III VERKEHRSTRÄGERSPEZIFISCHE ERGÄNZUNGEN

B VERKEHRSTRÄGER STRASSE

1 Betriebssimulation

1.1 Straßennetz

Die Ermittlung der von Straßenprojekten ausgehenden, bewertungsrelevanten Wirkungen erfolgt u. a. auf der Grundlage von Verkehrsstärken im Straßennetz. Diese werden im Rahmen projektspezifischer Netzberechnungen durch Umlegung der Ströme des Kfz-Verkehrs auf das Straßennetz ermittelt.

Zur sachgerechten Ermittlung der Verkehrsstärken werden detaillierte Informationen über die baulichen und betrieblichen Ausprägungen der einzelnen Straßenabschnitte benötigt. Diese Informationen stehen in Form einer Datei zur Verfügung, in der das Straßennetz in digitaler Form als so genanntes Netzmodell abgelegt und somit für EDV-Berechnungen operationalisiert ist.

Das Netzmodell für die Bundesfernstraßenplanung des BMVBW (NEMOBFStr) umfasst ca. 600.000 Richtungsstrecken und bildet alle klassifizierten (Autobahnen (A), Bundesstraßen (B), Landes- und Kreisstraßen (L, K)), sowie wichtige kommunale Straßen ab. Das NEMOBFStr ist als Übersicht in Abbildung 50 und in Form eines beispielhaft ausgewählten Ausschnittes in Abbildung 51 wiedergegeben.

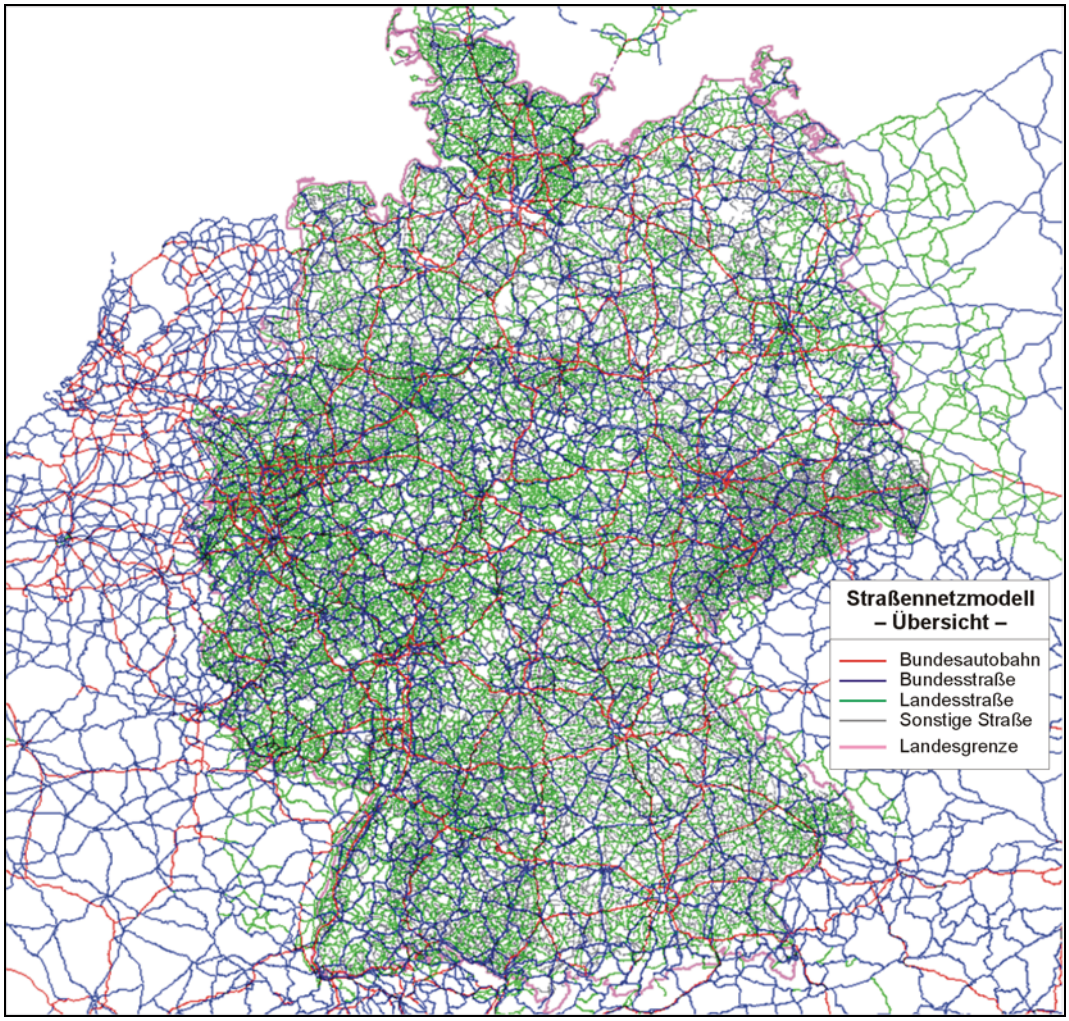


Abbildung 50: Übersicht des digitalen Straßennetzmodells für die Bundesfernstraßenplanung

Die einzelnen Strecken des Netzmodells sind hinsichtlich der baulichen und verkehrlichen Gegebenheiten attributiert. Die der Attributierung zugrunde gelegte Typologie ist in Abbildung 52 dargestellt. Wie hieraus hervorgeht, liegen je Straßenabschnitt Informationen über folgende Sachverhalte vor:

- Ausbauform/Richtungstrennung
- Betriebsform/Anbausituation/Standspuren
- Streifigkeit
- Qualitätskennziffer
- Tempo-Limit
- Überholverbot für Lkw
- Längsneigung
- Tunnellage
- Stadtmodellbaustein.

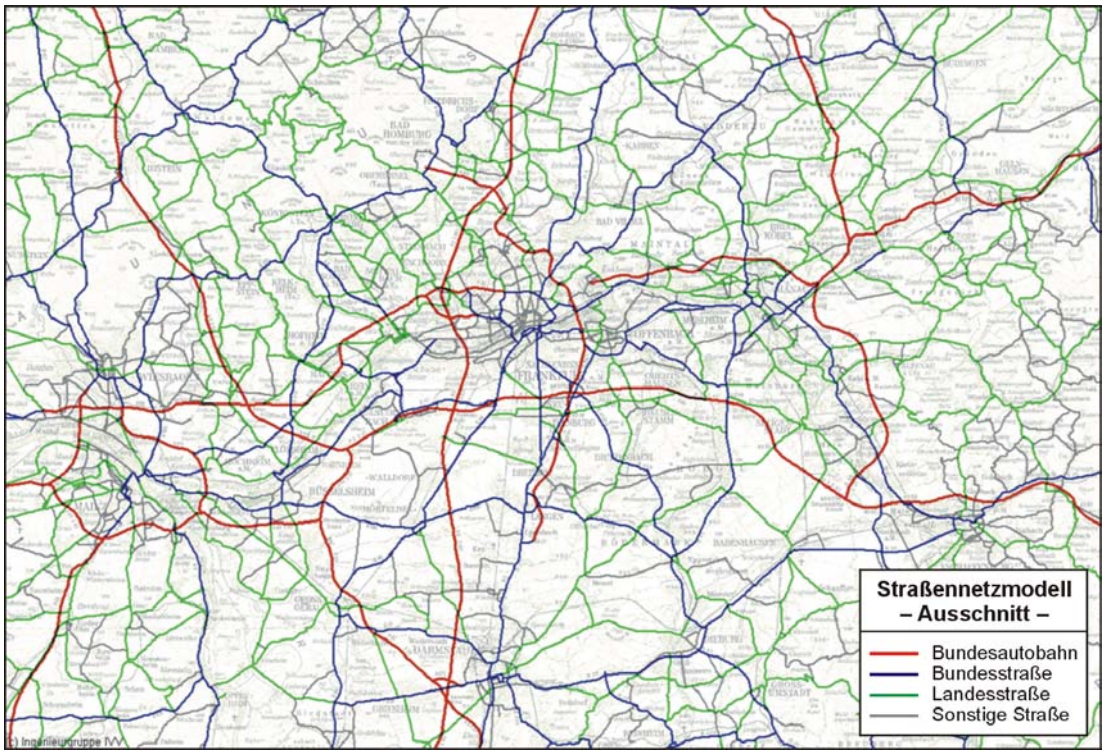


Abbildung 51: Ausschnitt aus dem Straßennetzmodell für die Bundesfernstraßenplanung

Zur Charakterisierung der städtebaulichen Situation der Straßenabschnitte liegen sehr differenzierte Informationen über das Umfeld der Innerortsstraßen vor (sog. Stadtmodellbausteine). Diese Informationen wurden im Rahmen einer speziellen Untersuchung [20] ermittelt, wobei als Grundlage die sogenannten ATKIS-Daten[12] genutzt wurden. Die der Attributierung „Stadtmodellbausteine“ zugrunde gelegte Typologie ist in Abbildung 53 wiedergegeben. Hieraus geht hervor, dass für jede Innerortsstrecke Angaben über

- Straßenraumbreite,
- Anzahl Anwohner,
- Anzahl Arbeitsplätze (Beschäftigte) und
- Anzahl Aufenthaltsbetroffener

vorliegen, wobei nach bis zu 50 möglichen Kombinationen der Bebauungs-/Flächennutzungskategorien unterschieden wird.

12 **Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie**

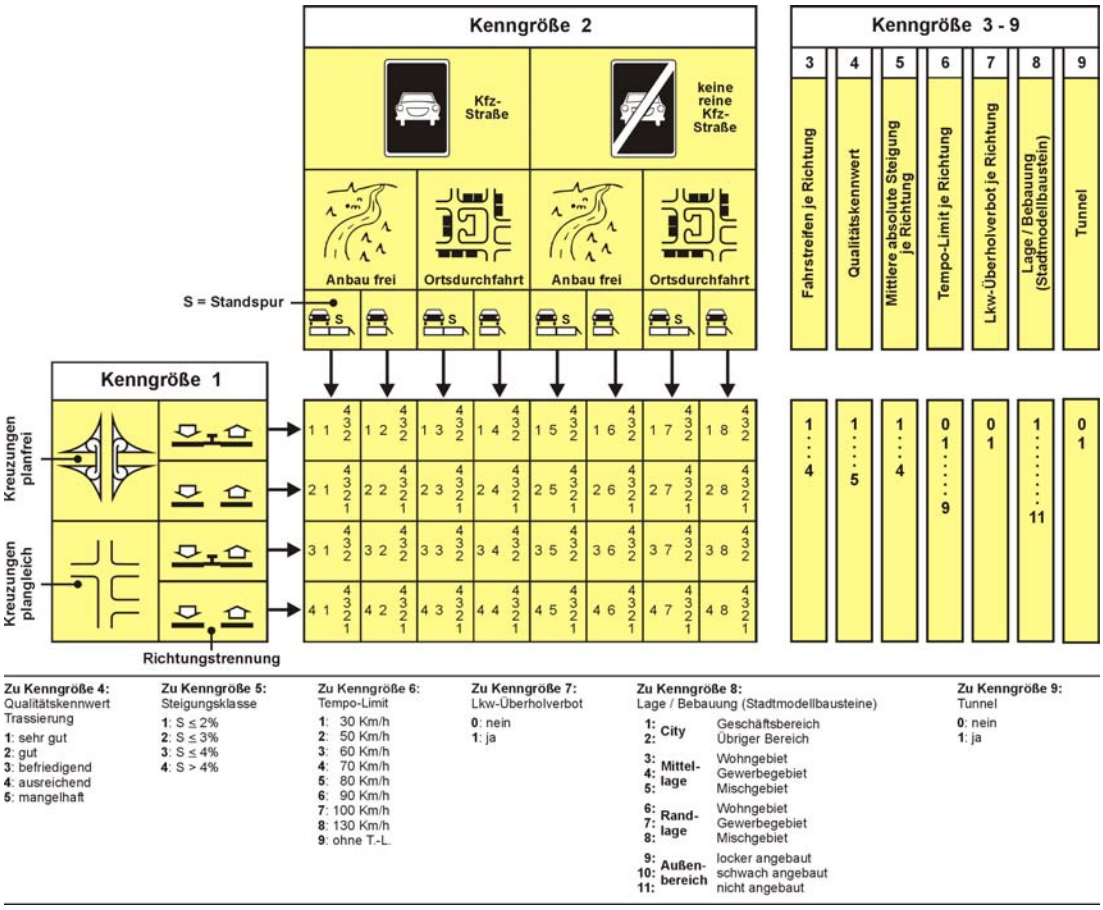


Abbildung 52: Typologie zur Charakterisierung der Streckenelemente des Bundesfernstraßennetzmodells hinsichtlich der baulichen und betrieblichen Merkmale

Im NEMOBFStr sind neben den unter Verkehr stehenden Straßenabschnitten auch geplante bzw. erwogene Straßenbauprojekte enthalten.

Für die Netz- und Wirkungsberechnungen im Rahmen der Projektbewertung werden aus dem Gesamtnetzmodell die Netzfälle

- Vergleichsfallnetz (Ohne-Fall) und
- Planfallnetze (Mit-Fälle)

generiert.

Flächen-nutzung	Art der Bebauung									
	offen					geschlossen				
Wohngebiet										
Gewerbegebiet				• Straßenraumbreite • Anwohner • Beschäftigte • Aufenthaltsbetroffene						
Mischgebiet										
Sondergebiet										
Freifläche										
	0 - 2,5	2,5 - 4	4 - 6	6 - 9	> 9	0 - 2,5	2,5 - 4	4 - 6	6 - 9	> 9
	Höhe der Bebauung (Anzahl Geschosse)									

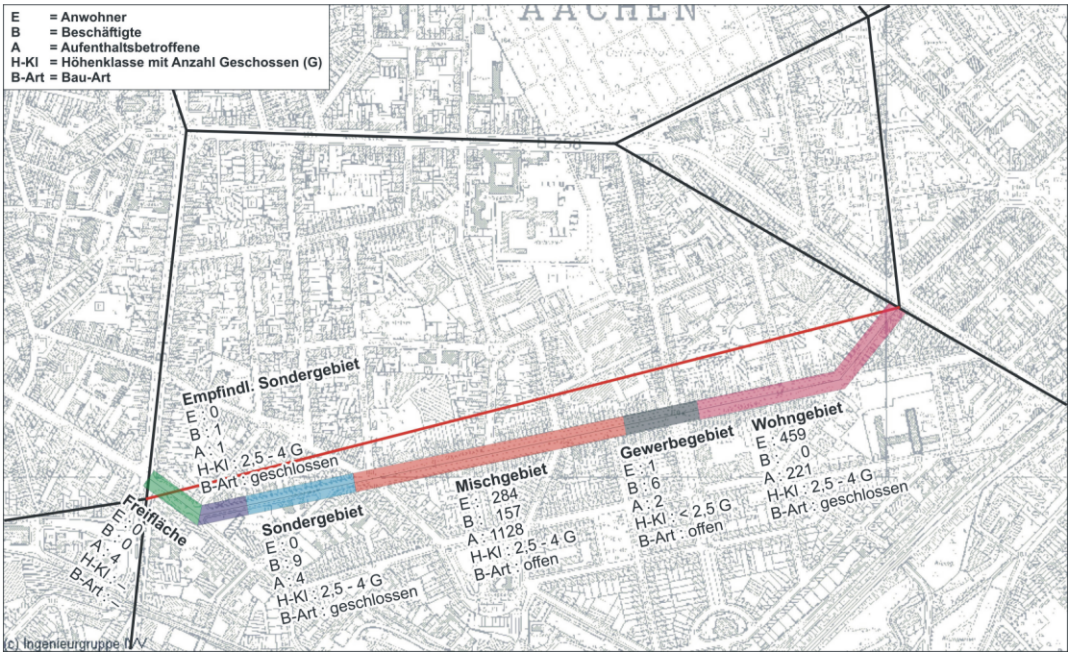


Abbildung 53: Typologie zur Charakterisierung von Innerortsstrecken hinsichtlich der Anbausituation (Stadtmodellbausteine)

Vergleichsfallnetz

Basis des Vergleichsfallnetzes sind alle zurzeit (2000) unter Verkehr stehenden Netzelemente. Das Ist-Netz wird ergänzt um Straßenbauprojekte, die in Bau sind bzw. für die der Status „indisponibel“ festgestellt worden ist. Hierzu gehören z.B. Projekte, deren Baubeginn in Kürze erfolgt.

Eine Übersicht des definierten Vergleichsfallnetzes vermittelt die Abbildung 54.

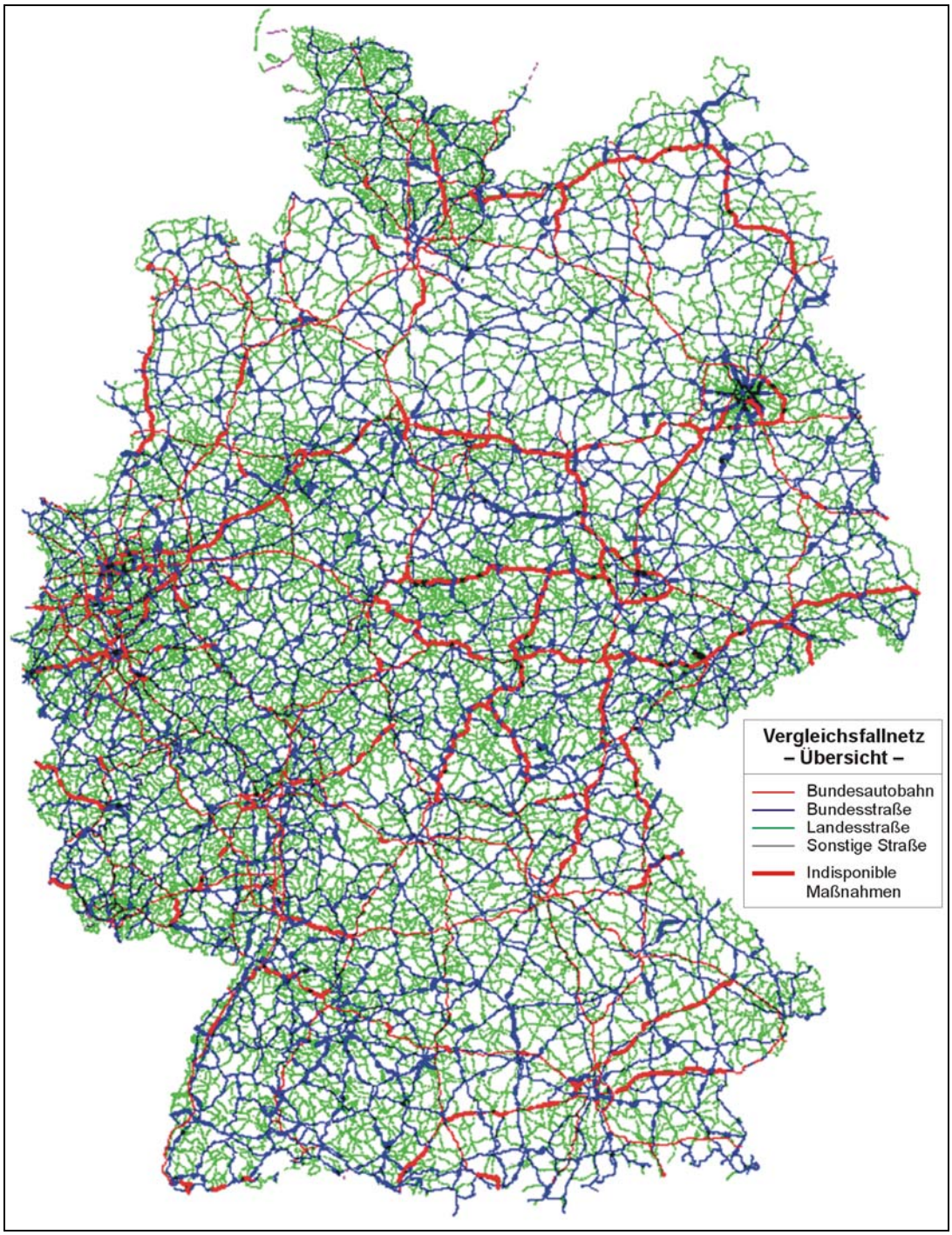


Abbildung 54: Übersicht des Vergleichsfallnetzes

Planfallnetze

Die Planfallnetze werden durch Implementierung des jeweils zu bewertenden Einzelprojektes in das Vergleichsfallnetz gebildet. Die baulichen und betrieblichen Merkmale der Projektstrecken werden nach Maßgabe des jeweiligen Planungsstandes berücksichtigt. In Einzelfällen werden auch Varianten des Streckenverlaufs bzw. des Streckenquerschnittes untersucht.

Im Rahmen der Bewertungen von Straßenbauprojekten wurden insgesamt ca. 2.500 unterschiedliche Planfallnetze gebildet. Eine räumliche Übersicht der insgesamt für die Bedarfsprüfung angemeldeten Projekte vermittelt die Abbildung 55.

1.2 Kapazitäten des Straßennetzes

Die Kapazitäten des Straßennetzes sind im Wesentlichen abhängig von den Streckenquerschnitten und den Knotenpunktsgestaltungen bzw. Knotenpunktssteuerungen. Darüber hinaus wirken Trassierungsparameter (Steigung, Kurvigkeit), Betriebsbeschränkungen und Verkehrssteuerungsmaßnahmen (Tempo-Limits, Überholverbote) auf die Kapazitäten ein.

Von entscheidender Bedeutung für die Simulation der Verkehrsabläufe im Straßenverkehr sind die Zusammenhänge zwischen den Verkehrsmengen (q) und den Fahrgeschwindigkeiten (v), die mit den sog. q-v-Funktionen abgebildet werden und auf der Grundlage empirischer Messwerte für alle in der Typologie (Abbildung 52) ausgewiesenen Querschnittsarten entwickelt sind.

Jedem Straßenabschnitt des Netzmodells ist eine q-v-Funktion zugewiesen, wobei die Strecken außerhalb geschlossener Ortschaften nach den Fahrzeugarten Pkw und Lkw differenzieren und innerhalb geschlossener Ortschaften über eine Funktion für den Kfz-Verkehr insgesamt zugeordnet sind.

Die im Rahmen der Bewertung genutzten q-v-Funktionen entstammen der EWS-97 [31]; sie sind in Form von Grafik-Funktionen in der Abbildung 56 wiedergegeben.

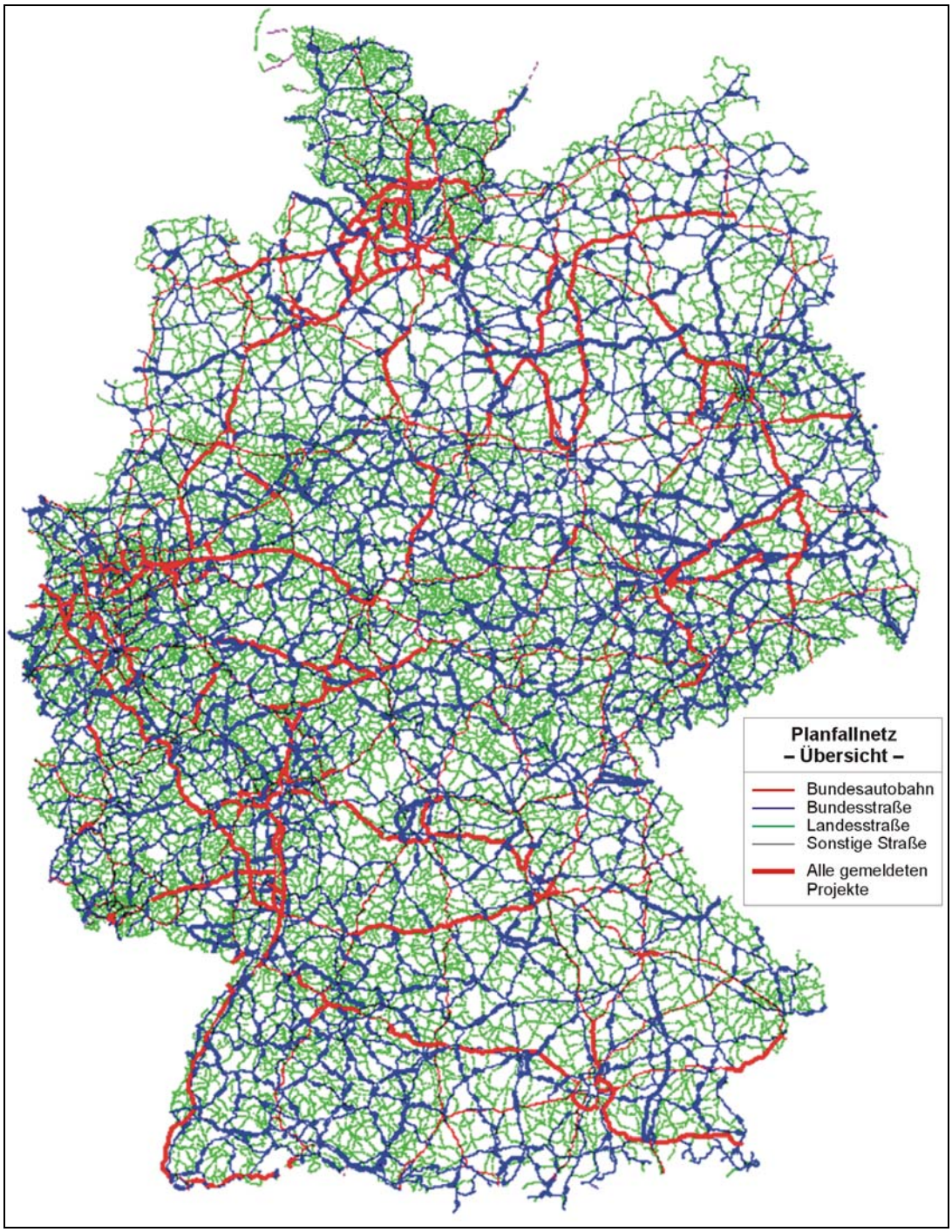


Abbildung 55: Räumliche Übersicht der insgesamt gemeldeten Projekte (einschl. der Varianten)

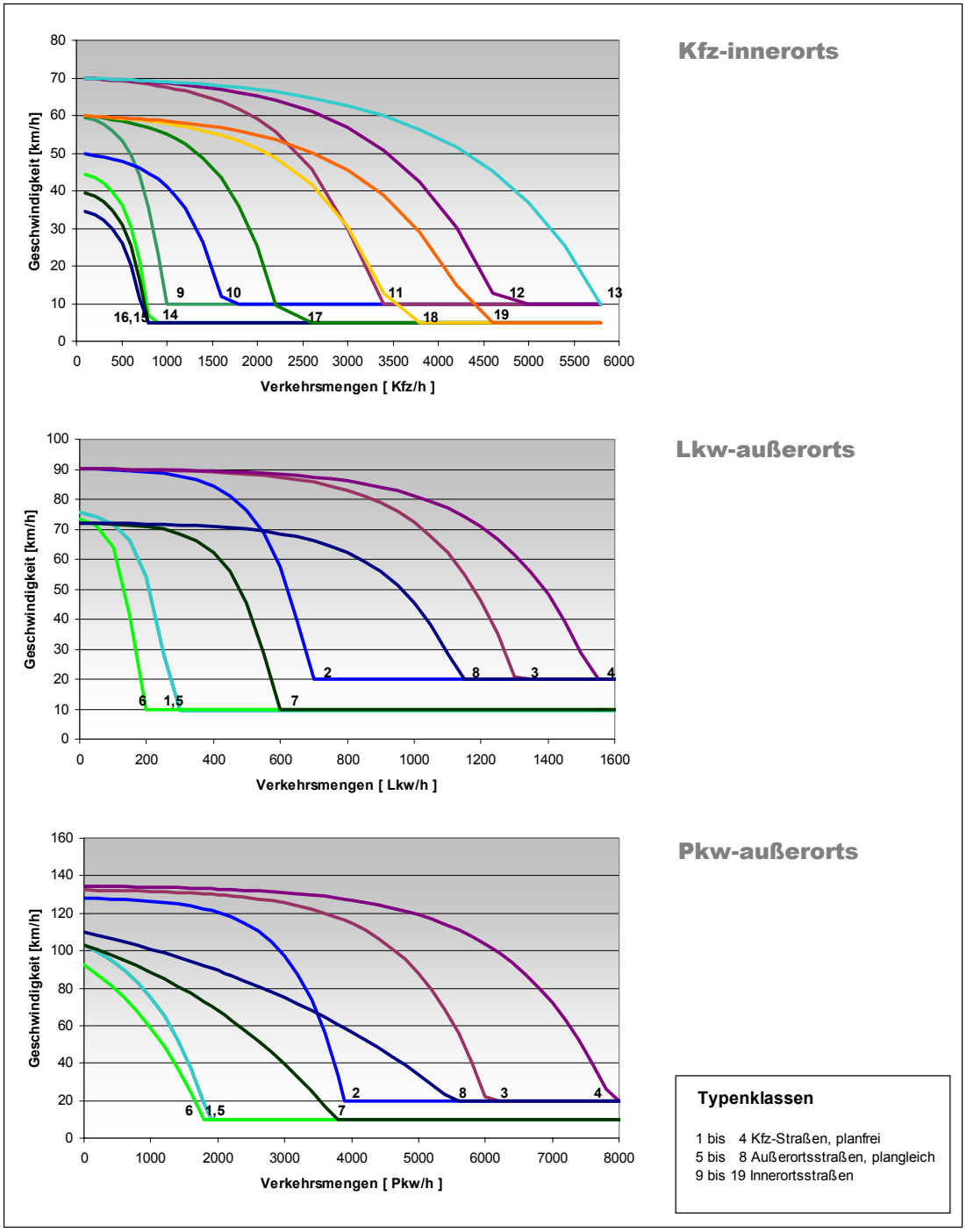


Abbildung 56: q-v-Funktionen auf Außerortsstraßen

Die dargestellten q-v-Funktionen zeigen, dass es sich um „offene Capacity-Restraint-Funktionen“ handelt. Sie weisen bei zunehmender Verkehrsmenge geringere Verkehrsgeschwindigkeiten aus, die jedoch nicht bis zum Verkehrsstillstand (v = 0 km/h) reichen, sondern ab einer so genannten Staugeschwindigkeit (z.B. v = 10 km/h bzw. 20 km/h) trotz weiter steigender Verkehrsmengen konstante Geschwindigkeiten ausweisen.

1.3 Ermittlung der Verkehrsbelastungen

Die Verkehrsbelastungen im Vergleichsfall und in den ca. 2.500 Planfällen werden mit Hilfe von Netzberechnungen ermittelt, indem die Ströme des Kfz-Verkehrs auf das Straßennetzmodell umgelegt werden.

Aus dem Vergleich der Verkehrsbelastung im Plan- bzw. im Vergleichsfall ergeben sich die durch das jeweilige Straßenprojekt verursachten Verkehrsverlagerungen.

Die Netzberechnungen wurden im Rahmen der „Bewertungsprognose“ [32] durchgeführt.

Die Bewertungsprognose baut auf einer verkehrsträgerübergreifenden Prognose zur Entwicklung der Verkehrsnachfrage bis 2015 auf, die speziell für die BVWP 2003 erstellt wurde [5].

Dieser Verkehrsprognose liegt das Integrationsszenario der BVWP 2003 zugrunde, in dem zusammenfassend von einer kontinuierlichen Weiterentwicklung der Verkehrsnachfrage bei moderater Steuerung der Verkehrsmittelnutzung zugunsten öffentlicher Verkehrsträger ausgegangen wird. Die Globalprognose bezieht sich auf das Prognosejahr 2015.

Die in der verkehrsträgerübergreifenden Globalprognose auf der Basis von ca. 500 Raumeinheiten erarbeiteten Verkehrsströme des Pkw- und Lkw-Verkehrs 2015 werden für Zwecke der Netzberechnungen weiter aufbereitet und in räumlicher Hinsicht auf ca. 7.000 Verkehrszellen aufgegliedert. Hinzu kommt die Generierung des Nahverkehrs, die auf der Grundlage aktueller Strukturdaten und Verkehrsverhaltensparameter mit Hilfe der Modellsimulation erfolgt.

Die Verkehrsbelastungen im Netz werden mit Hilfe des Programmsystems DRUM (= Dynamische Routensuche und Umlegung) [33] durch Routensuchen und Umlegung der berechneten Verkehrsverflechtungsmatrizen des Pkw- und Lkw-Verkehrs auf die einzelnen Netzstrecken ermittelt. DRUM kann als dynamisches Capacity-Restraint-Verfahren bezeichnet werden. In dem Verfahren werden die Einflüsse von Verkehrsbelastungen (Vorbelastung) auf die individuelle Routenwahl mit Hilfe von Mengen-Geschwindigkeits-Abhängigkeiten berücksichtigt. Hierbei werden zeitlich-räumliche Routen ermittelt, wozu nicht die momentanen, sondern diejenigen Streckenwiderstände einbezogen werden, die jeweils für den Zeitpunkt des voraussichtlichen Befahrens gelten.

Bei der Routenwahlsimulation müssen somit Widerstände antizipiert werden, da sie sich erst aufgrund des Routenwahl- und Umlegungsprozesses ergeben. Daher ist das Netzberechnungsverfahren iterativ angelegt.

In einem ersten Rechengang werden für alle Fahrtbeziehungen des gesamten Betrachtungszeitraumes die dynamische Routensuche und Umlegung durchgeführt und

aus dem Ergebnis für jeden Zeitabschnitt – unterschiedliche – Strecken und Knotenbelastungen abgeleitet (1. Iteration). Diese Zeitvarianten, Strecken- und Knotenwiderstände sind die Grundlage zur dynamischen Routensuche und Umlegung des nächsten Iterationsschrittes, bei dem wiederum für alle zeitschrittbezogenen Fahrzeugmatrizen die Routen und somit neue Streckenbelastungen dynamisch ermittelt werden.

Ausgangspunkt für die 1. Iteration sind Widerstandsvorgaben, die aus den verwendeten q-v-Funktionen für jede Strecke spezifisch ermittelt werden. Durch die iterative Vorgehensweise erfolgt im Modell eine Approximation der vorgegebenen Belastungen an die aus dem Verhalten vieler Verkehrsteilnehmer entstehenden, tatsächlichen Verkehrsbelastungen für alle Zeitschritte. Somit liegen in höheren Iterationsstufen des Verfahrens relativ wirklichkeitsgetreue Widerstände für alle zukünftigen Zeitschritte vor.

Im Netzberechnungsverfahren werden unrealistische Umwegfahrten ausgeschieden, in dem Schwellenwerte für Umwegfaktoren definiert und angewendet werden. Hiermit wird erreicht, dass lokale Überlastungserscheinungen im Straßennetz nicht generell durch beliebig weite Umwege vermieden werden.

Im Rahmen der Netzberechnungen wird auch berücksichtigt, dass die geplante Einführung einer streckenbezogenen Lkw-Maut auf Autobahnen ggf. zu Ausweichreaktionen führen könnte, die zu Verlagerungen von schweren Lkw auf das nachgeordnete Netz führen. Das hierbei angewandte Verfahren wurde in [34] entwickelt.

Eine Übersicht der im Rahmen der Bewertungsprognose ermittelten Verkehrsbelastungen für das Vergleichsfallnetz vermittelt die Abbildung 57. Ein Beispiel der aus den Netzberechnungen abgeleiteten Belastungsdifferenzen zwischen Plan- und Vergleichsfall zeigt für ein Test-Projekt die Abbildung 58.

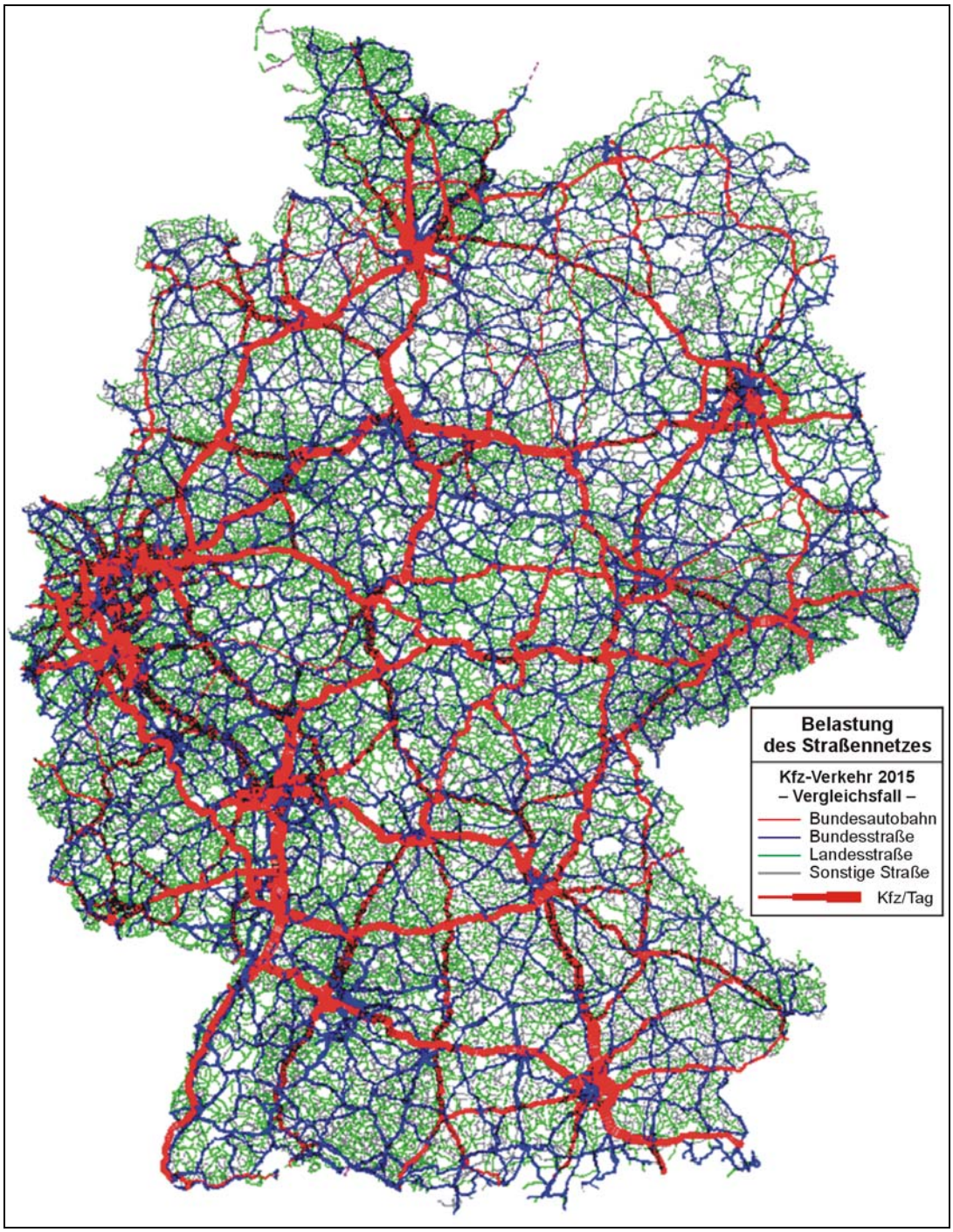


Abbildung 57: Belastung des Straßennetzes durch den Kfz-Verkehr 2015 im Vergleichsfall

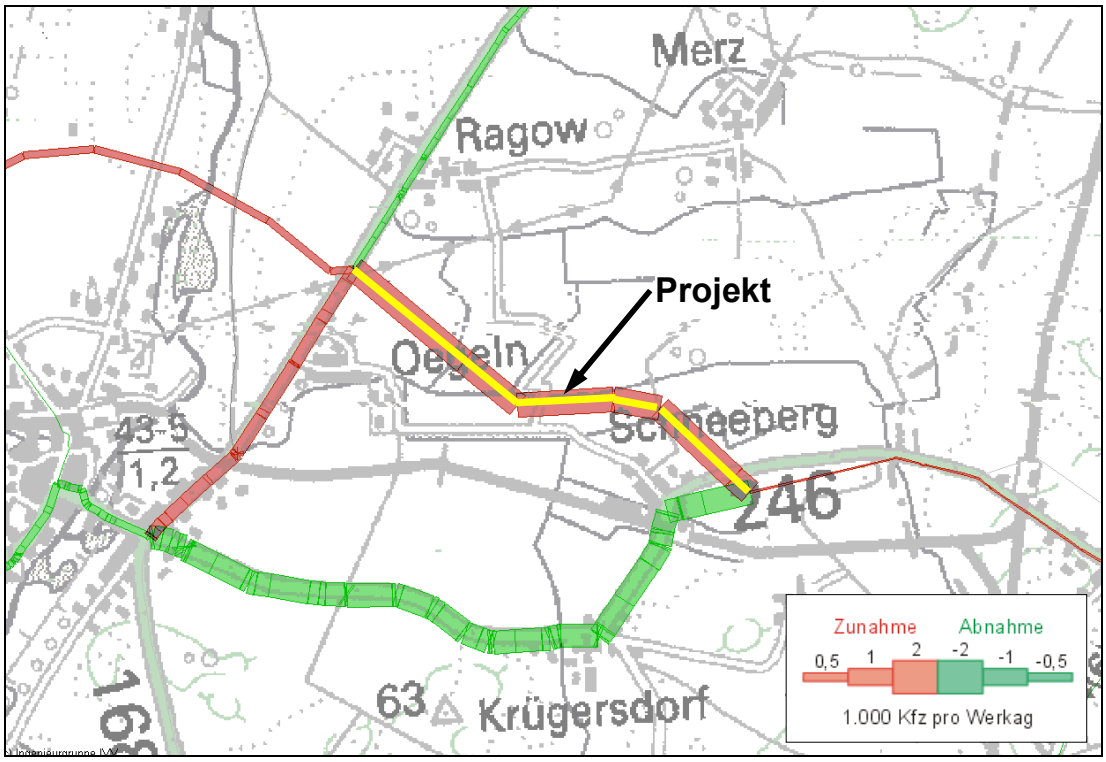


Abbildung 58: Beispiel der Belastungsdifferenzen zwischen dem Vergleichs- und Planfall für ein Test-Projekt

1.4 Aufbereitung der Verkehrsbelastungsdaten

Als Grundlage für die Bewertung wurden im Rahmen der Bewertungsprognose Verkehrsdaten ermittelt und entsprechend einer speziell definierten Schnittstelle [35] aufbereitet und für die weiteren Berechnungen bereitgestellt. Hierzu zählen folgende Informationen:

Streckendaten

- Von Knoten
- Nach Knoten
- Länge
- Richtungsbezogener Streckentyp im Vergleichsfall
- Richtungsbezogener Streckentyp im Planfall

Belastungsdaten

- Pkw-Streckenbelastung/24 h DTVW im Vergleichsfall
- Lkw-Streckenbelastung/24 h DTVW im Vergleichsfall
- Pkw-Streckenbelastung/24 h DTVW im Planfall

- Lkw-Streckenbelastung/24 h DTVW im Planfall

Verkehrsablaufdaten

- Tagesganglinientyp je Richtungsstrecke
- Umrechnungsfaktoren DTVW/DTVU bzw. DTVS für Pkw und Lkw
- Raumkategorie

Die im Rahmen der Bewertungsprognose ermittelten Verkehrsbelastungen beziehen sich auf den durchschnittlichen täglichen Verkehr an Werktagen außerhalb der Ferienzeiten (DTVW). Die Belastungswerte haben die Dimension Kfz-Fahrten pro Tag und sind nach den Kfz-Arten Pkw und Lkw differenziert.

Zusätzlich zu den DTVW-Werten werden für die Bewertungsprognose Umrechnungsfaktoren zur Ermittlung der Verkehrsbelastungen an Werktagen während der Urlaubszeit (DTVU) und an Sonn- und Feiertagen (DTVS) bereitgestellt. Sie entstammen ebenfalls der in [35] genannten Untersuchung und wurden durch Auswertung der SVZ 2000 bzw. der Dauerzählstellen 2000 gewonnen. Hierbei ist nach Straßenklassen und Gebietsregionen unterschieden worden. Eine bundesweite Übersicht der erarbeiteten Faktoren DTVW/DTVU vermitteln in der räumlichen Differenzierung nach Messtischblatt-Rasterfeldern beispielhaft für die Straßenkategorie BAB die Abbildung 59 (Pkw) und Abbildung 60 (Lkw).

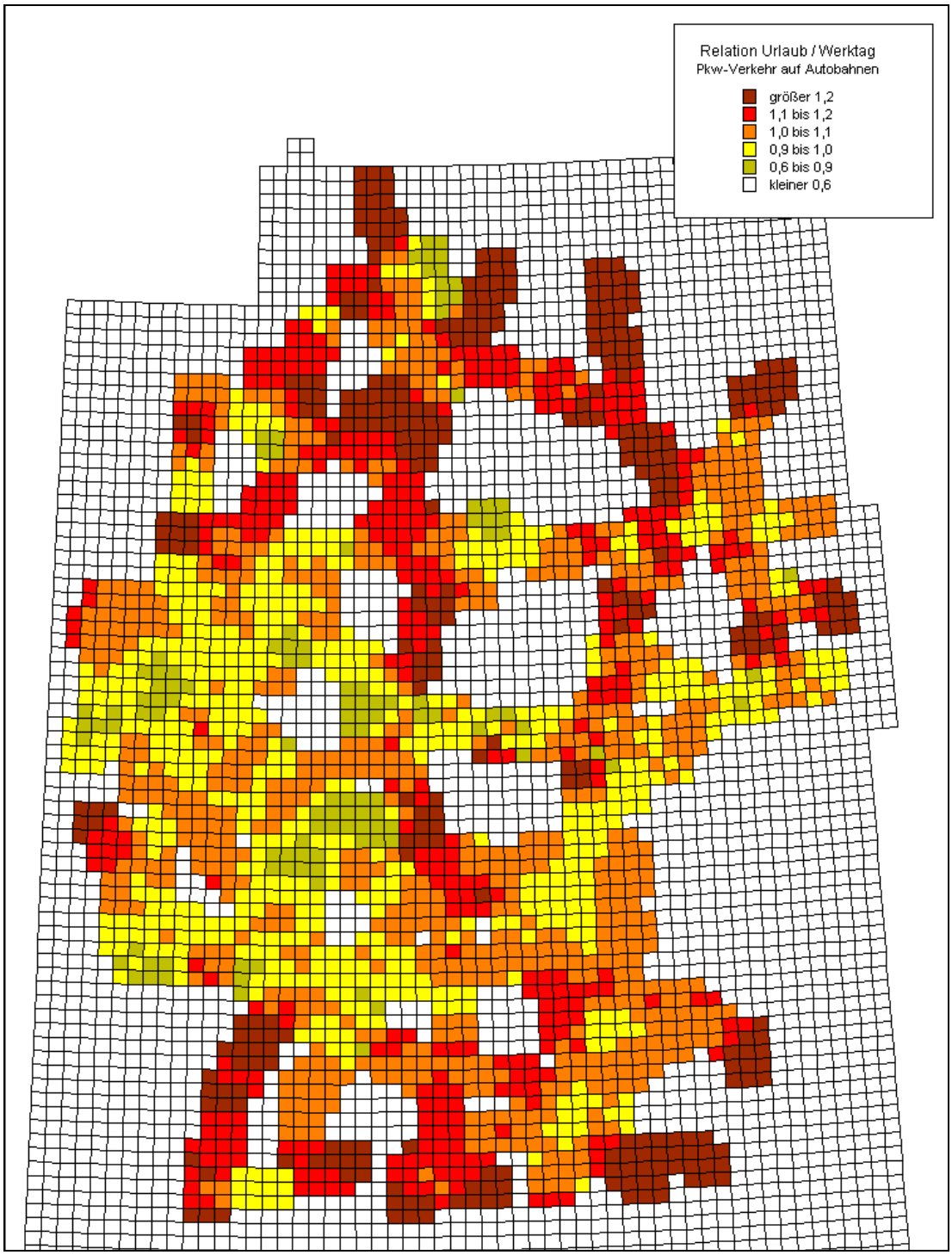


Abbildung 59: Relation der Verkehrsstärken DTVU/DTVW für Pkw auf BAB

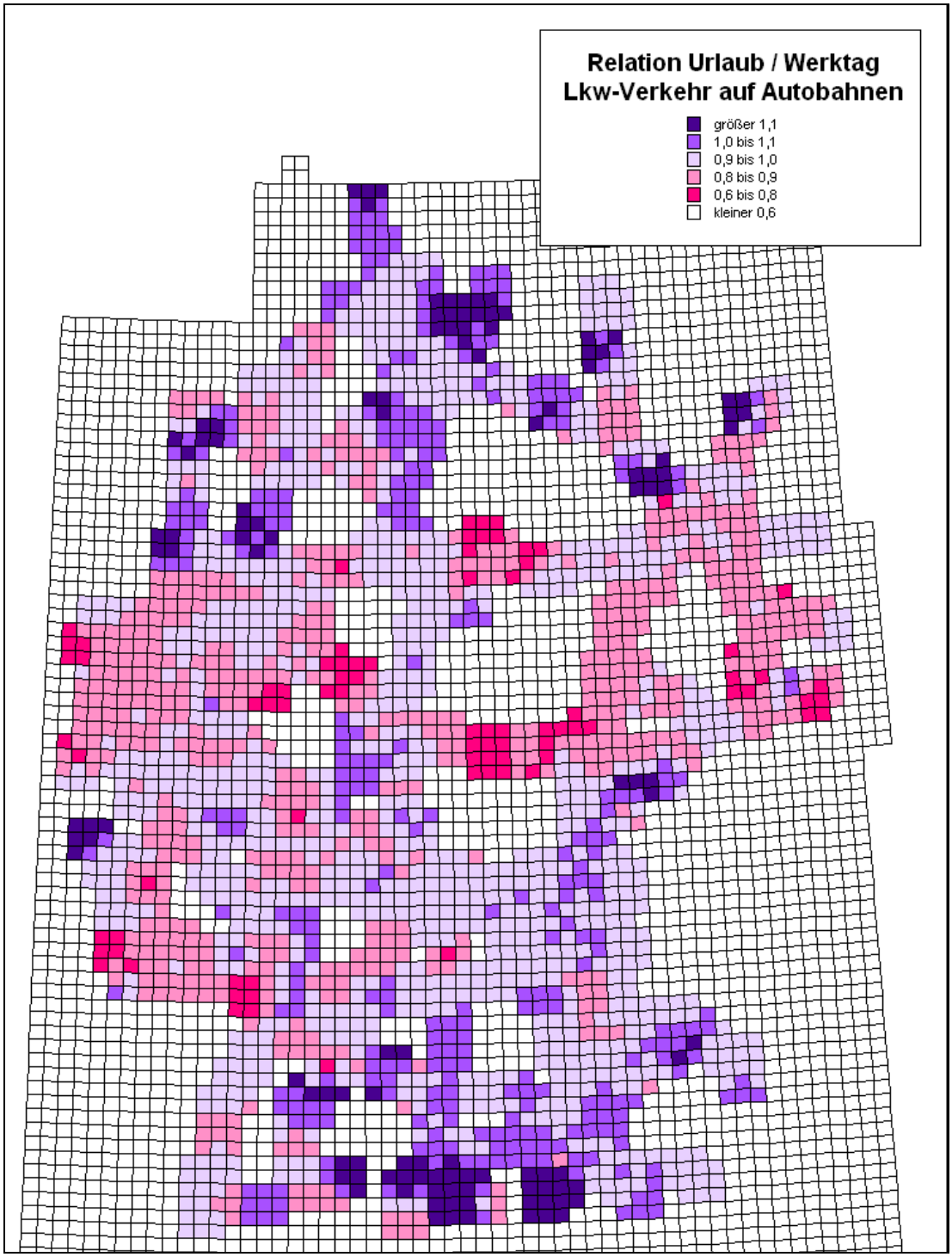


Abbildung 60: Relation der Verkehrsstärken DTVU/DTVW für Lkw auf BAB

Die somit ermittelten Tageswerte des DTVW, DTVU und DTVS müssen für den Bewertungsprozess weiter nach einzelnen Verkehrsstunden im Jahresverlauf differenziert werden. Hierzu werden regional- und streckenspezifische Ganglinien genutzt, die wiederum aus den Ergebnissen der Dauerzählungen sowie der SVZ 2000 abgeleitet worden sind [35].

Das bei der zeitlichen Aufgliederung der Verkehrsstärken genutzte Schema ist in Abbildung 61 wiedergegeben. Bei der Abbildung der saisonalen Schwankungen der Verkehrsstärken wird nach 5 Raumkategorien unterschieden, die sich aufgrund von Verkehrszählungsergebnissen als signifikant herauskristallisieret haben. Die je Raumkategorie auftretenden saisonalen Schwankungen sind in Abbildung 62 dokumentiert.

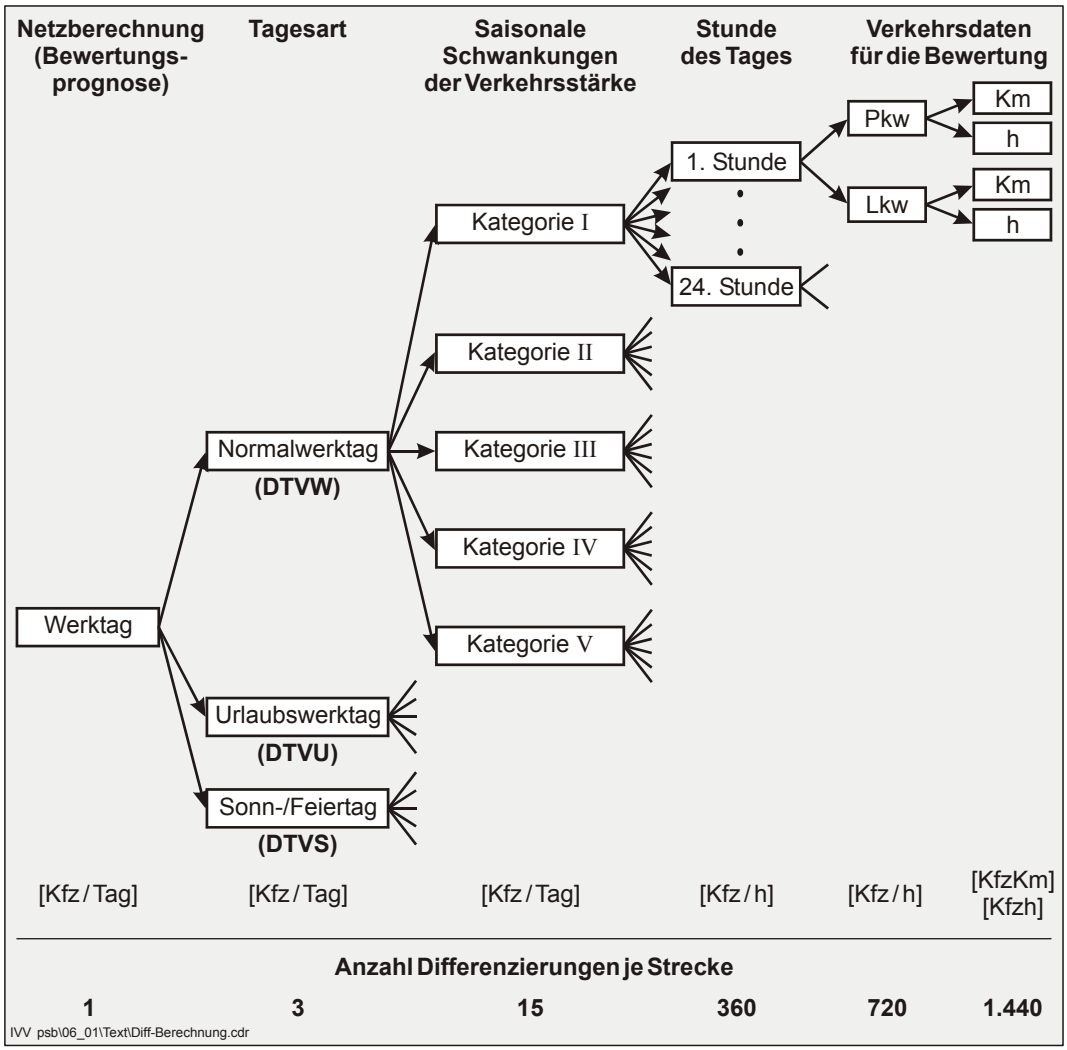


Abbildung 61: Differenzierung der Verkehrsdaten für die gesamtwirtschaftliche Bewertung

Kategorie	Relation	Umrechnungsfaktor				
	DTV_U / DTV_W	w1	w2	w3	w4	w5
I	≤ 0,93	0,91	0,95	1,00	1,05	1,09
II	> 0,93 ... ≤ 0,99	0,86	0,93	1,00	1,07	1,14
III	> 0,99 ... ≤ 1,05	0,81	0,90	1,00	1,10	1,19
IV	> 1,05 ... ≤ 1,11	0,75	0,88	1,00	1,12	1,25
V	> 1,11 ...	0,66	0,83	1,00	1,17	1,34
Normalwerktage		14	48	77	48	14

Kategorie	Relation	Umrechnungsfaktor				
	DTV_U / DTV_W	s1	s2	s3	s4	s5
I	≤ 0,93	0,81	0,90	1,00	1,10	1,19
II	> 0,93 ... ≤ 0,99	0,74	0,87	1,00	1,13	1,26
III	> 0,99 ... ≤ 1,05	0,67	0,84	1,00	1,16	1,33
IV	> 1,05 ... ≤ 1,11	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40
V	> 1,11 ...	0,48	0,74	1,00	1,26	1,52
Sonn- und Feiertage		14	4	15	25	15

Kategorie	Relation	Umrechnungsfaktor				
	DTV_U / DTV_W	u1	u2	u3	u4	u5
I	≤ 0,93	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20
II	> 0,93 ... ≤ 0,99	0,76	0,88	1,00	1,12	1,24
III	> 0,99 ... ≤ 1,05	0,72	0,86	1,00	1,14	1,28
IV	> 1,05 ... ≤ 1,11	0,68	0,84	1,00	1,16	1,32
V	> 1,11 ...	0,61	0,80	1,00	1,20	1,39
Urlaubswerktage		14	7	24	39	24

Abbildung 62: Saisonale Schwankungen des Verkehrsanfalls je Gebiets- und Straßenkategorie

Die Differenzierung der Tagesverkehrsstärken nach Stunden erfolgt mit Hilfe von Tagespegeltypen. Diese wurden aus den im Rahmen der SVZ durchgeführten Standardisierungen übernommen und mit Hilfe eines Zuordnungsprogramms [35] jeder Netzmodellstrecke zugeordnet. Eine Übersicht des Zuordnungsansatzes und der genutzten Pegelverläufe vermitteln Abbildung 63 und Abbildung 64.

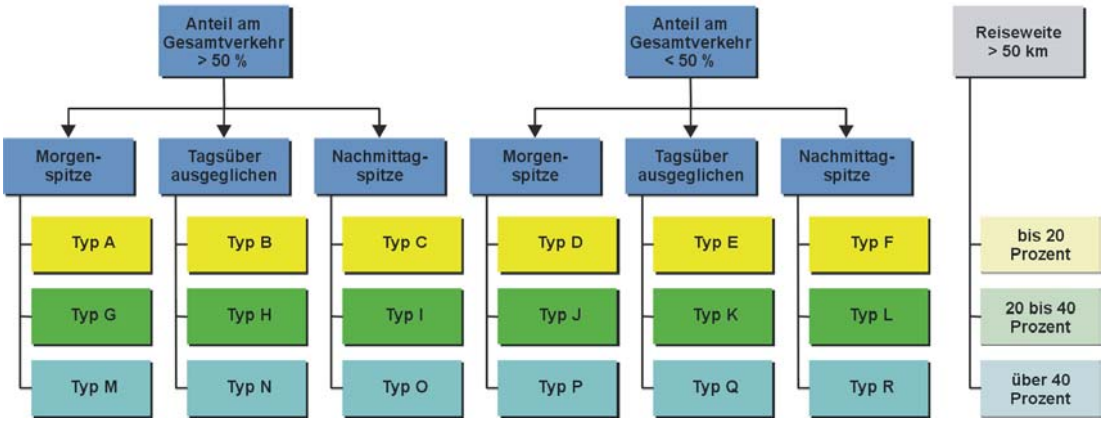


Abbildung 63: Entwicklung der Tagespegeltypen

Nach der Aufgliederung der aus der Bewertungsprognose je Netzfall übernommenen Verkehrsstärken liegen für jede Richtungsstrecke des Netzmodells Verkehrsstärken für jede der 8.760 Stunden eines Jahres sowohl für den Pkw- als auch für den Lkw-Verkehr vor.

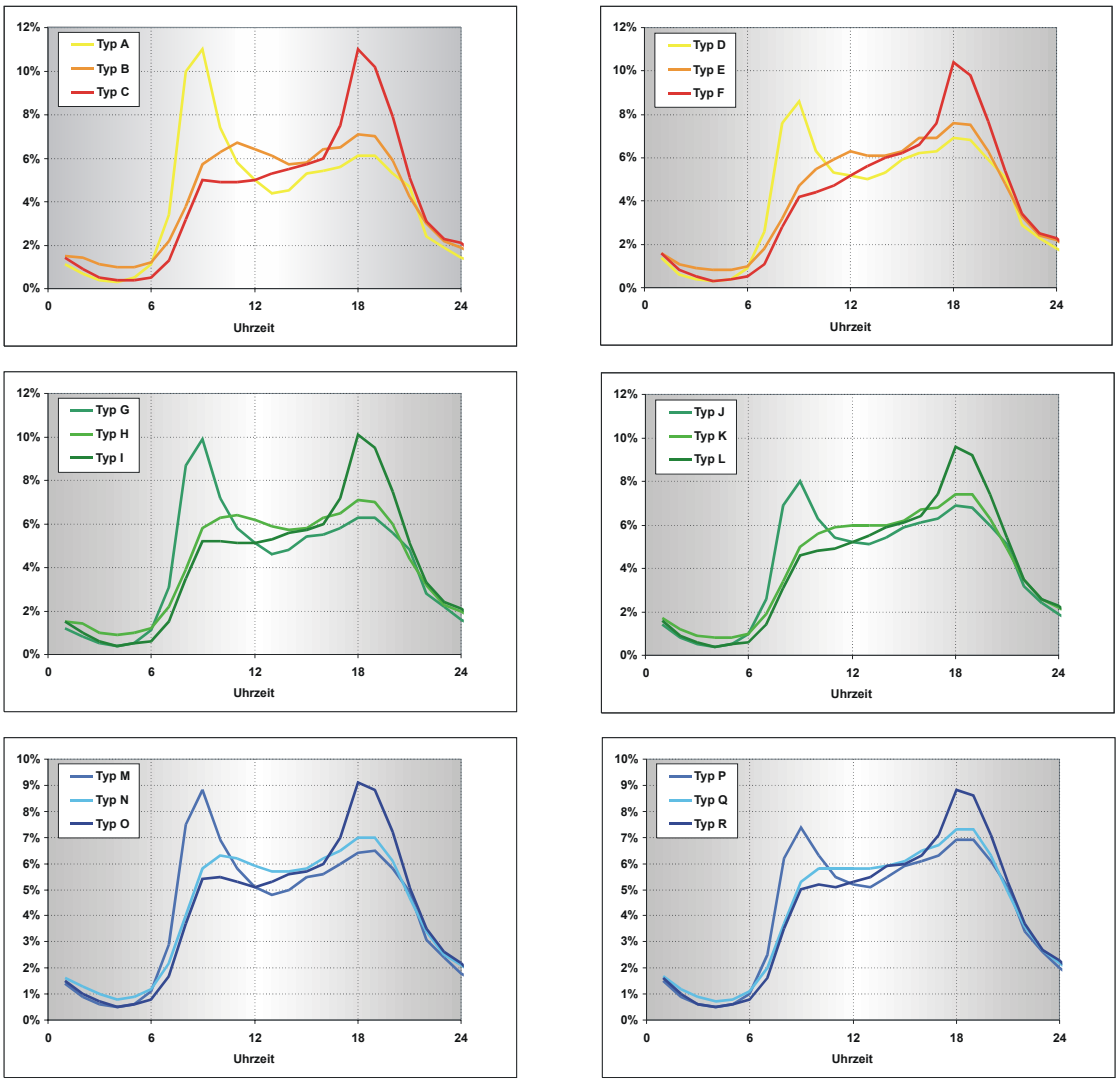


Abbildung 64: Tagespegel des Kfz-Verkehrs

1.5 Fahrleistungen und Fahrzeiten je Straßenabschnitt

Die gesamtwirtschaftliche Bewertung erfolgt auf der Grundlage monetarisierter Wirkungen, wobei als Bezugszeitraum ein Kalenderjahr definiert ist. Basis der Wirkungs- und Nutzenberechnungen sind die jährlichen Fahrleistungen (Kfz-km) bzw. Fahrzeiten (Kfz-Std.) jeder Wirkungsstrecke im Vergleichsfall und im Planfall.

Die Berechnung der Kfz-Kilometer und Kfz-Stunden erfolgt streckenspezifisch durch Verknüpfung der für jede Stunde eines Jahres berechneten Verkehrsstärken im Pkw- und im Lkw-Verkehr mit der Streckenlänge bzw. den für die einzelnen Stunden maßgebenden Fahrgeschwindigkeiten. Die Fahrgeschwindigkeiten werden dabei unter Berücksichtigung der jeweiligen Verkehrsstärke und der dem Streckentyp zugeordneten q-v-Funktion ermittelt.

$$FL^{P}_{(s)} = \sum_{h} QP_{(s,h)} \times l_{(s)}$$

$$FT^{P}_{(s)} = \sum_{h} QP_{(s,h)} \times VP_{(h)} \times l_{(s)}$$

Es bedeuten:

FL^P	Fahrleistung Pkw [Kfzkm/a]
FT^P	Fahrzeit Pkw [Kfzh/a]
QP	Verkehrsstärke Pkw
s	Index Straßenabschnitt/die Strecke
h	Verkehrsstunden
l	Länge
$VP_{(h)}$	Verkehrsgeschwindigkeit Pkw bei der Verkehrsbelastung der Strecke zur Stunde h [km/h]

Analog gelten die gleichen Zusammenhänge für den Lkw-Verkehr

1.6 Fahrzeugstrukturen

Die Berechnung der von den Straßenprojekten ausgehenden Nutzen erfolgt nicht nur differenziert nach den Transportarten Personen- und Güterverkehr (Pkw/Lkw), sondern weiter aufgegliedert nach folgenden Fahrzeuggruppen:

Fahrzeuggruppe P: (Personenwagen und vergleichbare Fahrzeuge):

- PO = Pkw mit Ottomotor inkl. motorisierte Zweiräder
- PD = Pkw mit Dieselmotor

Fahrzeuggruppe B: (Kraftomnibusse)

- BR = Reisebusse
- BL = Linienbusse

Fahrzeuggruppe L: (Lastkraftwagen)

- LN = Lkw < 3,5 t zGG mit und ohne Anhänger
- LS = Lkw ≥ 3,5 t zGG, ohne Anhänger,
  einschl. Zugmaschinen ohne Anhänger, auch landwirtschaftliche und Spezialfahrzeuge

Fahrzeuggruppe Z: (Lastzüge)

- ZL = Lkw ≥ 3,5 t zGG mit Anhänger
- ZS = Sattelkraftfahrzeuge u. Zugmaschinen mit Anhänger

Eine bereits nach den o. g. Fahrzeuggruppen differenzierte Ermittlung der Verkehrsdaten scheidet im Rahmen der Bewertungsprognose aus Aufwands- aber auch aus Sachgründen aus. Stattdessen werden die per Modellsimulation ermittelten Stärken des Pkw- und Lkw-Verkehrs mit Hilfe mittlerer straßentyp- und bundeslandspezifischen Aufteilungsverhältnisse weiter untergliedert. Die hierzu aus den Ergebnissen der SVZ und der Dauerzählungen abgeleiteten Anteilswerte sind in Abbildung 65 dokumentiert.

Bei der in der Fahrzeuggruppe Personenwagen vorgenommenen Aufteilung nach den Antriebsarten Otto- und Dieselmotor wird pauschal von folgenden Anteilen ausgegangen:

- 17,2 % Pkw mit Dieselmotoren und
- 82,8 % Pkw mit Ottomotoren

Da das vorgenannte Aufteilungsverhältnis sich auf die Fahrleistung bezieht, weicht es vom Aufteilungsverhältnis des Pkw-Bestandes deutlich ab.

	Autobahnen (BAB)						Außerorts (AGO)						Innerorts (IGO)					
Land	LN	LS	ZL	ZS	BR	BL	LN	LS	ZL	ZS	BR	BL	LN	LS	ZL	ZS	BR	BL
	[Prozent]						[Prozent]						[Prozent]					
SH	19,2	18,7	28,4	28,9	4,2	0,6	32,4	31,7	15,3	12,4	5,4	2,8	39,5	30,4	10,7	6,9	3,7	8,8
HH	17,7	22,1	28,0	28,5	3,2	0,5	35,7	34,2	13,7	11,1	3,5	1,8	34,2	32,9	12,0	7,7	3,9	9,3
NS	12,7	16,5	33,3	33,8	3,2	0,5	26,6	31,7	19,6	15,9	4,1	2,1	29,5	31,7	17,6	11,3	2,9	7,0
HB	15,7	28,3	26,7	27,1	1,9	0,3	29,2	32,1	19,9	16,2	1,7	0,9	34,2	32,9	12,0	7,7	3,9	9,3
NW	18,4	20,5	28,8	29,3	2,6	0,4	29,9	33,1	16,2	13,1	5,1	2,6	35,7	32,1	11,4	7,3	4,0	9,5
HE	17,5	19,9	29,1	29,6	3,4	0,5	30,0	32,2	17,0	13,8	4,6	2,4	36,5	32,9	10,4	6,7	4,0	9,5
RP	16,3	18,1	30,5	31,0	3,6	0,5	29,5	33,4	15,1	12,3	6,4	3,3	34,4	32,8	12,5	8,0	3,6	8,7
BW	16,7	19,6	29,3	29,7	4,1	0,6	28,7	34,9	15,7	12,7	5,3	2,7	30,8	34,2	13,2	8,5	3,9	9,4
BY	16,6	17,6	29,8	30,3	5,0	0,7	26,2	35,0	17,0	13,8	5,3	2,7	31,9	35,6	12,4	8,0	3,6	8,5
SA	22,9	28,1	22,9	23,3	2,4	0,4	34,1	35,1	10,7	8,7	7,5	3,9	35,8	32,9	7,8	5,1	5,4	13,0
B	43,4	28,8	11,9	12,1	3,3	0,5	41,7	30,6	9,7	7,8	6,7	3,5	34,2	32,9	12,0	7,7	3,9	9,3
MV	26,2	17,5	25,7	26,1	3,9	0,6	37,5	28,9	15,3	12,4	3,9	2,0	34,2	32,9	12,0	7,7	3,9	9,3
BB	19,7	17,1	29,3	29,8	3,6	0,5	38,7	28,1	15,3	12,4	3,6	1,9	34,2	32,9	12,0	7,7	3,9	9,3
ST	21,1	20,0	27,2	27,7	3,5	0,5	37,2	27,3	17,0	13,8	3,1	1,6	34,2	32,9	12,0	7,7	3,9	9,3
SN	27,8	22,7	22,9	23,3	2,9	0,4	38,7	31,4	13,3	10,8	3,8	2,0	34,2	32,9	12,0	7,7	3,9	9,3
TH	20,4	21,0	27,0	27,5	3,6	0,5	39,7	32,5	11,9	9,7	4,1	2,1	34,2	32,9	12,0	7,7	3,9	9,3

Fahrzeugarten:

LN	Leichter Lkw (= 3,5t)	ZL	Lkw mit Anh.	BR	Reisebus
LS	Lkw ohne Anh. (> 3,5t)	ZS	Sattelschlepper	BL	Linienbus

Abbildung 65: Fahrleistungsbezogene Anteile der Fahrzeuggruppen je Bundesland und Straßenkategorie [36]

1.7 Pkw-Besetzungsgrade

In die Wirkungsberechnungen für einige Nutzenkomponenten fließen an Stelle der Fahrzeugkilometer bzw. -stunden, Personenkilometer bzw. -stunden ein. Hierzu müssen die ermittelten Fahrzeugwerte in Personenwerte umgerechnet werden, wozu Pkw-Besetzungsgrade und Bus-Besetzungsgrade genutzt werden.

Die Pkw-Besetzungsgrade werden nach Verkehrstagen und Fahrtzweckgruppen differenziert [36] (siehe Abbildung 66).

Tagesart	Geschäfts- und Dienstfahrten	Sonstige Fahrten
	[Anzahl Personen pro Fahrzeug]	
Normalwerktag	1,4	1,6
Urlaubswerktag	1,4	1,6
Sonn- und Feiertag	-	2,1

Abbildung 66: Pkw-Besetzungsgrade je Fahrzeuggruppen und Verkehrstag

Ebenfalls aus [36] wurde der mittlere Besetzungsgrad im Busverkehr übernommen. Hierbei wurden folgende Werte zugrunde gelegt:

- Gelegenheitsverkehr 31,1 Insassen/Bus und
- Allgemeiner Linienverkehr 17,5 Insassen/Bus

2 Nutzenelemente

2.1 Verbilligung von Beförderungsvorgängen (NB)

2.1.1 Senkung von Kosten der Fahrzeugvorhaltung (NB1)

Die von den Straßenprojekten bewirkten Verkürzungen der Transport- und Beförderungszeiten führen auch zu Kostensenkungen bei der Fahrzeugvorhaltung. Der hieraus resultierende Nutzen wird im Rahmen der Bewertung mit der Nutzenkomponente **NB1** spezifisch berücksichtigt. Hierbei werden ausschließlich die im gewerblichen Verkehr (Lkw-Verkehr und Teile des Pkw-Verkehrs) erreichten Einsparungen einbezogen.

Die Senkung der Vorhaltungskosten wird durch Multiplikation der eingesparten Fahrzeiten mit mittleren Stundensätzen der Fahrzeugvorhaltung berechnet. Bei der

Berechnung wird nach 8 Fahrzeuggruppen und 3 Straßenkategorien unterschieden, so dass 24 Fallunterscheidungen berücksichtigt werden.

Die mittleren Kostensätze der Fahrzeugvorhaltung wurden in [16] ermittelt und sind in Abbildung 67 zusammengestellt.

Fahrzeugart		Autobahn	Außerorts	Innerorts
			[€ / km]	
Pkw (Ottomotor)	PO	1,27	1,19	1,19
Pkw (Dieselmotor)	PD	1,36	1,33	1,33
Leichter Lkw (≤ 3,5t)	LN	1,47	1,47	1,47
Lkw ohne Anh. (> 3,5t)	LS	2,42	2,38	2,25
Lkw mit Anh.	ZL	3,40	3,36	3,33
Sattelschlepper	ZS	4,37	4,25	4,19
Reisebus	BR	6,93	6,64	6,81
Linienbus	BL	4,50	4,59	5,33

Abbildung 67: Mittlere Vorhaltekosten [€/h] je Fahrzeuggruppe und Straßenkategorie

Die Bestimmung des gewerblichen Anteils des Pkw-Verkehrs erfolgt mit Hilfe eines bundesweit einheitlichen Anteilssatzes von 31 % des DTVW.

Die Vorhaltungskosten ergeben sich entsprechend zu

$$NB1 = \sum_{S} \sum_{FG} \sum_{SK} \Delta FT_{gew(SK,FG)} \times VHK_{(SK,FG)}$$

Es bedeuten:

s Index Straßenabschnitt

SK Index Straßenkategorie

FG Index Fahrzeuggruppe

ΔFT_{gew} Fahrzeitdifferenz Planfall zu Vergleichsfall im gewerblichen Verkehr [h/a]

VHK Vorhaltungskosten [€/Fahrzeugstunde]

2.1.2 Senkung von Kosten des Fahrzeugbetriebs (NB2)

Die mit der Realisierung der Straßenprojekte verbundenen Fahrzeitverkürzungen führen zu Senkungen der Betriebskosten. Sie werden in der Bewertung mit der Nut-

zenkomponente **NB2** erfasst. Die eingesparten Betriebsführungskosten setzen sich aus den Teilnutzen

- Lohnkosten Personal (NB2a) und
- Betriebskosten Fahrzeug (NB2b)

zusammen.

Die Ersparnisse an **Lohnkosten** (NB2a) beziehen sich ausschließlich auf den gewerblichen Verkehr. Sie werden durch Multiplikation der einzelnen Fahrzeiten mit mittleren zeitbezogenen Personalkosten ermittelt.

Die mittleren Lohnkostensätze wurden in [16] zusammengestellt; sie sind in Abbildung 68 wiedergegeben.

Die Berechnung erfolgt nach der Formel:

$$NB2a = \sum_{S} \sum_{FG} \Delta FT_{gew(FG)} \times LK_{(FG)}$$

Es bedeuten:

S Index Straßenabschnitt

FG Index Fahrzeuggruppe

ΔFT_{gew} Fahrzeitdifferenz Planfall zu Vergleichsfall im gewerblichen Verkehr [h/a]

LK Lohnkosten [€/Fahrzeugstunde]

Fahrzeugart		Personalkosten [€ / Stunde]
Pkw	PO	27,92
	PD	27,92
Leichter Lkw (≤ 3,5t)	LN	21,47
Lkw ohne Anh. (> 3,5t)	LS	22,76
Lkw mit Anh.	ZL	25,34
Sattelschlepper	ZS	25,34
Reisebus	BR	21,47
Linienbus	BL	21,47

Abbildung 68: Mittlere Lohnkosten im gewerblichen Verkehr je Fahrzeugkategorie

Im Rechenmodell zur Ermittlung der **Betriebskosten** (NB2b) werden die Komponenten

- Betriebsgrundkosten und
- Kraftstoffkosten

gesondert ermittelt und anschließend zusammengefasst. Die Betriebskostengrundwerte beziehen sich, gleichermaßen wie die Kraftstoffverbrauchskosten, auf die Fahrleistung. Sie wurden ebenfalls in [16] ermittelt.

Die Berechnung der Nutzen erfolgt durch Multiplikation der Fahrleistungen mit den mittleren Betriebsgrund- bzw. Kraftstoffkosten.

Bei den **Betriebsgrundkosten** wird nach 8 Fahrzeuggruppen und 3 Straßenkategorien, also nach 24 Fällen unterschieden. Die den Bewertungsrechnungen zugrunde gelegten Werte sind in Abbildung 70 wiedergegeben.

Fahrzeugart		Betriebsgrundkosten		
		Autobahnen	Ausserorts	Innerorts
			[€ / km]	
Pkw	PO	11,10	10,03	10,04
	PD	10,53	10,20	10,20
Leichter Lkw (≤ 3,5t)	LN	11,17	11,21	11,29
Lkw ohne Anh. (> 3,5t)	LS	20,59	20,28	19,10
Lkw mit Anh.	ZL	24,89	24,75	24,66
Sattelschlepper	ZS	26,00	25,95	25,93
Reisebus	BR	39,22	37,34	38,55
Linienbus	BL	53,09	54,59	66,88

Abbildung 69: Betriebskosten je Fahrzeugart und Straßenklasse

Die **Kraftstoffkosten** ergeben sich aus den Kraftstoffverbräuchen und den Treibstoffpreisen, welche in Abbildung 71 dokumentiert sind.

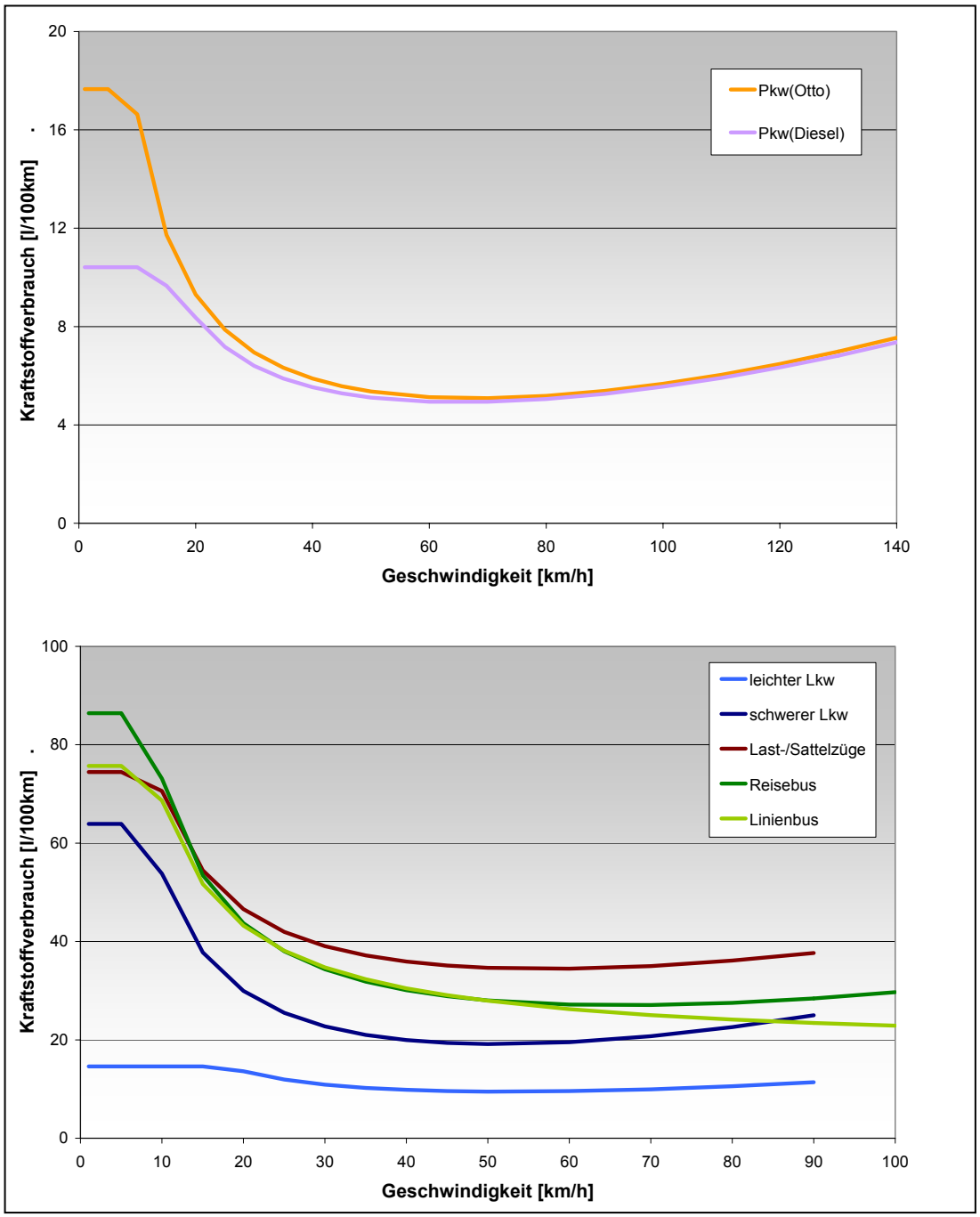


Abbildung 70: Kraftstoffverbrauch je Fahrzeugart, Zeitabschnitt und Längsneigungsklasse

	Mineralölpreise 2015 [ct/Liter]
Normalbenzin	19,6
Superbenzin	21,7
Dieselkraftstoff	21,4

Abbildung 71: Kraftstoffpreise (ohne Steueranteil)

Wie aus der Tabelle in Abbildung 70 hervorgeht, wird bei der Ermittlung der Treibstoffverbräuche nach Fahrzeuggruppen, Straßenkategorien und Verkehrsablaufzuständen (fließender Verkehr, Stau etc.) unterschieden. Formal erfolgt die Berechnung der Nutzenkomponente NB2b mit folgender Formel:

$$NB2b = \sum_{S} \sum_{FG} \Delta FL_{(s)} \times BGW_{(FG)} + \Delta KV_{(s)} \times KT$$

wobei

$$\Delta KV_{(s)} = \sum_{FG} KV_{vg(s,FG)} - KV_{pl(s,FG)}$$

und

$$KV_{(s,FG)} = \sum_{FG} \sum_{VZ} FL_{(FG,VZ)} \times TV_{(FG,VZ)}$$

Es bedeuten:

FG Index Fahrzeuggruppe

s Index Straßenabschnitt

FL Fahrleistung [Kfzkm/a]

ΔFL Fahrleistungsdifferenz Planfall zu Vergleichsfall [Kfzkm/a]

BGW Betriebskostengrundwert [€/km]

KV Kraftstoffverbrauch [l/km]

KT Kraftstoffkosten im Jahr 2015 [€/l]

TV spezifischer Kraftstoffverbrauch [l/km]

VZ Index Verkehrszustand

vg Vergleichsfall

pl Planfall

2.1.3 Transportkostenänderungen durch Aufkommensverlagerungen (NB3)

Bei der Ermittlung der projektspezifischen Verkehrsverlagerungen werden im Rahmen der Netzberechnungen für den Vergleichsfall und den Planfall die gleichen Verkehrsströme auf das Netzmodell umgelegt. Dies impliziert, dass in den Netzberechnungen lediglich die intramodalen und nicht die möglicherweise zu erwartenden intermodalen Verkehrsverlagerungen berücksichtigt werden.

Die Wechselwirkungen zwischen den Verkehrssystemen IV und ÖV (intermodale Interdependenzen) werden mit der Nutzenkomponente NB3 in den Bewertungsprozess eingebracht.

Die Quantifizierung der intermodalen Wirkungen erfolgt mit Hilfe von Modal-Split-Berechnungen. Hierbei werden die Verkehrssegmente Personenfern-, Personennah- und Güterfernverkehr differenziert behandelt.

Für den **Güternahverkehr** werden in dieser Hinsicht keine Berechnungen durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass in diesem Verkehrssektor keine signifikanten intermodalen Verlagerungen infolge von Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen auftreten, da hier Fahrzeitrelationen eine deutlich nachrangige Bedeutung bei der Verkehrsmittelwahl haben.

Für den **Personen- und Güterfernverkehr** werden Modal-Split-Berechnungen auf der Basis von Verkehrsströmen und Reisezeiten bzw. Beförderungskosten der Verkehrsträger Straße und Schiene durchgeführt. Den hierzu entwickelten Ablauf zeigt die Abbildung 72. Der Berechnungsablauf wird zusätzlich im Schema der Abbildung 73 verdeutlicht.

Die bei den Modal-Split-Berechnungen genutzten Funktionen der Verkehrsaufteilung zeigt die Abbildung 74.

Bei den Modal-Split-Berechnungen für den Fernverkehr werden die Verkehrsverlagerungen von der Schiene auf die Straße ermittelt. Die entsprechenden Verlagerungseffekte von der Straße auf die Schiene werden im Rahmen der Bewertungen der Schienenprojekte erfasst (Prinzip: Betrachtung jeweils auf der Seite des „nehmenden“ Verkehrssystems).

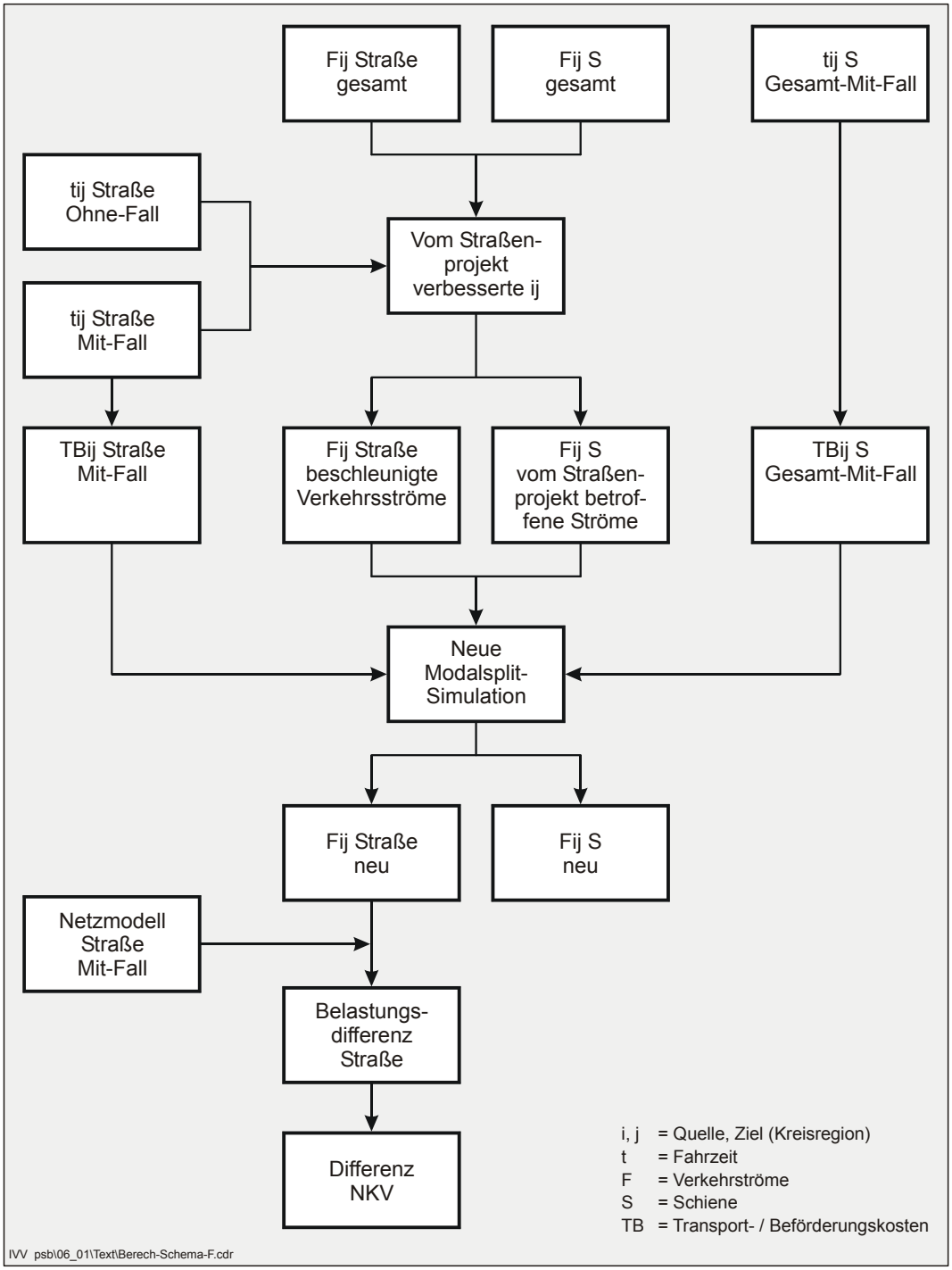
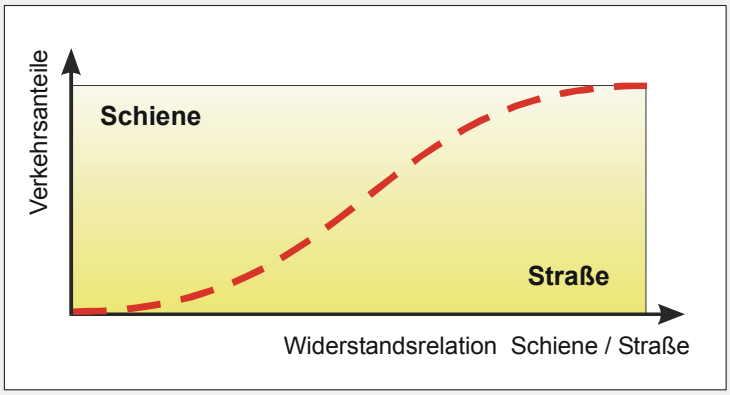
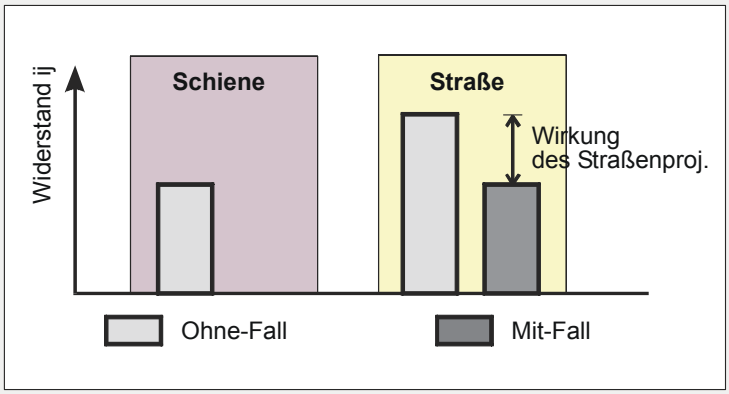


Abbildung 72: Ablauf der Modal-Split-Berechnungen für den Güter- und Personenverkehr

1. Modal - Split - Modell



2. Widerstände ij für Vergleichsfall und Mit-Fall je Verkehrszweig



3. Verlagerungspotential ij

⇨ Ableitung mit Modal-Split-Modell

4. Veränderung der Beförderungs-/Transportkosten

⇨ Berechnung mit mittleren Kosten je Verkehrszweig

5. Veränderung des NKV des Straßenprojektes

⇨ Verrechnung der Kostendifferenz der intermodalen Verlagerungen mit dem Projektnutzen

IVV psb\06_01\Text\Modal-Split-Modell.cdr

Abbildung 73: Berechnungsschema des Modal-Splits für den Fernverkehr

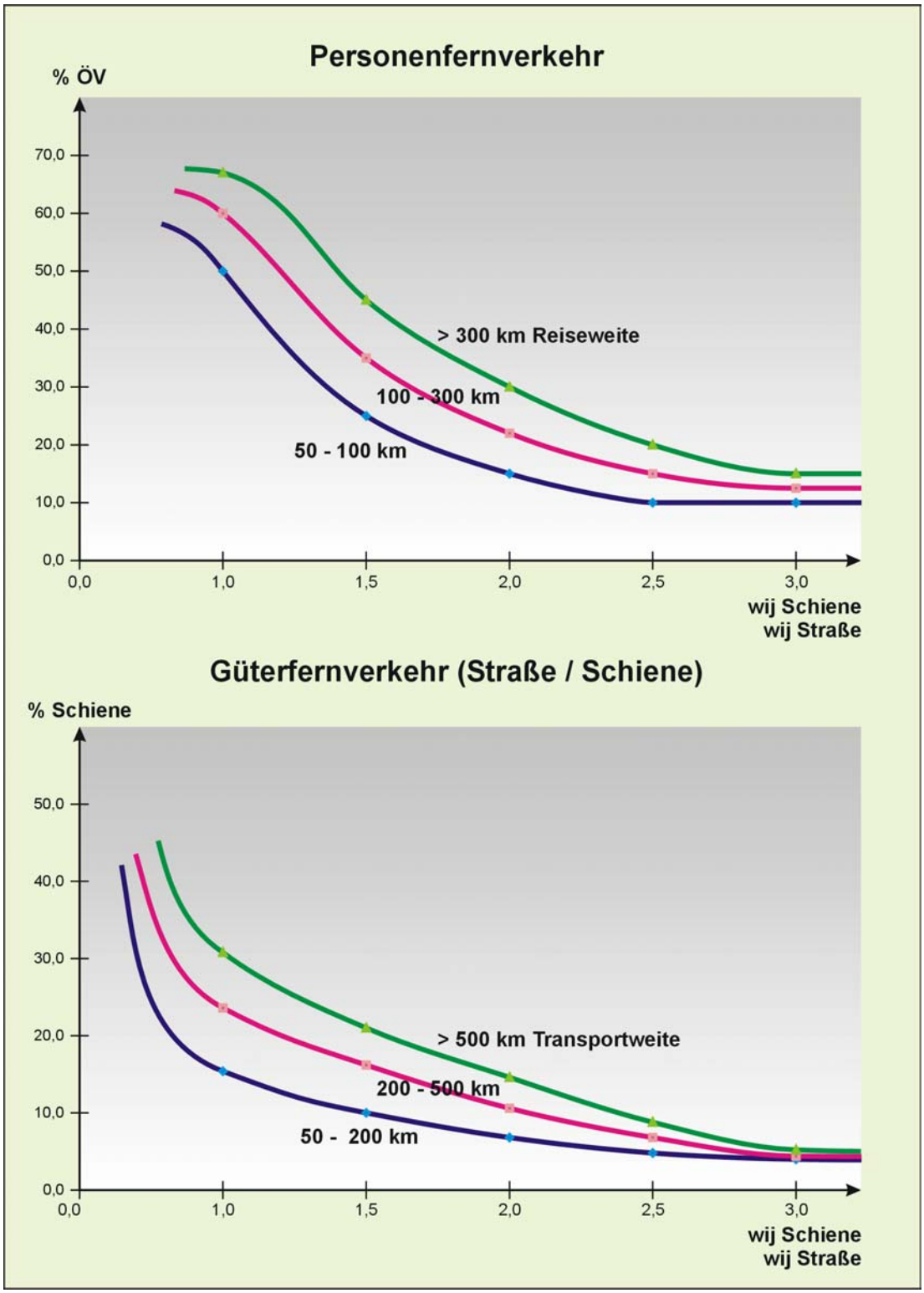


Abbildung 74: Funktionen zur Aufteilung des Personen- und Güterfernverkehrs auf die Systeme IV und ÖV

Für den **Personennahverkehr** werden die von einem Straßenprojekt ausgehenden, modalen Verlagerungen mit Hilfe eines Kategorienkonzeptes geschätzt. In diesem Konzept werden die voraussichtlich verlagerten Verkehre auf der Grundlage mittlerer projektbedingter Fahrzeitverkürzungen auf der Straße unter Ansatz mittlerer modaler Aufteilungen, die nach Raumkategorien differenziert sind, ermittelt. Zur Verdeutlichung der Vorgehensweise sind der Ermittlungsgang in Abbildung 75 und ein fiktives Berechnungsbeispiel in Abbildung 76 wiedergegeben.

Als Ergebnis der Modal-Split-Berechnungen liegen für jedes Straßenprojekt Verkehrsleistungen vor, die vom ÖV-System auf die Straße verlagert werden und zwar:

- Verlagerte Verkehrsleistungen im Personennahverkehr [Personen-km/a]
- Verlagerte Verkehrsleistungen im Personenfernverkehr [Personen-km/a]
- Verlagerte Verkehrsleistungen im Güterfernverkehr [Tonnen-km/a]

Die Monetarisierung des ermittelten Verlagerungsgeschehens erfolgt mit Hilfe mittlerer interner und externer Beförderungs- bzw. Transportkosten je km und Verkehrsträger. Die hierbei in Ansatz gebrachten Kostenansätze entstammen der Untersuchung [16] sowie gesonderten Schätzungen. Die Schätzungen der mittleren internen und externen Beförderungskosten des ÖPNV erfolgten auf der Grundlage aktueller Beförderungssätze und unter Ansatz spezifischer Personen-Stundenkosten.

Die (in der Regel negativen) Nutzen aus Verkehrsverlagerungen zwischen den Verkehrssystemen (NB3) ergeben sich durch Multiplikation der vom ÖV zum IV verlagerten Personen-Kilometer bzw. Tonnen-Kilometer mit den spezifischen Differenz-Kosten:

$$NB3 = \sum_{VA} VVL_{ÖV-IV\,(VA)} \times (K_{ÖV\,(VA)} - K_{IV\,(VA)})$$

Es bedeuten:

VA Index Verkehrsarten (Personenfern-, Personennah- und Güterfernverkehr)

VVL Verlagerte Verkehrsleistung

K Beförderungs- bzw. Transportgesamtkosten

IV motorisierter Individualverkehr

ÖV öffentlicher Verkehr

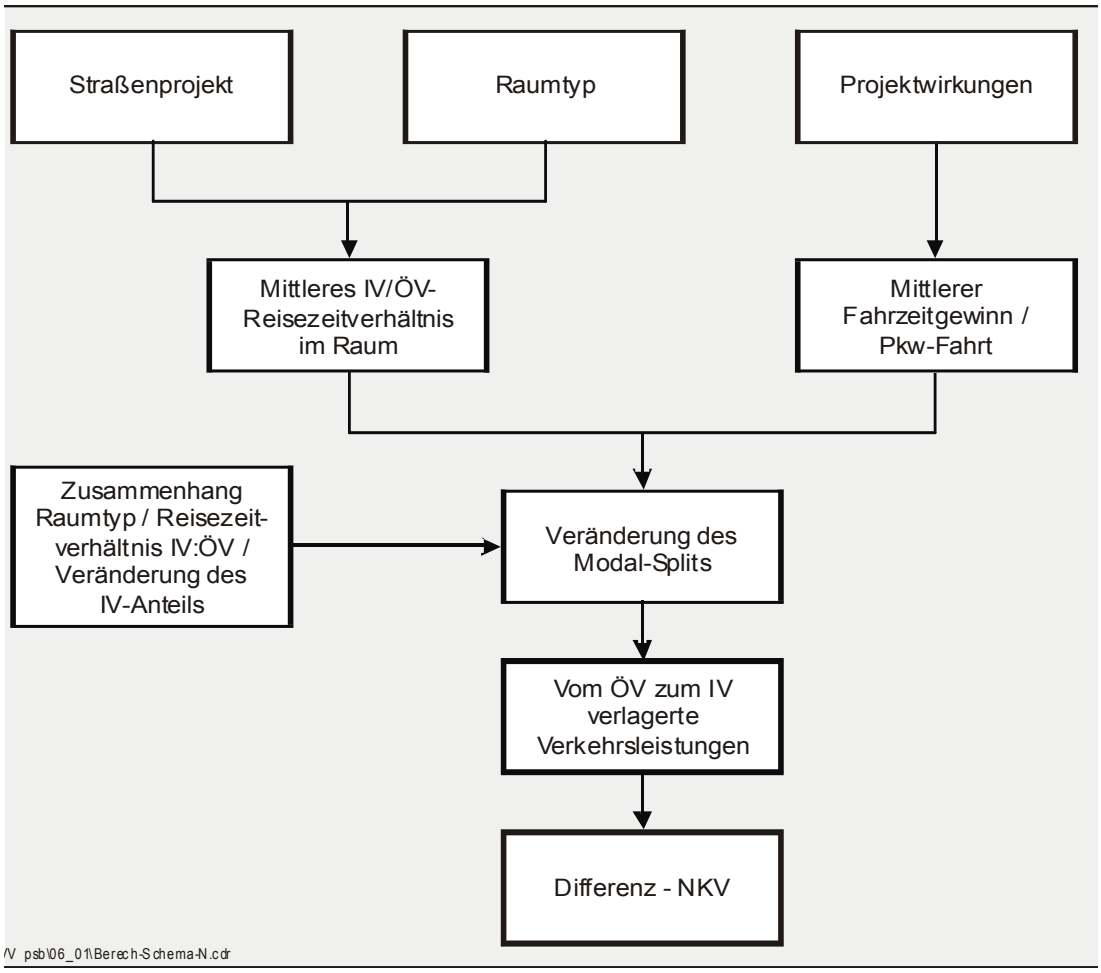
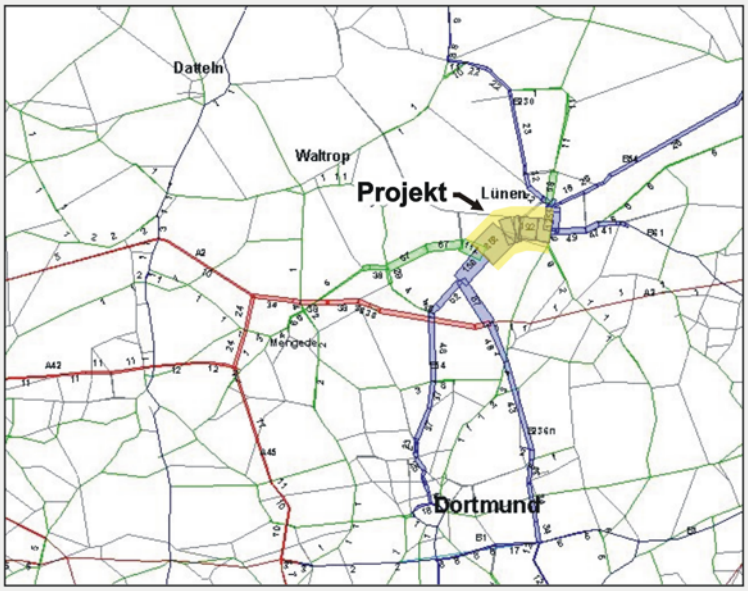


Abbildung 75: Ablauf der Modal-Split-Berechnungen für den Personen-Nahverkehr

Routenverfolgung für das Straßenprojekt



Berechnungsbeispiel:

Lagekategorie	: Ballungsrand	
Mittelwerte	: IV / ÖV-Anteile	= 80 / 20%
	IV / ÖV-Geschwindigkeiten	= 35 / 25 km/h
	IV / ÖV-Reiseweite	= 10 / 6 km
Verkehrswerte	: Fahrzeitverkürzung	= ∅ 3 min / Person
	ges. Verlagerungspotential	= 4.000 Personen / Tag
Verlagerung ÖV - IV	: 5 % von 4.000 Personen	= 200 Personen/Tag

=> 0,360 Mio. Pers.-Km / a

=> 0,010 Mio. Pers.-h / a

Abbildung 76: Fiktives Beispiel des Berechnungsablaufes bei der Ermittlung der Verkehrsverlagerungen ÖV/IV im Personennahverkehr

Verkehrszweig			Mittlere Gesamtkosten ct je Pkm bzw. Tkm
Personenverkehr	Fernverkehr	Schiene	18,6
		Straße	22,3
	Nahverkehr	Schiene	33,4
		Straße	35,1
Güterverkehr		Schiene	4,2
		Straße	13,9
		Wasserstraße	bis 4 ct

Abbildung 77: Mittlere Beförderungs- bzw. Transportkosten je Verkehrsträger (Stand 1998)

2.2 Erhaltung der Verkehrswege (NW)

2.2.1 Erneuerung der Verkehrswege (NW1)

Infolge der Realisierung eines Straßenprojektes können unter Umständen notwendige Aufwendungen zur Erneuerung bestehender Straßen oder Bauwerke entbehrlich werden. Ersparnisse können darüber hinaus durch auf einen späteren Zeitpunkt verschiebbare Erneuerungskosten an einer anderen Stelle im Straßennetz erreicht werden. Diese Einsparungen werden projektspezifisch angegeben und mit der Nutzenkomponente **NW1** erfasst.

Die bei der Berechnung der Erneuerungskosten in Ansatz gebrachten Kostensätze wurden in [16] recherchiert und auf den Preisstand 1998 aktualisiert. Sie betragen:

- Bundesautobahn: 105.000 €/km und Jahr
- Bundesstraße: 27.100 €/km und Jahr

Die möglichen Einsparungen werden berechnet:

$$NW1 = \sum_{SK} KE_{(SK)} \times l_{(SK)} \times a_n$$

Es bedeuten:

KE Kosten der Erhaltung [€/km und Jahr]

SK Index Straßenkategorie

l Länge des Straßenabschnittes mit entbehrlich werdender Erneuerung [km]

a_n Annuitätenfaktor des Projektes

2.2.2 Instandhaltung der Verkehrswege (NW2)

Nach Realisierung eines Straßenprojektes fallen kontinuierlich Instandhaltungskosten an. Diese umfassen die jährlichen Ausgaben für den Betrieb (Winterdienst) und die kleineren Instandhaltungsmaßnahmen. Sie wurden in [16] recherchiert und auf den Preisstand 1998 umgerechnet. Die nach Straßentypgruppen differenzierten Kostensätze der Instandhaltung sind in Abbildung 78 ausgewiesen. Zusätzlich zu den dort für Standardtypen wiedergegebenen Werten gelten für Sonderfälle folgende Ansätze:

- 2+1 Querschnitt 12.900 €/km und Jahr
- Straßentunnel mit 2 Röhren + 2 Fahrstreifen je Röhre: 255.600 €/km und Jahr
- Straßentunnel mit 2 Röhren + 3 Fahrstreifen je Röhre: 291.400 €/km und Jahr
- Straßentunnel mit 1 Röhre + 2 Fahrstreifen: 168.700 €/km und Jahr

Die Berechnung der Nutzenkomponente NW2 folgt bei Neubauprojekten der Formel:

$$NW2 = \sum_{Typ} KI_{(Typ)} \times l_{(Typ)}$$

Es bedeuten:

KI Kosten der Instandhaltung [€/km und Jahr]

Typ Index der Typengruppe des Projekt-Straßenquerschnittes

l Länge der Projektstrecke [km]

Bei Ausbauprojekten wird NW2 aus der Differenz zwischen den Unterhaltungskosten für die Projektstrecke im Plan- und im Vergleichsfall gebildet.

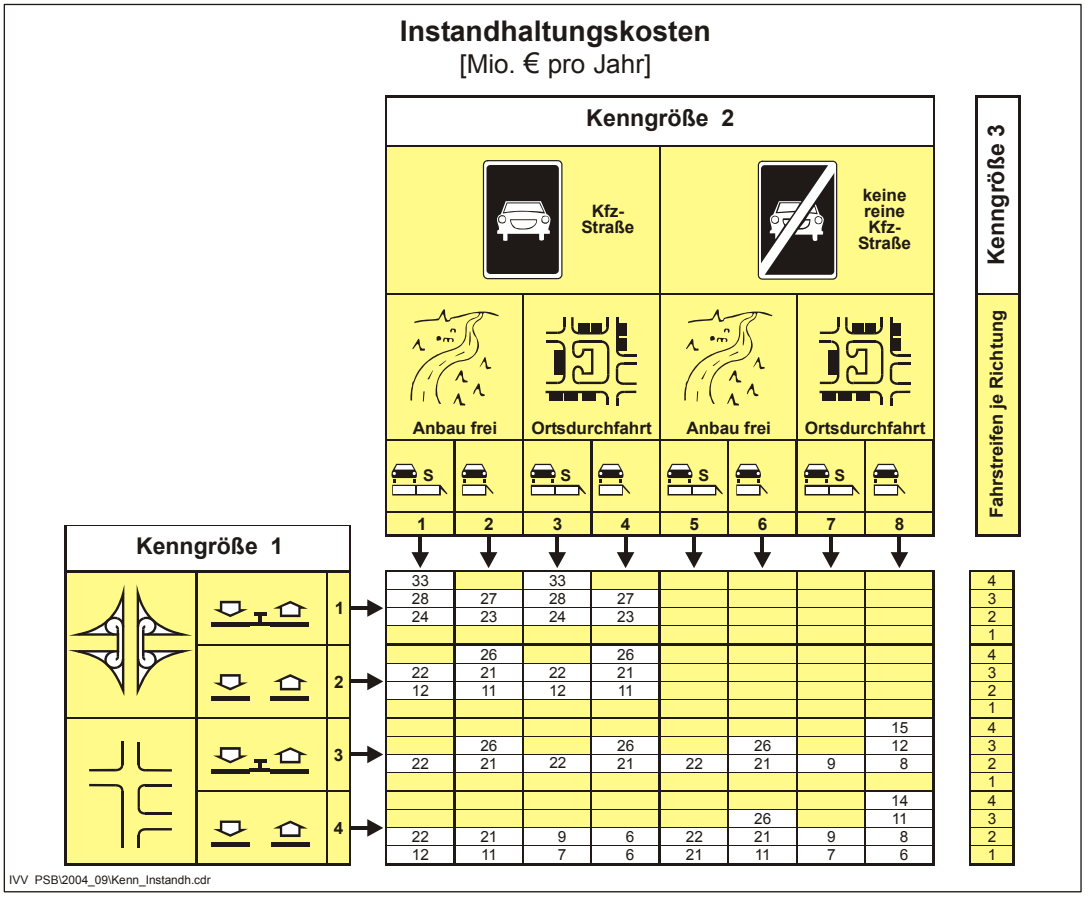


Abbildung 78: Instandhaltungskosten für Straßen je Querschnittstyp

2.3 Erhöhung der Verkehrssicherheit (NS)

Die erwogenen Straßenbauprojekte tragen in der Regel zur Senkung der gesamtwirtschaftlichen Unfallkosten bei, indem mehr Fahrleistungen über Straßen mit höherem Sicherheitsstandard abgewickelt werden.

Die Veränderung der Unfallkosten wird mit der Nutzenkomponente NS quantifiziert. Bei den Berechnungen wird nach Unfällen mit Personen- und mit Sachschäden unterschieden. Eine Begrenzung der in die Bewertung einbezogenen Unfalltypen (z.B. nur Unfälle mit größeren Sachschäden) erfolgt nicht.

Die eingesparten Unfallkosten ergeben sich aus der Differenz der Unfallkosten im Vergleichsfall und im Planfall. Sie werden quantifiziert, indem für alle Wirkungsstrecken Unfallrisikopotentiale abgeleitet und mit Unfallkostensätzen multipliziert werden. Hierbei sind die Unfallrisikopotentiale das Produkt aus Verkehrsleistungen und spezifischen Unfallraten.

Die bei der Bewertung genutzten Unfallraten- und Unfallkostensätze sind nach Straßentypen und Unfallarten (Personenschäden, Sachschäden) differenziert. Sie wurden in der Untersuchung [16] recherchiert und sind in der Abbildung 79 bis Abbildung 81 wiedergegeben.

Die von den Standardtypen abweichenden Unfallraten für Tunnelstrecken zeigt die Tabelle in Abbildung 81.

Für den Sonderquerschnitt 2+1 gelten darüber hinaus folgende Unfallraten:

- Unfälle mit Personenschäden : 0,187 Unfälle/Mio. km
- Unfälle mit Sachschäden : 0,583 Unfälle/Mio. km

Die ermittelten Unfallrisikopotentiale werden mit Hilfe mittlerer Unfallkosten [16] in jährliche Nutzen umgesetzt.

Die Kosten je Unfall sind wiederum nach Streckentypen und Unfallarten, analog zu den Unfallraten, differenziert. Sie sind in der Abbildung 82 bis Abbildung 84 wiedergegeben.

Für den Sonderquerschnitt 2+1 gelten abweichend folgende mittlere Unfallkosten:

- Unfälle mit Personenschäden : 127.800 €/Unfall
- Unfälle mit Sachschäden : 5.800 €/Unfall

Formelmäßig stellt die sich Berechnung der Nutzen aus der Erhöhung der Verkehrssicherheit wie folgt dar:

$$NS = \sum_{s} \sum_{Typ} \sum_{UT} \Delta FL_{(s,Typ)} \times UR_{(UT)} \times UKR_{(UT)}$$

Es bedeuten:

s	Index für den Straßenabschnitt / die Strecke
Typ	Index der Typengruppe des Straßenquerschnittes
UT	Index Unfalltyp
ΔFL	Fahrleistungsdifferenz Planfall zu Vergleichsfall [Kfzkm/a]
UR	Unfallrate [Unfälle je 10^6 Kfzkm/a]
UKR	Unfallkostenrate [€/Unfall]

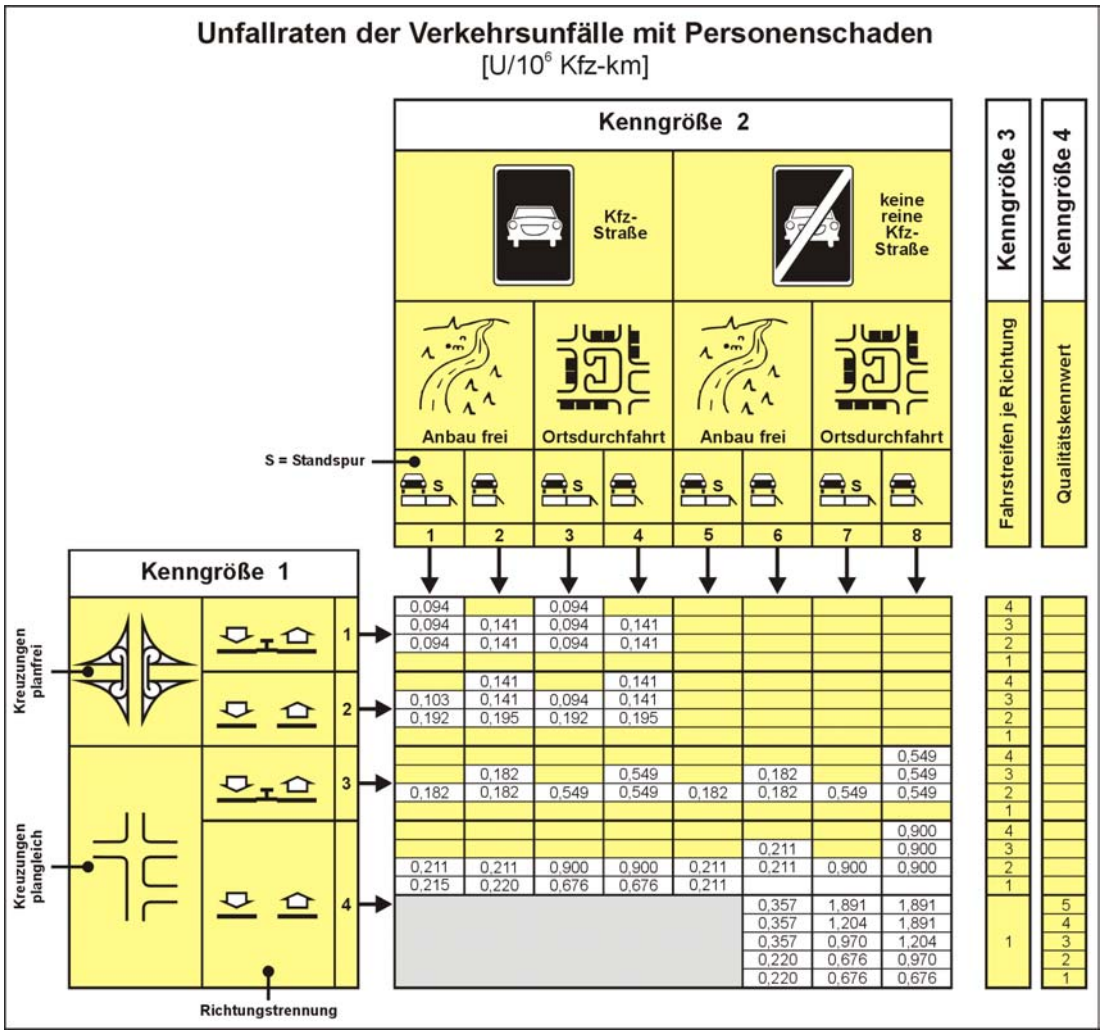


Abbildung 79: Unfallraten der Verkehrsunfälle mit Personenschäden je Streckentyp

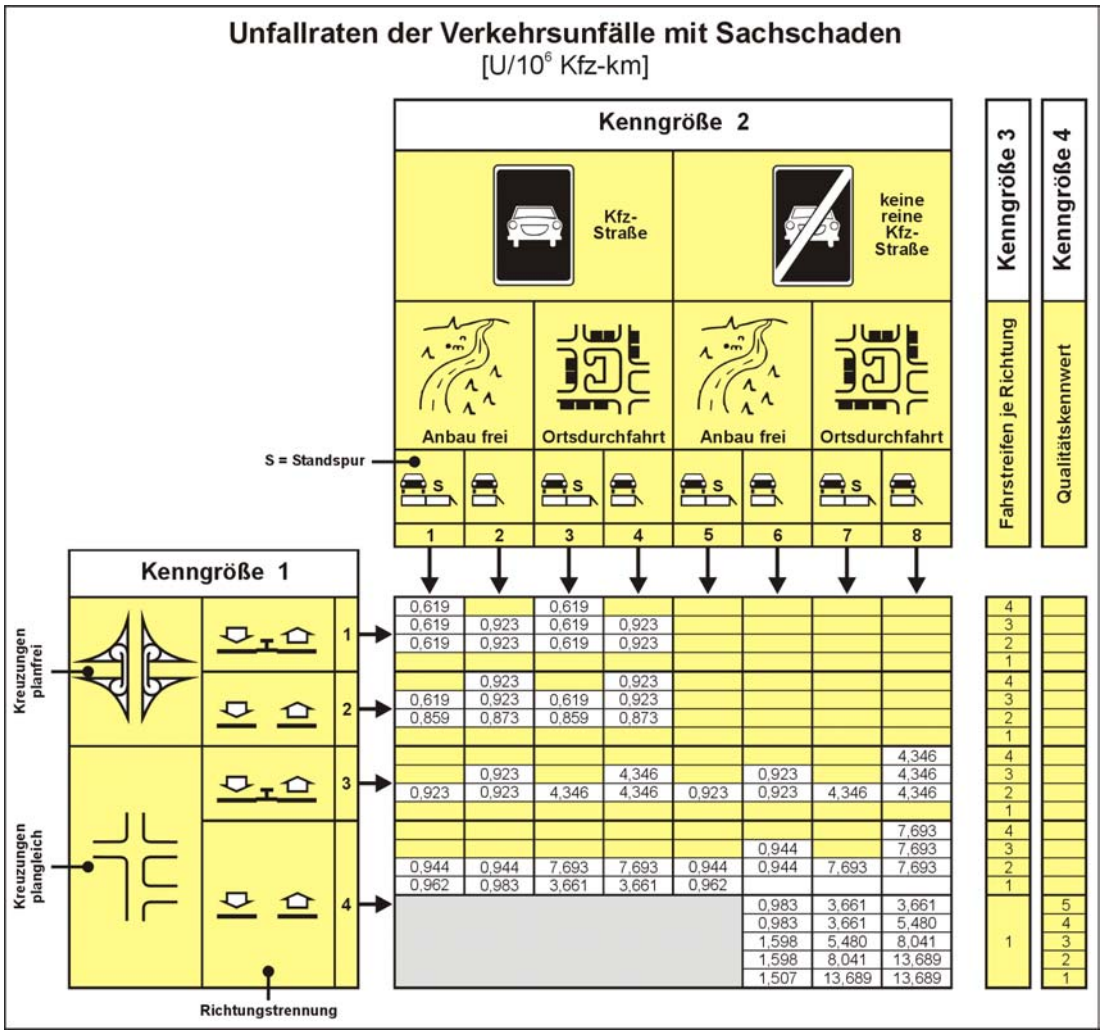


Abbildung 80: Unfallraten der Verkehrsunfälle mit Sachschäden je Streckentyp

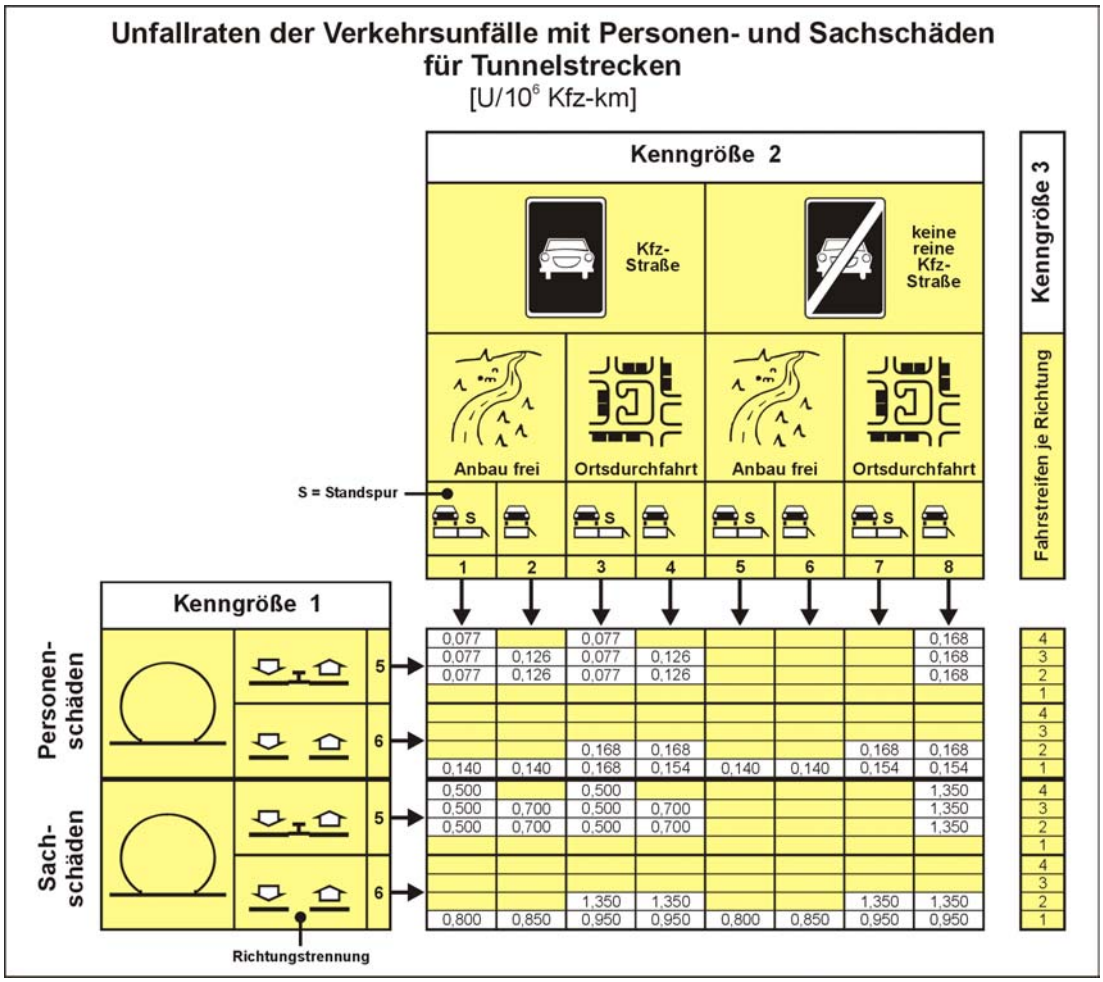


Abbildung 81: Unfallraten der Verkehrsunfälle mit Personen- und Sachschäden für Tunnelstrecken

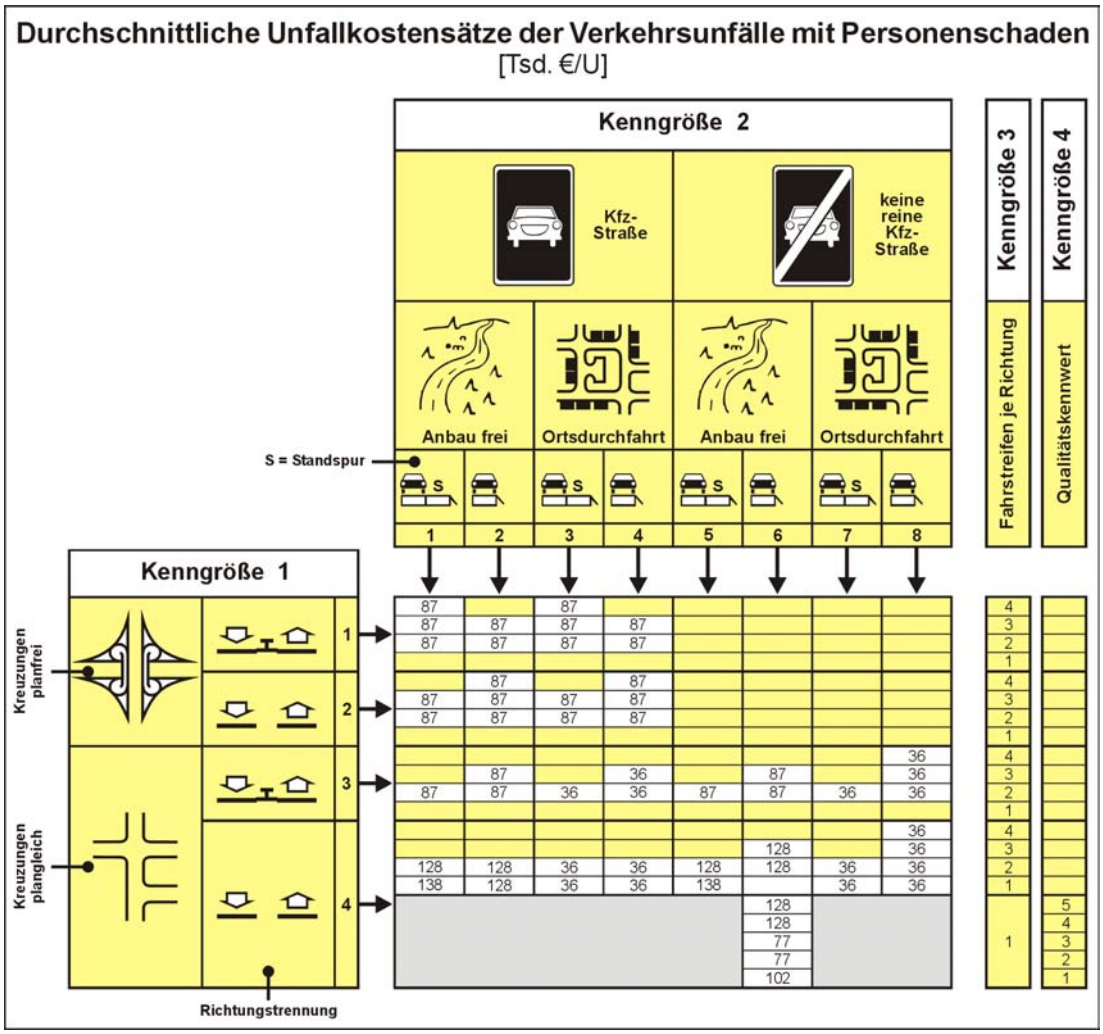


Abbildung 82: Durchschnittliche Unfallkostensätze für Verkehrsunfälle mit Personenschäden je Streckentyp

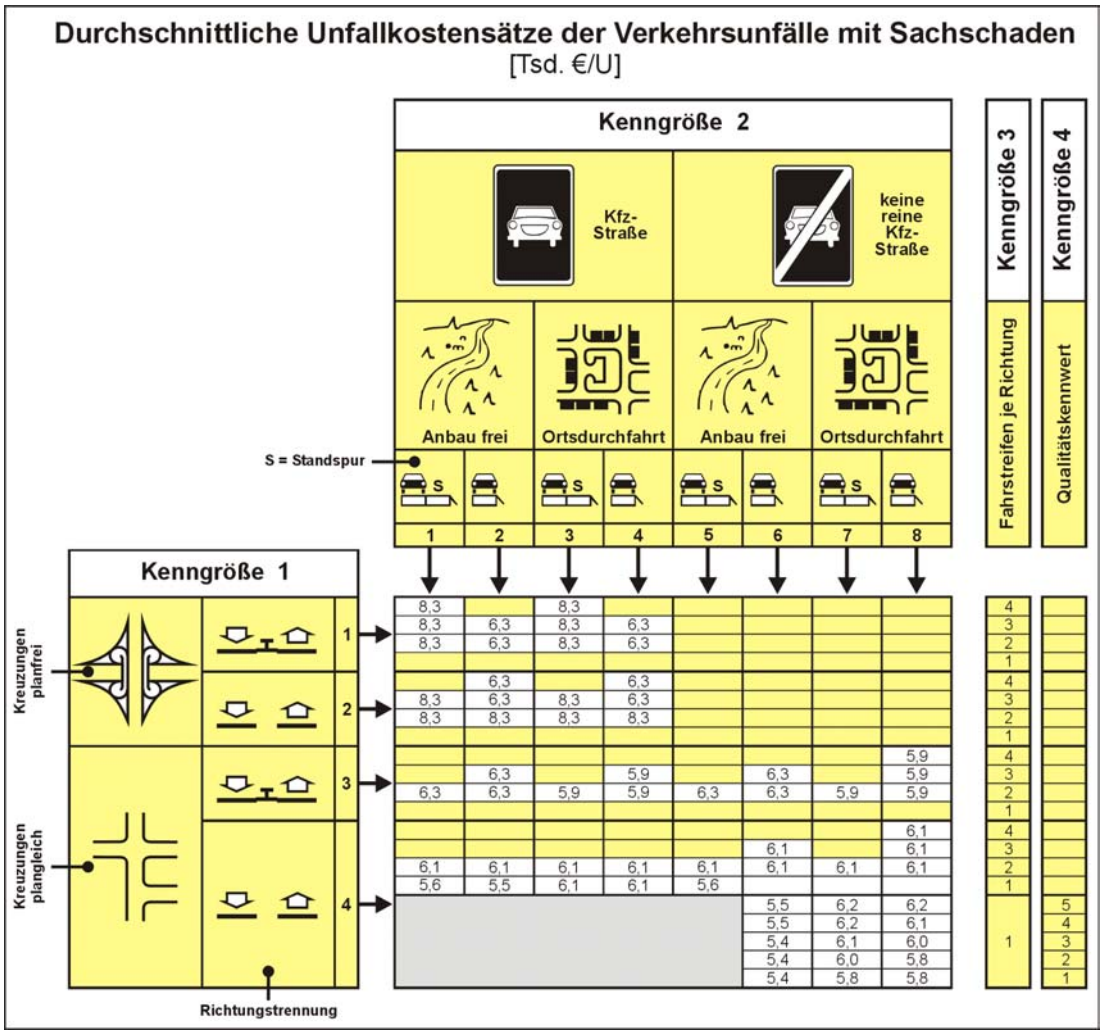


Abbildung 83: Durchschnittliche Unfallkostensätze für Verkehrsunfälle mit Sachschäden je Streckentyp

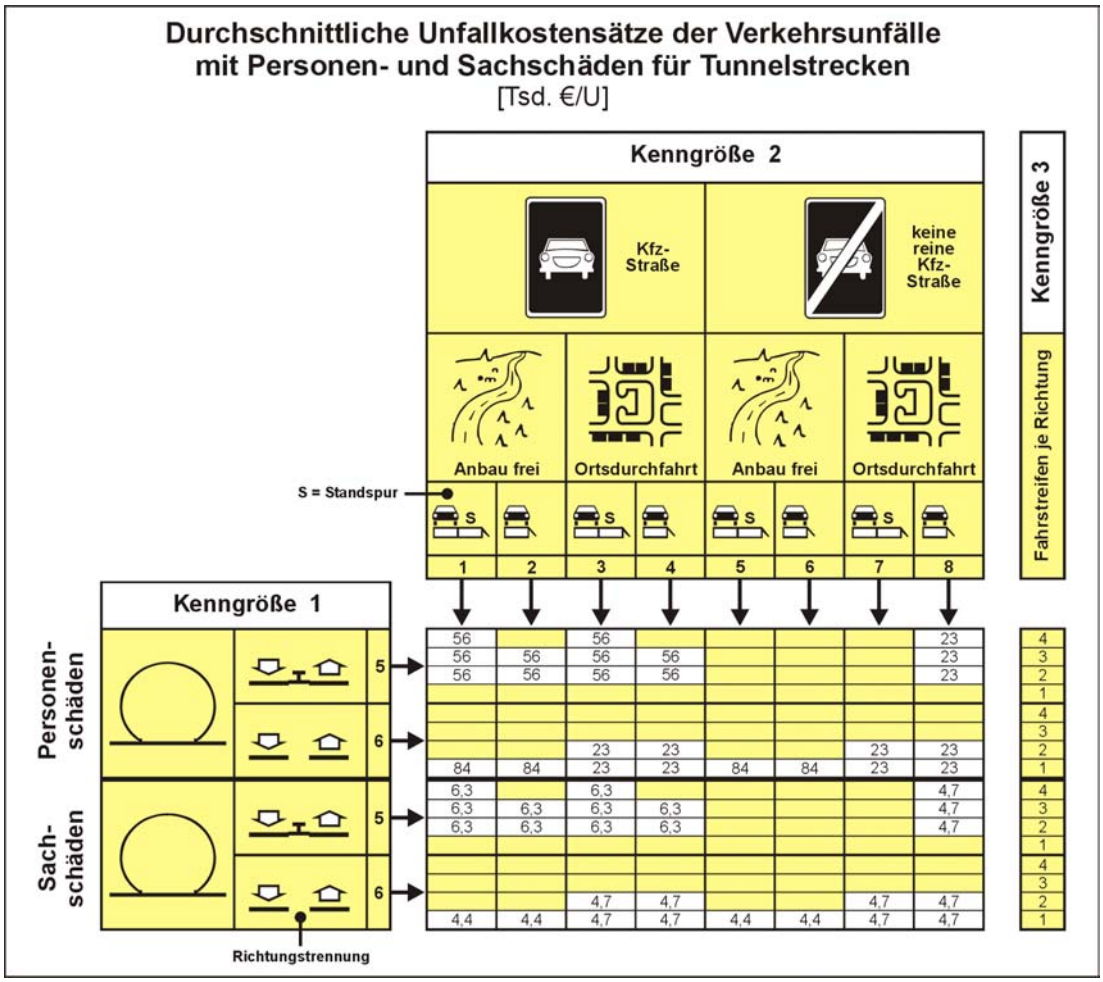


Abbildung 84: Durchschnittliche Unfallkostensätze für Verkehrsunfälle mit Personen- und Sachschäden auf Tunnelstrecken

2.4 Verbesserung der Erreichbarkeit von Fahrtzielen (NE)

Die projektbedingten Fahrzeitverkürzungen führen auch bei Privatfahrten zu Zeitvorteilen und damit zu (fiktiven) Kosteneinsparungen. Diese werden in Form von Personenzeitkosten in der Nutzen-Komponente **NE** berücksichtigt. Die Nutzenermittlung erfolgt durch Multiplikation der zu erwartenden Zeitvorteile mit Personenzeitkosten.

Die projektbedingten Zeitvorteile ergeben sich aus der Differenz der Fahrzeiten im Plan- und im Vergleichsfall. Hierbei werden die Personenfahrten aus den Pkw- bzw. Bus-Fahrten unter Nutzung der Besetzungsgrade im Personenverkehr (siehe Kapitel 1.7) berechnet.

Die Personenzeitkosten entstammen der Untersuchung [16]. Der bei der Nutzenermittlung in Ansatz gebrachte Kostensatz je Personenstunde beträgt **3,83 €/h**. Er ist

damit um ca. 30 % gegenüber dem üblichen Ansatz (5,47 €/h) gemindert, womit ein Abschlag zur Berücksichtigung nicht relevanter Zeitanteile erfolgt. Der Anteil des privaten Verkehrs am gesamten Personenverkehr wird mit 69 % angenommen (gewerblicher Verkehr = 31 %).

Die Berechnung der Nutzen aus der Verbesserung der Erreichbarkeit stellt sich formelmäßig wie folgt dar:

$$NE = \sum_{s} \Delta t_{Priv(s)} \times ZKS$$

Es bedeuten:

s Index für den Straßenabschnitt/die Strecke

Δt_{Priv} Fahrzeitdifferenz im Personenverkehr Planfall zu Vergleichsfall [Pers.h/a]

ZKS Personenzeitkosten im privaten Verkehr [€/h]

2.5 Räumliche Vorteile (NR)

Siehe Teil II, Kapitel 5

2.6 Entlastung der Umwelt (NU)

2.6.1 Verminderung von Geräuschbelastungen (NU1)

2.6.1.1 Geräuschbelastungen innerorts (NU1a)

Durch den Neubau von Ortsumgehungen oder anderer Netzergänzungen werden in der Regel angebaute Verkehrsstraßen entlastet. Die hieraus resultierende Lärmminderung wird in der Bewertung mit der Nutzenkomponente NU1a berücksichtigt.

In die Nutzenberechnungen fließen alle Wirkungsstrecken ein, deren nächtliche Verkehrsbelastung zu einer Überschreitung des Zielpegels von 37 dB (A) (äquivalenter Dauerschallpegel) führt und bei dem darüber hinaus der Unterschied zwischen Vergleichs- und Planfall mehr als 2 dB (A) beträgt.

Die äquivalenten Dauerschallpegel werden für alle Wirkungsstrecken im Vergleichs- und Planfall berechnet, mit Lautheitsgewichten gewichtet und anschließend mit der Anzahl der betroffenen Einwohner verknüpft. Die Monetarisierung der berechneten Lärmminderungen erfolgt mit Hilfe von Zahlungsbereitschaften der Einwohner. Diese sind zu 54,71 € je betroffenem Einwohner und Jahr für den Fall „wenig Lärm“ (= Schallpegel nachts < 37 dB (A)) festgesetzt.

Die Berechnungen werden im Einzelnen wie folgt durchgeführt:

Mittelungspegel:

$$L_{eq(s)} = 10 \times \lg Q_{N(s)} + b_{(SM)}$$

Es bedeuten:

s	Index Strecken
L_{eq}	Äquivalenter Dauerschallpegel
Q_N	Nächtliche Verkehrsstärke DTVges × 0,014 für plangleiche Stadtautobahnen DTVges × 0,011 für sonstige Straßen
$b_{(SM)}$	Koeffizient zur Berücksichtigung der Siedlungsform (Stadtmodellbaustein), siehe Abbildung 85
SM	Stadtmodellbaustein

Pegelminderung für hintere Gebäudereihen

$$L_{n(s)} = L_{eq(s)} - dl_{n(SM)}$$

Es bedeuten:

L_{eq}	Äquivalenter Dauerschallpegel
L_n	geminderter Pegel für die n-te Reihe
$dl_{n(SM)}$	Pegelminderung, nach Stadtmodellbausteinen differenziert, siehe Abbildung 86
SM	Stadtmodellbaustein

Einwohner-Gleichwerte

$$EG(s) = \sum_{SM} \sum_{n} (L_{n(s)} - Lz) \times g_n \times E_{s,SM,n} \times l_{(SM)}$$

Es bedeuten:

EG	Einwohnergleichwerte
s	Index Strecken
SM	Stadtmodellbaustein
Lz	Zielpegel nachts = 37 dB (A)

L_n Schallpegel in der n-ten Gebäudereihe

g_n Lautheitsgewicht in der n-ten Gebäudereihe = $2^{(0,1 \times Ln)}$

E Anzahl der Einwohner pro km

l Länge des Stadtmodellabschnittes

n Index für die Bebauungsreihe

$$NU1a = \sum_s EG_{(s)} \times W_L$$

Es bedeuten:

EG Einwohnergleichwerte

W_L Zahlungsbereitschaft „Nachtlärm“ (54,71 €/Einwohnergleichwert)

Geschlossene Bauweise							
Straßen-raum-breite	Geschoss-klasse	Koeffizient (b) Stadtmodellbaustein			Pegelminderung 1. Baureihe		
		1-streifig	mehrstreifig	planfrei	1-streifig	mehrstreifig	planfrei
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]
10	0	46,1	0,0	0,0	23	0	0
20	0	42,0	48,8	51,2	20	21	21
30	0	39,2	46,0	48,4	19	20	20
40	0	36,8	43,6	46,0	18	18	19
50	0	35,2	41,4	43,8	17	17	17
60	0	33,7	39,8	42,2	15	15	15
70	0	32,4	38,6	41,0	14	14	14
80	0	31,1	37,9	40,3	13	13	13
10	1	46,1	0,0	0,0	23	0	0
20	1	42,0	48,8	51,2	20	21	21
30	1	39,2	46,0	48,4	19	20	20
40	1	36,8	43,6	46,0	18	18	19
50	1	35,2	41,4	43,8	17	17	17
60	1	33,7	39,8	42,2	15	15	15
70	1	32,4	38,6	41,0	14	14	14
80	1	31,1	37,9	40,3	13	13	13
10	2	46,4	0,0	0,0	23	0	0
20	2	42,3	49,0	51,6	20	21	21
30	2	39,5	46,2	48,8	19	20	20
40	2	37,1	43,8	46,4	18	18	19
50	2	35,5	41,6	44,2	17	17	17
60	2	34,0	40,0	42,6	15	15	15
70	2	32,7	38,8	41,4	14	14	14
80	2	31,4	38,1	40,7	13	13	13
10	3	46,6	0,0	0,0	23	0	0
20	3	42,5	49,2	51,8	20	21	21
30	3	39,7	46,4	49,0	19	20	20
40	3	37,3	44,0	46,6	18	18	19
50	3	35,7	41,8	44,4	17	17	17
60	3	34,2	40,2	42,8	15	15	15
70	3	32,9	39,0	41,6	14	14	14
80	3	31,6	38,3	40,9	13	13	13
10	4	46,9	0,0	0,0	23	0	0
20	4	42,8	49,4	52,5	20	21	21
30	4	40,0	46,6	49,7	19	20	20
40	4	37,6	44,2	47,3	18	18	19
50	4	36,0	42,0	45,1	17	17	17
60	4	34,5	40,4	43,5	15	15	15
70	4	33,2	39,2	42,3	14	14	14
80	4	31,9	38,5	41,6	13	13	13
10	5	47,1	0,0	0,0	23	0	0
20	5	43,0	49,6	52,7	20	21	21
30	5	40,2	46,8	49,9	19	20	20
40	5	37,8	44,4	47,5	18	18	19
50	5	36,2	42,2	45,3	17	17	17
60	5	34,7	40,6	43,7	15	15	15
70	5	33,4	39,4	42,5	14	14	14
80	5	32,1	38,7	41,8	13	13	13

Abbildung 85: Koeffizienten b zur Differenzierung der Berechnung des Mittelungspegels nach Stadtmodellbausteinen

Offene Bauweise										
Straßen-raum-breite	Geschoss-klasse	Koeffizient (b) Stadtmodellbaustein, geschlossen Bebauung			Pegelminderung, 1.Reihe			2. Reihe	3.Reihe	4.Reihe
		1-streifig	mehrstreifig	planfrei	1-streifig	mehrstreifig	planfrei			
[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]
10	0	42,9	0,0	0,0	11	0	0	16	18	20
20	0	39,6	46,4	48,1	9	10	11	14	16	17
30	0	37,7	44,0	45,9	9	9	10	13	15	16
40	0	36,0	41,8	44,2	8	8	9	12	14	15
50	0	34,5	40,0	42,7	7	7	7	11	13	14
60	0	33,1	38,9	41,4	6	6	6	10	12	13
70	0	31,8	37,6	40,4	5	5	5	9	11	12
80	0	30,6	37,0	39,6	5	5	5	8	10	12
10	1	42,9	0,0	0,0	11	0	0	16	18	20
20	1	39,6	46,4	48,1	9	10	11	14	16	17
30	1	37,7	44,0	45,9	9	9	10	13	15	16
40	1	36,0	41,8	44,2	8	8	9	12	14	15
50	1	34,5	40,0	42,7	7	7	7	11	13	14
60	1	33,1	38,6	41,4	6	6	6	10	12	13
70	1	31,8	37,6	40,4	5	5	5	9	11	12
80	1	30,6	37,0	39,6	5	5	5	8	10	12
10	2	42,8	0,0	0,0	11	0	0	16	18	20
20	2	39,9	46,6	48,3	9	10	11	14	16	17
30	2	37,7	44,2	46,1	9	9	10	13	15	16
40	2	36,0	42,0	44,2	8	8	9	12	14	15
50	2	34,6	40,2	42,5	7	7	7	11	13	14
60	2	33,3	38,8	41,0	6	6	6	10	12	13
70	2	32,0	37,8	40,0	5	5	5	9	11	12
80	2	30,8	37,2	39,2	5	5	5	8	10	12
10	3	43,4	0,0	0,0	11	0	0	16	18	20
20	3	40,4	46,9	48,6	9	10	11	14	16	17
30	3	38,2	44,5	46,5	9	9	10	13	15	16
40	3	36,5	42,3	44,7	8	8	9	12	14	15
50	3	35,0	40,5	43,2	7	7	7	11	13	14
60	3	33,6	39,1	41,9	6	6	6	10	12	13
70	3	32,3	38,1	40,9	5	5	5	9	11	12
80	3	31,3	37,1	40,1	5	5	5	8	10	12
10	4	43,7	0,0	0,0	11	0	0	16	18	20
20	4	40,4	47,2	48,9	9	10	11	14	16	17
30	4	38,6	44,8	46,7	9	9	10	13	15	16
40	4	36,8	42,6	45,0	8	8	9	12	14	15
50	4	35,3	40,8	43,5	7	7	7	11	13	14
60	4	33,9	39,4	42,2	6	6	6	10	12	13
70	4	32,6	38,4	41,3	5	5	5	9	11	12
80	4	31,6	37,6	40,7	5	5	5	8	10	12
10	5	43,9	0,0	0,0	11	0	0	16	18	20
20	5	40,6	47,4	49,1	9	10	11	14	16	17
30	5	38,7	45,0	46,9	9	9	10	13	15	16
40	5	37,0	42,8	45,2	8	8	9	12	14	15
50	5	35,5	41,0	43,7	7	7	7	11	13	14
60	5	34,1	39,6	42,4	6	6	6	10	12	13
70	5	32,8	38,6	41,4	5	5	5	9	11	12
80	5	31,6	37,9	40,8	5	5	5	8	10	12

Abbildung 86: Annahmen zur Pegelminderung der hinteren Bebauungsreihen nach Stadtmodellbausteinen

2.6.1.2 Geräuschbelastung außerhalb geschlossener Ortschaften (NU1b)

Die Berechnung des Nutzens der Minderung von Geräuschbelastungen auf Außerortsstraßen wird – im Vergleich zu den Berechnungen für Innerortsstraßen – vereinfacht durchgeführt.

Als Zielpegel ist ein äquivalenter Dauerpegel tagsüber von 62 dB (A) in 100 Metern Entfernung vom Trassenrand definiert[13]. Ein Nutzen wird nur dann berechnet, wenn

13 Gewichteter Mittelwert der Gebietskategorien „Erholungsflächen und Schutzgebiete“ (Zielpegel 59 dB (A) und „Sonstige Freiflächen“ (Zielpegel 64 dB (A)).

der vorgenannte Zielpegel überschritten ist und die Differenz zwischen Plan- und Vergleichsfall mehr als 2 dB (A) beträgt.

Die Monetarisierung erfolgt mit Hilfe von Vermeidungskosten für den Bau von begrünten Steinwänden bzw. für aktive Schallschutzmaßnahmen. Die in Ansatz gebrachten Kosten entstammen einer spezifischen Untersuchung [22] und sind in Abbildung 87 wiedergegeben.

$$NU1b = \sum_{s} (L_{eq(s)} - Lz_{AO}) \times W_{LAO} \times a_n \times l_{(s)}$$

mit

$$L_{eq(s)} = 37{,}3 + 10 \times \lg\,(Q \times (1 + 0{,}082 \times GV / DTV)) - 3{,}65$$

Es bedeuten:

L_{eq}	Äquivalenter Dauerschallpegel
Lz_{AO}	Zielpegel außerorts = 62 dB (a)
W_{LAO}	Kosten für Lärmschutz, in Abhängigkeit der Lärmdifferenz L_{eq} – Lz [€/km]
l	Länge des Straßenabschnittes
a_n	Annuitätenfaktor für Lärmschutzwände (= 0,03887)
Q	Verkehrsmenge im Tagesverkehr
GV/DTV	Güterverkehrsanteil am Gesamttagesverkehr

Kosten und Geräuschminderung durch einen Lärmschutzwall an einer Autobahn		
Höhe der Lärmschutz-wand [m]	**Pegeldifferenz** [dB (A)]	**Kosten je lfd. Meter** [€]
1	0	310
2	–2,7	610
3	–6,9	920
4	–8,8	1.230
5	–10,7	1.530
6	–12,2	1.840
7	–13,3	2.150
8	–14,1	2.450
9	–14,7	2.760
10	–15,2	3.070
11	–15,6	3.370
12	–15,9	3.680

Abbildung 87: Kostenansätze für Lärmschutzmaßnahmen außerorts

2.6.2 Verminderung von Abgasbelastungen (NU2)

2.6.2.1 Methode und Emissionsfaktoren

Die Quantifizierung und Monetarisierung der Kfz-bedingten Abgasbelastungen gliedert sich in die Teile

- globale Emissionen (NU2a)
- innerörtliche Immissionen (NU2b)
- kanzerogene Schadstoffe (NU2c)
- Klimagase (NU2d)

Das Bewertungsverfahren wurde speziell für die BVWP 2003 entwickelt und ist in [36] beschrieben. Nachfolgend wird die in [36] ausführlich dokumentierte Vorgehensweise zusammenfassend dargestellt.

Die Bewertung erfolgt mit Hilfe unterschiedlicher Ansätze für die Berechnung der physikalischen Werte und für die Monetarisierung. Eine Zusammenstellung der jeweils gewählten Kriterien, Leitkomponenten, Bezugsräume und Bezugsgrößen enthält die Tabelle in Abbildung 88.

Bewertung	Physikalisch-numerischer Ansatz			Monetärer Ansatz		
	Bewertungskriterium	Leitkomponente	Bezugsraum	Typ	Kostenkriterium	Bezugsgröße
Globale Emissionen	Emission	NO_x-Äquivalent	global	Schadenskostensatz	Vegetationsschäden	t NO_x [NO_x-Äquivalent]
Innerörtl. Immissionen	Immission	NO_x	innerorts	Schadenskostensatz	Herz/Kreislaufleiden, Atemwegserkrankungen, Gebäudeschäden	Einwohnergleichwerte
Kanzerog. Schadstoffe	Immission	Benzol; Dieselruß, PAK	innerorts	Schadenskostensatz	Krebsleiden	Krankheitsfälle
Klimagase	Emission	CO_2	global	Vermeidungskostensatz	Klimaschäden	t CO_2

Abbildung 88: Zusammenstellung der Bewertungsansätze zur Bestimmung der Nutzenkomponente NU2

Die Emissionen des jeweils betrachteten Netzes werden aus dem Verkehrsmengengerüst und den relevanten Abgasemissionskoeffizienten abgeleitet. Die Berechnung erfolgt differenziert nach 8 Fahrzeuggruppen. Die jeweils maßgebenden Emissionskoeffizienten sind dabei nach Verkehrszuständen differenziert, die durch den Streckentyp und die jeweilige Verkehrsstärke bestimmt werden.

In die Berechnung der innerörtlichen Immissionen werden die Zuordnungen der einzelnen Strecken zu Stadtmodellbausteinen einbezogen. Zusätzlich fließen in die Ermittlungen die in der jeweiligen Region (Bundesländer) vorherrschenden Windsituationen mit ein.

Emissionskoeffizienten

Es werden Immissionskoeffizienten für 19 Funktionstypen zugrunde gelegt. Die Fallunterscheidungen sind in Abbildung 89 definiert. Hieraus geht hervor, dass nach folgenden Funktionshauptgruppen unterschieden wird:

- Autobahn ohne Tempolimit (AB > 120)
- Autobahnen, Tempo 120 (AB – 120)
- Außerortsstraßen (AO)
- Innerorts-Hauptverkehrsstraßen, Tempolimit > 50 (IO-HVS > 50)
- Innerorts-Hauptverkehrsstraßen, vorfahrtsberechtigt Tempolimit (IO-HVS)
- Innerortsstraßen Hauptverkehrsstraßen mit Lichtsignalanlage (IO-LSA)

Zusätzlich werden die Funktionshaupttypen in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke Q weiter untergliedert, wobei folgende Verkehrssituationen definiert sind:

- frei- bzw. ohne Störung: $Q_F = 0{,}65 \times Q_{Stau}$
- teilgebunden bzw. mittlere Störung: $Q_{TG} > 0{,}65 \times Q_{Stau}$ und $< 0{,}85 \times Q_{Stau}$
- gebunden bzw. starke Störung: $Q_G > 0{,}85 \times Q_{Stau}$ und $< 1{,}00 \times Q_{Stau}$
- Stau: $Q_S > Q_{Stau}$

Die nach Funktionstypen und Verkehrssituationen auf der Grundlage von INFRAS 1999 [37] für die BVWP 2003 abgeleiteten Koeffizienten sind in der Abbildung 90 bis Abbildung 93 dokumentiert, und zwar:

- Pkw mit Ottomotoren (PO): Abbildung 90
- Pkw mit Dieselmotoren (PD): Abbildung 90
- Lkw < 3,5t zGG (LN): Abbildung 91
- Lkw ≥3,5t zGG (ohne Anhänger) (LS): Abbildung 91
- Lkw ≥3,5t zGG (mit Anhänger) (ZL): Abbildung 92
- Sattelzüge mit Auflieger (ZS): Abbildung 92
- Reisebusse (BR): Abbildung 93
- Linienbusse (BL): Abbildung 93

Die in den Abbildungen ausgewiesenen Koeffizienten haben die Dimension: g/km und beziehen sich auf folgende Abgaskomponenten:

- Kohlenmonoxid (CO)
- Organische Verbindungen (HC)
- Stickstoffoxid (NO_X)
- Schwefeldioxid (SO_2)
- Kohlendioxid (CO_2)
- Benzol
- Ruß
- Benzol (a) Pyren (B(a)P)
- Staub

Bei den Emissionskoeffizienten wurde für die innerörtlichen Verkehre ein Kaltstartzuschlag für eine mittlere Umgebungstemperatur, eine mittlere Fahrtlängenverteilung sowie eine mittlere Standzeitenverteilung berücksichtigt. Der Einfluss der

Längsneigung blieb bei allen Fahrzeugkategorien unberücksichtigt. Die Emissionsfaktoren für Dieselruß wurden aus den Partikelemissionsfaktoren abgeleitet. Dabei wurde der Rußanteil (elementarer Kohlenstoff) vereinfachend für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge mit 60 % und für schwere Nutzfahrzeuge mit 40 % der Partikelemissionen angesetzt. Als Leitkomponente für die Stoffgruppe PAK wird Benzol (a) Pyren betrachtet.

	Verkehrssituation			
Funktionstyp	frei (f)	teilgebunden (tg)	Gebundener (g)	Stau
1	AO_1	AO_2	AO_2	AO_Stop+Go
2	AB_120	AB_120	AB_120	AB_Stop+Go
3	AB>120	AB>120	AB>120	AB_Stop+Go
4	AB>120	AB>120	AB>120	AB_Stop+Go
5	AO_1	AO_2	AO_2	AO_Stop+Go
6	AO_1	AO_2	AO_2	AO_Stop+Go
7	AO_1	AO_2	AO_2	AO_Stop+Go
8	AO_1	AO_2	AO_2	AO_Stop+Go
9	IO_HVS>50_1	IO_HVS>50_2	IO_HVS>50_2	IO_Stop+Go
10	IO_HVS_2	IO_HVS_3	IO_HVS_3	IO_Stop+Go
11	IO_HVS>50_1	IO_HVS>50_2	IO_HVS>50_2	IO_Stop+Go
12	IO_HVS>50_1	IO_HVS>50_2	IO_HVS>50_2	IO_Stop+Go
13	IO_HVS>50_1	IO_HVS>50_2	IO_HVS>50_2	IO_Stop+Go
14	IO_HVS_2	IO_HVS_3	IO_HVS_3	IO_Stop+Go
15	IO_LSA_1	IO_LSA_2	IO_LSA_2	IO_Stop+Go
16	IO_LSA_1	IO_LSA_2	IO_LSA_2	IO_Stop+Go
17	IO_HVS>50_1	IO_HVS>50_2	IO_HVS>50_2	IO_Stop+Go
18	IO_HVS>50_1	IO_HVS>50_2	IO_HVS>50_2	IO_Stop+Go
19	IO_HVS>50_1	IO_HVS>50_2	IO_HVS>50_2	IO_Stop+Go

Abbildung 89: Geschwindigkeitsfunktionen und zugehörige Verkehrssituationen

Verkehrs-situation	CO [g/km]	CH [g/km]	NO_x [g/km]	SO_2 [g/km]	CO_2 [g/km]	Benzol [g/km]	Ruß [g/km]	B(a)P [µg/km]	Staub [g/km]
Pkw mit Ottomotoren (PO)									
IO_STOP+GO	4,7372	0,3055	0,1561	0,0161	562,8277	0,0142	0	0,5194	0
IO_LSA_1	1,4641	0,1225	0,1044	0,0051	179,2776	0,0050	0	0,2083	0
IO_LSA_2	1,8343	0,1492	0,1096	0,0059	207,2614	0,0062	0	0,2536	0
IO_LSA_3	2,0304	0,1640	0,1125	0,0064	223,6186	0,0068	0	0,2788	0
IO_HVS_2	1,2985	0,1135	0,1021	0,0048	167,2134	0,0047	0	0,2323	0
IO_HVS_3	1,4729	0,1248	0,1044	0,0051	179,2725	0,0051	0	0,2516	0
IO_HVS_4	1,6513	0,1369	0,1067	0,0055	191,4147	0,0056	0	0,2327	0
IO_HVS>50_1	1,0890	0,0986	0,0936	0,0041	143,7160	0,0040	0	0,2070	0
IO_HVS>50_2	1,2669	0,1113	0,1008	0,0047	163,6931	0,0046	0	0,2287	0
IO_HVS>50_3	1,5132	0,1291	0,1048	0,0052	181,8254	0,0053	0	0,2575	0
AO_STOP+GO	3,7406	0,2457	0,1201	0,0154	538,1418	0,0125	0	0,4177	0
AO_1	0,9808	0,0663	0,0845	0,0039	134,6389	0,0030	0	0,2187	0
AO_2	0,9143	0,0680	0,0764	0,0038	133,3256	0,0030	0	0,2246	0
AO_3	1,0674	0,0773	0,0875	0,0041	141,6883	0,0035	0	0,2551	0
AB_STOP+GO	3,5292	0,1726	0,1191	0,0105	367,8339	0,0091	0	0,5695	0
AB_120	1,6151	0,0537	0,2010	0,0045	156,4215	0,0027	0	0,1774	0
AB>120	2,4422	0,0670	0,2541	0,0051	178,6357	0,0034	0	0,2212	0
AB_120_GEB.	0,6525	0,0356	0,0806	0,0028	97,1707	0,0017	0	0,1173	0
AB>120_GEB.	0,6525	0,0356	0,0806	0,0028	97,1707	0,0017	0	0,1173	0
Pkw mit Dieselmotoren (PD)									
IO_STOP+GO	0,8968	0,1424	0,5041	0,0062	247,6389	0,0027	0,0379	4,1876	0,0631
IO_LSA_1	0,3030	0,0519	0,2670	0,0036	144,7109	0,0010	0,0144	1,5247	0,0241
IO_LSA_2	0,3823	0,0663	0,3114	0,0042	164,9150	0,0013	0,0145	1,9498	0,0241
IO_LSA_3	0,4236	0,0738	0,3375	0,0045	176,8567	0,0068	0,0153	2,1701	0,0255
IO_HVS_2	0,2637	0,0447	0,2479	0,0034	136,0972	0,0014	0,0152	1,3134	0,0254
IO_HVS_3	0,3030	0,0519	0,2670	0,0036	144,7109	0,0008	0,0144	1,5247	0,0241
IO_HVS_4	0,3423	0,0590	0,2862	0,0039	153,3246	0,0010	0,0137	1,7360	0,0228
IO_HVS>50_1	0,1943	0,0358	0,2030	0,0030	117,7755	0,0011	0,0194	1,0528	0,0323
IO_HVS>50_2	0,2533	0,0433	0,2411	0,0034	133,3489	0,0007	0,0158	1,2743	0,0264
IO_HVS>50_3	0,3109	0,0533	0,2709	0,0037	146,4336	0,0008	0,0143	1,5670	0,0238
AO_STOP+GO	0,8969	0,1424	0,5041	0,0062	247,6389	0,0010	0,0379	4,1876	0,0342
AO_1	0,1280	0,0205	0,2072	0,0029	115,3225	0,0027	0,0074	0,6698	0,0124
AO_2	0,1491	0,0238	0,1994	0,0028	111,8368	0,0005	0,0112	0,7774	0,0186
AO_3	0,1608	0,0274	0,1907	0,0029	114,3929	0,0005	0,0149	0,8946	0,0248
AB_STOP+GO	0,4996	0,0681	0,2924	0,0036	143,8111	0,0013	0,0205	2,2200	0,0342
AB_120	0,1435	0,0210	0,2629	0,0037	147,6979	0,0004	0,0187	0,6856	0,0311
AB>120	0,1560	0,0223	0,2618	0,0039	155,1283	0,0004	0,0212	0,7273	0,0353
AB_120_GEB.	0,1096	0,0173	0,2025	0,0028	110,7948	0,0003	0,0075	0,5647	0,0124
AB>120_GEB.	0,1096	0,0173	0,2025	0,0028	110,7948	0,0003	0,0075	0,5647	0,0124

Abbildung 90: Abgasemissionskoeffizienten der ottobetriebenen Pkw (PO) und der dieselbetriebenen Pkw (PD) in Deutschland im Bezugsjahr 2015

Verkehrs-situation	CO [g/km]	CH [g/km]	NO_x [g/km]	SO_2 [g/km]	CO_2 [g/km]	Benzol [g/km]	Ruß [g/km]	B(a)P [µg/km]	Staub [g/km]
Leichte Lkw (≤ 3,5t) LN									
IO_STOP+GO	1,6162	0,1777	0,6122	0,0116	449,2981	0,0058	0,0373	3,3116	0,0621
IO_LSA_1	0,3786	0,0554	0,3325	0,0061	239,8730	0,0013	0,0134	1,3323	0,0224
IO_LSA_2	0,4555	0,0681	0,3797	0,0070	272,6810	0,0016	0,0143	1,6119	0,0238
IO_LSA_3	0,4964	0,0751	0,4079	0,0075	292,2900	0,0018	0,0154	1,7629	0,0257
IO_HVS_2	0,3414	0,0495	0,3127	0,0058	226,0974	0,0012	0,0137	1,1993	0,0228
IO_HVS_3	0,3786	0,0554	0,3325	0,0061	239,8730	0,0013	0,0134	1,3323	0,0224
IO_HVS_4	0,4158	0,0613	0,3524	0,0065	253,6486	0,0015	0,0132	1,4653	0,0220
IO_HVS>50_1	0,3073	0,0407	0,2821	0,0051	198,8436	0,0009	0,0174	1,0055	0,0290
IO_HVS>50_2	0,3363	0,0482	0,3081	0,0057	222,0093	0,0011	0,0143	1,1703	0,0238
IO_HVS>50_3	0,3860	0,0566	0,3365	0,0062	242,6281	0,0013	0,0134	1,3589	0,0223
AO_STOP+GO	1,2664	0,1378	0,5974	0,0108	418,3083	0,0046	0,0335	2,6432	0,0558
AO_1	0,2517	0,0222	0,2964	0,0052	202,9815	0,0005	0,0076	0,6487	0,0126
AO_2	0,2183	0,0242	0,2826	0,0049	193,4062	0,0006	0,0104	0,7164	0,0173
AO_3	0,2114	0,0265	0,2770	0,0049	190,6695	0,0006	0,0132	0,7799	0,0220
AB_STOP+GO	0,8099	0,0861	0,3744	0,0067	260,4436	0,0029	0,0213	1,8583	0,0355
AB_120	0,6954	0,0208	0,3902	0,0073	287,2806	0,0006	0,0195	0,5196	0,0326
AB>120	0,6954	0,0208	0,3902	0,0073	287,2806	0,0006	0,0195	0,5196	0,0326
AB_120_GEB.	0,1730	0,0203	0,2974	0,0049	191,5055	0,0005	0,0091	0,6027	0,0152
AB>120_GEB.	0,1730	0,0203	0,2974	0,0049	191,5055	0,0005	0,0091	0,6027	0,0152
Lkw ohne Anhänger (LS)									
IO_STOP+GO	2,2042	3,9948	4,9603	0,0478	1895,1122	0,0759	0,0698	117,4466	0,1745
IO_LSA_1	0,4753	0,7418	1,4003	0,0145	575,0598	0,0141	0,0149	21,8099	0,0373
IO_LSA_2	0,6946	1,1685	1,9285	0,0192	762,6900	0,0222	0,0223	34,3552	0,0557
IO_LSA_3	0,7810	1,3199	2,0648	0,0206	819,1327	0,0251	0,0248	38,8064	0,0621
IO_HVS_2	0,4399	0,6629	1,2716	0,0135	534,2155	0,0126	0,0136	19,4895	0,0339
IO_HVS_3	0,4753	0,7418	1,4003	0,0145	575,0598	0,0141	0,0149	21,8099	0,0373
IO_HVS_4	0,6030	1,0080	1,7840	0,0177	702,8265	0,0192	0,0196	29,6342	0,0489
IO_HVS>50_1	0,3709	0,5004	1,0643	0,0118	468,1775	0,0095	0,0111	14,7104	0,0277
IO_HVS>50_2	0,4452	0,6747	1,2909	0,0136	540,3422	0,0128	0,0138	19,8376	0,0344
IO_HVS>50_3	0,5195	0,8405	1,5612	0,0158	626,1153	0,0160	0,0167	24,7104	0,0417
AO_STOP+GO	2,2042	3,9948	4,9603	0,0478	1895,1122	0,0759	0,0698	117,4466	0,0175
AO_1	0,3439	0,3809	1,1442	0,0128	508,4094	0,0072	0,0102	12,4170	0,0256
AO_2	0,3451	0,4174	1,1140	0,0122	482,8168	0,0079	0,0106	13,6059	0,0264
AO_3	0,3741	0,4838	1,1483	0,0125	495,1170	0,0092	0,0112	15,7727	0,0279
AB_STOP+GO	2,3700	4,0369	5,6958	0,0515	2045,4450	0,0767	0,0715	131,6029	0,0179
AB_120	0,3340	0,3096	1,2981	0,0148	588,5100	0,0059	0,0100	10,0937	0,0250
AB>120	0,3340	0,3096	1,2981	0,0148	588,5100	0,0059	0,0100	10,0937	0,0250
AB_120_GEB.	0,3475	0,3520	1,2308	0,0140	533,7023	0,0067	0,0101	11,4756	0,0253
AB>120_GEB.	0,3475	0,3520	1,2308	0,0140	553,7023	0,0067	0,0101	11,4756	0,0253

Abbildung 91: Abgasemissionskoeffizienten der Lkw < 3,5t zGG (LN) und der Lkw≥ 3,5t zGG ohne Anhänger (LS) in Deutschland im Bezugsjahr 2015

Verkehrs-situation	CO [g/km]	CH [g/km]	NO_x [g/km]	SO_2 [g/km]	CO_2 [g/km]	Benzol [g/km]	Ruß [g/km]	B(a)P [µg/km]	Staub [g/km]
Lkw mit Anhänger (ZL)									
IO_STOP+GO	2,2541	3,6527	6,8792	0,0555	2201,4820	0,0694	0,0739	107,3901	0,1846
IO_LSA_1	0,5541	0,6869	2,5915	0,0247	980,1174	0,0131	0,0200	20,1950	0,0500
IO_LSA_2	0,7466	1,0635	3,3786	0,0304	1207,3759	0,0202	0,0268	31,2668	0,0671
IO_LSA_3	0,8169	1,1977	3,5181	0,0314	1248,1603	0,0228	0,0288	35,2130	0,0721
IO_HVS_2	0,5197	0,6176	2,3612	0,0230	913,9318	0,0117	0,0185	18,1579	0,0462
IO_HVS_3	0,5541	0,6869	2,5915	0,0247	980,1174	0,0131	0,0200	20,1950	0,0500
IO_HVS_4	0,6721	0,9211	3,2307	0,0293	1164,1197	0,0175	0,0247	27,0815	0,0618
IO_HVS>50_1	0,4508	0,4685	1,9304	0,0196	778,6250	0,0089	0,0159	13,7741	0,0396
IO_HVS>50_2	0,5249	0,6280	2,3957	0,0233	923,8596	0,0119	0,0187	18,4635	0,0468
IO_HVS>50_3	0,5971	0,7735	2,8794	0,0268	1062,8493	0,0147	0,0219	22,7414	0,0548
AO_STOP+GO	2,2541	3,6527	6,8792	0,0555	2201,4820	0,0694	0,0739	107,3901	0,1846
AO_1	0,4140	0,3522	1,7637	0,0181	720,3073	0,0067	0,0149	11,4801	0,0372
AO_2	0,4128	0,3789	1,7974	0,0181	717,4606	0,0072	0,0152	12,3523	0,0380
AO_3	0,4405	0,4468	1,9304	0,0195	773,6302	0,0085	0,0157	14,5668	0,0393
AB_STOP+GO	2,2792	3,6136	7,3973	0,0578	2294,1373	0,0687	0,0753	117,8044	0,1883
AB_120	0,3947	0,2914	1,8304	0,0199	789,0670	0,0055	0,0142	9,4990	0,0355
AB>120	0,3947	0,2914	1,8304	0,0199	789,0670	0,0055	0,0142	9,4990	0,0355
AB_120_GEB.	0,4079	0,3268	1,7863	0,0187	741,4211	0,0062	0,0144	10,6537	0,0360
AB>120_GEB.	0,4079	0,3268	1,7863	0,0187	741,1211	0,0062	0,0144	10,6537	0,0360
Sattelzüge (ZS)									
IO_STOP+GO	1,9139	2,9944	8,9383	0,0608	2412,4227	0,0569	0,0778	88,0340	0,1949
IO_LSA_1	0,4496	0,6201	3,1867	0,0295	1169,8233	0,0118	0,0019	18,2316	0,0482
IO_LSA_2	0,6266	0,9289	4,2292	0,0360	1427,7299	0,0176	0,0276	27,3102	0,0689
IO_LSA_3	0,7001	1,0341	4,4107	0,0370	1466,9651	0,0196	0,0304	30,4033	0,0759
IO_HVS_2	0,4233	0,5604	2,8797	0,0275	1090,4395	0,0106	0,0177	16,4748	0,0443
IO_HVS_3	0,4496	0,6201	3,1867	0,0295	1169,8233	0,0118	0,0193	18,2316	0,0482
IO_HVS_4	0,5486	0,8173	4,0366	0,0349	1386,1169	0,0155	0,0246	24,0296	0,0614
IO_HVS>50_1	0,3646	0,4388	2,3270	0,0234	930,1142	0,0083	0,0145	12,8997	0,0363
IO_HVS>50_2	0,4273	0,5693	2,9258	0,0278	1102,3471	0,0108	0,0179	16,7383	0,0449
IO_HVS>50_3	0,4824	0,6948	3,5704	0,0320	1269,0530	0,0132	0,0213	20,4276	0,0532
AO_STOP+GO	1,9139	2,9944	8,9383	0,0608	2412,4227	0,0569	0,0778	88,0340	0,1945
AO_1	0,3374	0,3497	2,0886	0,0214	848,5351	0,0066	0,0123	11,4000	0,0307
AO_2	0,3248	0,3748	2,1538	0,0214	849,4404	0,0071	0,0129	12,2195	0,3230
AO_3	0,3542	0,4231	2,2947	0,0230	912,2507	0,0080	0,0141	13,7931	0,3540
AB_STOP+GO	1,9001	2,9884	9,0986	0,0612	2429,8750	0,0568	0,0783	97,4216	0,1957
AB_120	0,3216	0,3218	2,0890	0,0232	921,1888	0,0059	0,0104	10,1696	0,0261
AB>120	0,3216	0,3218	2,0890	0,0232	922,1888	0,0059	0,0104	10,1696	0,0261
AB_120_GEB.	0,3498	0,3253	2,0406	0,0215	851,4011	0,0062	0,0116	10,6048	0,0290
AB>120_GEB.	0,3498	0,3253	2,0406	0,0215	851,4011	0,0062	0,0116	10,6048	0,0290

Abbildung 92: Abgasemissionskoeffizienten der Lkw ≥ 3,5t zGG mit Anhänger (ZL) und der Sattelzüge (ZS) in Deutschland im Bezugsjahr 2015

Verkehrs-situation	CO [g/km]	CH [g/km]	NO_x [g/km]	SO_2 [g/km]	CO_2 [g/km]	Benzol [g/km]	Ruß [g/km]	B(a)P [µg/km]	Staub [g/km]
					Reisebusse (BR)				
IO_STOP+GO	2,4900	3,8187	10,3626	0,0655	2598,4700	0,0726	0,0915	112,2689	0,2288
IO_LSA_1	0,5711	0,7988	3,0896	0,0227	902,3928	0,0152	0,0213	23,4861	0,0532
IO_LSA_2	0,9298	1,3120	4,4465	0,0310	1230,6852	0,0249	0,0338	38,5729	0,0845
IO_LSA_3	1,0631	1,4706	4,7686	0,0333	1323,0402	0,0279	0,0383	43,2370	0,0957
IO_HVS_2	0,5084	0,6897	2,7421	0,0208	827,0486	0,0131	0,0190	20,2780	0,0475
IO_HVS_3	0,5711	0,7988	3,0896	0,0227	902,3928	0,0152	0,0213	23,4861	0,0532
IO_HVS_4	0,7885	1,1437	4,1049	0,0285	1132,7329	0,0217	0,0291	33,6262	0,0727
IO_HVS>50_1	0,3687	0,4830	2,1576	0,0173	688,3701	0,0092	0,0143	14,1988	0,0357
IO_HVS>50_2	0,5178	0,7061	2,7942	0,0211	838,3503	0,0134	0,0193	20,7593	0,0483
IO_HVS>50_3	0,6495	0,9352	3,5241	0,0251	996,5731	0,0178	0,0242	27,4962	0,0604
AO_STOP+GO	0,4900	3,8187	10,6326	0,0655	2598,4700	0,0726	0,0915	112,2689	0,2288
AO_1	0,2627	0,3665	2,0472	0,0164	650,4745	0,0070	0,0112	11,9473	0,0280
AO_2	0,2804	0,3988	2,0222	0,0160	634,6232	0,0076	0,0119	13,0013	0,0297
AO_3	0,3290	0,4444	2,0895	0,0167	661,9941	0,0084	0,0132	14,4879	0,0330
AB_STOP+GO	2,4743	3,8100	10,4181	0,0656	2604,3694	0,0724	0,0914	124,2069	0,0286
AB_120	0,2105	0,2846	2,1792	0,0177	701,3507	0,0054	0,0095	9,2765	0,0237
AB>120	0,2105	0,2846	2,1792	0,0177	701,3507	0,0054	0,0095	9,2765	0,0237
AB_120_GEB.	0,2494	0,3500	2,0676	0,0166	659,4225	0,0067	0,0107	11,4110	0,0268
AB>120_GEB.	0,2494	0,3500	2,0676	0,0166	659,4225	0,0067	0,0107	11,4110	0,0237
					Linienbusse (BL)				
IO_STOP+GO	3,7808	2,9085	8,3335	0,0568	2253,7979	0,0553	0,0725	85,5094	0,1812
IO_LSA_1	1,1985	0,7140	3,9311	0,0264	1049,0635	0,0136	0,0231	20,9919	0,0578
IO_LSA_2	1,3589	0,8440	4,3182	0,0288	1143,7777	0,0160	0,0266	24,8146	0,0665
IO_LSA_3	1,5193	0,9741	4,7054	0,0312	1238,4918	0,0185	0,0301	28,6373	0,0752
IO_HVS_2	1,0855	0,6087	3,6093	0,0241	955,5342	0,0116	0,0203	17,8949	0,0507
IO_HVS_3	1,1985	0,7140	3,9311	0,0264	1049,0635	0,0136	0,0231	20,9919	0,0578
IO_HVS_4	1,3589	0,8440	4,3182	0,0288	1143,7777	0,0160	0,0266	24,8146	0,0665
IO_HVS>50_1	0,8560	0,3948	2,9560	0,0193	765,6413	0,0075	0,0145	11,6070	0,0362
IO_HVS>50_2	0,8560	0,3948	2,9560	0,0193	765,6413	0,0075	0,0145	11,6070	0,0362
IO_HVS>50_3	1,0272	0,5544	3,4435	0,0229	907,3524	0,0105	0,0188	16,2994	0,0470
AO_STOP+GO	3,7808	2,9085	8,3335	0,0568	2253,7979	0,0553	0,0725	85,8094	0,1812
AO_1	0,8768	0,4103	2,7710	0,0184	731,2212	0,0078	0,0137	13,3750	0,0343
AO_2	0,8768	0,4103	2,7710	0,0184	731,2212	0,0078	0,0137	13,3750	0,0343
AO_3	0,8768	0,4103	2,7710	0,0184	731,2212	0,0078	0,0137	13,3750	0,0343
AB_STOP+GO	4,1803	2,9731	7,2735	0,0567	2251,6200	0,0565	0,0744	96,9222	0,1859
AB_120	0,8839	0,4156	2,7074	0,0181	719,3861	0,0079	0,0135	13,5485	0,0337
AB>120	0,8839	0,4156	2,7074	0,0181	719,3861	0,0079	0,0135	13,5485	0,0337
AB_120_GEB.	0,8839	0,4156	2,7074	0,0181	719,3861	0,0079	0,0135	13,5485	0,0337
AB>120_GEB.	0,8839	0,4156	2,7074	0,0181	719,3861	0,0079	0,0135	13,5485	0,0337

Abbildung 93: Abgasemissionskoeffizienten der Reisebusse (BR) und der Linienbusse (BL) in Deutschland im Bezugsjahr 2015

Verfahren der Immissionsberechnungen

Die Abschätzung der Immissionswerte für Innerortsstraßen basiert auf dem microskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM für idealisierte Bebauungsstrukturen. Diese werden durch die Stadtmodellbausteine abgebildet.

In der Schätzrechnung werden zunächst Emissionen für die Komponenten NO_X, Benzol, Ruß und B(a)P ermittelt. Anschließend wird mit Hilfe von normierten Konzentrationen für OD-Typen (= 9 Stadtmodellbausteine) die Immissionszusatzbelastung je Abgaskomponente ermittelt. Hierbei wird die mittlere Windgeschwindigkeit des Bundeslandes, in der das zu bewertende Projekt liegt, berücksichtigt.

Die Immissionsgesamtbelastung ergibt sich durch Überlagerung der Vorbelastung und der Zusatzbelastung. Die Immissionsvorbelastung wird in Form von Durchschnittswerten für 3 Gebietstypen einbezogen.

Die normierten Konzentrationen für die einzelnen Stadtmodellbausteine sind in Abbildung 94 wiedergegeben. Die mittleren Vorbelastungswerte je Schadstoffkomponente enthält die Abbildung 95. Die nach Bundesländern differenzierte mittlere Windgeschwindigkeit (in 10 Meter Höhe) ist in Abbildung 96 aufgelistet.

	Stadtmodellbaustein								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Durchschnittliche normierte Konzentration [1/m]	1,13	0,32	0,19	0,05	0,12	0,53	0,20	0,09	0,05

Abbildung 94: Normierte Konzentration (1/m) für die Stadtmodellbausteine

Gebietstyp	Benzol [µg/m³]	Ruß [µg/m³]	NO_x [µg/m³]	B(a)P [µg/m³]
Stadtzentrum	5,0	6,0	50	1,8
Stadtrand	3,0	4,0	40	1,2
Land	1,5	1,5	25	0,7

Abbildung 95: Vorbelastungswerte (Jahrsmittel) je Gebietstyp

Bundesland	Windgeschwindigkeiten [m/s]
Schleswig-Holstein	4,10
Hamburg	3,20
Niedersachsen	3,60
Bremen	3,30
Nordrhein-Westfalen	3,20
Hessen	2,90
Rheinland-Pfalz	3,00
Baden-Württemberg	2,50
Bayern	2,70
Saarland	2,90
Berlin	2,60
Mecklenburg-Vorpommern	4,00
Brandenburg	3,10
Sachsen-Anhalt	3,00
Sachsen	2,90
Thüringen	3,00

Abbildung 96: Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten je Bundesland

2.6.2.2 Bewertung globaler Emissionen (NU2a)

Die Bewertung der projektbedingten Veränderungen der globalen Emissionen erfolgt durch Bilanzierung der Emissionen, wozu die einzelnen Schadstoffe mit Hilfe von Toxizitätsfaktoren in NO_X-Äquivalente umgerechnet werden. Anschließend erfolgt die Monetarisierung mit Hilfe eines auf das NO_X-Äquivalent bezogenen Wertansatzes, welcher die entstehenden Schäden an Gesundheit, Vegetation und Bauten für den globalen Bereich zusammenfasst. Der Wertansatz beträgt 365,00 €/a je Tonne NO_X-Äquivalent.

Die Berechnung folgt den Formeln:

Bewertung globaler Emissionen

$$E_{f,j,ty} = \sum (Q_{f,k,ty,vs} \times T_{l,vs} \times l_{a,ty} \times e_{jkl,vs})$$

$$NO_xE_{f,i,ty} = \sum (E_{f,j,ty} \times tox_{i,j})$$

$$S_f = \sum (NO_xE_{f,j,ty} \times W_{si,ty})$$

$$NU2a = \sum S_{vg} - \sum S_{pl}$$

Es bedeuten:

E	Emission [t/a]
Q	Verkehrsstärke [Kfz/h]
T	Zeit mit gleich bleibendem Verkehrsablauf [h/a]
l	Länge [km]
e	Emissionsfaktor [g/km]
NO_xE	NO_x-Äquivalenzmenge [t NO_x-E]
tox	Toxizitätsfaktor
W_s	Wertansatz: 365,00 €/t NO_x-E
a	Streckenabschnitt, auf dem alle Parameter unverändert bleiben
S	Schadenswert [€/a]
f	Plan-(pl)/Vergleichsfall (vg)
i	Schadensart
j	Schadstoff
k	Emittentenart
vs	Verkehrssituation (frei, teilgebunden, gebunden)
ty	Streckentyp

2.6.2.3 Bewertung innerörtlicher NO_X-Immissionen (NU2b)

Die Bewertung der nicht-kanzerogenen Gesundheitsschäden erfolgt mit Hilfe von Emissionsdichten und Emissionskonzentrationen. Als Leitkomponente wird NO_X herangezogen.

Die Bewertung erfolgt auf der Basis Einwohnergewichteter Emissionskonzentrationswerte mit dem Wertansatz von 3,37 €/a je Einwohnergleichwert.

Die Berechnung folgt den Formeln:

$$ED_{f,j} = \sum (Q_{f,k,vs} \times T_{vs} \times e_{j,k,vs})$$

$$cges_{f,j,SM} = cvor_{f,j,SM} + czus_{f,j,SM}$$

$$czus_{f,j,SM} = \hat{c}_{SM} \times \frac{ED}{u}$$

$$SEG_{f,j} = \sum (cges_{f,j,SM} \times B_{f,SM} \times LA \times l)$$

$$S_f = W_i \times SEG_{f,j}$$

$$NU2b = \sum S_{vg} - \sum S_{pl}$$

Es bedeuten:

ED	Emissionsdichte je Abschnitt innerorts [mg/m × s]
Q	Verkehrsstärke [Kfz/h]
T	Zeit mit gleich bleibendem Verkehrsablauf [h/a]
e	Emissionsfaktor [g/km]
l	Länge [km]
cges	Immissionsgesamtbelastung [µg/m^3]
cvor	Immissionsvorbelastung [µg/m^3]
czus	Immissionszusatzbelastung [µg/m^3]
SEG	Schadstoff-Einwohner-Gleichwert
$\hat{c}_{SM}$	normierte Konzentration für die Stadtmodellbausteine
u	durchschnittliche Windgeschwindigkeit je Bundesland
B	längenbezogene Wohnbevölkerung je Stadtmodellbaustein [E/km]
SM	Stadtmodellbaustein
LA	Längenanteil Stadtmodellbaustein
W_i	Wertansatz = 3,37 €/(SEG × a)
i	Schadstoffart
S_f	Schadenswert im Plan- bzw. im Vergleichsfall [€/a]
f	Plan-/Vergleichsfall
j	Schadstoff
k	Emittentenart
vs	Verkehrssituation
vg	Vergleichsfall
pl	Planfall

2.6.2.4 Bewertung karzinogener Schadstoffe (NU2c)

Die Bewertung der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) erfolgt anhand der Leitkomponenten Benzo(a) Pyren (B(a)P).

Es werden wiederum Emissionsdichten und Immissionskonzentrationen berechnet. Die Monetarisierung erfolgt mit Hilfe eines Wertansatzes von 0,79 Mio. €/Todesfall und eines Abschätzfaktors für das Krebsrisiko des Menschen bei lebenslanger (70 Jahre) konstanter Exposition gegenüber einer Konzentration von 1 mg Schadstoff je m^3 Atemluft.

Die Berechnung folgt den Formeln:

$$ED_{f,j} = \sum (Q_{f,k,vs} \times T_{vs} \times e_{j,k,vs})$$

$$cges_{f,j,SM} = cvor_{f,j,SM} + czus_{f,j,SM}$$

$$czus_{f,j,SM} = \hat{c}_{SM} \times \frac{ED}{u}$$

$$S_f = W_i \times \sum (cges_{f,j,SM} \times ur_j \times B_{f,SM} \times LA \times l)$$

$$NU2c = \sum S_{vg} - \sum S_{pl}$$

Es bedeuten:

ED	Emissionsdichte je Abschnitt innerorts [mg/m × s]
Q	Verkehrsstärke [Kfz/h]
T	Zeit mit gleich bleibendem Verkehrsablauf [h/a]
e	Emissionsfaktor je Abgasart und Verkehrszustand
l	Länge [km]
cges	Immissionsgesamtbelastung [µg/m³]
cvor	Immissionsvorbelastung [µg/m³]
czus	Immissionszusatzbelastung [g/m³]
$\hat{c}_{SM}$	normierte Konzentration für die Stadtmodellbausteine
u	durchschnittliche Windgeschwindigkeit je Bundesland
ur	‚unit risk' Abschätzungsfaktor für das Krebsrisiko
	Dieselruß 7×10^{-5} [1/(µg/m³)]
	B(a)P 7×10^{-2} [1/(µg/m³)]

	Benzol 9×10^{-6} [1/(µg/m³)]
B	längenbezogene Wohnbevölkerung je Stadtmodellbaustein [E/km]
SM	Stadtmodellbaustein
LA	Längenanteil Stadtmodellbaustein
W_i	Wertansatz = 0,79 Mio.€/Todesfall
i	Schadstoffart
S_f	Schadenswert im Plan- bzw. im Vergleichsfall [€/a]
f	Plan-/Vergleichsfall
j	Schadstoff
k	Emittentenart
vs	Verkehrssituation
vg	Vergleichsfall
pl	Planfall

2.6.2.5 Bewertung von Treibhausgasen (NU2d)

Die Bewertung der Treibhausgasemissionen erfolgt durch Bilanzierung der Leitkomponente CO_2 und Monetarisierung der Veränderungen mit einem Schadenswert von 205 € je Tonne CO_2.

Die Berechnung folgt den Formeln:

$$E_{f,j} = \sum (Q_{f,k,vs} \times T_{vs} \times l \times e_{j,k,vs})$$

$$s_f = W_i \times E_{f,j}$$

$$NU2d = \sum S_{vg} - \sum S_{pl}$$

Es bedeuten:

E	Emission je Abschnitt [t/a]
Q	Verkehrsstärke [Kfz/h]
T	Zeit mit gleich bleibendem Verkehrsablauf [h/a]
e	Emissionsfaktor je Abgasart und Verkehrszustand
l	Länge [km]
W_i	Wertansatz = 205,00 €/t CO_2
i	Schadstoffart

S_f	Schadenswert im Plan- bzw. im Vergleichsfall [€/a]
f	Plan-/Vergleichsfall
j	Schadstoff
k	Emittentenart
vs	Verkehrssituation
vg	Vergleichsfall
pl	Planfall

2.6.3 Verminderung innerörtlicher Trennwirkungen (NU3)

Die Entlastung von Ortsdurchfahrten vom Kfz-Verkehr führt zur Verbesserung der Aufenthaltsqualitäten auf Innerortsstraßen. Diese werden mit Hilfe von Zeitverlusten, die Fußgänger beim Überqueren der Fahrbahn hinnehmen müssen, in der Nutzenkomponente **NU3** als so genannte Trennwirkung quantifiziert.

Die Fußgänger-Wartezeiten werden in Abhängigkeit vom Straßentyp und zum Teil von der jeweiligen Verkehrsstärke ermittelt und mit der Anzahl der Aufenthaltsbetroffenen verknüpft. Der Nutzen wird unter Annahme einer mittleren Überquerungshäufigkeit je Anwohner und eines Zeitkostenansatzes von 5,47 €/Pers-h berechnet.

Bei der Berechnung der Fußgänger-Wartezeiten wird nach 3 Wartezeittypen unterschieden:

- tw1: Direktquerung für Verkehrsstärken > 600 Kfz/h nach Fahrtrichtung getrennte Ermittlung ($tw1 = 8{,}31 \times \ln(Q) - 53$ sec.)
- tw2: Querungen an LSA/50 m Umweg + 20 sec. Wartezeit an LSA (tw = konstant = 62 sec.)
- tw3: Querungen an Über- bzw. Unterführungen/300 m Umweg und 18 sec. Steigungszuschlag (tw3 = konstant = 268 sec.)

Die vorstehenden Wartezeiten werden in Abhängigkeit vom betrachteten Streckentyp kombiniert:

- Bei 1- und 2-streifigen Straßen im Gegenverkehr werden nur Direktquerer (tw1) angenommen. Unterhalb einer Verkehrsstärke von ca. 600 Kfz/h (Straßen mit Mittelstreifen je Fahrtrichtung) werden keine Wartezeiten und damit auch keine Trennwirkungen in Ansatz gebracht.

- Für Richtungsfahrbahnen mit 2 Fahrstreifen werden 80 % Direktquerer (tw1) und 20 % Umwegläufer (tw2) angenommen. Bei 2-streifigen Einbahnstraßen wird der Ansatz für Direktquerer zugeordnet.

- Bei 4-streifigen Straßen im Gegenverkehr werden 20 % Direktquerer (tw1) und 80 % Umwegläufer (tw2) angenommen.
- Bei sonstigen mehrstreifigen Straßen wird sowohl für Richtungsfahrbahnen als auch für Fahrbahnen im Gegenverkehr die Wartezeit tw3 in Ansatz gebracht.

Die Zuordnung der einzelnen Wartezeittypen zu den Typgruppen des Netzmodells ist in Abbildung 97 dokumentiert.

Bei der Ermittlung des Querungsbedarfs wird die Anzahl der betroffenen Anwohner mit Hilfe der Stadtmodellbausteine ermittelt. Je Aufenthaltsbetroffenen wird eine Überquerungshäufigkeit von konstant 3 Überquerungen je Tag angenommen.

Die Berechnung folgt folgenden Formeln:

Wartezeiten

$$WT = \sum_{s} \sum_{hT} \ddot{U} \times tw_{(s,hT)} \times A_{(s)}$$

Kosten der Wartezeiten

$$K_W = WT \times K_T$$

Nutzen aus Trennwirkung

$$NU3 = K_{W\,vg} - K_{W\,pl}$$

Es bedeuten:

Ü	Anzahl Straßenquerungen pro Aufenthaltsbetroffener und Tag (= 3,0)
s	Index Streckenabschnitt
hT	Index Verkehrsstunden, während der Trennwirkungen berechnet werden [7 bis 19 Uhr]
tw	Fußgängerwartezeit zur Querung der Straße [h]
WT	Summe Wartezeiten auf IO-Wirkungsstrecken [h/a]
A	Aufenthaltsbetroffene
K_W	Kosten Wartezeit [€/a]
K_T	Kosten pro Personenstunde (5,47 €/h)
vg	Vergleichsfall
pl	Planfall

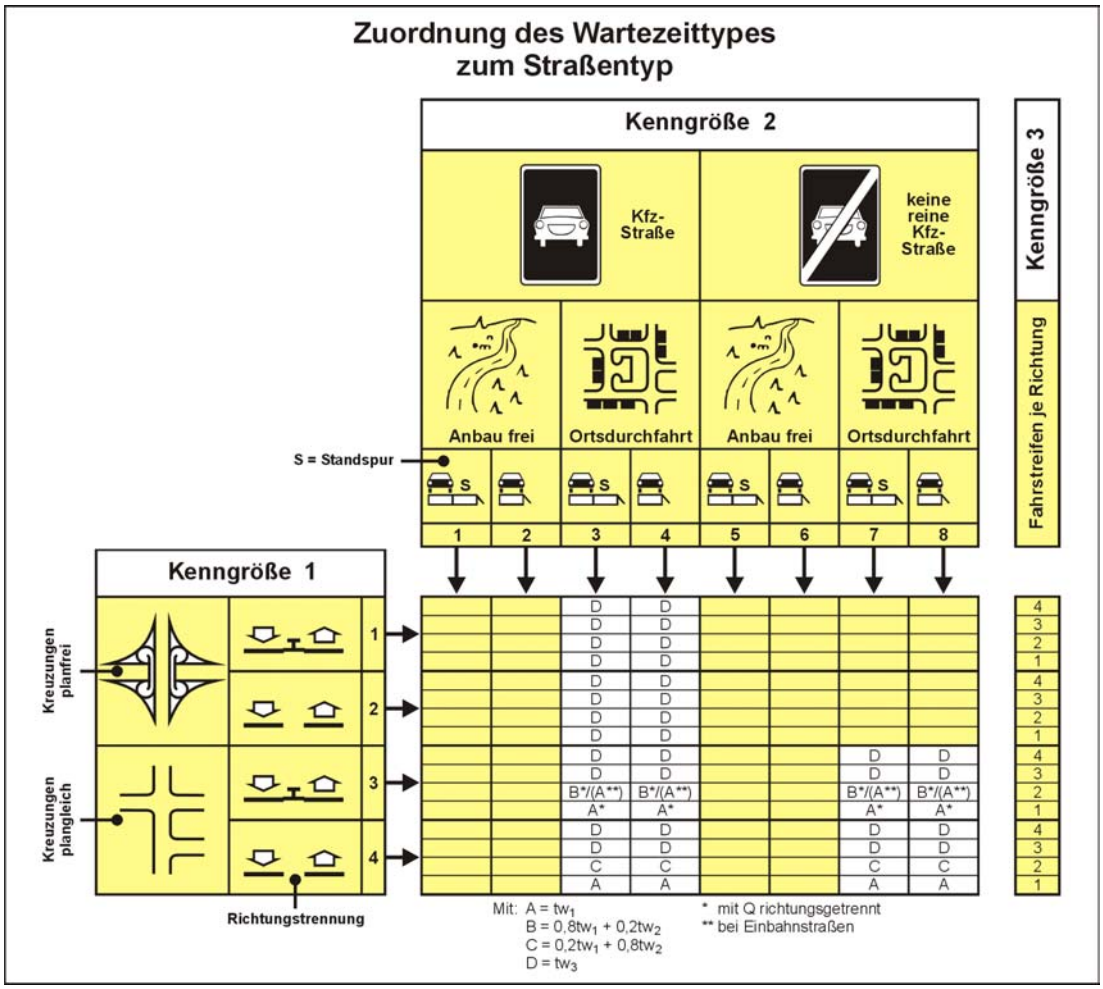


Abbildung 97: Zuordnung von Wartezeittypen zu Straßentypgruppen als Grundlage der Trennwirkungsberechnungen

2.7 Wirkungen des induzierten Verkehrs (NI)

Mit dem Neu- bzw. Ausbau des Straßennetzes ist auch eine Erhöhung des Kfz-Verkehrsaufkommens verbunden, die in Form des primär induzierten Verkehrs in die Bewertung als negativer Nutzen einfließt (NI).

Die Methode und die Kostenansätze zur Bewertung des primär induzierten Verkehrs im Rahmen der BVWP 2003 wurden in einer speziellen Studie von STASA et. al. [26] entwickelt. Sie basiert auf einer Abschätzung der vom Projekt bewirkten Fahrzeitveränderungen des Pkw- und Lkw-Verkehrs und der Multiplikation mit Wertansätzen, mit denen die folgenden Wirkungen bewertet werden:

- Zeit- und Betriebskosten des Pkw-Verkehrs
- Emissions- und Klimakosten des Pkw-Verkehrs

- Konsumentenrenten des Pkw-Verkehrs
- Zeit- und Betriebskosten des Güterverkehrs
- Immissions- und Klimakosten des Güterverkehrs
- Vorhaltungskosten für Pkw und Lkw
- Kfz-bedingte Unfallkosten
- Kfz-bedingte Lärmkosten
- Innerörtliche Immissionen und karzinogene Schadstoffe

Die Wertansätze sind nach Neu- und Ausbau, sowie nach der Einwohnerdichte (< 300 Einwohner/qkm, = > 300 Einwohner/qkm) der Region, in der das Projekt liegt, differenziert. Die maßgebenden Wertansätze sind in der Abbildung 98 dokumentiert.

Die Berechnung folgt der Formel

$$NI = \sum_{FG} \Delta FT_{(FG)} \times 10^{-6} \times KI_{(FG)}$$

Es bedeuten:

FG Index Fahrzeuggruppe

ΔFT Fahrzeitdifferenz Planfall zu Vergleichsfall

KI Kosten des Induzierten Verkehrs je Fahrzeugstunde

	Hochverdichtete Räume [≥ 300E/km²]		**Verdichtetet/ ländliche Räume**	
Fahrzeugart	Neubau	Ausbau	Neubau	Ausbau
Pkw	–1,526	–1,334	–1,749	–1,558
Lkw	–1,393	–1,369	–1,596	–1,572

Abbildung 98: Wertansätze zur Quantifizierung der Wirkungen des primär induzierten Verkehrs

3 Kosten

Um das Nutzen-Kosten-Verhältnis berechnen zu können, müssen die Investitionskosten des Projekts auf Jahreswerte (Annuitäten) umgerechnet werden.

Grundlage der Kostenannuisierung sind die je Projekt geschätzten bzw. differenziert ermittelten Investitionen in der Unterteilung der Hauptgruppen gem. AKS. Die je AKS-Gruppe zugrunde gelegten Abschreibungszeiträume und Annuitätenfaktoren sind in der Tabelle der Abbildung 30 ausgewiesen. Hieraus ist ersichtlich, dass die Kosten der Positionen 4, 5, 6 und 7 aufgrund gleicher Abschreibungszeiträume bei der Berechnung der Jahreskosten zusammengefasst werden können.

Die benötigte Aufgliederung der Investitionskosten nach AKS-Hauptgruppen ist nicht in jedem Projektfall verfügbar. In solchen Fällen werden die aktuell ermittelten, durchschnittlichen Anlagen-Investitionsstrukturen zugrunde gelegt, wie sie in Abbildung 99 wiedergegeben sind. Mit diesen Anteilswerten können die als Gesamtwert angegebenen Projektkosten in die einzelnen Leistungen unterteilt werden, so dass eine Erhöhung der Genauigkeit der Bewertungsergebnisse erzielt werden kann.

	Grunderwerb	Kunstbauwerke	Erdbau	Oberbau	Ausstattung und Sonstiges
Anteil an Gesamtkosten	13 %	30 %	25 %	22 %	10 %

Abbildung 99: Mittlere Kostenstruktur von Straßenprojekten zur Berechnung der einzelnen Anlageinvestitionen bei Angabe der Gesamtkosten