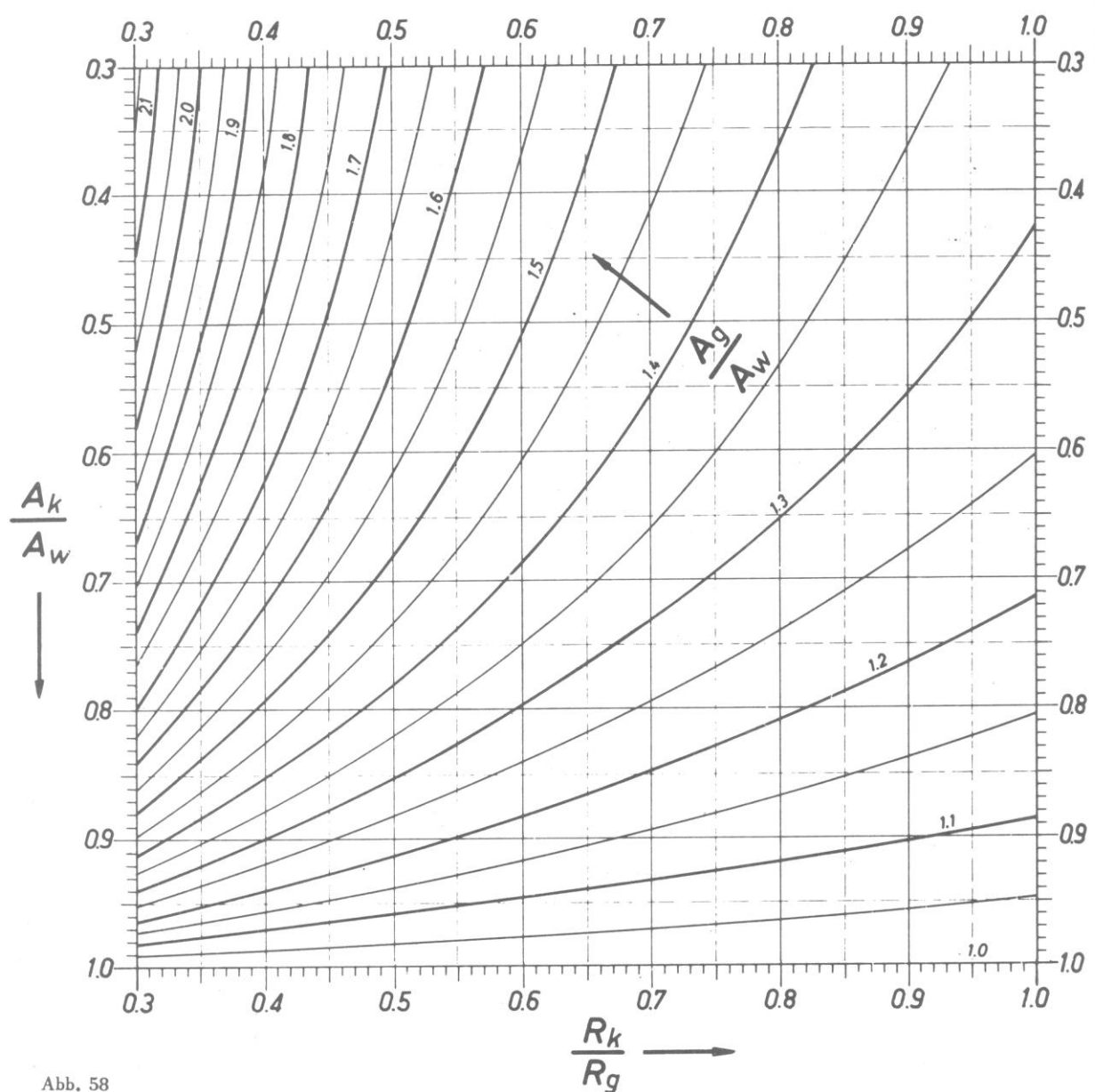


Abb. 58

**Abbildung 5.15** Nomogramm zur Parameterermittlung für unsymmetrische Wendeklothoide (OSTERLOH, 1991)

Die Verbindung zweier gleichsinnig gekrümmter Kreisbögen kann durch eine **Eiklothoide** erfolgen. Dafür müssen die Kreisbögen ineinander liegen und dürfen keinen gemeinsamen Mittelpunkt haben.

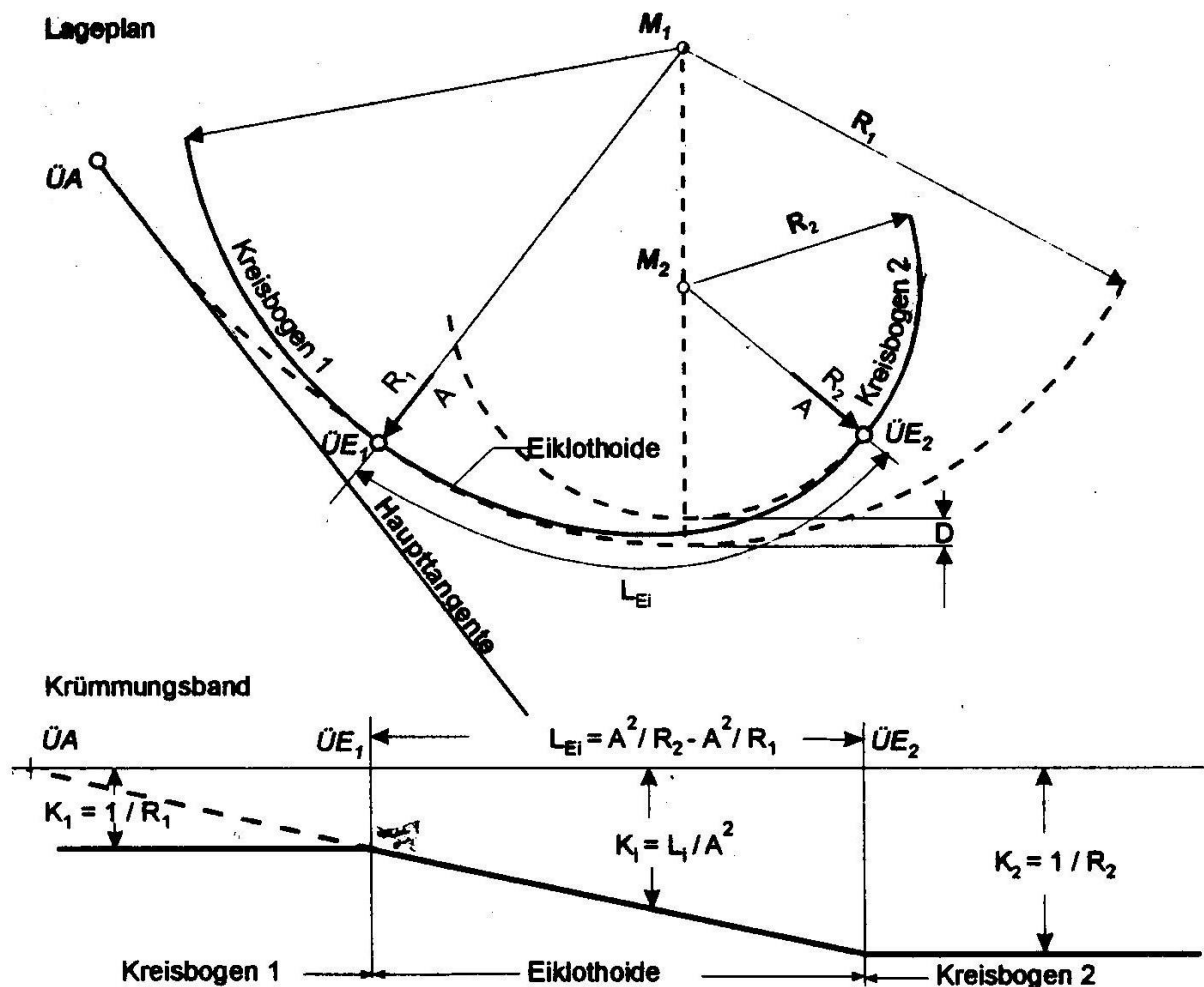


Abbildung 5.16 Lageplan und Krümmungslinie der Eiklothoide (WEISE / DURTH, 1997)

Der Richtungsänderungswinkel der Eiklothoide soll wegen der optischen Wirksamkeit  $\tau \geq 3,5$  gon betragen. Die Länge des Klothoidenstückes wird aus der Differenz der beiden gleichparametrischen Klothoidenteile berechnet:

$$L = L_{R1} - L_{R2}$$

$$L_{Ei} = A^2 \cdot \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right)$$

Der gleiche Ansatz gilt für die Bestimmung des verbleibenden Richtungsänderungswinkels der Eiklothoide:

$$\tau_{\text{Ei}} = \frac{A^2}{2} \left( \frac{1}{R_2^2} - \frac{1}{R_1^2} \right)$$

Für die graphische Ermittlung von Eiklothoiden gibt es Nomogramme (Abbildung 5.17). Mit Hilfe der bekannten Kreisbogenradien  $R_2$  ( $= R_K$ ) und  $R_1$  ( $= R_G$ ) sowie dem kleinsten Kreisbogenabstand  $D$  wird der Klothoidenparameter  $A$  bestimmt. Dafür werden die Werte  $R_K/R_G$  und  $D/R_G$  ermittelt, im Nomogramm abgetragen und somit  $A/R_G$  abgelesen. Damit lässt sich der Parameter  $A$  berechnen:

$$A = \frac{A}{R_G} \cdot R_G$$

Alle anderen denkbaren Kombinationen von Klothoiden, insbesondere die unmittelbare Folge mehrerer gleichsinnig gekrümmter Klothoiden, sind nicht zulässig.

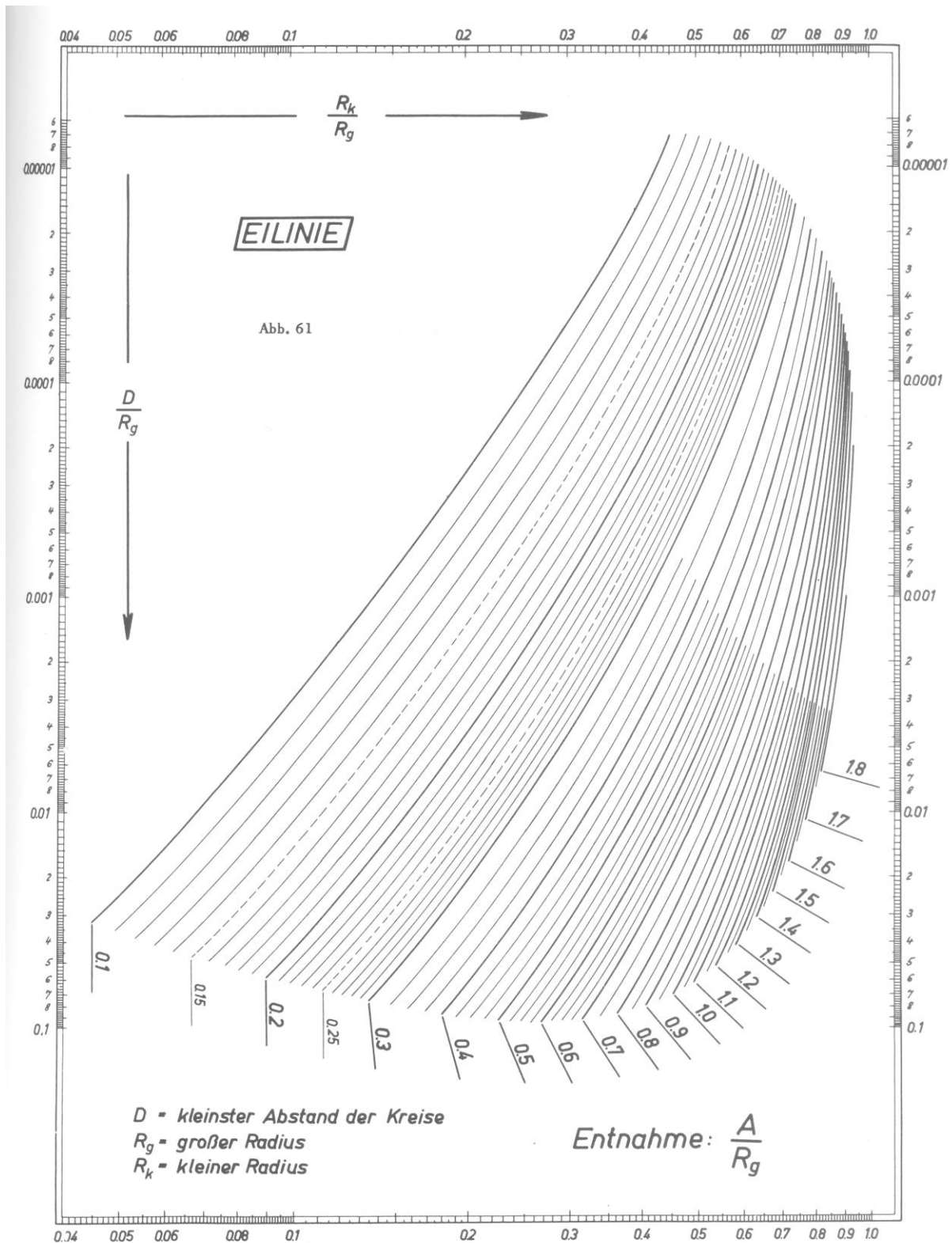


Abbildung 5.17 Nomogramm zur Parameterermittlung für Eiklothoiden (OSTERLOH, 1991)

### 5.2.4 Lageplankurven

Aus der Verknüpfung der einzelnen Lageplanelemente miteinander ergeben sich folgende geeignete Lageplankurven (Abbildung 5.18):



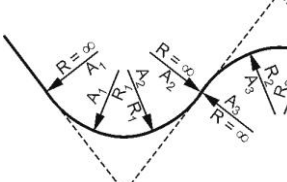
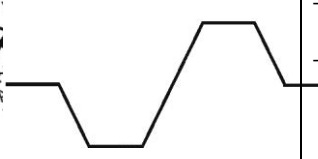
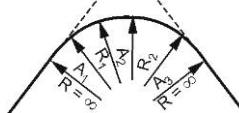
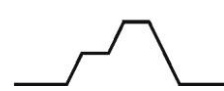

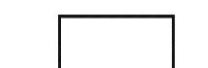
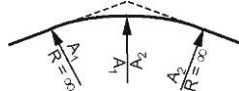

Bezeichnung Bild	Elementfolge Krümmungsband	Einsatzbedingungen	Bewertung
<p>Verbundkurve</p> 	$R = \infty - A_1 - R_1 - A_2 - R = \infty$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sie sollten symmetrisch (<math>A_1 \approx A_2</math>) ausgebildet werden.</li> <li>- Bei unsymmetrischer Ausbildung soll das Verhältnis <math>A_1 : A_2 \leq 1,5</math> betragen.</li> </ul>	sehr gut
<p>Wendelinie</p> 	$R = \infty - A_1 - R_1 - A_2 - A_3 - R_2 - A_4 - R = \infty$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Radienfolge ist abzustimmen.</li> <li>- Beide Äste der Wendeklothoide sollten gleiche Parameter (<math>A_2 \approx A_3</math>) aufweisen.</li> <li>- Bei unsymmetrischer Ausbildung soll das Verhältnis <math>A_2 : A_3 \leq 1,5</math> betragen.</li> <li>- Zwischengeraden zwischen den beiden Ästen der Wendeklothoide dürfen die Länge <math>L_z \leq 0,08 \cdot (A_2 + A_3)</math> nicht überschreiten. Andernfalls gelten beide Kurven als eigenständige Verbundkurven.</li> </ul>	sehr gut
<p>Eilinie</p> 	$R = \infty - A_1 - R_1 - A_2 - R_2 - A_3 - R = \infty$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Kreisbögen liegen ineinander, sind verschieden groß, dürfen sich nicht berühren und nicht konzentrisch zueinander liegen.</li> <li>- Die Radienfolge ist abzustimmen.</li> <li>- Der Richtungsänderungswinkel der Eiklothoide soll mindestens <math>\tau \geq 3,5</math> gon betragen.</li> </ul>	gut (Einsatzbedingungen beachten)
<p>Flachbogen</p> 	$R = \infty - R_1 - R = \infty$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sie sind nur bei kleinen Richtungsänderungen (<math>\gamma \leq 10</math> gon) und/oder großen Radien zulässig.</li> </ul>	befriedigend (Einsatzbedingungen beachten)
<p>Scheitelklothoide</p> 	$R = \infty - A_1 - A_2 - R = \infty$ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sie sind nur bei kleinen Richtungsänderungen (<math>\gamma \leq 10</math> gon) zulässig.</li> <li>- Sie sollen symmetrisch (<math>A_1 \approx A_2</math>) ausgebildet werden.</li> <li>- Die Kurvenlängen sollten in den EKL 1 und EKL 2 200 m, in der EKL 3 150 m und in der EKL 4 100 m nicht unterschreiten.</li> <li>- Die Querneigung soll im Scheitelbereich auf einer Länge von 60 m konstant bleiben.</li> </ul>	befriedigend (Einsatzbedingungen beachten)

Abbildung 5.18 Lageplankurven (RAL, 2012)



### 5.3 Entwurfselemente im Höhenplan

Der Höhenplan gibt die Führung der Straße im Aufriss wieder. Die Darstellung erfolgt im Normalfall in der Straßenachse. Der Höhenplan wird grundsätzlich im gleichen Längenmaßstab aufgetragen wie der Lageplan. Auf der Ordinate werden die Höhen über NN abgetragen. Dies erfolgt zur besseren Anschaulichkeit in der Regel im Verhältnis 10:1 zum Längenmaßstab (Abbildung 5.19). Der Höhenplan stellt somit die vertikale Schnittfläche der Straße als Abwicklung dar. Er enthält das Geländeprofil und die Gradiente. Durch die bewusst verzerrte Darstellung ist bei der Entwurfsarbeit zu beachten, dass keine schrägen Maße (z.B. Längsneigungen) direkt aus dem Höhenplan gemessen werden dürfen.

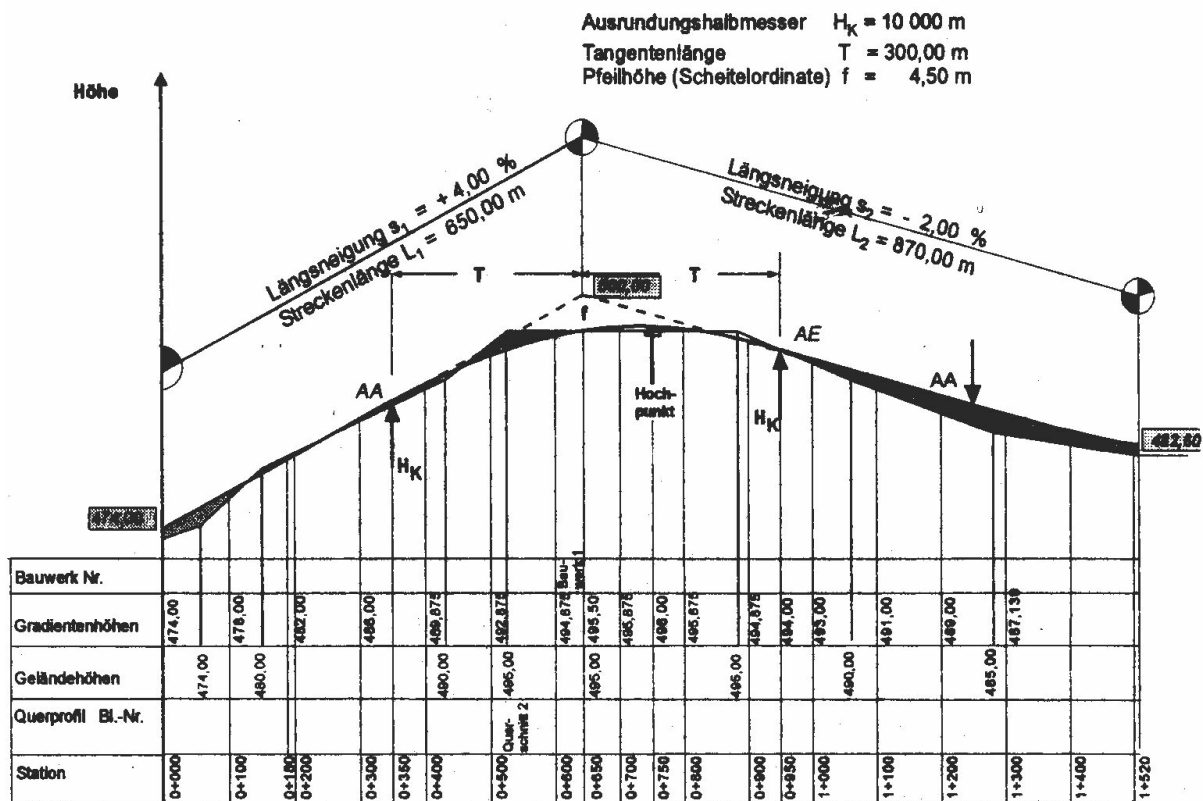


Abbildung 5.19 Schematische Darstellung eines Höhenplanes (WEISE / DURTH, 1997)

Die wesentlichen Kenngrößen der Entwurfselemente des Höhenplanes sind:

- Längsneigung  $s$  [%]
- Ausrundungshalbmesser  $H$  [m]

Im Höhenplan sind folgende Angaben enthalten:

- die **Stationierung** der Trasse im Maßstab des Lageplanes



- die **Höhenkoordinaten des Gradienten- und Geländeverlaufs** bezogen auf ein einheitliches Höhensystem an jedem Querprofil, an jedem Tangentenschnittpunkt und an allen Kreuzungspunkten
- der **Tangentenzug** mit den Längsneigungen  $s$  und den zugehörigen Streckenlängen  $L$ , den Neigungswechsellpunkten (Tangentenschnittpunkten)  $TS$  mit Angabe des Ausrundungshalbmessers  $H$ , der Tangentenlänge  $T$  und der Scheitelordinate  $f$  der Ausrundung, dem Beginn und dem Ende von Ausrundungen, die Gradientenhoch- und -tiefpunkte, sowie alle kreuzenden und einmündenden Straßen und andere Verkehrswege, Wasserläufe, maßgebende Wasserstände, Kunstbauwerke, Entwässerungseinrichtungen, ggf. Höhenverlauf weiterer Elemente, Lärmschutzmaßnahmen und sonstige Zwangspunkte

Weiterhin werden dem Höhenplan ein **Krümmungsband**, im gleichen Längenmaßstab, zur Abstimmung von Lage- und Höhenplan, ein **Querneigungsband** (Rampenband) zur Darstellung der Querneigung im Streckenverlauf und zur Kontrolle der Oberflächenentwässerung sowie, falls erforderlich, **Sichtweitenbänder** zugefügt.

### 5.3.1 Längsneigungen

Nachdem die Straße im Lageplan trassiert wurde, wird der Geländeverlauf im Höhenplan eingetragen. In diesen wird anschließend der Tangentenzug eingezeichnet. Dieser soll möglichst geländeangepasst verlaufen, wobei Zwangspunkte wie die Lage von Knotenpunkten oder Brücken beachtet werden müssen. Sowohl tiefe Einschnitte als auch hohe Dämme sollten wegen hoher Baukosten vermieden werden; anzustreben ist in der Regel ein Massenausgleich.

Die zu wählende Längsneigung wird somit wesentlich vom Geländeverlauf bestimmt.

Hohe Längsneigungen können zu einer besseren Anpassung an das Gelände, geringeren Eingriffen in das Umfeld und geringeren Baukosten führen. Sie bewirken jedoch bei schwächer motorisierten Fahrzeugen wie Lkw einen Geschwindigkeitsabfall, der die Sicherheit der Strecke beeinträchtigt. Zudem führen niedrigere Geschwindigkeiten zu einem Absinken der Reisegeschwindigkeit und wirken sich ungünstig auf die Wirtschaftlichkeit des Straßenverkehrs aus. Durch große Steigungen erhöht sich auch der Schadstoffausstoß und der Energieverbrauch. Auch für den Winterdienst haben hohe Längsneigungen negative Auswirkungen.

Daher ist es aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und Sicherheit erforderlich, die Längsneigungen im Zuge einer Straße zu begrenzen (Abbildung 5.20).

Entwurfsklasse	max s [%]
EKL 1	4,5
EKL 2	5,5
EKL 3	6,5
EKL 4	8,0

**Abbildung 5.20**      **Höchstlängsneigungen (RAL, 2012)**

In zu begründenden Ausnahmefällen kann die zulässige Höchstlängsneigung überschritten werden, eine maximale Schrägneigung von 10 % sollte dabei jedoch nicht überschritten werden.

In Verwindungsbereichen, in denen die Richtung der Querneigung wechselt, ist am Wendepunkt keine Querneigung vorhanden. Um hier dennoch das Abfließen des Niederschlagswassers zu gewährleisten, beträgt in solchen Bereichen die Mindestlängsneigung  $s = 1,0 \%$  (besser  $1,5 \%$ ). Ist dies in zu begründenden Ausnahmefällen nicht möglich, muss die Mindestlängsneigung  $s = 0,7 \%$  betragen. Im Idealfall bewirkt eine gute räumliche Trassierung, dass die Querneigungsnullpunkte zwischen Kuppen und Wannan liegen und damit im Bereich der maximal vorhandenen Längsneigung. Der Nachweis der Mindestlängsneigung ist dann stets möglich.

Damit wird vermieden, dass einer der beiden Fahrbahnränder eine der Gradienten entgegengesetzte Längsneigung aufweist.

Im Bereich plangleicher Knotenpunkte sind Längsneigungen von  $s \leq 4 \%$  anzustreben, Längsneigungen  $s > 6 \%$  sind zu vermeiden. Ansonsten ist der konstruktive Anschluss der einmündenden Straße problematisch, die Lkw haben im Steigungsbereich Schwierigkeiten beim Beschleunigen und abbiegende Fahrzeuge benötigen im Gefälle einen zu langen Bremsweg. Zudem würde für Linksabbieger im Gefälle eine zu hohe negative Querneigung auftreten.

In Tunneln mit einer Länge von mehr als 400 m Länge ist eine Höchstlängsneigung von  $s = 3,0 \%$  einzuhalten. Größere Längsneigungen im Tunnel führen zu höheren Lärm- und Schadstoffemissionen sowie zu einem Absinken der Lkw-Geschwindigkeiten. Bei Unfällen im Tunnel wird damit auch das rasche Ausbreiten brennbarer Flüssigkeiten vermieden.

### 5.3.2 Kuppen- und Wannenausrundungen

Die Schnittpunkte der Längsneigungen werden ausgerundet, wobei zwischen Neigungswechsel und Neigungsänderung sowie zwischen Kuppenausrundung und Wannenausrun-

derung unterschieden wird. Abbildung 5.21 zeigt die möglichen Fälle für Ausrundungen bei Neigungswechsel und -änderung.

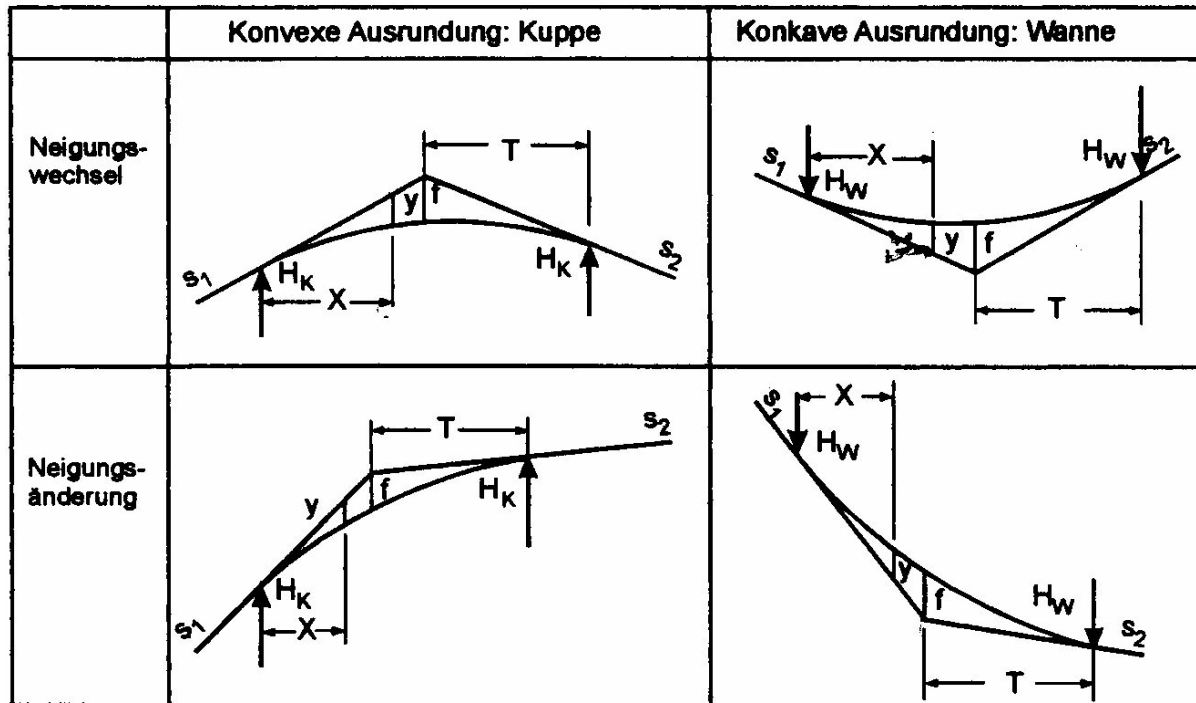


Abbildung 5.21 Formen für Neigungswechsel und -änderung (WEISE / DURTH, 1997)

Eine Kuppe entsteht beim Übergang von einer Steigung in ein Gefälle, von starker Steigung in flache Steigung oder von flachem Gefälle in starkes Gefälle. In diesen Fällen ist die Neigungsdifferenz jeweils negativ. Diese berechnet sich als:

$$m = s_2 - s_1$$

wobei die Vorzeichen der Steigungen beachtet werden müssen (in Stationierungsrichtung Steigungen positiv, Gefälle negativ).

Eine Wanne entsteht, wenn die Neigungsdifferenz positiv ist, also beim Übergang von Gefälle in Steigung, von flacher Steigung in starke Steigung und von starkem Gefälle in flaches Gefälle.

Die Ausrundung der Kuppen und Wannen erfolgt durch Kreisbögen mit möglichst großen Radien (Halbmessern). Im Höhenplan sind zwischen Gerade und Kreisbogen keine Übergangsbögen erforderlich, da sie weder fahrdynamische noch ästhetische Vorteile aufweisen. Mit hinreichender Genauigkeit können die Ausrundungen als quadratische Parabeln mit dem Radius als Schmiegekreis im Scheitelpunkt eingerechnet werden. Die Parabelgleichung lautet:

$$y = a \cdot x^2$$

Damit ergibt sich die Steigung der Parabel zu

$$y' = 2 \cdot a \cdot x$$

und die Krümmung der Parabel zu

$$y'' = 2 \cdot a = \frac{1}{R} = \frac{1}{H} \Rightarrow a = \frac{1}{2 \cdot H}$$

wobei H der Halbmesser der Ausrundung ist. Wird a wiederum in die Parabelgleichung eingesetzt, dann erhält man:

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot H}$$

Für die Berechnung der Kuppenmaße wird auf diese Parabelnäherung zurückgegriffen (Abbildung 5.22). Durch die zulässigen Längsneigungen sind die Neigungswinkel im Höhenplan relativ klein. Die im mathematischen Sinne vorhandene Differenz zwischen der Länge der Stationierung und der durch die Längsneigung tatsächlich größeren Länge der Fahrbahn kann unberücksichtigt bleiben, weil sie praktisch unbedeutend ist. Dementsprechend werden auch die Tangentenlängen der Kuppen- und Wannenausrundungen horizontal und nicht parallel zur Neigung der Gradienten abgetragen.

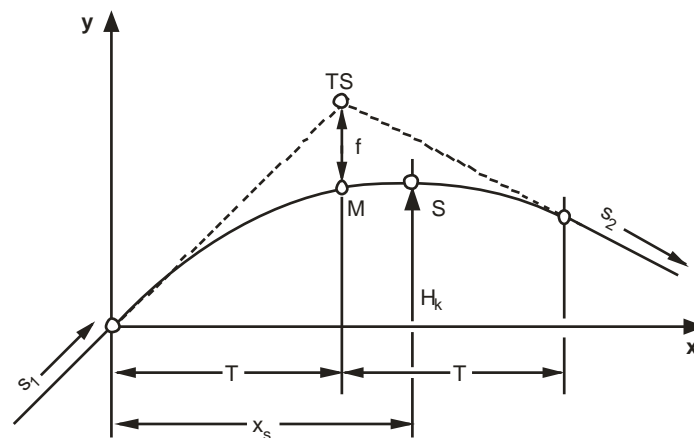


Abbildung 5.22 Geometrische Beziehungen bei Ausrundungen, nach (RAL, 2012)

Die Höhe der Gradierte an einer beliebigen Stelle wird berechnet als:

$$y(x) = \frac{s_1}{100} \cdot x + \frac{x^2}{2 \cdot H}$$

Für die Ermittlung der Längsneigung der Gradierte gilt:

$$s(x) = s_1 + \frac{x}{H} \cdot 100$$

Die Lage des Scheitelpunktes S einer Ausrundung an der Stelle  $s = 0 \%$  ergibt sich zu:

$$x_s = -\frac{s_1}{100} \cdot H$$

Der Abstand zwischen Ausrundungsanfang bzw. Ausrundungsende und dem Tangentenschnittpunkt ist die Tangentenlänge T und beträgt:

$$T = \frac{H}{2} \cdot \frac{s_2 - s_1}{100}$$

Das Stichmaß vom Tangentenschnittpunkt zur Gradierte wird mit folgender Gleichung bestimmt:

$$f = \frac{T^2}{2 \cdot H} = \frac{T}{4} \cdot \frac{s_2 - s_1}{100} = \frac{H}{8} \cdot \left( \frac{s_2 - s_1}{100} \right)^2$$

Wichtig ist bei diesen Berechnungen, dass die folgenden Vorzeichenregelungen beachtet werden:

Steigung	positiv	(+s <sub>1</sub> , +s <sub>2</sub> in Stationierungsrichtung)
Gefälle	negativ	(-s <sub>1</sub> , -s <sub>2</sub> in Stationierungsrichtung)
Wannenhalbmesser	positiv	(+H <sub>w</sub> )
Kuppenhalbmesser	negativ	(-H <sub>k</sub> )

Die Größe der Kuppen- und Wannenhalbmesser wird hauptsächlich durch die Forderung nach einer ausreichend sicheren Befahrbarkeit und nach einer ästhetischen räumlichen Linieneinführung bestimmt. Sie wollen eine Anpassung an die Topographie ermöglichen und das Landschaftsbild schonen. Für den Fahrer soll es grundsätzlich möglich sein, vor einem plötzlich auftauchenden Hindernis auch bei nasser Fahrbahn noch rechtzeitig anhalten zu können. Das bedeutet, dass die für den gesamten Straßenzug geforderte Einhaltung der Haltesichtweite auch im Kuppenbereich berücksichtigt wird. Zwischen Kuppenmindesthalbmesser  $H_K$ , Haltesichtweite  $S_h$ , Höhe des Augpunktes  $h_A$  und Höhe des Zielpunktes  $h_Z$  besteht der in Abbildung 5.23 gezeigte Zusammenhang.

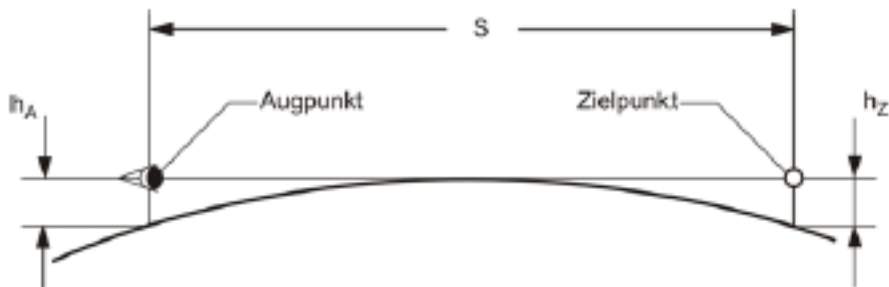


Abbildung 5.23 Sichtweitenmodell (RAL, 2012)

Die in Abbildung 5.24 festgelegten Mindesthalbmesser für Kuppen beruhen auf Erfahrungswerten. Sie stellen für den Bereich gerader Kuppen sowohl die Einhaltung der erforderlichen Haltesichtweiten als auch der erwünschten Orientierungssichtweite sicher.

Entwurfsklasse	empfohlene Kuppenhalbmesser $H_K$ [m]	empfohlene Wannenthalbmesser $H_W$ [m]	Mindestlänge der Tangenten min T [m]
EKL 1	$\geq 8.000$	$\geq 4.000$	100
EKL 2	$\geq 6.000$	$\geq 3.500$	85
EKL 3	$\geq 5.000$	$\geq 3.000$	70
EKL 4	$\geq 3.000$	$\geq 2.000$	55

Abbildung 5.24 Empfohlene Werte der Kuppen- und Wannenthalbmesser und Mindestlängen von Tangenten im Höhenplan (RAL, 2012)

Wannenthalbmesser werden vorrangig nach optischen Gesichtspunkten festgelegt. Eine fahrdynamische Ableitung der Wannenthalbmesser führt zu deutlich kleineren Werten als in der Entwurfspraxis üblich. Die Einhaltung einer Zentrifugalbeschleunigung in vertikaler Richtung von  $z \leq 0,5 \text{ m/s}^2$  als Maß für den Komfort ergibt einen Mindesthalbmesser von  $H_W = 0,154 \cdot V^2$ .

In hügeligem Gelände soll der Kuppenhalbmesser größer als der Wannenthalbmesser sein, der Wannenthalbmesser dabei jedoch aus Gründen der Erkennbarkeit und der räumlichen Linienführung nicht kleiner als die Hälfte der angrenzenden Kuppenhalbmesser sein.

Bei geringen Höhenunterschieden und in flachem Gelände sollten die Wannenthalbmesser deutlich größer als die Kuppenhalbmesser sein.



Zu kleine Wannenhalfmesser mit kurzen Tangentenlängen führen zu einem optischen Knick in der Straße. Deshalb gilt für alle Ausrundungen eine Mindestlänge der Tangenten gemäß Abbildung 5.24

Beim Erstellen eines Höhenplanes muss sich der entwerfende Ingenieur immer eine Vorstellung von der Strecke in allen Dimensionen machen. Denn trotz der überwiegend getrennten Bearbeitung und Darstellung von Lageplan und Höhenplan entsteht durch die Überlagerung der horizontalen und vertikalen Entwurfselemente ein Raumband. Dieses hat maßgebliche Auswirkungen auf das situationsgerechte Verhalten der Fahrer und somit auf die Sicherheit.

Zur Kontrolle der Linienführung wird unter den Höhenplan ein Krümmungsband gezeichnet, mit dessen Hilfe Planungsmängel erkannt werden können. Abbildung 5.25 zeigt ein Beispiel für einen Höhenplan mit darunter liegendem Krümmungsband.

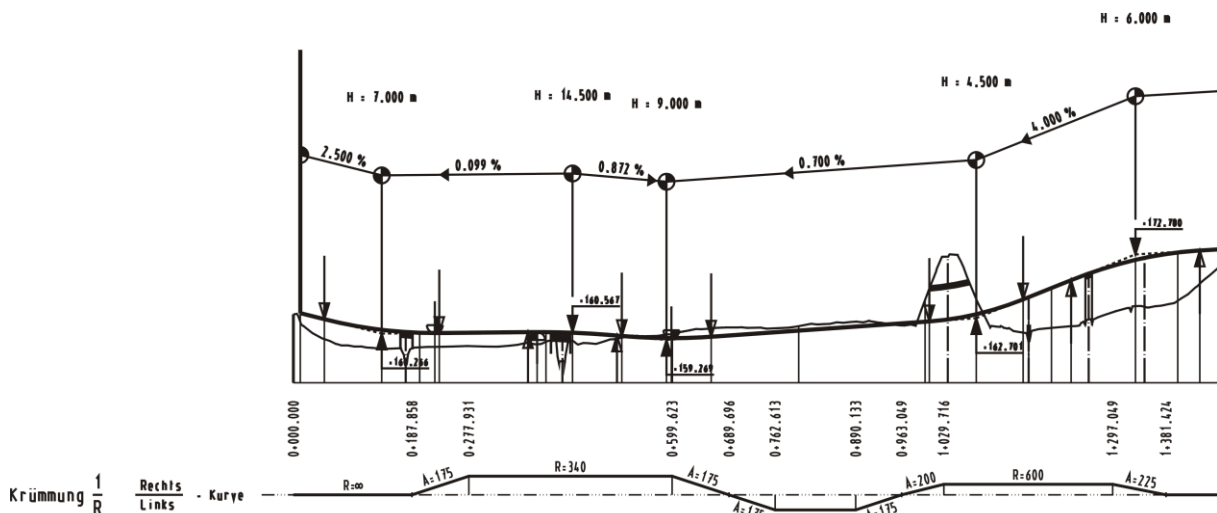
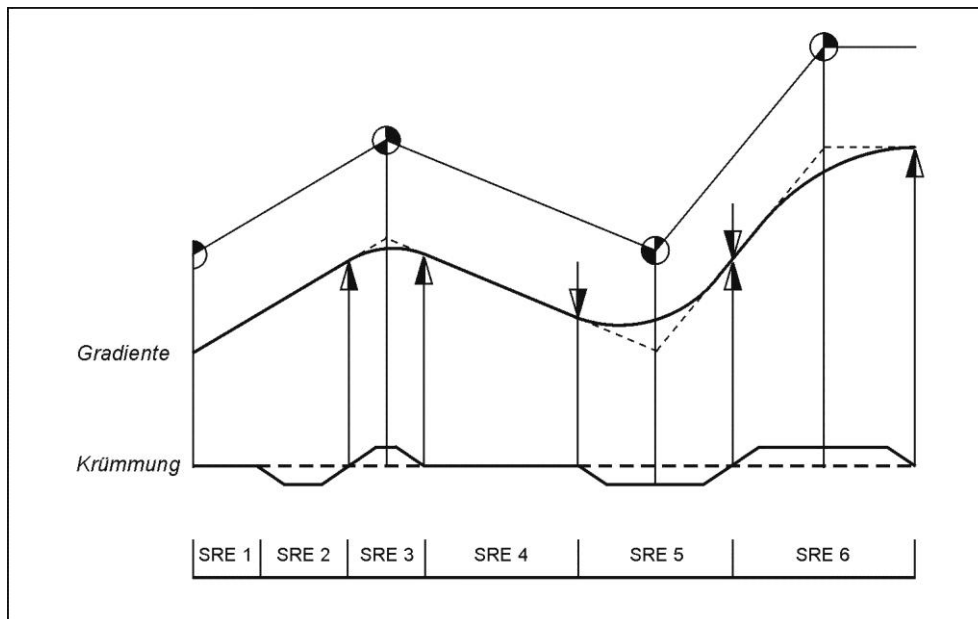


Abbildung 5.25 Beispiel für einen Höhenplan mit Krümmungsband

### 5.3.3 Räumliche Linienführung

Der Straßenentwurf erfolgt überwiegend getrennt in Lage-, Höhenplan und Querschnitt. Bei der räumlichen Linienführung soll der Entwurf der Straße in diesen drei Dimensionen aufeinander abgestimmt werden. Der Fahrraum, zu dem auch der straßenumgebende Seitenraum einschließlich Bepflanzung etc. gehört, muss für den Kraftfahrer rechtzeitig erkennbar, begreifbar, übersichtlich und eindeutig sein.

Durch die Überlagerung der horizontalen und vertikalen Entwurfselemente entstehen Raumelemente und Raumelementfolgen. Die Verwendung von Standardraumelementen und Einhaltung bestimmter Grundregeln führt zu einer befriedigenden räumlichen Linienführung.



**Abbildung 5.26 Beispiel für die Einteilung einer Strecke in Standardraumelemente (SRE) (RAL, 2012)**

Eine optisch, entwässerungstechnisch und fahrdynamisch günstige Linienführung wird in der Regel dann erreicht, wenn die Wendepunkte der Krümmungen im Lage- und Höhenplan ungefähr an der gleichen Stelle liegen und die Anzahl der Wendepunkte des Lageplanes und des Höhenplanes übereinstimmen.

Standardraumelemente entstehen, wenn Beginn und Ende von Kurven im Lageplan mit dem Beginn von Kuppen und Wannen im Höhenplan zusammenfallen. Prinzipiell können Anfangs- und Endpunkte in Lage- und Höhenplan auch gegenseitig um bis zu 20 % der Länge des Lageplanelementes verschoben sein, allerdings muss bei Kuppen-/Kurvenüberlagerungen die Erkennbarkeit des Kurvenbeginns gewährleistet sein. Dies wird erreicht, wenn die in Abbildung 5.27 dargelegten Werte der erforderlichen Verschiebung des Kuppenbeginns hinter den Kurvenbeginn eingehalten werden.

Kuppen- halb- messer H [m]	Klothoidenparameter A [m]			
	150	200	250	>=300
3.000	25	50	65	80
4.000	15	35	55	75
5.000	Keine Verschiebung erforderlich	25	50	70
6.000		15	40	60
7.000		30	55	
8.000		20	45	
9.000		10	40	
10.000				30

**Abbildung 5.27** Erforderliche Verschiebung [m] des Kuppenbeginns hinter den Kurvenbeginn beim Übergang Gerade – Klothoide - Kreisbogen

Durch eine Überprüfung mit quantitativen Parametern ist darüber hinaus zu gewährleisten, dass das Fahrbahnband kein Tauchen (zeitweises Verschwinden der Straßenfläche aus dem Blickfeld des Fahrers mit Wiedererscheinen in Verlängerung der gerade durchfahrenen Strecke) oder Springen (wie Tauchen, aber mit versetztem Wiedererscheinen) aufweist, da dieses Defizit einen hohen Einfluss auf die Verkehrssicherheit hat.

Gestalterische Defizite wie Flattern (mehrfache Aufwölbungen der Fahrbahn ohne Tauchen), die höhenplanfremde Abbildung der Fahrbahn (ein ebenes Stück zwischen zwei Wannen wirkt wie eine leichte Kuppe), optische Knicke (die sich aus engen, kurzen Lage- und Höhenplankurven in der Umgebung großzügiger Trassierungselemente ergeben) sowie Unstetigkeiten am Fahrbahnrand sollten ebenfalls vermieden werden.

#### 5.4 Entwurfselemente im Querschnitt

*Anmerkung: Im Folgenden werden nur Querschnitte von Landstraßen gemäß den RAL behandelt; die Querschnitte von Autobahnen und Stadtstraßen sind den entsprechenden Richtlinien zu entnehmen. (Die Richtlinien RAA für Autobahnen und RASt für Stadtstraßen sind Pflichtlektüre für Studierende der Vertiefungsrichtung III.)*

Die Standardisierung und Wiedererkennbarkeit von Straßentypen und deren Bindung an die Entwurfsklassen ist maßgeblich am Querschnitt festzumachen. Daher wird für jede Entwurfsklasse von Landstraßen ein einbahniger Regelquerschnitt festgelegt.

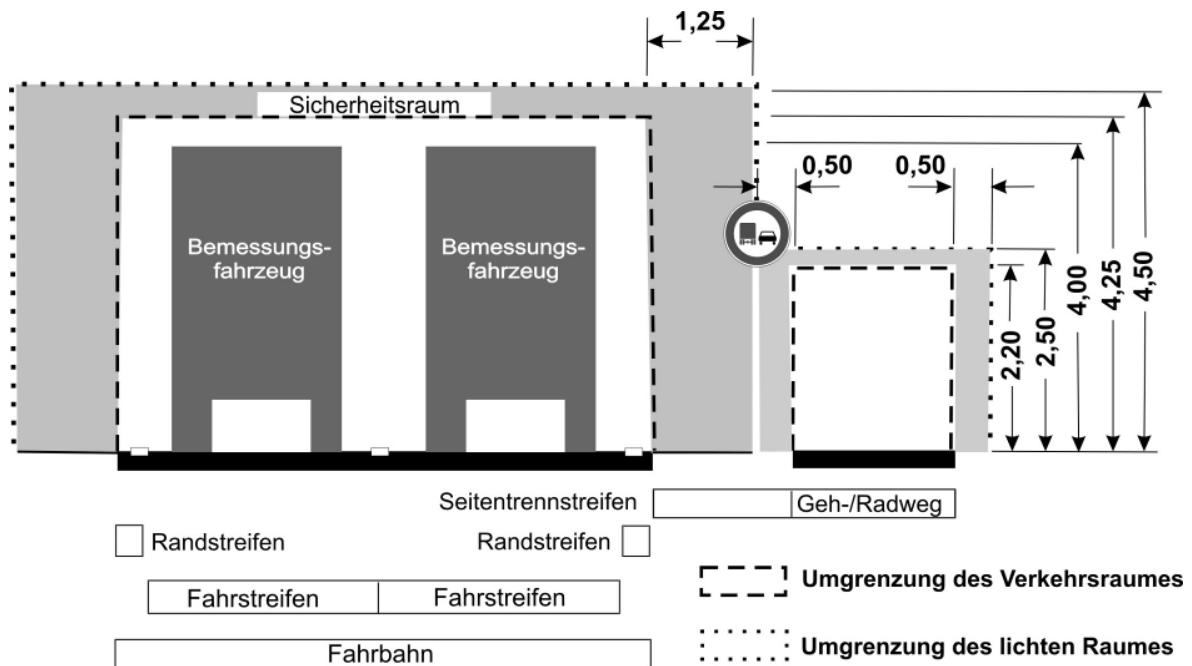
#### 5.4.1 Bestandteile der Straßenquerschnitte

Der Querschnitt einer Straße muss breit genug sein, damit Fahrzeuge auf ihr je nach gewünschter Verkehrsqualität ohne Schwierigkeiten fahren können. Grundlage der Querschnittsbemessung für den Kfz-Verkehr ist ein Bemessungsfahrzeug von 2,50 m Breite und 4,00 m Höhe. (Die Breite des zugrundegelegten Bemessungsfahrzeugs ist nicht identisch mit der maximal zulässigen Breite eines Fahrzeugs, die gemäß StVZO, § 32 auf 2,55 m, in bestimmten Sonderfällen auf 2,60 m festgelegt ist.)

Straßenfahrzeuge benötigen zum Ausgleich von Fahr- und Lenkbewegungen darüber hinaus noch einen seitlichen Bewegungsspielraum, der in erster Linie von den zu erwartenden Geschwindigkeiten und weiterhin von der Verkehrsbelastung insbesondere durch Schwerverkehr abhängt. Entsprechend dieser Anforderungen wird die Breite des seitlichen Bewegungsspielraumes je nach Regelquerschnitt zwischen 0,25 und 1,25 m festgelegt. In der Höhe wird zum Ausgleich des Ausfederns ein oberer Bewegungsspielraum von 0,25 m benötigt.

Die Fahrstreifenbreite setzt sich somit zusammen aus der Breite des Bemessungsfahrzeuges und dem Bewegungsspielraum. Über der Fahrbahn baut sich der Verkehrsraum auf, in dem sich die Fahrzeuge im Regelfall bewegen. Um ihn herum ist gegenüber festen Hindernissen und anderen Verkehrsarten ein Sicherheitsraum freizuhalten. Er hat eine Regelbreite von 1,25 m, an Mittelstreifen und neben Hochborden kann er um 0,25 m verringert werden. Die Höhe des oberen Sicherheitsraumes beträgt bei Fahrbahnen 0,25 m, oberhalb von Geh- und Radwegen 0,30 m.

Der von festen Hindernissen freizuhaltende Raum des Straßenquerschnittes setzt sich aus dem Verkehrsraum und dem Sicherheitsraum zusammen und wird lichter Raum genannt (Abbildung 5.28). Für Kraftfahrzeuge beträgt die lichte Höhe 4,50 m. An ausgewiesenen Strecken mit regelmäßigen Großraumtransporten können lichte Höhen von 4,70 m erforderlich sein. Bei Radwegen ist die lichte Höhe im Regelfall 2,50 m.

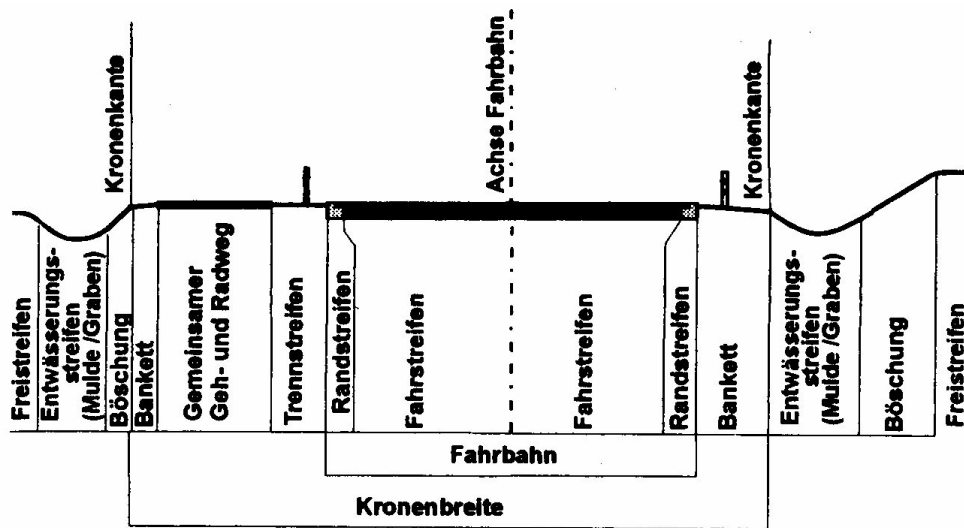


**Abbildung 5.28 Grundmaße für den Verkehrsraum und lichten Raum (RAL, 2012)**

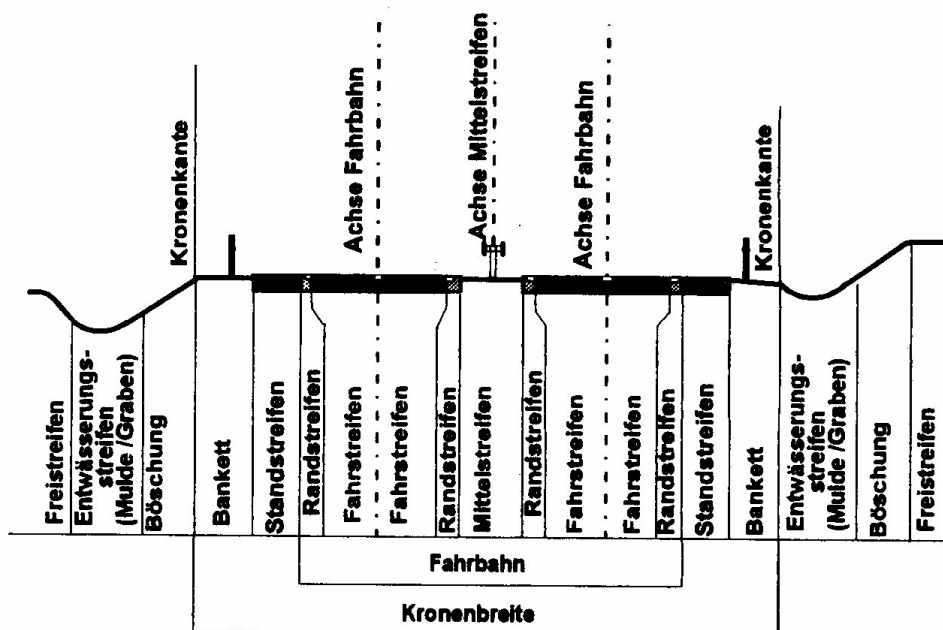
Je nach Straßenfunktion (Verbindungs-, Erschließungs-, Aufenthaltsfunktion) setzt sich der Straßenquerschnitt aus unterschiedlichen Bestandteilen zusammen. Diese lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

- Befahrbare und begehbare, in der Regel befestigte Verkehrsstreifen
- Nicht befahrbare, in der Regel unbefestigte Seitenstreifen und Randelemente.

Die Grundelemente eines Straßenquerschnittes sind der Abbildung 5.29 zu entnehmen.



a) Einbahnige zweistreifige Straße



b) Zweibahnige vierstreifige Straße (Autobahn)

Abbildung 5.29 Schematische Straßenquerschnitte außerorts (WEISE / DURTH, 1997)

Der fließende Kraftfahrzeugverkehr wird auf der Fahrbahn geführt, die sich aus der Breite der Fahrstreifen und der Randstreifen zusammensetzt. Die Fahrstreifenbreiten der Regelquerschnitte wurden anhand der Breiten des Bemessungsfahrzeuges festgelegt. Die Anzahl der Fahrstreifen hat maßgeblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Straße. Randstreifen gehören konstruktiv zur Fahrbahn und sollen Schäden am Fahrbahnrand verhindern. Darüber hinaus dienen sie dazu, Fahrbahnmarkierungen aufzunehmen.



Trennstreifen dienen der baulichen Trennung von Fahrbahnen. Es werden Mitteltrennstreifen und Seitentrennstreifen unterschieden. Durch Mitteltrennstreifen werden entgegengesetzt befahrene Richtungsfahrbahnen einer Straße getrennt. Dort werden verkehrstechnische Einrichtungen (Schutzeinrichtungen, Verkehrszeichen, Pfosten von Verkehrszeichenbrücken) und Brückenpfeiler untergebracht. Seitentrennstreifen trennen die Fahrbahn für den durchgehenden Verkehr von einer Nebenfahrbahn oder von Geh- und Radwegen.

Standstreifen (Seitenstreifen) bieten dem Fahrer die Möglichkeit, in Notfällen seitlich auszuweichen oder anzuhalten.

Bankette haben eine bautechnische Funktion und dienen darüber hinaus der Aufnahme von passiven Schutzeinrichtungen, Leiteinrichtungen und Verkehrszeichen.

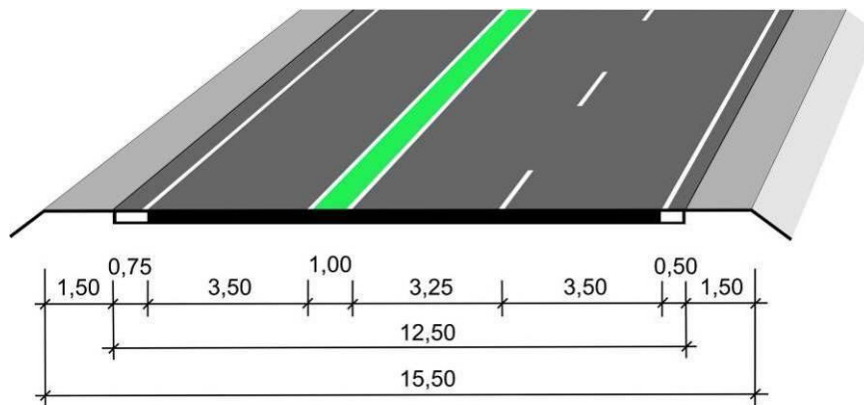
Bei der Führung von Geh- und Radwegen kommen verschiedene Möglichkeiten in Betracht. Sie können auf der Fahrbahn, parallel zur Fahrbahn und zwar räumlich abgesetzt durch Trennstreifen oder Borde, auf unabhängigen Seitenwegen, auf Mehrzweckstreifen oder auf land- und forstwirtschaftlichen Wegen verlaufen. Fahrbahnahe Geh- und Radwege werden an außerörtlichen Straßen in der Regel gemeinsam auf einer Seite geführt. Sie sind 2,50 m breit und sollen unter Nutzung der natürlichen Geländeform – ggf. in wechselndem Abstand zur Fahrbahn – angelegt werden.

#### **5.4.2 Regelquerschnitte**

Alle Regelquerschnitte sind aus den oben aufgeführten Querschnittsbestandteilen zusammengesetzt. Damit ergibt sich für jeden Regelquerschnitt eine bestimmte Kronenbreite, aus der seine Bezeichnung resultiert (z.B. hat ein RQ 15,5 eine Kronenbreite von 15,5 Metern).

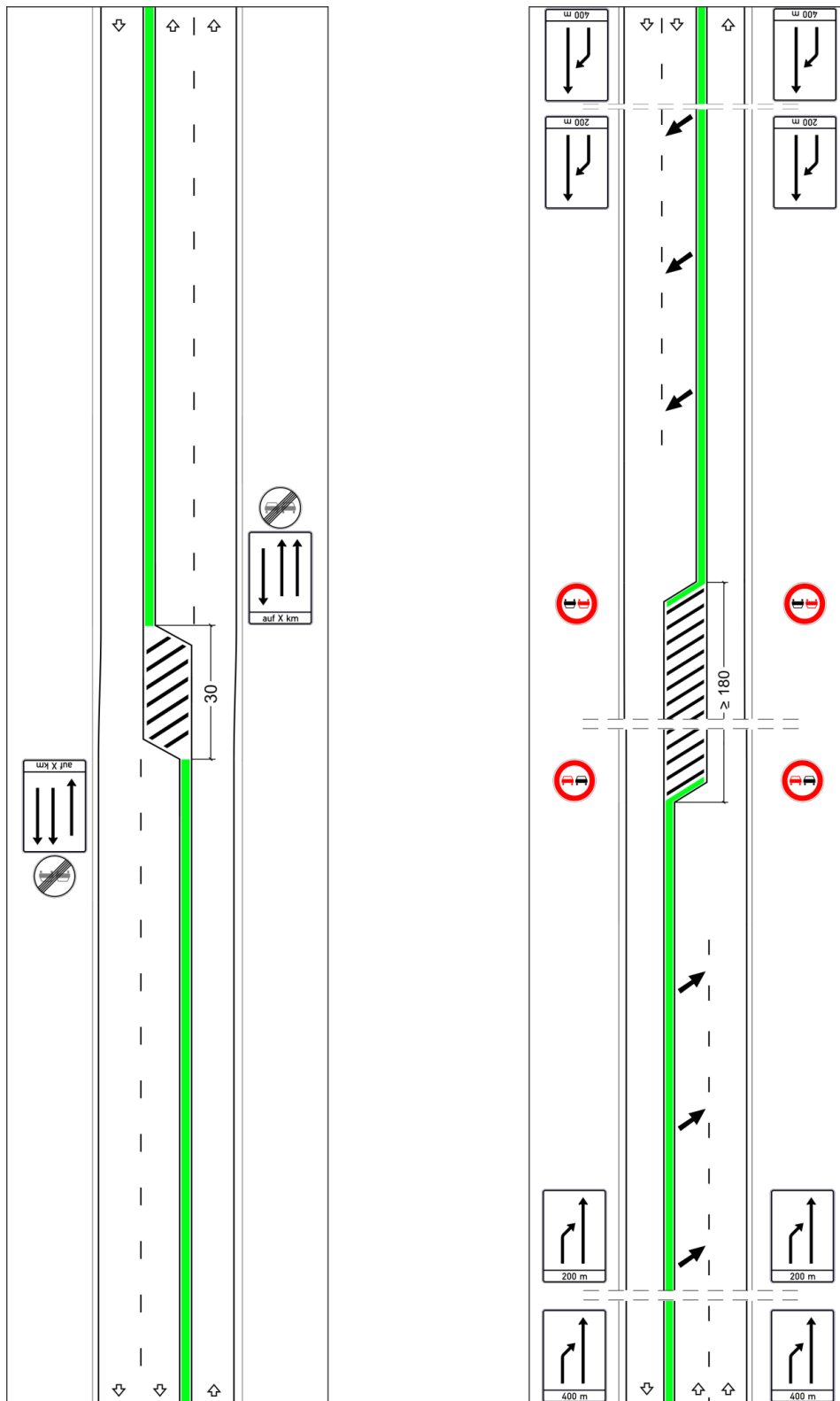
Für jede Entwurfsklasse ist in den RAL ein einbahniger Regelquerschnitt festgelegt. Bei hoher Verkehrsbelastung kann im Zuge einbahniger Straßen auf kurzen Abschnitten (bis etwa 15 km) ein zweibahniger Regelquerschnitt zum Einsatz kommen.

## Regelquerschnitt für Straßen der EKL 1



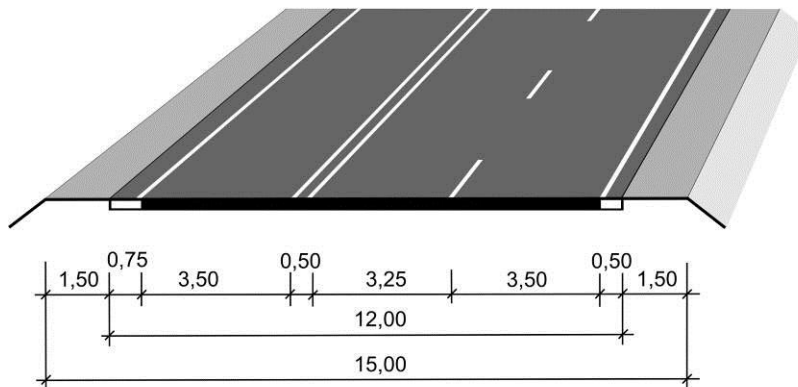
**Abbildung 5.30** Regelquerschnitt RQ 15,5 (RAL, 2012)

Der **Regelquerschnitt RQ 15,5** (Abbildung 5.30) ist ein einbahnig dreistreifiger Querschnitt mit einer durchgehenden wechselseitigen Folge von Überholfahrstreifen. Damit werden für jede Fahrtrichtung auf etwa 40 % der Strecke verkehrsrechtlich eindeutige, gesicherte Überholmöglichkeiten geschaffen. Beide Fahrtrichtungen werden durch einen verkehrstechnischen Mittelstreifen getrennt. Der Querschnitt kommt in der Regel für Verkehrsbelastungen bis zu 20.000 Kfz/24 h in Betracht. Er soll als Kraftfahrstraße betrieben werden. In den einstreifigen Abschnitten ist die Anlage von 2,50 m breiten und 50 m langen Nothaltebuchten in Abständen von 500 m bis 1.000 m zweckmäßig. Die Lage der Nothaltebuchten ist mit den betrieblichen Erfordernissen (z.B. in der Nähe von Brücken) abzustimmen. Die erforderlichen Wechselbereiche werden entsprechend Abbildung 5.31 ausgeführt.

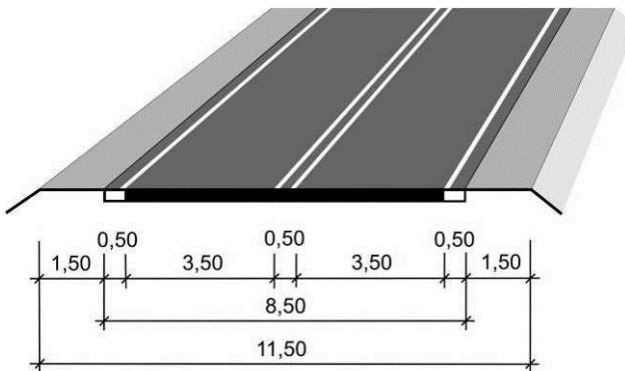


**Abbildung 5.31** Markierung und Beschilderung der Wechselstellen bei Straßen der EKL 1 (links: „unkritische“ Wechselstelle, rechts: „kritische“ Wechselstelle) (RAL, 2012)

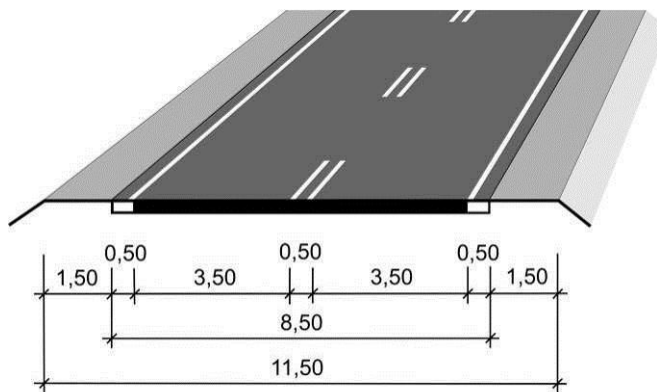
## Regelquerschnitt für Straßen der EKL 2



a)



b1)



b2)

**Abbildung 5.32 Regelquerschnitt RQ 11,5+**  
**a) mit Überholfahrstreifen**  
**b1) ohne Überholfahrstreifen mit Überholverbot**  
**b2) ohne Überholfahrstreifen ohne Überholverbot (RAL, 2012)**

Der **Regelquerschnitt RQ 11,5+** (Abbildung 5.32) ist ein einbahnig zweistreifiger Querschnitt der durch einzelne Überholfahrstreifen abschnittsweise dreistreifig aufgeweitet wird. Zur Anordnung der Überholabschnitte vgl. Ziffer 5.4.4. Die beiden Fahrtrichtungen sind in den dreistreifigen Abschnitten immer durch zwei Fahrstreifenbegrenzungen (durchgehende

Doppellinie) verkehrsrechtlich voneinander getrennt. Dies gilt für die zweistreifigen Abschnitte dort, wo das Überholen aufgrund von besonderen Risiken (z.B. unzureichende Überholstreckenweiten) untersagt werden soll. In den übrigen Abschnitten werden die beiden Fahrtrichtungen durch eine doppelte Leitlinie (unterbrochene Markierung) voneinander getrennt. Die Querschnittsmaße ändern sich dadurch nicht. Durch eine ausreichend dichte Folge von Überholabschnitten sollen für jede Fahrtrichtung auf etwa 20 % der Streckenlänge oder mehr gesicherte Überholmöglichkeiten geschaffen werden, höhere Anteile sind für die Verkehrssicherheit und den Verkehrsablauf förderlich.

Der Querschnitt kommt in der Regel für Verkehrsbelastungen bis zu 17.000 Kfz/24 h in Betracht, Landwirtschaftlicher Verkehr sollte nach Möglichkeit vermieden werden. Radverkehr auf der Fahrbahn ist grundsätzlich auszuschließen. Bei geeignetem landwirtschaftlichem Wegenetz ist eine Ausweisung als Kraftfahrstraße zweckmäßig.

### Regelquerschnitt für Straßen der EKL 3

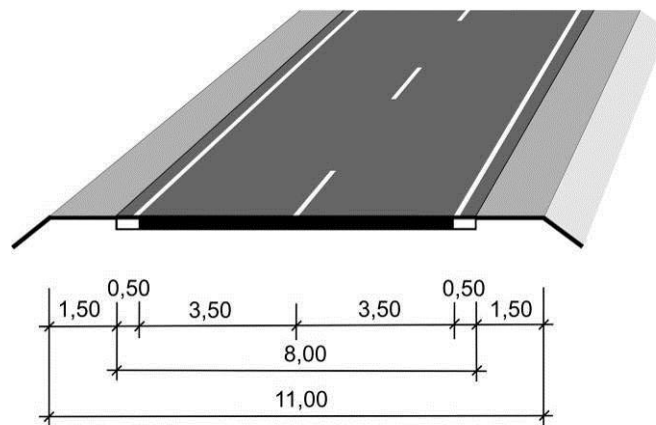


Abbildung 5.33 Regelquerschnitt RQ 11 (RAL, 2012)

Der **Regelquerschnitt RQ 11** ist ein durchgängig einbahnig zweistreifiger Querschnitt. Die beiden Fahrtrichtungen werden regelmäßig durch eine Leitlinie getrennt. In Bereichen mit kritischen Sichtweiten soll das Überholen durch die Anordnung einer Fahrstreifenbegrenzungslinie (ununterbrochene Markierung) eingeschränkt werden.

Der Querschnitt kommt in der Regel für Verkehrsbelastungen bis 15.000 Kfz/24 h in Betracht.

In zu begründenden Ausnahmefällen kann die Fahrstreifenbreite bei sehr geringen Verkehrsbelastungen (DTV bis zu 5.000 Kfz/24 h und Schwerverkehrsstärke bis zu 300 Lkw/24 h) reduziert werden.

### Regelquerschnitt für Straßen der EKL 4

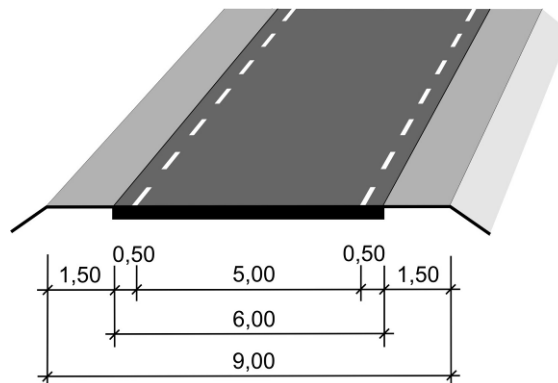


Abbildung 5.34 Regelquerschnitt RQ 9 (RAL, 2012)

Der **Regelquerschnitt RQ 9** ist ein einbahniger Querschnitt ohne eine Markierung zur Trennung der beiden Fahrtrichtungen.

Der Querschnitt kommt in der Regel bei Verkehrsbelastungen bis zu 3.000 Kfz/24 h und einer Schwerverkehrsstärke bis 150 Lkw/24 h in Betracht.

### Regelquerschnitt für Straßen der EKL 1 – EKL 3 mit sehr hohen Verkehrsbelastungen

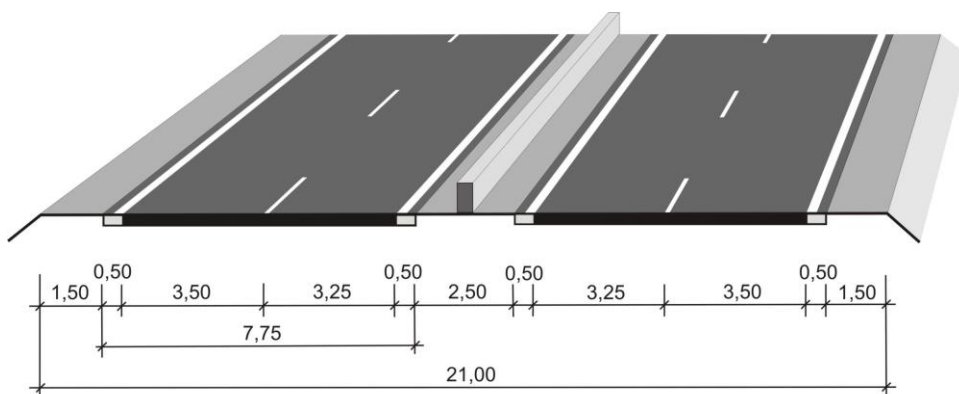


Abbildung 5.35 Regelquerschnitt RQ 21 (RAL, 2012)

Der **Regelquerschnitt RQ 21** ist ein zweibahniger, durch einen baulichen Mittelstreifen getrennter Querschnitt.

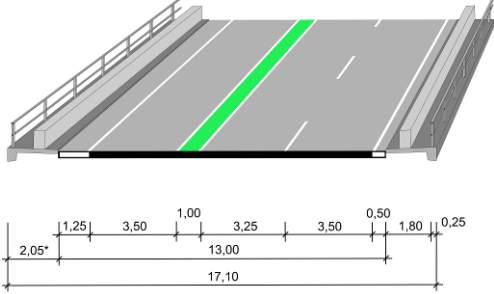
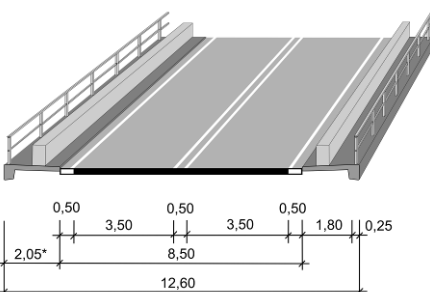
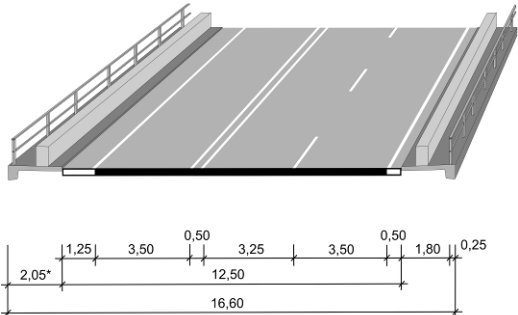
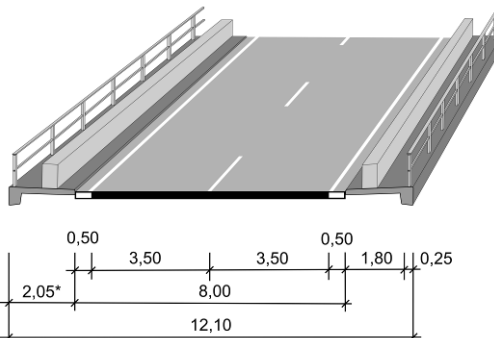
Der Querschnitt kommt in der Regel für kurze Abschnitte (bis etwa 15 km) ansonsten einbahniger Straßen bei Verkehrsstärken von bis zu 30.000 Kfz/24 h in Betracht. Er sollte nach Möglichkeit als Kraftfahrstraße betrieben werden. Nicht motorisierter Verkehr ist immer auszuschließen. Die Gestaltungsmerkmale (Linienführung, Knotenpunkte) werden entsprechend der höherrangigen Entwurfsklasse der angrenzenden Straßenabschnitte (Mindeststandard nach EKL 2) festgelegt. Wird der Querschnitt an Knotenpunkten planfrei geführt und als Kraftfahrstraße betrieben, sind aus Gründen der Verkehrssicherheit beiderseits 2,50 m breite und 50 m lange Nothaltebuchten im Abstand von 500 m bis 1.000 m vorzusehen. Bei ihrer

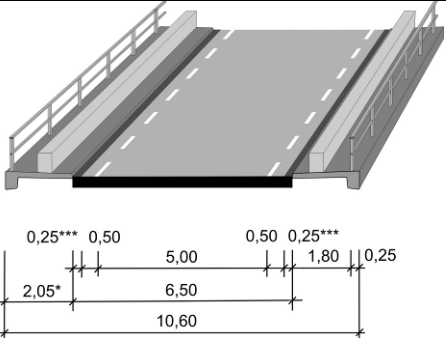
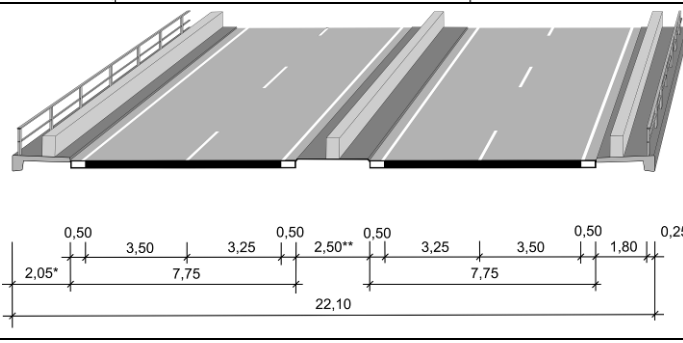


Lage sind die Anforderungen des Betriebsdienstes zu berücksichtigen (z. B. an Brücken). Bei einer Verkehrsbelastung von mehr als 30.000 Kfz/24h sind auch kurze Abschnitte gemäß den RAA zu planen.

Auf der freien Strecke außerhalb von Bauwerken werden als Übergang von der Straßenkro- ne zum anstehenden Gelände Böschungen angelegt. Ihre Ausbildung wird im Kapitel 5.4.9 beschrieben.

Die Querschnittsausbildung im Bereich von Bauwerken sollte in der Regel mit den Quer- schnitten der beidseitig anschließenden Straßenabschnitte übereinstimmen, für einzelne Querschnittsbestandteile gelten allerdings besondere Vorgaben (siehe Abbildung 5.36).

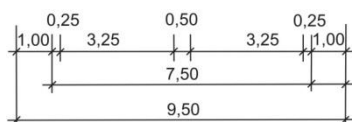
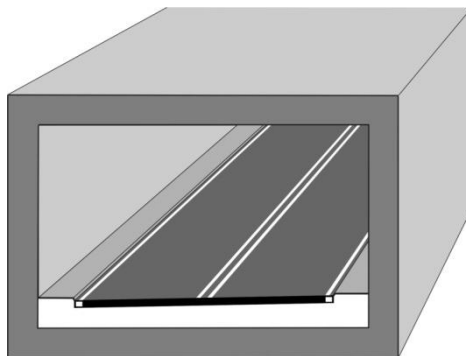
	<p><b><u>EKL 1</u></b></p> <p><b>RQ 15,5B</b></p>	
		<p><b><u>EKL 2</u></b></p> <p><b>RQ 11,5B</b></p>
	<p><b><u>EKL 3</u></b></p> <p><b>RQ 11B</b></p>	

	<p><b><u>EKL 4</u></b></p> <p><b>RQ 9B</b></p>
	<p><b><u>EKL 1-3</u></b></p> <p><b>RQ 21B</b></p>

**Abbildung 5.36 Regelquerschnitte auf Brücken (RAL, 2012)**

In Tunnelstrecken sind aus wirtschaftlichen Gründen in der Regel Einschränkungen der Abmessungen erforderlich (siehe Abbildung 5.37). Die Bankette der freien Strecke werden im Tunnel als 1,00 m breite Notwege weitergeführt.

RQ 11t



**Abbildung 5.37 Regelquerschnitte im Tunnel (RAL, 2012)**

Der Regelquerschnitt RQ 11t kommt bei allen einbahnigen Straßen zur Anwendung. Bei Straßen mit den Regelquerschnitten RQ 15,5 und RQ 11,5+ sind die Überholfahrstreifen rechtzeitig einzuziehen.

Der Regelquerschnitt RQ 21T kommt nur bei zweibahnigen Straßenabschnitten zur Anwendung. Vor beiden Tunnelöffnungen sind Mittelstreifenüberfahrten anzulegen, die nach den Vorgaben der RAA zu gestalten sind.

### 5.4.3 Überprüfung des Regelquerschnittes

Die Auswahl des Regelquerschnittes in Abhängigkeit der Entwurfsklasse bringt es mit sich, dass Regelquerschnitte vorzusehen sind, die aufgrund überdurchschnittlicher Verkehrsmengen oder besonderer Randbedingungen keine ausreichende Verkehrsqualität gewährleisten. Daher ist sowohl auf der Grundlage des HBS nachzuweisen, ob eine ausreichende Qualität des Verkehrsablaufes gewährleistet ist, als auch, ob die in den RIN vorgesehene Pkw-Fahrgeschwindigkeit eingehalten wird. Ist dies – vor allem aufgrund der Längsneigungen – nicht durchgängig gegeben, so können Verbesserungen durch die abschnittsweise Anfügung einzelner Überholfahrstreifen – insbesondere in Steigungsstrecken - erreicht werden (siehe Kapitel 5.4.4).

Ist auch mit der Anlage von Überholfahrstreifen keine ausreichende Verkehrsqualität zu erzielen, kann der Planung ein höherwertiger, ggf. zweibahniger Querschnitt zugrunde gelegt werden. Dabei müssen die anderen wesentlichen Gestaltungsmerkmale nicht unbedingt auch dem höheren Standard angepasst werden; dies ist lediglich bei einer Anpassung aus der EKL 4 in die EKL 3 zwingend erforderlich. Entstehen durch Querschnittsanpassungen zweibahnige Querschnitte, so sind sie zumindest nach den Anforderungen der EKL 2 auszubilden.

### 5.4.4 Überholfahrstreifen

Ein wesentliches Merkmal der Richtlinien für die Anlage von Landstraßen ist der systematische Einsatz von Überholstreifen sowohl zur Sicherung von Überholvorgängen als auch zur Verbesserung der Verkehrsqualität. Deshalb werden bei einbahnigen Querschnitten aus Gründen der Verkehrssicherheit und der Verkehrsqualität Überholfahrstreifen geplant. Durch die abschnittsweise Zuweisung eines zweiten Fahrstreifens je Richtung sollen Überholvorgänge zur Entflechtung des schnellen und langsamen Verkehrs ermöglicht werden, ohne den Fahrstreifen des Gegenverkehrs in Anspruch zu nehmen. Die Einsatzkriterien sowie die Anordnung (Lage und Länge der Überholabschnitte) werden durch die Entwurfsklasse bestimmt. Dies gilt auch für die Ausbildung der Knotenpunktbereiche. Die geometrische Ausbildung der Aufweitungen und Verengungen sowie die Verkehrsregelung durch Markierung und Beschilderung sind teilweise unabhängig von der Entwurfsklasse.

Bei Straßen der **EKL 1** mit dem Regelquerschnitt RQ 15,5 sind ständig vorhandene Überholfahrstreifen ein kennzeichnendes Element; daher ist ihre verkehrliche Notwendigkeit nicht

gesondert nachzuweisen. Die Länge der Überholfahrstreifen und damit auch der gleichzeitig einstreifigen Abschnitte der Gegenrichtung muss sowohl gewährleisten, dass entstandener Überholdruck abgebaut werden kann, gleichzeitig ist eine Maximallänge einzuhalten, um Missachtungen des Überholverbotes in der Gegenrichtung zu vermeiden. Die Abschnitte sollen deshalb mindestens 1.000 m (bei Verkehrstärken von mehr als 15.000 Kfz/24h mindestens 1.200 m) und höchstens 2.000 m lang sein.

Die regelmäßig abschnittsweise, jedoch nicht durchgängige Aufweitung des zweistreifigen Querschnitts RQ 11,5+ um einen Überholfahrstreifen ist ein kennzeichnendes Merkmal von Straßen der **EKL 2**. Diese sichere Überholmöglichkeit soll grundsätzlich kombiniert werden mit einem Überholverbot in dem angrenzenden zweistreifigen Streckenabschnitt. Um den Überholbedarf auf die Überholabschnitte zu konzentrieren, sollte deren Anzahl und Länge so groß sein, dass für jede Fahrtrichtung mindestens auf etwa 20 % der Strecke überholt werden kann.

Die Abschnitte sollen möglichst gleichmäßig verteilt sein. Sie sollen darüber hinaus so liegen, dass Streckenabschnitte ohne Überholmöglichkeit in eine der Richtungen nicht länger als 3.500 m werden. Die Überholfahrstreifen können ggf. auch kürzer als bei Straßen der EKL 1 ausgebildet werden, da auch Abschnittslängen von 600 m bis 1000 m noch ein sicheres Überholen ermöglichen.

Überholfahrstreifen sind hingegen kein planmäßiges Element von Straßen der **EKL 3**. Vereinzelt kann jedoch ein Überholfahrstreifen – insbesondere im Bereich von Steigungsstrecken - angelegt werden, um den schnellen und den langsamen Verkehr zu entflechten. Erforderlich sind solche Überholfahrstreifen, wenn die Verkehrsqualität gemäß dem HBS oder die gewünschte Verbindungsqualität nach den RIN mit dem zweistreifigen Querschnitt RQ 11 nicht gewährleistet werden kann. Ein Überholfahrstreifen soll dort beginnen bzw. enden, wo die Geschwindigkeit des Bemessungsfahrzeugs nach dem HBS unter 70 km/h sinkt bzw. wieder erreicht. Er soll jedoch mindestens 600 m lang sein.

#### 5.4.5 Querneigung

Jede Fahrbahn wird grundsätzlich mit einer Querneigung  $q$  ausgebildet. Unter der Querneigung versteht man die Neigung der Fahrbahnoberfläche rechtwinklig zur Straßenachse. Sie ist erforderlich, um eine ausreichende Entwässerung der Fahrbahn zu gewährleisten. In Kurven dient sie zusätzlich zur Kompensation eines Teiles der Fliehkraft.

In den Geraden wird die Mindestquerneigung von Straßen angelegt. Sie beträgt für alle Entwurfsklassen  $\min q = 2,5 \%$ , da bei größeren Querneigungen die Wasserfilmdicke nicht mehr entscheidend kleiner wird, die Hangabtriebskraft jedoch deutlich zunimmt.

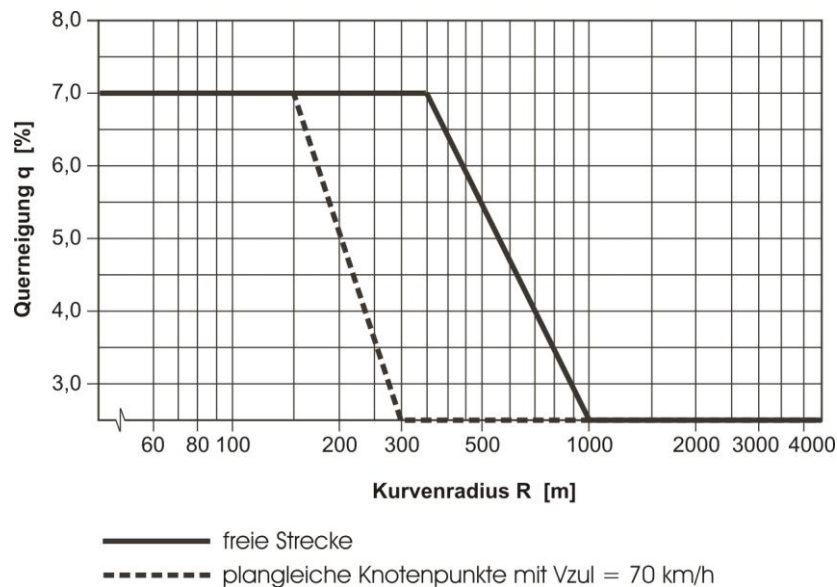
Auf einbahnigen zwei- und dreistreifigen Straßen wird in den Geraden eine einseitige Querneigung über die gesamte Fahrbahn angeordnet. Diese einseitige Querneigung kommt auch für die Richtungsfahrbahnen zweibahniger Straßen zur Anwendung, wobei sie dort jeweils zur Außenseite angelegt werden sollte, damit eine Entwässerung über den Mittelstreifen vermieden wird.

Einbahnige Straßen können auch mit einer von der Mitte zu den Fahrbahnrändern fallenden Querneigung gebaut werden. Dieses sog. Dachprofil kommt beim Neubau von Außerortsstraßen nicht zum Einsatz, kann jedoch für den Um- und Ausbau bestehender Strecken zweckmäßig sein.

Kreisbögen werden aus fahrdynamischen Gründen in der Regel mit einer Querneigung zur Kurveninnenseite angelegt. Dabei sind sowohl Mindest- als auch Höchstwerte zu beachten. Die Mindestquerneigung im Bereich eines Kreisbogens entspricht aufgrund der einwandfreien Entwässerung der in der Geraden geltenden Regelquerneigung von  $\min q = 2,5 \%$ .

Die Höchstquerneigung beträgt  $7,0 \%$ .

Die Querneigung in Kreisbögen ist vom Kurvenradius abhängig. Die in Abbildung 5.38 abzulesenden Werte sollen jeweils auf  $0,5 \%$  aufgerundet werden. Die reduzierten Werte dürfen nur in plangleichen Knotenpunkten (und in Tunneln) angewendet werden, wenn z.B. wegen einer Lichtsignalanlage dauerhaft gesichert ist, dass die zulässige Höchstgeschwindigkeit  $70 \text{ km/h}$  beträgt.



**Abbildung 5.38 Querneigungen in Kreisbögen (RAL, 2012)**

Randstreifen, Standstreifen, Parkstreifen und Zusatzfahrstreifen wie Linksabbiegestreifen oder Überholfahrstreifen erhalten dieselbe Querneigung wie die durchgehenden Fahrstreifen.

Wenn über die Bankette entwässert wird, werden diese mit einer Querneigung von  $q = 12 \%$  versehen; ohne Entwässerungsfunktion liegt die Querneigung der Bankette bei  $q = 6 \%$ .

Parkbuchten, Rad- und Gehwege erhalten in der Regel eine Querneigung von  $q = 2,5 \%$ , die zur Fahrbahn hin geneigt ist.

Für die Anordnung der Querneigung zur Kurvenaußenseite (negative Querneigung) können folgende Gründe sprechen:

- Bei zweibahnigen Straßen mit großen Radien wird eine aufwändige Mittelstreifenentwässerung vermieden.
- Durch den teilweise möglichen Verzicht auf Verwindungen können entwässerungsschwache Bereiche vermieden werden.

Bei zweibahnigen Landstraßen kann bei Radien  $R > 3.000 \text{ m}$  eine negative Querneigung von  $2,5 \%$  angelegt werden, bei Autobahnen besteht diese Möglichkeit nach den RAA bei Radien  $R > 5.500 \text{ m}$ . Bei gleichgesinnten Kurvenfolgen darf die Querneigung keinesfalls wechseln.

Durch die Überlagerung von Längs- und Querneigung entsteht eine Schrägneigung, deren Resultierende der Falllinie und somit der Wasserabflusslinie entspricht. Sie berechnet sich zu:



$$p = \sqrt{s^2 + q^2}$$

mit:	p	Resultierende
	s	Längsneigung
	q	Querneigung

Um die Gefahr eines Abrutschens bei Winterglätte zu vermeiden, darf p nicht größer sein als 10 %, für Autobahnen ist die resultierende Neigung auf 9,0 % begrenzt. Wenn die Resultierende zu groß wird, muss der Kurvenradius vergrößert werden, damit die Querneigung kleiner wird, oder die Längsneigung muss verringert werden. Für eine gute Entwässerung soll ein Mindestwert von  $p = 0,5 \%$  eingehalten werden.

Da es im Verlauf einer Straße unterschiedlich große Querneigungen gibt, die gleich oder gegengerichtet sein können, müssen diese miteinander verbunden werden. Die Änderung der Fahrbahnquerneigung erfolgt auf einer Übergangsstrecke, die im Normalfall der Länge des Übergangsbogens (Klothoide, Wendeklothoide, Eiklothoide) entspricht. Innerhalb dieser Strecke werden die Fahrbahnränder möglichst stetig aneinander angeglichen (Anrampung) und die Fahrbahnfläche verwunden. Dies geschieht in Bezug auf eine festzulegende Drehachse. Bei einbahnigen Straßen ist dies in der Regel die Fahrbahnachse (Fall 1, Abbildung 5.39), bei zweibahnigen Straßen (auch Autobahnen) wird im Regelfall um die Achsen der Richtungsfahrbahnen gedreht (Fall 2, Abbildung 5.39). In Sonderfällen kann die Drehachse auch auf einem Fahrbahnrand liegen (kann z.B. bei Richtungsfahrbahnen zweckmäßig sein (Fall 3, Abbildung 5.39).

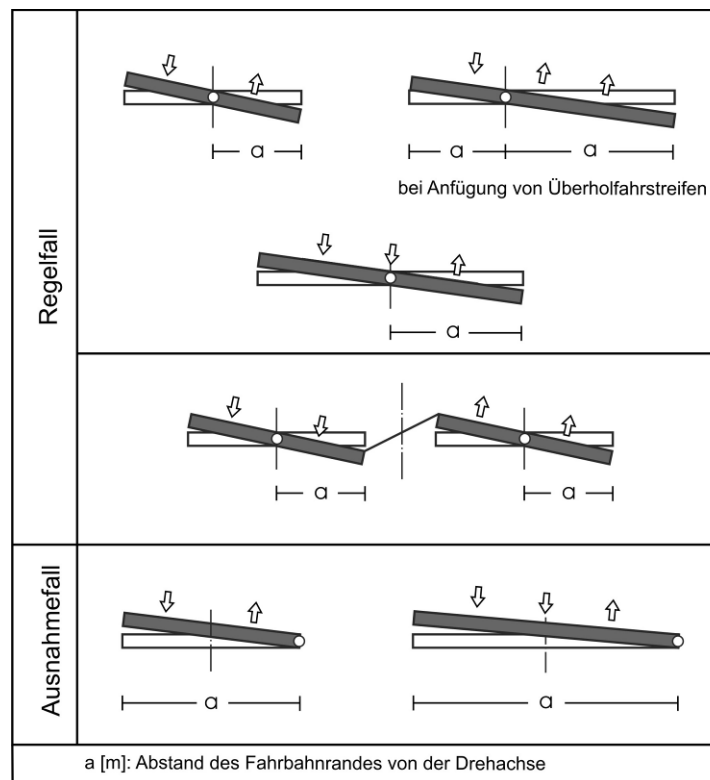


Abbildung 5.39 Drehachsen der Fahrbahn in Verwindungsstrecken (RAL, 2012)

Als Anrampungsneigung  $\Delta s$  wird die Längsneigung der Fahrbahnränder gegenüber der Achse als Bezugslinie, d.h. die Differenz zwischen den Längsneigungen der Fahrbahnränder und der Drehachse, bezeichnet. Anhand der Verwindung im Übergangsbogen (Abbildung 5.40) kann ihre Berechnung hergeleitet werden. Die Differenz der Fahrbahnrandhöhen zwischen dem Anfangs- und dem Endquerschnitt  $\Delta h$  ist über die Länge der Verwindungsstrecke auszugleichen:

$$\Delta s = \frac{\Delta h \cdot 100}{L_v} = \frac{q_e - q_a}{L_v} \cdot a$$

mit:  $\Delta h$  Höhendifferenz der Fahrbahnrandhöhen innerhalb der Verwindung [m]

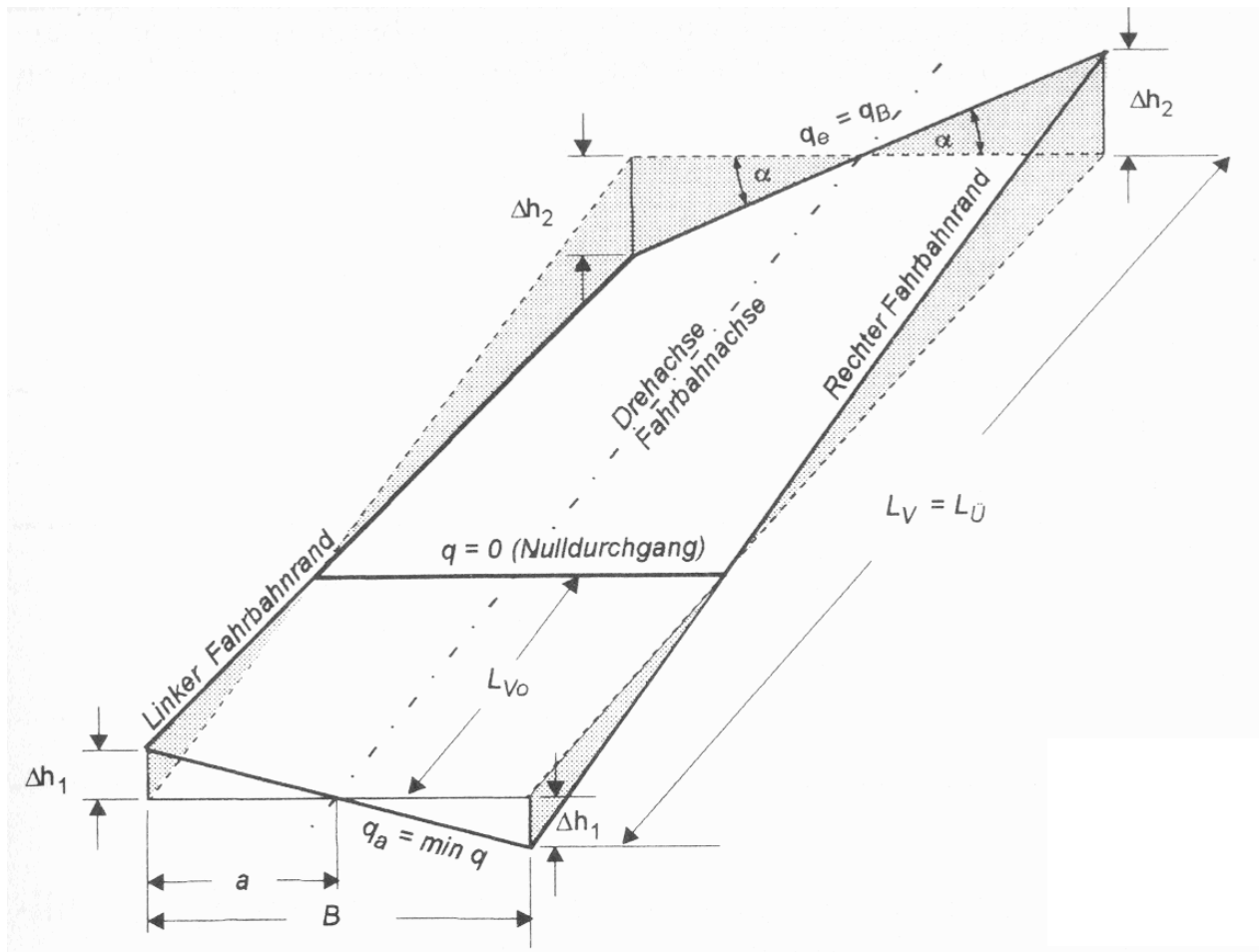
$\Delta s$  Anrampungsneigung [%]

$q_e$  Querneigung der Fahrbahn am Ende der Verwindungsstrecke [%]

$q_a$  Querneigung der Fahrbahn am Anfang der Verwindungsstrecke [%]  
( $q_a$  wird negativ eingesetzt, wenn entgegengesetzt zu  $q_e$  gerichtet)

$L_v$  Länge der Verwindungsstrecke [m]

$a$  Abstand des Fahrbahnrandes von der Drehachse [m]



**Abbildung 5.40** Schematische Darstellung der Fahrbahnverwindung (WEISE / DURTH, 1997)

Aus fahrdynamischen und optischen Gründen sollte innerhalb der Übergangsstrecke ein zu rascher Anstieg der Querneigung vermieden werden. Daher ergeben sich die nicht zu überschreitenden größten Anrampungsneigungen  $\max \Delta s$  nach Abbildung 5.41.

Entwurfsklasse	$\max \Delta s$ [%]	$\min \Delta s$ [%] bei $q \leq 2,5$ %
EKL 1 / EKL 2	0,8	0,10 · a
EKL 3	1,0	
EKL 4	1,5	

a [m]: Abstand des Fahrbahnrandes von der Drehachse

**Abbildung 5.41** Grenzwerte der Anrampungsneigung (RAL, 2012)

Weiterhin soll zur Vermeidung abflussschwacher Zonen eine Mindestanrampungsneigung von  $\min \Delta s = 0,1 \cdot a$  eingehalten werden.

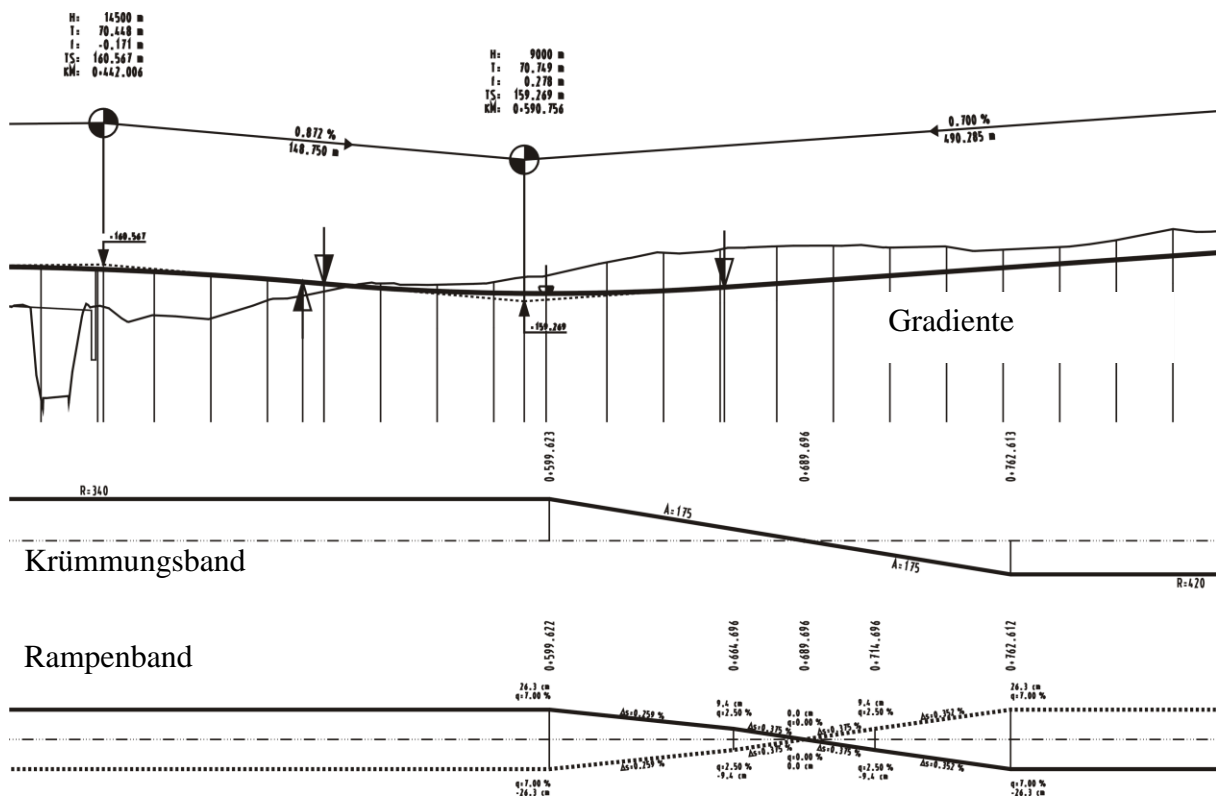
Die Mindestlänge der Verwindungsstrecken  $\min L_v$  ergibt sich unter Berücksichtigung der Anrampungshöchstneigung (Abbildung 5.41) und des Abstandes  $a$  des Fahrbahnrandes von der Drehachse zu:

$$L_v = \frac{q_e - q_a}{\max \Delta s} \cdot a$$

mit:	$\max \Delta s$	Anrampungshöchstneigung [%]
	$q_e$	Querneigung der Fahrbahn am Ende der Verwindungsstrecke [%]
	$q_a$	Querneigung der Fahrbahn am Anfang der Verwindungsstrecke [%] ( $q_a$ wird negativ eingesetzt, wenn entgegengesetzt zu $q_e$ gerichtet)
	$\min L_v$	Länge der Verwindungsstrecke [m]
	$a$	Abstand des Fahrbahnrandes von der Drehachse [m]

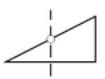
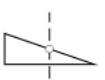
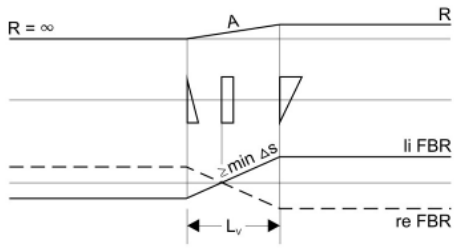
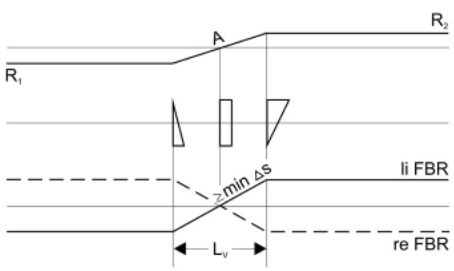
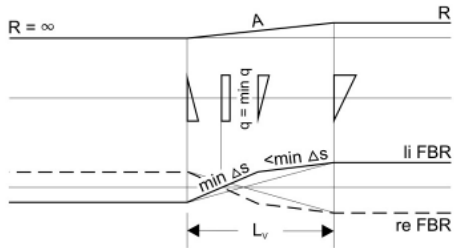
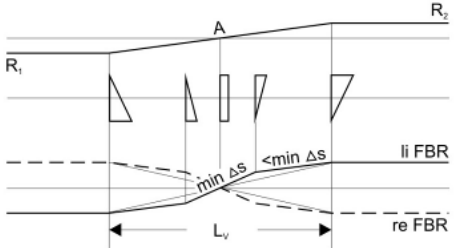

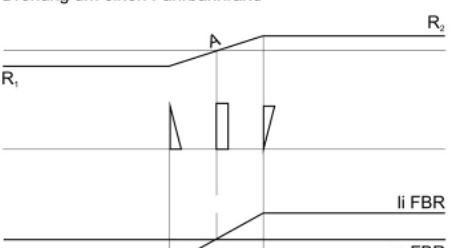
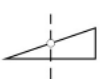

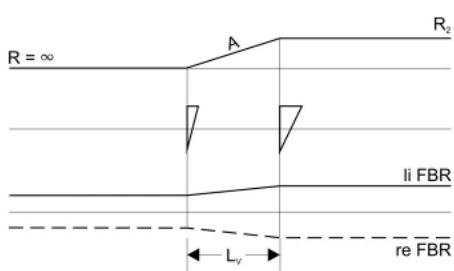
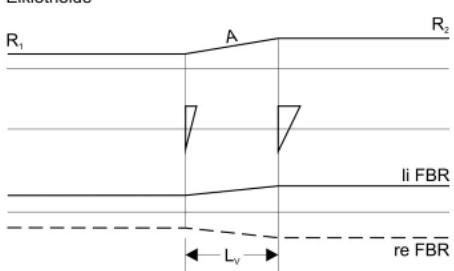
Gelingt der Nachweis der Mindestanrampungsneigung im Bereich des Querneigungsnullpunktes nicht, dann muss eine geteilte Verwindung angelegt werden. Hierfür wird wie folgt verfahren: Im Bereich beiderseits des Nulldurchganges wird die Mindestanrampungsneigung angeordnet (von  $q = 0\%$  bis  $\min q = 2,5\%$ ). Auf der restlichen Verwindungsstrecke erfolgt eine lineare Querneigungsänderung von  $\min q$  bis  $q_a$  bzw.  $q_e$ .

Die Darstellung der Höhendifferenz zwischen den Fahrbahnrändern und der Verwindungsachse erfolgt im Rampenband. In der praktischen Entwurfsarbeit wird das Rampenband bei gleichem Längenmaßstab unter dem Höhenplan und dem Krümmungsband angeordnet.



**Abbildung 5.42** Beispiel eines Krümmungs- und Rampenbandes für eine Wendelinie, angeordnet unter dem Höhenplan

Als mögliche Formen der Verwindung ergeben sich die in Abbildung 5.43 dargestellten Grundformen. Im Normalfall erfolgt die Verwindung innerhalb des Übergangsbogens und zwar unabhängig davon, welche Querneigungsform verwendet und um welche Bezugslinie die Drehung der Fahrbahnfläche vorgenommen wird. Ein Übergriff auf die Gerade oder den Kreisbogen ist zu vermeiden.

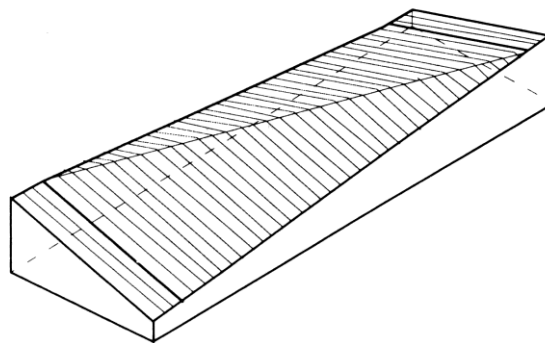
Übergang	$\Delta s$	Gerade - Kloithoide - Kreisbogen	Kreisbogen - Kloithoide - Kreisbogen
zwischen verschieden oder gleichgroßen, gegensinnigen Querneigungen    	$\geq \min \Delta s$		Wendekloithoide 
	$< \min \Delta s$		
	$\geq \min \Delta s$		Drehung um einen Fahrbahnrand 
zwischen verschieden großen, gleichsinnigen Querneigungen    	beliebig		Eikloithoide 

o Drehachse  
 $L_v$  Länge der Verwindung  
 $\min \Delta s$  Mindestanrampungsneigung

Abbildung 5.43 Formen der Fahrbahnverwindung (RAL, 2012)



Zur Vermeidung abflussschwacher Zonen, beispielsweise bei zweibahnigen Straßen in ebenem Gelände mit einer Längsneigung von  $s = 0\%$ , kann als Sonderform eine Schrägverwindung ausgeführt werden. Diese kann so gestaltet werden, dass die Fahrbahnfläche überall die für die Entwässerung günstige Mindestquerneigung von  $\min q = 2,5\%$  aufweist. Aus fahrdynamischen Gründen muss sie ausreichend lang sein, in der Regel ca. 140 m. Die Schrägverwindung ist jedoch bautechnisch sehr aufwändig und mit besonderer Sorgfalt herzustellen.



**Abbildung 5.44 Stark überhöhte Ansicht einer Schrägverwindung (WEISE / DURTH, 1997)**

#### 5.4.6 Fahrbahnaufweitung

Beim Wechsel der Querschnittsbreite, bei Landstraßen vor allem für die Anlage von Fahrbahnteilern und Überholfahrstreifen, müssen die durchgehenden Fahrstreifen entsprechend dem veränderten Querschnitt verzogen werden. Um eine optisch befriedigende Führung der durchgehenden Fahrstreifen zu erreichen, soll die Verziehung im Bereich von Radien  $< 300$  m am Kurveninnenrand, im Bereich einer gestreckten Linienführung beiderseits der Straßenachse vorgenommen werden. Die Fahrbahn­ränder sind nach Möglichkeit unabhängig von der Straßenachse selbstständig zu trassieren oder mit zwei als S-Bogen zusammengesetzten quadratischen Parabeln zu verziehen.

Für die Fahrbahnaufweitungen sind die in Abbildung 5.45 enthaltenen Verziehungslängen vorzusehen.

Fahrbahnverbreiterung i [m]	Verziehungslänge lz [m]		
	EKL 1 EKL 2	EKL 3	EKL 4
≤ 1,5	80	60	50
≤ 2,5	100	80	60
≤ 3,5	120	100	70
> 3,5	170	140	-

Abbildung 5.45 Länge der Verziehungsstrecke bei Fahrbahnaufweitungen

#### 5.4.7 Fahrbahnverbreiterung in der Kurve

Bei der Kurvenfahrt beschreiben die Hinterräder eines Fahrzeuges einen engeren Bogen als die Vorderräder. In Kurven mit Radien  $R < 200$  m muss daher die Fahrbahn um das Maß  $i$  verbreitert werden. Die Verbreiterung erfolgt auf der gesamten Länge des Kreisbogens am Kurveninnenrand:

$$i = \frac{100}{R}$$

mit:

$i$  [m] = Fahrbahnverbreiterung

$R$  [m] = Radius der zu verbreiternden Kurve

Die Verziehung auf den verbreiterten Querschnitt ist i.d.R. im Bereich der Klothoide linear abzutragen.

#### 5.4.8 Entwässerung

Für die Tragfähigkeit der Unterlage und damit für den Bestand des Oberbaus kommt dem Schutz vor eindringendem Wasser große Bedeutung zu. Ober- und unterirdisches Wasser kann Erosionsschäden an den Böschungen hervorrufen. Damit in den Straßenoberbau eingedrungenes Wasser im Winter keine Frostschäden verursacht, sollte im Straßenoberbau die Wasserdurchlässigkeit von oben nach unten zunehmen. Durch die Entwässerung soll das Wasser sowohl von der Straßenoberfläche als auch aus dem Straßenkörper schnell und sicher abgeleitet werden. Aufgrund der einfacheren Kontrolle, Wartung und Unterhaltung ist die Ableitung des Wassers an der Oberfläche dem in der Rohrleitung vorzuziehen.

Auf der Straßenoberfläche verringert Wasser mit steigender Filmdicke die Griffigkeit und damit die Verkehrssicherheit. Damit das Wasser die Fahrbahnoberfläche möglichst ungehin-

dert verlassen kann und ausgeschlossen ist, dass Wasser vom Bankett aus auf die Fahrbahn gelangen kann, ist der Beginn des Banketts 3 cm tiefer zu legen als der Fahrbahnrand und das Bankett grundsätzlich mit einer nach außen gerichteten Neigung zu versehen. Bankette, die am unteren Fahrbahnrand liegen, werden in der Regel mit einem Quergefälle von 12 % ausgebildet, am oberen Fahrbahnrand mit einem Quergefälle von 6 %. Auf der freien Strecke wird das Wasser über die Querneigung bzw. Schrägneigung der Fahrbahn und über das Bankett in die Entwässerungsmulde abgeleitet oder über die Dammschulter in das Gelände bzw. in eine Entwässerungsmulde am Dammfuß abgeführt. Bei zweibahnigen Straßen kann auch eine Entwässerung über den Mittelstreifen erforderlich sein, dann ist das Oberflächenwasser zu fassen und in Rohrleitungen abzuleiten (Abbildung 5.46).

Querschnitte – zweibahnige Straßen  
Entwässerungs-Details (Beispiele) – M1:50 (verkleinert); Maße in cm

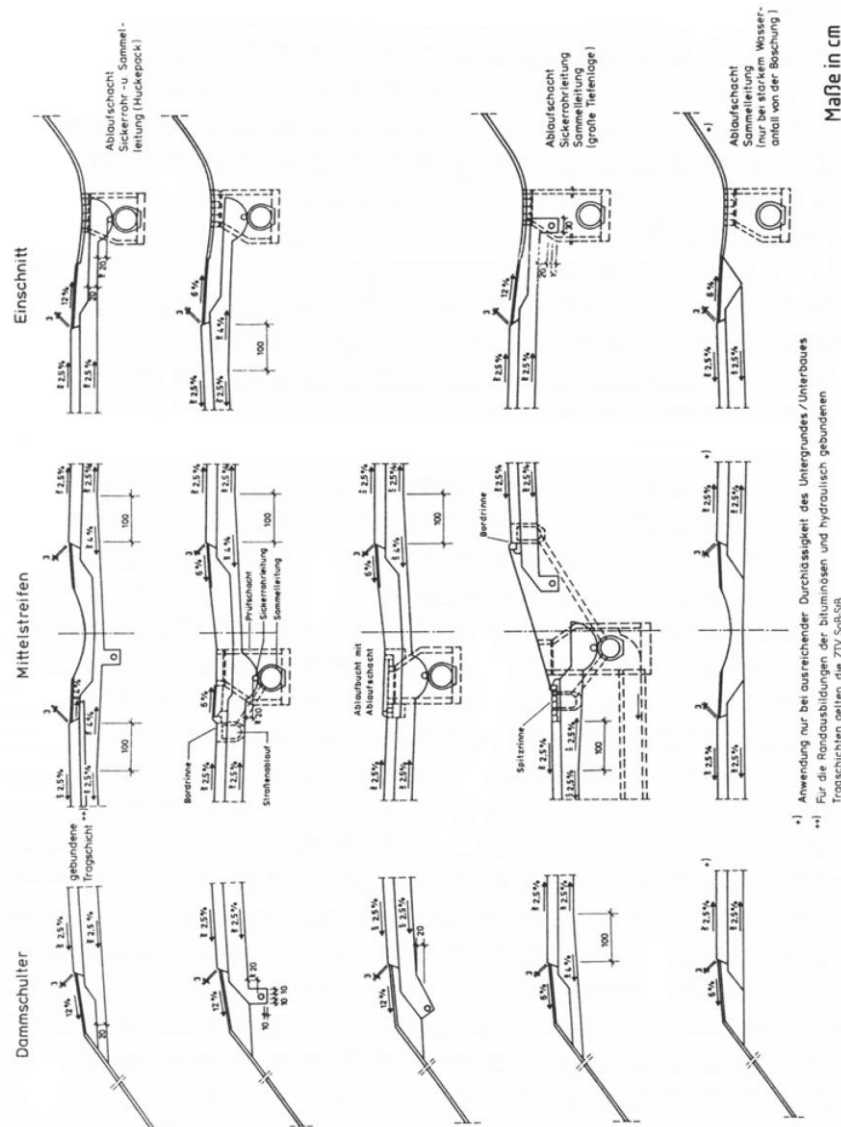


Abbildung 5.46 Entwässerungseinrichtungen an zweibahnigen Straßen (RAS-Ew, 2005)

Austretendes Hangwasser an einer Einschnittböschung oder Regenwasser auf der Böschung wird ebenfalls in Entwässerungsmulden abgeführt, wo es versickert oder in eine Entwässerungsleitung abgeschlagen wird. Das Wasser darf keinesfalls über die Fahrbahn fließen.

Wegen möglicher Frostschäden darf kapillares Wasser aus dem Untergrund nicht in den Oberbau eindringen. Die Entwässerung erfolgt in diesem Fall auf dem Planum in der Frostschutzschicht nach außen auf die Dammböschung oder in eine Längsentwässerung.

In geschlossenen Ortstagen mit wasserundurchlässigen Randbereichen wird das anfallende Niederschlagswasser in Rinnen gesammelt und über Abläufe in die örtliche Kanalisation abgeschlagen.

### 5.4.9 Böschungsgestaltung

Der Höhenunterschied zwischen Kronenkante und Gelände wird durch Dammschüttungen oder Einschnitte ausgeglichen. Die Neigung der dadurch entstehenden Böschungen ergibt sich aus der Forderung nach erdbautechnischer Standsicherheit. Im Allgemeinen genügt dafür ein Böschungsverhältnis von

$$1 : n = 1 : 1,5$$

Bei einer Höhendifferenz von weniger als 2 m muss die Böschung flacher geneigt werden. Dann wird eine konstante Böschungsbreite von 3 m angelegt (Abbildung 5.47).

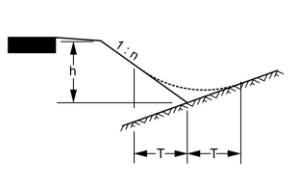
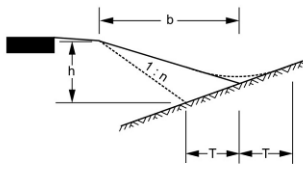
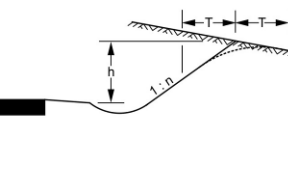
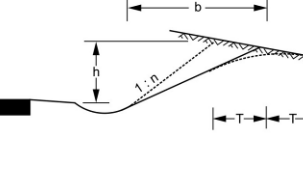
	Böschungshöhe h	
	$h \geq 2,0 \text{ m}$	$h < 2,0 \text{ m}$
Damm	 <p>Regelböschungsneigung <math>1 : n = 1 : 1,5</math></p>	 <p>Regelböschungsbreite <math>b = 1,5 h</math></p>
Einschnitt	 <p>Regelböschungsneigung <math>1 : n = 1 : 1,5</math></p>	 <p>Regelböschungsbreite <math>b = 1,5 h</math></p>
Tangentenlänge der Ausrundung T	$T = 3,00 \text{ m}$	$T = 1,5 h$

Abbildung 5.47 Ausbildung der Regelböschung (RAL, 2012)

Die entstehende Böschungskante wird bei einer Böschungshöhe von  $h > 2$  m so ausgerundet, dass eine Tangentenlänge von  $T = 3$  m entsteht. Bei kleineren Höhendifferenzen erfolgt die Ausrundung mit  $T = 1,5 \cdot h$ .

Im Einschnittbereich werden neben dem Bankett Entwässerungsmulden angelegt. Sie werden meist 2 m breit und 0,30 m tief ausgeführt.

## 5.5 Verständnisfragen

- Lageplan
  - Welche Trassierungselemente werden beim Lageplanentwurf verwendet?
  - Welche Vor- und Nachteile haben Geraden als Trassierungselement?
  - Welche Länge sollte eine Gerade nicht überschreiten?
  - Was sind Klothoiden? Warum und wo verwendet man sie im Straßenentwurf?
  - Was besagt der Klothoidenparameter? Wodurch ergeben sich seine Grenzen  $R$  und  $R/3$ ?
  - Was bedeutet Relationstrassierung? Warum wird im Straßenentwurf so viel Wert auf sie gelegt?
  - Wie lang sollte ein Kreisbogen mindestens sein?
  
- Höhenplan
  - Warum sollte die Höchstlängsneigung auf Straßen nicht überschritten werden?
  - Welche Eingangsgrößen bestimmen die Kuppenmindesthalbmesser?
  - Warum werden Mindestlängsneigungen vorgeschrieben? Wo sind sie erforderlich und warum? Was kann getan werden, wenn sie nicht eingehalten werden können?
  - Warum haben die Ausrundungen im Höhenplan die Form einer quadratischen Parabel?
  - Warum wird unter dem Höhenplan i.d.R. das Krümmungsband dargestellt?
  - Wodurch zeichnet sich eine gute räumliche Linienführung aus? Welche Mängel in der räumlichen Linienführung sollten unbedingt vermieden werden?
  
- Querschnitt
  - Was ist der Unterschied zwischen Fahrraum und lichtem Raum?
  - Was bedeuten die Begriffe Fahrstreifen, Randstreifen, Seitenstreifen, Trennstreifen, Mittelstreifen, Bankett? Welche davon werden zur Fahrbahn zusammengefasst?
  - Was ist eine Richtungsfahrbahn?

- Was versteht man unter einem Regelquerschnitt? Erläutern Sie am Beispiel des RQ 11, wie die Breiten der einzelnen Fahrstreifen bemessen werden.
- Was ist eine Fahrbahnaufweitung und wo wird sie benötigt?
- Was ist ein Dachprofil? Warum wird es beim Neubau von Straßen im Regelfall nicht mehr angewendet?
- Was ist ein Rampenband?
- Warum werden Mindestquerneigungen festgelegt? Welche Bereiche entlang einer Straße sind davon betroffen?
- Erläutern Sie die Begriffe Anrampung und Verwindung.
- Was sind Verwindungsstrecken und wozu sind sie notwendig? Welche Probleme ergeben sich an diesen Strecken? Weshalb werden Anrampungsmindest- und –höchstneigungen vorgeschrieben?
- Was ist eine Schrägneigung? Wie groß sollte sie mindestens und wie groß darf sie höchstens sein?
- Worin liegen die Vor- und Nachteile der Querneigung zur Kurvenaußenseite? Wann kann sie angeordnet werden? Worauf ist dabei zu achten?