

Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg

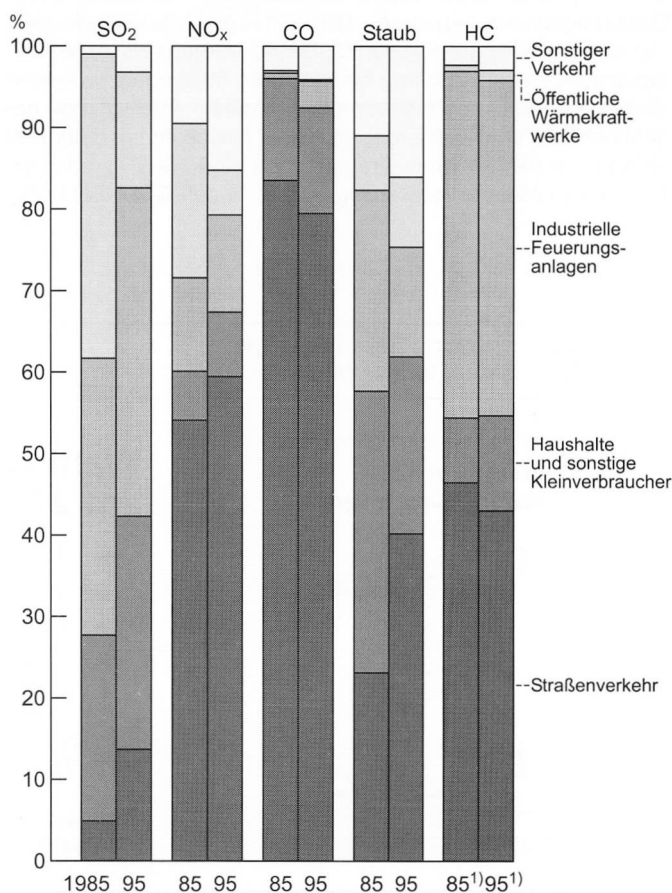
Die Zunahme des Straßenverkehrs mit den daraus entstehenden Umweltbelastungen ist sowohl unter gesellschaftlichen und wirtschaftlichen als auch unter ökologischen Aspekten von herausragender Bedeutung. Der massenhafte Pkw-Individualverkehr sowie der enorm angewachsene Güterverkehr auf der Straße erfordern vielfältige Überlegungen und auch Anstrengungen, um den weiteren zunehmenden Bedarf an Mobilität und Transportdienstleistungen zu befriedigen und gleichzeitig die vielfältigen straßenverkehrsbedingten Umweltbelastungen nachhaltig zu reduzieren. Für entsprechende Überlegungen und Planungen sind flächendeckende und zeitlich vergleichbare Angaben über die Entwicklung des Straßenverkehrs unentbehrlich. Der vorliegende Beitrag befaßt sich mit den vom Statistischen Landesamt bereitgestellten Daten über Fahrzeugbestände, Fahrleistungen und den daraus resultierenden straßenverkehrsbedingten Abgasemissionen, die maßgeblich zu aktuellen Umweltproblemen wie der globalen Klimaänderung, zu Sommersmogbelastungen und allgemeinen Luftverunreinigungen sowie Boden- und Grundwasserbeeinträchtigungen beitragen.

Die fortschreitende Entwicklung des Pkw zum Massentransportmittel im Individualverkehr und des Lkw zur dominierenden Alternative für den Gütertransport wird durch wenige Zahlen eindrücklich veranschaulicht. So hat der Pkw-Bestand in Baden-Württemberg seit 1980 um mehr als 50 % auf über 5,5 Mill. Fahrzeuge zugenommen, die Pkw-Dichte betrug damit im Jahr 1998 bereits 530 Pkw je 1 000 Einwohner. Der Lkw-Bestand ist im selben Zeitraum um 44 % auf etwa eine viertel Million angestiegen. Mit dem Pkw werden zirka 88 % der insgesamt beförderten Personen transportiert und auf den Straßengüterverkehr entfallen zirka 83 % der beförderten Güter. Dadurch ist auch die auf den Straßen des Landes durch Kraftfahrzeuge zurückgelegte Strecke, berechnet als Jahresfahrleistung sämtlicher Kraftfahrzeuge, beträchtlich angestiegen. Diese Summe der im Land durch Pkw auf Außerorts- und Innerortsstraßen gefahrenen Kilometer ist im Zeitraum von 1980 bis 1997 um 58 % auf 72,3 Mrd. Kilometer angestiegen. Die Jahresfahrleistung der Lkw hat sich im selben Zeitraum um 37 % auf 8,6 Mrd. Kilometer erhöht. Und der Trend zu immer höheren Gesamtjahresfahrleistungen ist ungebrochen. Aufgrund seiner anhaltenden Expansion hat der Straßenverkehr trotz inzwischen erzielter beachtlicher Reduktion der fahrzeugspezifischen Abgaswerte als Emissionsquelle erhöhtes Gewicht erhalten, da zudem die Minderung der Emissionen bei Kraftwerken und industriellen Feuerungsanlagen vergleichsweise deutlich ausfiel. Der Straßenverkehr macht gegenwärtig bei den Stickoxiden, Kohlenmonoxid, den Kohlenwasserstoff-(HC-) und Staubemissionen jeweils den höchsten Anteil aus. Beim Kohlenmonoxid sind es sogar 79 %, bei den Stickoxiden beträgt der Anteil gut 57 % und bei den HC- bzw. energiebedingten Staubemissionen entfallen mittlerweile immerhin 40 % auf den Straßenverkehr. Bei den SO₂-Emissionen, wo der Anteil des Straßenverkehrs in den 80er Jahren fast vernachlässigbar war, ist eine Steigerung von 4 auf 14 % der gesamten energieverbrauchsbedingten Emissionen zu vermerken (Schaubild 1).

Gemessen am Straßenverkehr eher gering sind die Emissionen des Sektors sonstiger Verkehr, der neben dem Flug-, Bahn- und Schiffsverkehr auch die landwirtschaftlichen Zugmaschinen sowie Militär und Baumaschinen umfaßt. Dennoch hat der sonstige Verkehr beim Ausstoß an Stickoxiden sowie bei den Staubemissionen mit einem Anteil von 15 bzw. 20 % bemerkenswertes Gewicht. Dagegen sind die SO₂-Emissionen (3,2 %) und die CO-Emissionen (4,2 %) von relativ geringem Umfang. Den Hauptteil der Emissionen im Bereich des sonstigen Verkehrs verursachen landwirtschaftliche Zugmaschinen sowie Militär- und Baumaschinen, an zweiter Stelle folgt der Flugverkehr mit deutlichem Abstand zum eher emissionsarmen Eisenbahn- und Schiffs-

verkehr. Die folgenden Ausführungen beschränken sich deshalb auf die Darstellung der straßenverkehrsbedingten Emissionen. Bevor auf die Entwicklung der Emissionen durch den Straßenverkehr seit 1985 im einzelnen eingegangen wird, erfolgt die Darstellung der Emissionssituation im Jahr 1997, anhand deren auch die wesentlichen Einflußfaktoren auf die Entstehung der Emissionen erläutert werden.

Schaubild 1
Emissionen in Baden-Württemberg 1985 und 1995 nach Emittentengruppen



*) Werte für die Jahre 1988 bzw. 1994.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

430 99

41 % der NO_x-Emissionen durch Schwerlastverkehr

Der Ausstoß an Stickoxiden durch den Straßenverkehr in Baden-Württemberg betrug im Jahr 1997 rund 115 600 t (Tabelle 1). Sein Anteil an den gesamten energiebedingten NO_x-Emissionen lag damit bei 57 %. Die Emissionen an Kohlenmonoxid erreichten im Jahr 1997 ein Volumen von 396 400 t. Dies entspricht sogar 77 % der gesamten CO-Emissionen. Die abgasbedingten Kohlenwasserstoff-(HC-)Emissionen erreichten 49 200 t. Die 4 600 t an Partikelemissionen im Jahr 1997 machen 37 % an den gesamten Staubemissionen aus. Die SO₂-Emissionen aus dem Bereich des Straßenverkehrs schließlich betragen 9 000 t.

Die Hälfte der Stickoxidemissionen wurden 1997 durch den Pkw-Verkehr verursacht. Mit einer Emissionsfracht von 57 800 t lag sein Anteil 1997 bei 51 %. Bereits an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß 37 % der durch den Pkw-Verkehr verursachten NO_x-Emissionen durch Fahrzeuge verursacht werden, die

noch nicht mit einem geregelten Katalysator (G-Kat) ausgestattet waren. Durch schwere Lastkraftwagen, das heißt Lkw mit einem Gesamtgewicht von 3,5 t und mehr, wurden 1997 mit gut 47 000 t etwa 41 % der gesamten Stickoxidemissionen verursacht. Durch den Busverkehr entstanden etwa 6 % der Stickoxidemissionen (7 400 t) und durch leichte Lastkraftwagen – also Lkw mit einem Gesamtgewicht unter 3,5 t – etwa 2 % der jährlichen NO_x-Emissionen. Vergleichsweise gering ist der Anteil der Krafträder (Kräder), die bezogen auf die Stickoxide kaum ins Gewicht fallen.

Sehr unterschiedlich ist die Verteilung der Fahrleistungen von Pkw bzw. Lkw auf die verschiedenen Straßenkategorien, das heißt auf Autobahnen, Bundesstraßen, übrige Außerortsstraßen, wie Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen, sowie auf Innerortsstraßen. Bezogen auf die gesamten Stickoxidemissionen entstanden 1997 immerhin 34 % auf Autobahnen (39 700 t) (Schaubild 2). Verantwortlich dafür ist in erster Linie der überdurchschnittlich hohe Anteil des Lkw-Verkehrs an den NO_x-Emissionen und

Tabelle 1
Emissionen in Baden-Württemberg 1985 bis 1997 nach Kfz-Arten

Jahr	Emissionen ¹⁾ insgesamt		Davon										
			Kräder		Pkw			Lkw < 3,5 t		Lkw > 3,5 t		Busse > 3,5 t	
	t	1985 ≙ 100	t	1985 ≙ 100	t	1985 ≙ 100	darunter Pkw konventionell	t	1985 ≙ 100	t	1985 ≙ 100	t	1985 ≙ 100
							Anteil an Sp. 5 in %						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
NO_x-Emissionen													
1985	172 208	100	199	100	122 552	100	96,3	4 672	100	37 443	100	7 342	100
1990	155 923	90,5	324	162,8	96 980	79,1	84,2	4 498	96,3	45 609	121,8	8 512	115,9
1995	127 569	74,1	365	183,4	67 040	54,7	52,1	3 080	65,9	49 367	131,8	7 717	105,1
1996	120 979	70,3	376	189,1	62 127	50,7	44,6	2 950	63,1	47 971	128,1	7 555	102,9
1997	115 592	67,1	383	192,7	57 801	47,2	37,0	2 793	59,8	47 181	126,0	7 434	101,3
CO-Emissionen													
1985	900 722	100	26 613	100	822 995	100	99,5	36 800	100	11 680	100	2 634	100
1990	728 113	80,8	36 005	135,3	647 776	78,7	89,4	27 605	75,0	13 790	118,1	2 937	111,5
1995	470 908	52,3	37 803	142,0	402 092	48,9	64,1	13 703	37,2	14 510	124,2	2 800	106,3
1996	434 675	48,3	38 685	145,4	366 303	44,5	58,3	12 419	33,7	14 480	124,0	2 788	105,9
1997	396 358	44,0	38 923	146,3	329 080	40,0	51,9	10 989	29,9	14 577	124,8	2 789	105,9
HC-Emissionen²⁾													
1985	115 494	100	3 910	100	101 414	100	99,2	3 397	100	5 868	100	906	100
1990	94 551	81,9	3 987	102,0	79 905	78,8	93,1	2 595	76,4	7 043	120,0	1 020	112,7
1995	59 491	51,5	3 874	99,1	46 392	45,7	73,2	1 229	36,2	7 020	119,6	975	107,7
1996	54 384	47,1	3 978	101,7	41 306	40,7	67,7	1 116	32,9	7 010	119,5	974	107,5
1997	49 163	42,6	4 001	102,3	36 165	35,7	61,3	977	28,8	7 044	120,0	976	107,8
Partikelemissionen													
1985	4 343	100	–	–	1 065	100	–	508	100	2 439	100	331	100
1990	5 084	117,1	–	–	1 442	135,4	–	444	87,3	2 827	115,9	372	112,4
1995	5 290	121,8	–	–	1 782	167,3	–	309	60,8	2 863	117,4	337	101,8
1996	4 820	111,0	–	–	1 570	147,4	–	288	56,7	2 649	108,6	314	94,8
1997	4 604	106,0	–	–	1 539	144,5	–	273	53,8	2 492	102,2	300	90,6

1) Auf Außerorts- und Innerortsstraßen. – 2) Abgasemissionen.

die Tatsache, daß mehr als die Hälfte der von schweren Lkw verursachten NO_x-Emissionen auf Autobahnen emittiert wird. Damit stammen immerhin 61 % der auf den Autobahnen emittierten Stickoxidemissionen aus schweren Lkw und Bussen, während deren Anteil an den Fahrleistungen lediglich 14 % beträgt. Der Pkw-Verkehr verursacht bei einem Anteil von über 80 % an den Fahrleistungen die vergleichsweise geringe Fracht von 14 700 t; das sind 37 % der auf den Autobahnen des Landes emittierten NO_x-Emissionen. Die übrigen Fahrzeuggruppen der Kräder und leichten Lkw haben dort eher geringe Anteile. Umgekehrt ist die Situation bei der Entstehung der NO_x-Emissionen auf Innerortsstraßen, auf die mit 32 100 t etwa 28 % der gesamten straßenverkehrsbedingten NO_x-Emissionen entfallen. Der Pkw-Verkehr hat innerorts einen überdurchschnittlichen Anteil von 60 %. Dagegen liegt der Emissionsanteil der Lkw und Busse hier bei 37 %. Auf den Bundesstraßen, die 19 %, sowie den Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen, die ebenso 19 % der NO_x-Emissionen ausmachen, dominiert ebenfalls der Pkw-Verkehr als Verursacher.

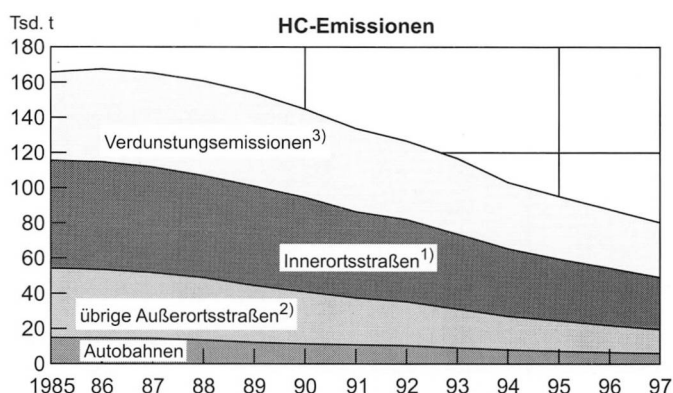
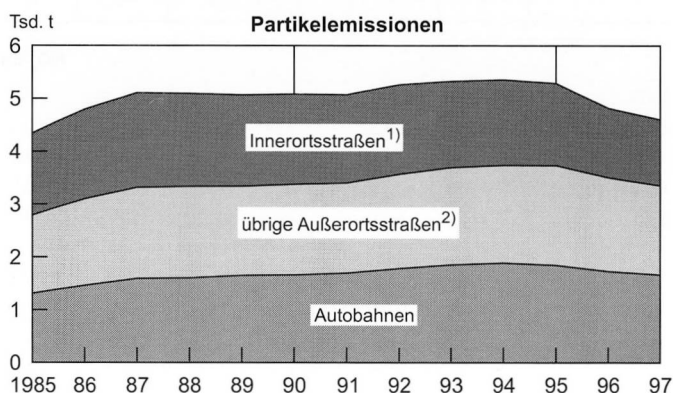
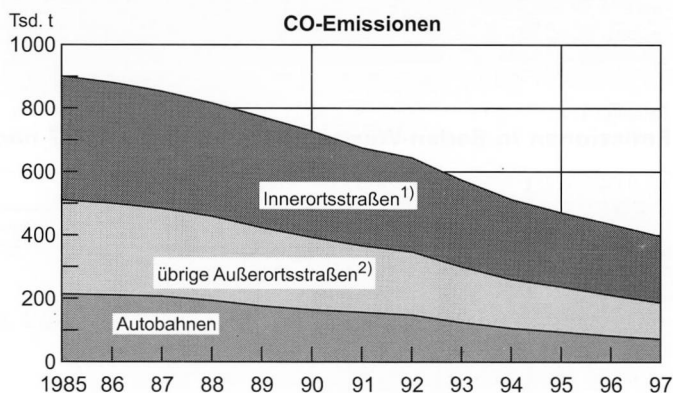
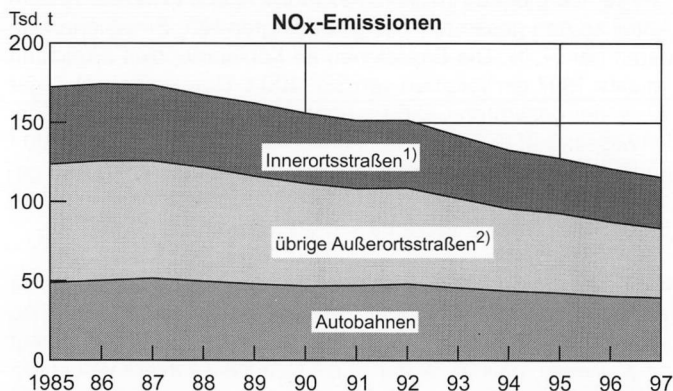
Hoher Emissionsanteil der Alt-Pkw

Wie bereits gesagt, ist bezüglich der durch den Pkw-Verkehr auf den verschiedenen Straßenkategorien verursachten NO_x-Emissionen besonders der Anteil der Pkw hervorzuheben, die noch nicht über einen geregelten Katalysator verfügten. Der Emissionsanteil dieser Fahrzeuge liegt mit fast 32 % besonders hoch auf den Innerortsstraßen, obwohl ihr Fahrleistungsanteil lediglich 18 % ausmacht. Auch auf den Autobahnen verursachen die sogenannten Alt-Pkw bei einem Fahrleistungsanteil von weniger als 10 % immerhin fast 31 % der gesamten Pkw-NO_x-Emissionen.

Noch deutlicher ist die Emissionsrelevanz der Alt-Pkw bei den Kohlenmonoxidemissionen, die zum weitaus überwiegenden Teil durch den Pkw-Verkehr verursacht werden. Von den insgesamt 396 400 t CO im Jahr 1997 entstanden zirka 84 % durch den Pkw-Verkehr, wobei weit mehr als die Hälfte von Alt-Pkw (52 %) verursacht werden, während die Otto-Pkw mit G-Kat bei einem Vielfachen der Fahrleistung lediglich 46 % der CO-Emissionen durch Pkw ausmachen. Durch Diesel-Pkw werden nur rund 2 % der CO-Emissionen verursacht. Auch durch den Lkw-Verkehr entstehen vergleichsweise geringe CO-Emissionen, da dort die Dieselmotortechnik bei weitem überwiegt. Der Emissionsanteil der kleinen Lkw (< 3,5 t) sowie der schweren Lkw und Busse (> 3,5 t) liegt bei 3 bzw. 4 %. Demgegenüber haben hier die Kräder mit 10 % einen vergleichsweise hohen Anteil an den gesamten CO-Emissionen. Geprägt durch die Verteilung der Emissionen auf die Fahrzeuggruppen ist auch die Verteilung auf die Straßenkategorien. Verursacht in erster Linie durch die Dominanz des Pkw-Verkehrs sowie den überproportionalen Anteil von Altfahrzeugen am Innerortsverkehr wird gut die Hälfte des Kohlenmonoxids auf Innerortsstraßen emittiert. Hinzu kommen die kaltstartbedingten CO-Emissionen, die im Innerortsbereich einen erheblichen Anteil der Emissionen ausmachen.

Spezielle Ursachen und Verteilungsstrukturen sind bei den Partikelemissionen festzustellen. Mehr als die Hälfte der gesamten Partikelemissionen (4 604 t im Jahr 1997) wurden durch die Fahrzeuggruppe der schweren Lkw verursacht. Auf dieselmotorbetriebene Pkw entfallen mit 1 540 t rund 34 % der Partikelemissionen, und kleine Lkw sowie Busse haben mit jeweils 6 % vergleichsweise geringe Anteile. Inwieweit bei den Partikelemissionen auch Fahrzeuge durch Ottomotor-Antrieb zu be-

Schaubild 2
Emissionen durch den Straßenverkehr* in Baden-Württemberg 1985 bis 1997 nach Straßenkategorien



*) der Kräder, Pkw, Lkw und Busse – 1) Einschließlich Kaltstartemissionen. – 2) Bundesstraßen, Landesstraßen und Kreis-/Gemeindestraßen. – 3) Entstehen größtenteils innerorts.

rücksichtigen sind, ist methodisch bislang nicht geklärt. Die hier gemachten Angaben beziehen sich ausschließlich auf Fahrzeuge mit Dieselmotor. Durch die wachsende Bedeutung der dieselmotorbetriebenen Pkw ist auch der Anteil des Pkw-Verkehrs an den Partikelemissionen seit 1985 deutlich angestiegen. So hat sich die Jahresfahrleistung der Diesel-Pkw im selben Zeitraum von 6,5 Mrd. Kilometern auf gut 17 Mrd. Kilometer erhöht.

Die Verteilung der Partikelemissionen auf die Straßenkategorien ähnelt der bei den NO_x-Emissionen (*Schaubild 2*). Mehr als ein Drittel entfällt auf Autobahnen, wobei auch hier der hohe Lkw-Verkehrsanteil die Haupterklärung liefert. Auf Innerortsstraßen entfallen 27 % der Partikelemissionen. Analog zu den NO_x-Emissionen ist hier der hohe Verkehrsanteil der Diesel-Pkw maßgebend. Außerdem fallen die zusätzlichen kaltstartbedingten Partikelemissionen der Diesel-Pkw stark ins Gewicht. Auf die Bundesstraßen verteilen sich 17 % und auf die Landes-, Kreis-, Gemeindestraßen insgesamt rund 20 % der Partikelemissionen, wobei jeweils ein Großteil auch durch den Lkw-Verkehr verursacht ist.

Emissionen an Kohlenwasserstoffen größtenteils im Innerortsbereich

Am ehesten vergleichbar mit den Verhältnissen beim Kohlenmonoxid ist die Verteilung der Kohlenwasserstoffemissionen (HC) auf die Fahrzeug- und Straßenkategorien. Zusätzlich ist bei den HC-Emissionen zu berücksichtigen, daß neben den abgasbedingten Emissionen in erheblichem Umfang auch Verdunstungsemissionen entstehen, die sich fast ausschließlich auf ottomotorbetriebene Fahrzeuge und damit auf den Pkw-Verkehr konzentrieren. Auch bei den abgasbedingten HC-Emissionen dominiert der Pkw-Verkehr mit 74 % Anteil an den Gesamtemissionen von 49 200 t im Jahr 1997. Wie bereits oben festgestellt, fallen wiederum besonders die Emissionen durch Otto-Pkw ohne Schadstoffreduzierung ins Gewicht, die mit 61 % mehr als doppelt so hohe Emissionen verursachen wie die Otto-Pkw mit G-Kat. Durch Diesel-Pkw werden lediglich 3 % der abgasbedingten HC-Emissionen verursacht. Auch die schweren Lkw und Busse haben vergleichsweise geringe HC-Emissionen (16 %), während die Kräder gemessen an ihrem Fahrleistungsanteil mit 8 % einen relativ hohen Anteil der HC-Emissionen verursachen.

Über 60 % der abgasbedingten HC-Emissionen entstehen auf Innerortsstraßen (29 600 t). Gründe sind wiederum der hohe Anteil des Pkw-Verkehrs sowie die kaltstartbedingten Emissionen, die bei den HC-Emissionen besonders große Bedeutung haben. Hinzu kommen die ebenfalls in erster Linie auf die im Innerortsbereich konzentrierten Verdunstungsemissionen, die 1997 ein Volumen von zirka 31 200 t hatten. Zu diesen Verdunstungsemissionen zählen in erster Linie die Emissionen aus Abstellvorgängen (Heiß-/Warmabstellen) sowie die bei der Kraftstoffverteilung freigesetzten Mengen. Hinzu kommen Emissionen durch Tankatmung und bei der Betankung mit jeweils 20 % Anteil. Schließlich entstehen Verdunstungsemissionen während der Fahrt (running losses), die einen Anteil von zirka 6 % an den Verdunstungsemissionen ausmachen.

Kurz hingewiesen sei auf die SO₂-Emissionsstruktur, die ebenfalls in erster Linie durch den Lkw-Verkehr bestimmt wird. Zirka 58 % der SO₂-Emissionen im Jahr 1997 (9 000 t) entfallen auf diese Fahrzeuggruppe.

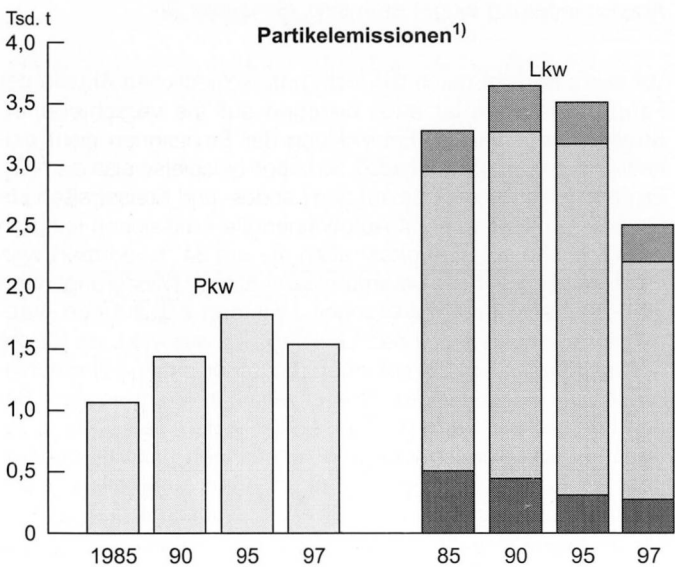
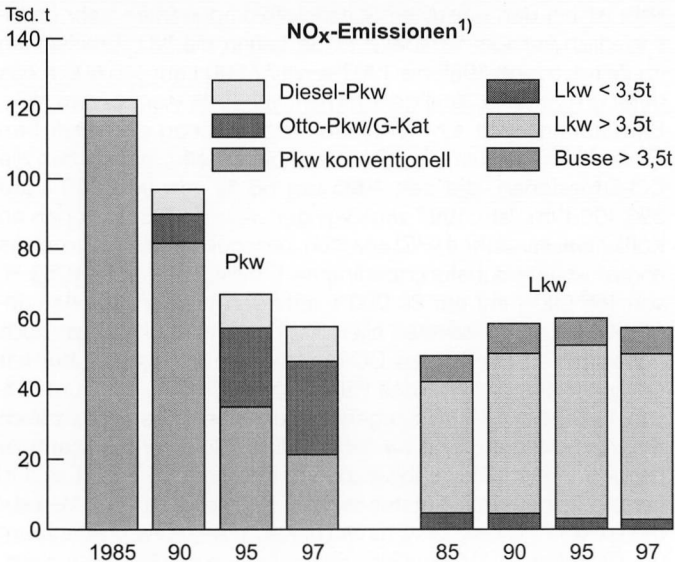
Rückgang der NO_x-, CO- und HC-Emissionen – Zunahme der Partikelemissionen

Die zeitliche Entwicklung der Emissionen durch den Straßenverkehr ist bei den einzelnen Schadstoffkomponenten sehr unterschiedlich verlaufen (*Tabelle 1*). So haben die NO_x-Emissionen im Zeitraum von 1985 bis 1997 von 172 200 t auf 115 600 t, das heißt um zirka 33 % abgenommen. Vor 1985 war bei den NO_x-Emissionen noch ein kontinuierlicher Anstieg der jährlichen Emissionen festzustellen. Deutlich stärker reduziert wurden die CO-Emissionen, die seit 1985 um 56 % von 900 700 t auf 396 400 t im Jahr 1997 zurückgingen. Auch die Emissionen an Kohlenwasserstoffen (HC) konnten, bezogen auf die Summe aus abgas- und verdunstungsbedingten Emissionen, um fast 50 % von 166 000 t auf gut 80 000 t verringert werden. Bei den abgasbedingten Emissionen allein liegt der Rückgang sogar noch höher (57 %) als bei den CO-Emissionen. Demgegenüber hat die Emissionsfracht bei den Partikeln von 1985 bis 1997 um 6 % von 4 300 t auf 4 600 t zugenommen. Allerdings scheint auch hier die Spitze erreicht, da nach 1995 ein leichter Rückgang zu beobachten ist. Diese abweichende Entwicklung erklärt sich in erster Linie aus der Entstehung der Partikel durch den Verkehr mit Diesel-Pkw bzw. Lkw, für die beide im Betrachtungszeitraum deutlich überdurchschnittliche Steigerungen der Fahrleistungen, aber nur vergleichsweise geringe Erfolge bei der spezifischen Abgasminderung eingetreten sind (*Schaubild 3*).

Vor allem bedingt durch die recht unterschiedlichen Anteile der Fahrzeuggruppen ist auch bezogen auf die verschiedenen Straßenkategorien die Entwicklung der Emissionen nicht einheitlich verlaufen (*Schaubild 2*). So haben beispielsweise die NO_x-Emissionen am stärksten auf den Landes- und Kreisstraßen abgenommen, während auf Autobahnen die Emissionen lediglich um 19 % und auf Innerortsstraßen nur um 34 % reduziert werden konnten. Für diese unterdurchschnittlichen Minderungsraten gibt es abweichende Erklärungen. Während sich auf den Autobahnen der hohe Anteil des Lkw-Verkehrs auswirkt, ist für die geringe Minderungsrate auf Innerortsstraßen die dort überdurchschnittliche Zunahme des Straßenverkehrs verantwortlich. Bei den CO- und auch den HC-Emissionen liegen die Minderungsraten auf Außerortsstraßen und Autobahnen generell deutlich über 60 %, während auf Innerortsstraßen, ebenfalls bedingt durch die überdurchschnittliche Verkehrszunahme, nur geringe Minderungsraten erzielt wurden. Bei den HC-Emissionen kommt hinzu, daß die Verdunstungsemissionen, die insgesamt weniger stark (- 38 %) zurückgingen, in erster Linie im Innerortsbereich entstehen. Die Partikelemissionen schließlich haben nur auf den Innerortsstraßen um 19 % abgenommen, wofür vor allem die verringerte Lkw-Jahresfahrleistung im Innerortsbereich verantwortlich ist. Auf allen übrigen Straßen haben die Partikelemissionen deutlich zugenommen, am stärksten mit 27 % auf den Autobahnen.

Ein wesentlicher Grund für die festgestellte recht unterschiedliche Entwicklung bei den verschiedenen Schadstoffkomponenten ist das abweichende Emissionsverhalten der verschiedenen Fahrzeuggruppen einerseits und deren wechselnder Anteil an den gesamten Jahresfahrleistungen andererseits, der sich nicht über alle Fahrzeuggruppen in der gleichen Weise entwickelt hat. Außerdem ist die Entwicklung der Fahrleistung auf den Straßenkategorien, das heißt auf Autobahnen, übrigen Außerortsstraßen und Innerortsstraßen, nicht einheitlich verlaufen, so daß die nach Straßenkategorien abweichende Emissionsrelevanz des Verkehrs ebenfalls ein gewichtiger Faktor für die differierende Entwicklung der Emissionen ist.

Schaubild 3
Emissionen durch den Straßenverkehr in Baden-Württemberg 1985 bis 1997 nach Kfz-Arten



*) Auf Außerorts- und Innerortsstraßen.

Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

432 99

Lkw-Flotte hinsichtlich ihres Alters, der Fahrzeugtypen und der realisierten Abgasreinigungskonzepte. Auch die Zusammensetzung der verwendeten Kraftstoffe hat auf die Emissionen einen wichtigen Einfluß. Ein weiterer variabler Faktor für das Emissionspotential ist das Fahrverhalten der Verkehrsteilnehmer. Starke Beschleunigungsvorgänge und das Fahren mit hoher Geschwindigkeit beeinflussen die Höhe der Emissionen. Das Fahrverhalten wiederum wird vor allem durch den Straßentyp, das heißt den Ausbauzustand, das Streckenprofil sowie auch die Verkehrsdichte auf der Straße, wesentlich geprägt. Dieses komplexe Zusammenwirken verschiedener Einflußfaktoren auf die Entstehung der Emissionen im Straßenverkehr schlägt sich im Modell für die Berechnung der Emissionen nieder. Da eine Messung der Emissionen an der Entstehungsquelle, das heißt bei den Millionen von Einzelfahrzeugen, nicht realisierbar ist, muß für die Ermittlung der straßenverkehrsbedingten Emissionen das Verkehrsgeschehen modellhaft abgebildet werden. Im Grundsatz erfolgt dies durch die stichprobenweise Messung der realen Abgasmengen durch den TÜV-Rheinland im Auftrag des Umweltbundesamtes, deren Ergebnisse im Emissionshandbuch Stand 1990 veröffentlicht sind. Bei der Messung werden nach Fahrzeugarten, Baujahr und zahlreichen weiteren technischen Attributen gegliederte Emissionsfaktoren ermittelt, die zusätzlich differenziert werden nach bestimmten typischen Fahrsituationen, die bundesweit auf den verschiedenen Straßen auftreten. Um die Emissionsfracht für einen gewissen Zeitraum und ein bestimmtes Gebiet zu ermitteln, ist es erforderlich, die gesamte Jahresfahrleistung in diesem Gebiet zu bestimmen und diese analog zur Gliederung der Emissionsfaktoren im Emissionshandbuch nach Fahrzeugarten, Straßenkategorien, Fahrsituationen etc. zu differenzieren. Dies wird im Modell des Statistischen Landesamtes bezogen auf Baden-Württemberg umgesetzt. Für die Berechnungen der straßenverkehrsbedingten Emissionen werden dazu die Fahrleistungen gegliedert nach Fahrzeuggruppen bzw. Fahrzeugarten und nach Straßenkategorien berechnet. Die Fahrzeuggruppen unterscheiden Pkw mit Ottomotor, Pkw mit Dieselmotor, Lkw kleiner als 3,5 t, Lkw mit Anhänger, Lkw ohne Anhänger und Busse. Eine weitere Fahrzeuggruppe bilden die Krafträder (Kräder). Für die Klassifizierung der Straßenabschnitte nach Straßenkategorien unterscheidet das Modell zwischen Bundesautobahnen, sonstigen Außerortsstraßen (gegliedert nach Bundes-, Landes-, Kreis- und Gemeindestraßen), zwischen Ortsdurchfahrten (klassifizierten Innerortsstraßen) sowie sonstigen nicht klassifizierten Innerortsstraßen. Diese nach Fahrzeuggruppen und Straßenkategorien gegliederten Fahrleistungswerte in Kilometern werden dann mit spezifischen Emissionsfaktoren verknüpft. Dabei fließen in die Ermittlung der spezifischen Emissionsfaktoren zahlreiche weitere emissionsbeeinflussende Faktoren ein, wie beispielsweise die Verkehrssituation, die Straßenlängsneigung oder Geschwindigkeitsbeschränkungen.

Grundlagen der modellhaften Emissionsberechnungen

Bevor die Entwicklung näher interpretiert werden kann, sind einige Ausführungen darüber erforderlich, in welcher Weise die sehr komplexe Realität der Entstehung von Straßenverkehrsemissionen im Berechnungsmodell abgebildet, das heißt die Vielzahl der Einzelfaktoren berücksichtigt wird. Von diesen Einflußfaktoren an erster Stelle zu nennen ist der absolute Umfang des Straßenverkehrs, angegeben durch die Größe der Jahresfahrleistung. Weiter bestimmend für die Emissionsfracht ist die Zusammensetzung der Jahresfahrleistung nach verschiedenen Kfz-Arten und deren Verteilung auf die Straßenkategorien. Ein ebenfalls sehr gewichtiger Faktor ist die Struktur der Pkw- bzw.

Die Berechnung der Fahrleistungen je Fahrzeuggruppe auf Autobahnen und sonstigen Außerortsstraßen sowie auf Ortsdurchfahrten erfolgt auf der Basis der Straßendatenbank des Landes in Verbindung mit den Ergebnissen der in 5jährigem Abstand durchgeführten Straßenverkehrszählungen. In den Zwischenjahren erfolgt die Fortschreibung der Fahrleistungen auf der Basis von stichprobenweisen Zählungen an automatischen Zählstellen. Die aus der Verknüpfung der Straßendaten und Straßenverkehrszählung resultierende Fahrleistungsdatenbank gliedert sich in über 30 000 Straßenabschnitte, denen sowohl die Fahrleistungsdaten als auch die emissionsrelevanten Straßenattribute zugeordnet sind. Dabei handelt es sich insbesondere um die Klassifizierung der Längsneigung des Abschnitts, die Klassifikation der Straße, um Angaben zu bestehenden Geschwindigkeits-

beschränkungen und zur Anzahl der Fahrspuren. Die einzelnen Außerorts- und Innerortsstraßenabschnitte sind gemeindeweise zugeordnet, so daß neben der datengestützten Abbildung einzelner Straßen auch Zusammenfassungen für beliebige administrative Gebietseinheiten möglich sind. Zur Berechnung der Innerortsfahrleistungen werden neben den Ortsdurchfahrten, das heißt den klassifizierten Straßen im Innerortsbereich, für die die Verkehrsstärken aus den ausführlichen Straßenverkehrszählungen abgeleitet sind, auch nichtklassifizierte Straßen im Innerortsbereich berücksichtigt. Dafür stehen für die Stadt- und Landkreise unterschiedliche Datenquellen zur Verfügung. Bei den Stadtkreisen wurde auf Untersuchungsergebnisse zurückgegriffen, die im Zusammenhang mit der Erstellung von Emissionskatastern ermittelt wurden. Die Fortschreibung für das Jahr 1995 bzw. die aktuellen Jahre erfolgte auf der Grundlage einzelner aktueller Verkehrszählungen in den Stadtkreisen unter Berücksichtigung der Entwicklung in den Ortsdurchfahrten laut Straßenverkehrszählung. Die Fahrleistungen auf nichtklassifizierten Innerortsstraßen der Landkreismunicipalitäten, die einen insgesamt vergleichsweise geringen Anteil an den Innerortsfahrleistungen ausmachen, errechnen sich aus der Gegenüberstellung der für das Land insgesamt ermittelten Innerortsfahrleistungen und der Summe aus den Zählergebnissen für Ortsdurchfahrten in den Landkreismunicipalitäten plus den für die Stadtkreise insgesamt ermittelten Innerortsfahrleistungen. Die regionale Verteilung der Fahrleistungen auf die nichtklassifizierten Innerortsstraßen in den Landkreismunicipalitäten erfolgt anhand der gemeindeweise ermittelten Straßenlängen im Innerortsbereich und der Zulassungszahlen für die verschiedenen Fahrzeuggruppen. Dabei wird zusätzlich nach Gemeindegrößenklassen bzw. nach der Wirtschaftskraft der Landkreise gewichtet.

Unterscheidung regionaler Verkehrsstrukturen

Grundlage für die Ableitung der fahrleistungsspezifischen Emissionsfaktoren in der Gliederung nach den oben unterschiedenen Straßenkategorien bzw. Fahrzeuggruppen sind die im Emissionshandbuch zusammengestellten Emissionsfaktoren. Unterschieden werden analog zur Gliederung der Straßenabschnitte für jede Fahrzeuggruppe insgesamt elf verschiedene Verkehrssituationen (typische Fahrweisen) jeweils in Kombination mit vier Längsneigungsklassen der Straßen. Bei der Ableitung der fahrleistungsspezifischen Emissionsfaktoren je Fahrzeuggruppe und Straßenkategorie werden für die jeweilige Straßenkategorie und differenziert nach Kreisen typische Verkehrsstrukturen, das heißt die Zusammensetzung der gefahrenen Kilometer nach Fahrzeugarten, bestimmt. Um dabei das unterschiedliche Emissionsverhalten der in den einzelnen Fahrzeuggruppen zusammengefaßten Fahrzeugarten zu berücksichtigen, geht in die Berechnung der Emissionsfaktoren die sogenannte dynamische Flottenstruktur ein. Diese dynamische Flottenstruktur ergibt sich aus der regionalen Zusammensetzung der Fahrzeugbestände nach Fahrzeugarten, jeweils gewichtet mit den spezifischen durchschnittlichen Fahrleistungswerten der einzelnen Fahrzeugarten. So wird etwa bei den Pkw mit Ottomotor nach den verschiedenen Abgasminderungsklassen differenziert. Die sogenannte statische Flottenstruktur wird aus den amtlichen Pkw-Bestandszahlen je Kreis berechnet. Die spezifischen Fahrleistungen je Fahrzeugart sind aus dem Emissionshandbuch abgeleitet.

Erhöhte Emissionen bei kaltem Motor eingerechnet

Von wesentlichem Einfluß auf die Höhe der Emissionen ist auch der Umfang der mit kaltem Motor gefahrenen Kilometer, da die Wirkung der Katalysatoren in dieser Kaltstartphase vermindert ist. Im Emissionshandbuch werden dazu auch Kaltstartemissionsfaktoren für die unterschiedlichen Fahrzeugarten bereitgestellt, die die durchschnittlichen zusätzlichen Emissionen je Fahrzeugstart angeben. Das im Modell verwendete Verfahren zur Ermittlung dieser Kaltstartemissionen verknüpft die Anzahl von Starts je zurückgelegtem Kilometer mit den für das betreffende Gebiet insgesamt ermittelten Jahresfahrleistungen. Die so berechnete Anzahl an Fahrzeugstarts wird mit den Kaltstartfaktoren gewichtet. Da die bei Kaltstarts zusätzlich verursachten Emissionen auch von der Außentemperatur abhängen, werden – um diesem Einfluß Rechnung zu tragen – vier Klimazonen des Landes mit unterschiedlichen mittleren Temperaturen berücksichtigt. Weil die Kaltstarts wohl überwiegend im Innerortsbereich erfolgen, werden die dazu ermittelten Emissionen auch dem Innerortsbereich zugeschlagen.

Jahresfahrleistungen nach Straßenkategorien und Fahrzeuggruppen

Die Emissionen an Luftschadstoffen werden – wie oben ausgeführt – in erster Linie durch die Entwicklung der Jahresfahrleistungen, deren Zusammensetzung nach Kfz-Arten sowie ihrer Verteilung auf die Straßenkategorien mit einer Vielzahl daran geknüpfter weiterer Einflußfaktoren bestimmt. Für die Interpretation der Entwicklung der Emissionen ist deshalb zunächst die Verteilung und Entwicklung der Jahresfahrleistungen von primärer Bedeutung. Die gesamte Jahresfahrleistung aller Kfz-Arten auf den Straßen des Landes Baden-Württemberg betrug im Jahr 1997 rund 82,7 Mrd. Kilometer und lag damit um 37 % höher als im Jahr 1985 (Tabelle 2). Der Anteil der Kfz-Gruppen an den gesamten Fahrleistungen ist ebenso unterschiedlich wie die spezifischen Emissionen der einzelnen Kfz-Gruppen bzw. Fahrzeugarten. Eindeutig dominiert wird das Verkehrsgeschehen durch Pkw, die mit 72,3 Mrd. Kilometern immerhin 87 % der gesamten Jahresfahrleistung im Jahr 1997 erbrachten. Auf die schweren Lkw und Busse entfielen mit 6,3 Mrd. Fahrkilometern knapp 8 % und auf die leichten Lkw bei 2,2 Mrd. Kilometern Jahresfahrleistung weniger als 3 % der gesamten Jahresfahrleistung. Die Kräder haben mit 1,8 Mrd. Kilometern einen Anteil von 2 %. Der Anteil der Fahrzeuggruppen variiert bei den verschiedenen Straßenkategorien relativ stark. Auf den Autobahnen des Landes, die 1997 mit einer durchschnittlichen Verkehrsstärke von 52 880 Kraftfahrzeugen pro Tag belastet waren, wurden über 19,7 Mrd. Kilometer gefahren. Das heißt, auf einer Straßenlänge von nur 1 020 Kilometern – das sind gerade 3,4 % der gesamten Länge der Außerortsstraßen – wurden 24 % der insgesamt zurückgelegten Kilometer gefahren. Daran hat der Pkw-Verkehr einen Anteil von 82 % und der Verkehr mit schweren Lkw und Bussen von 14 %. Der Anteil des Lkw-Verkehrs ist auf den Autobahnen damit fast doppelt so hoch wie im Durchschnitt über alle Straßenkategorien.

Die Verkehrsdichte auf den Bundesstraßen betrug 1997 im Durchschnitt 12 998 Kraftfahrzeuge pro Tag; dies entspricht einer Jahresfahrleistung von 16,9 Mrd. Kilometern bei einer Straßenlänge von 3 559 Kilometern. Der Pkw-Anteil liegt hier mit 88 % spürbar höher als auf den Autobahnen, während die schweren Lkw und Busse mit 7,5 % einen Anteil von knapp unter dem

Tabelle 2
Jahresfahrleistungen^{*)} in Baden-Württemberg 1985 bis 1997 nach Kfz-Arten

Jahr	Jahresfahrleistungen		Davon										
			Kräder		Pkw			Lkw < 3,5 t		Lkw > 3,5 t		Busse > 3,5 t	
	Mill. km	1985 \triangle 100	Mill. km	1985 \triangle 100	Mill. km	1985 \triangle 100	darunter Pkw konventionell	Mill. km	1985 \triangle 100	Mill. km	1985 \triangle 100	Mill. km	1985 \triangle 100
							Anteil an Sp. 5 in %						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1985	60 253	100	1 139	100	52 688	100	87,6	1 748	100	4 123	100	556	100
1990	75 504	125,3	1 557	136,8	66 109	125,5	56,5	2 262	129,4	4 940	119,8	636	114,5
1995	80 719	134,0	1 708	150,0	70 839	134,4	24,4	2 146	122,8	5 392	130,8	635	114,3
1996	81 954	136,0	1 761	154,7	71 867	136,4	19,7	2 191	125,4	5 491	133,2	643	115,8
1997	82 714	137,3	1 788	157,0	72 379	137,4	15,6	2 228	127,5	5 661	137,3	658	118,4

*) Auf Außerorts- und Innerortsstraßen.

Gesamtdurchschnitt haben. Dabei weisen die vierspurigen Streckenabschnitte eine dreimal höhere Verkehrsdichte (31 673 Kraftfahrzeuge pro Tag) auf als die zweispurigen Bundesstraßenabschnitte. Die Verkehrsdichte auf den Landes- und Kreisstraßen lag 1997 bei täglich 4 606 Kraftfahrzeugen bzw. 2 295 Kraftfahrzeugen vergleichsweise niedrig. Dennoch machen die resultierenden absoluten Fahrleistungen auf diesen beiden Straßenkategorien mit 20,7 Mrd. Kilometern immerhin 25 % der gesamten Fahrleistungen aus, weil das flächendeckende Verkehrsnetz der Landes- und Kreisstraßen mit insgesamt 17 100 Kilometern den Hauptteil der Außerortsstraßen ausmacht. Der Verkehrsanteil für Pkw liegt auf den Landes- und Kreisstraßen bei 89 %, Lkw und Busse haben hier einen deutlich unterdurchschnittlichen Anteil am Gesamtfahrleistungsaufkommen. Die Fahrleistung auf den Innerortsstraßen betrug 1997 rund 24,7 Mrd. Kilometer. Dies entspricht einem Anteil von 30 % am Verkehrsaufkommen insgesamt. Die Dominanz des Pkw-Verkehrs auf den Innerortsstraßen ist mit einem Anteil von 91 % besonders deutlich. Die schweren Lkw und Busse haben dort einen Anteil von 4 %. Hervorzuheben ist der hohe Anteil des Innerortsverkehrs in den Stadtkreisen, auf die mit 7,3 Mrd. Kilometern fast 30 % der insgesamt auf Innerortsstraßen erbrachten Jahresfahrleistungen entfallen. Der Fahrleistungsanteil der Innerortsstraßen liegt in den Stadtkreisen im Mittel bei 52 %, während in den Landkreisen der Innerortsverkehr nur einen halb so hohen Anteil (rund 25 %) ausmacht.

Deutliche Verringerung der Emissionen trotz Verkehrszunahme

Aus der Gegenüberstellung der Entwicklung der Jahresfahrleistung einerseits und der Emissionen andererseits – jeweils gegliedert nach Fahrzeuggruppen und Straßenkategorien – wird erkennbar, wie die seit Mitte der 80er Jahre ergriffenen Maßnahmen zur Abgasreinigung bei den Kraftfahrzeugen gewirkt haben. Die Jahresfahrleistung der Pkw-Flotte hat seit 1985 um 37 % zugenommen, wobei bis 1990 der Verkehrszuwachs mit + 25,5 % deutlich stärker war als im Zeitraum von 1990 bis 1997. Im selben Zeitraum ist der Ausstoß der Emissionen an NO_x, CO und HC durch den Pkw-Verkehr deutlich zurückgegangen. Die NO_x-Emissionen lagen im Jahr 1997 um 53 % niedriger, die CO-Emissionen um 60 % und die HC-Emissionen bezogen auf die

Abgasemissionen um 64 % niedriger als im Jahr 1985. Trotz der starken Verkehrszunahme wurden also die Emissionen um mehr als die Hälfte verringert (Schaubild 4). Diese Entwicklung beruht in erster Linie auf der Zunahme des Bestands an Otto-Pkw mit G-Kat bzw. der fortlaufenden Verbesserung der Katalysatorwirkung einerseits und der Erhöhung des Bestandsanteils der Diesel-Pkw andererseits. Allerdings ist der Erneuerungsprozeß der Otto-Pkw hinsichtlich der Ausstattung mit G-Kat noch nicht abgeschlossen. Dieser allein auf die vollständige Ausstattung mit G-Kat bezogene Prozeß der Flottenerneuerung wird voraussichtlich noch sieben bis acht Jahre andauern.

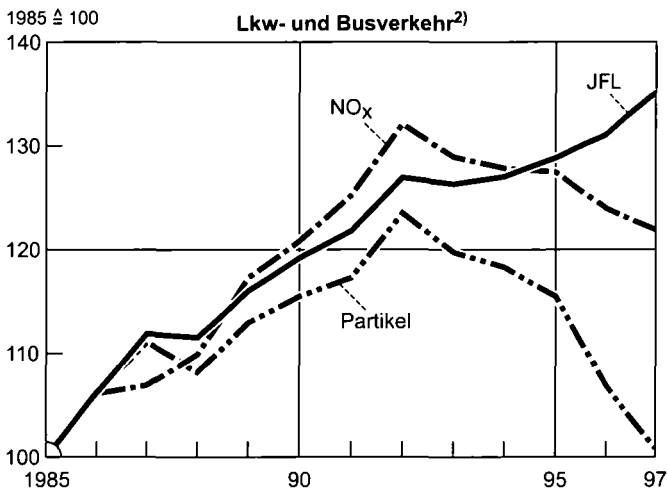
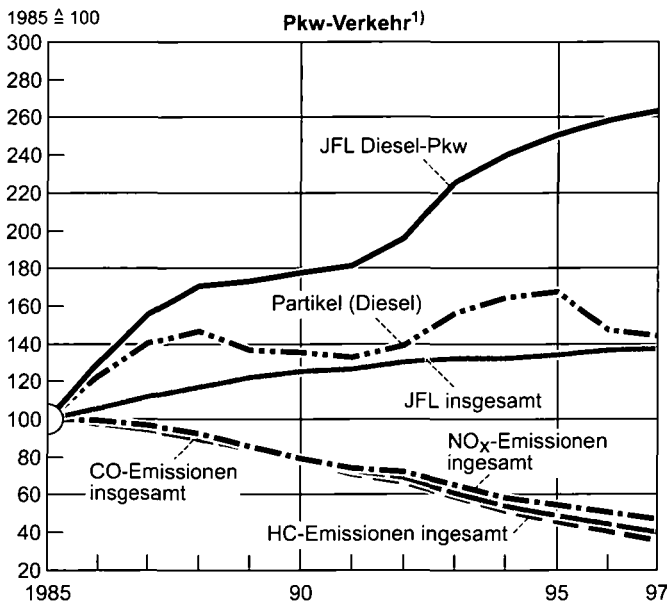
Die Auswirkung der im Zeitraum 1985 bis 1997 vollzogenen Bestandserneuerung auf die Emissionswerte im Durchschnitt der gesamten Pkw-Flotte ist bei den einzelnen Schadstoffen unterschiedlich. Bei NO_x wurde der durchschnittliche Emissionswert je Pkw-Kilometer einschließlich Kaltstartemissionen um 66 % auf 0,80 Gramm pro Kilometer verringert. Der durchschnittliche CO-Emissionswert wurde um 71 % auf 4,5 Gramm pro Kilometer und der abgasbedingte HC-Emissionswert sogar um 74 % auf 0,50 Gramm pro Kilometer gesenkt. Der durch die Einführung des G-Kat erzielte Minderungsgrad differiert bei den einzelnen Straßenkategorien. Zum Beispiel beträgt der Minderungsgrad für NO_x auf Autobahnen bezogen auf den Otto-Pkw mit G-Kat gegenüber einem Otto-Pkw ohne Schadstoffreduzierung rund 73 %. Dagegen liegen die NO_x-Emissionen eines G-Kat-Fahrzeugs auf den Innerortsstraßen im Mittel nur 56 % unter denen eines Fahrzeugs ohne Schadstoffreduzierung. Der Hauptgrund dafür liegt in den sehr unterschiedlichen Fahrsituationen. Auch bei den CO- und HC-Emissionen ist die Wirkung des G-Kat nach Straßenkategorien unterschiedlich. Im Durchschnitt über alle Straßenkategorien beträgt der Minderungseffekt eines G-Kat-Fahrzeugs bei CO rund 76 % und bei den HC-Emissionen 85 %, während auf den Innerortsstraßen mit 57 % bzw. 60 % nur unterdurchschnittliche Minderungsraten erzielt werden.

Nachholbedarf bei der Minderung der Partikelemissionen

Auch beim Ersatz eines Otto-Pkw ohne G-Kat durch einen Diesel-Pkw werden ähnliche Minderungsraten bezogen auf NO_x, CO und HC wie beim Ersatz durch einen Otto-Pkw mit G-Kat

Schaubild 4

Jahresfahrleistungen (JFL) und Emissionen durch den Pkw-, Lkw- und Busverkehr in Baden-Württemberg 1985 bis 1997



1) Otto-Pkw und Diesel-Pkw, auf Außerorts- und Innerortsstraßen. – 2) Lkw und Busse > 3,5 t, auf Außerorts- und Innerortsstraßen.

erzielt. Die durchschnittlichen Emissionswerte eines Diesel-Pkw liegen bei NO_x geringfügig, bei CO und HC sogar spürbar niedriger als bei einem Otto-Pkw mit G-Kat nach Schadstoffminderungskategorie 2. Diese vergleichsweise gute Emissionsbilanz des Diesel-Pkw wird allerdings durch den zusätzlichen Ausstoß von Partikeln getrübt. Dies hat infolge der starken Zunahme der Diesel-Pkw auch mit dazu beigetragen, daß die Partikelemissionen insgesamt angestiegen sind. Die Jahresfahrleistung der Diesel-Pkw ist seit 1985 um 163 %, das heißt deutlich stärker angestiegen als die Partikelemissionen des Diesel-Pkw-Verkehrs, die im selben Zeitraum um 45 % zugenommen haben (Schaubild 4). Die erheblich geringere Zunahme der Emissionen erklärt sich durch die fortschreitende Erneuerung der Diesel-Pkw-Flotte durch Fahrzeuge, die die strengeren Abgaswerte laut US-Norm bzw. Euronormen 1 und 2 erfüllen. Die verbesserten Partikelabgas-

werte werden durch Primärmaßnahmen am Motor erreicht. Seit 1985 wurden durch die Erneuerung der Diesel-Pkw-Flotte mit Fahrzeugen, die die strengeren Abgasgrenzwerte einhalten, die spezifischen Partikelemissionen von 0,16 auf 0,09 Gramm je Kilometer, also um rund 44 % verringert. Die im Betrachtungszeitraum erreichten Minderungseffekte für die Schadstoffe NO_x, CO und HC sind jedoch, gemessen an den beim G-Kat erzielten Minderungsarten, vergleichsweise gering.

Bei den schweren Lastkraftwagen und Bussen verlief die Entwicklung von Jahresfahrleistung sowie Emissionen in etwa gleichgerichtet. Die Jahresfahrleistung hat seit 1985 um 35 %, die daraus resultierenden NO_x-Emissionen haben um 22 % und die Partikelemissionen um 1 % zugenommen. Die unterdurchschnittliche Steigerung des Schadstoffausstoßes ist mit der Einführung neuer Lastkraftwagen, die den Euronormen 1 bzw. 2 genügen, zu erklären. Durch diese Verminderung der spezifischen Emissionen zeichnet sich seit 1992 eine leichte Trendwende in der Emissionsentwicklung ab (Schaubild 4).

Im Gegensatz zu den schweren Lkw ist bei den leichten Lastkraftwagen seit 1985 eine Entkopplung der Emissionsentwicklung von der Entwicklung der Jahresfahrleistung gelungen. Während die Jahresfahrleistung seit 1985 um 28 % zugenommen hat, gingen die Emissionen an HC und CO um jeweils 70 % und die NO_x- bzw. Partikelemissionen um 40 % bzw. 46 % zurück. Ursachen sind ähnlich wie bei den Pkw die zunehmende Ausstattung leichter Lkw mit G-Kat bzw. der steigende Anteil an Dieselfahrzeugen.

Zwischenbilanz

Zusammenfassend ist festzustellen, daß durch die Erneuerung der Pkw-Flotte bei gleichbleibender Fahrleistung die NO_x-Emissionen gegenüber dem Vergleichsjahr 1985 um 81 600 t oder 60 % verringert worden wären. Durch die Zunahme der Pkw-Fahrleistungen im selben Zeitraum wurden aber zusätzliche Emissionen von 16 800 t verursacht, so daß letztlich die NO_x-Emissionen durch den Pkw-Verkehr seit 1985 um 64 800 t (- 53 %) abgenommen haben. Hervorzuheben ist, daß die Otto-Pkw ohne G-Kat auch im Jahr 1997 noch einen Anteil von 37 % an den gesamten NO_x-Emissionen des Pkw-Verkehrs hatten, obwohl im selben Zeitraum der Anteil der Alt-Pkw an den Jahresfahrleistungen auf 16 % zurückgegangen ist.

Die im Pkw-Verkehr erzielte Minderung der NO_x-Emissionen wird teilweise kompensiert durch die Zunahme der NO_x-Emissionen im Schwerlast- und Busverkehr. Wie bereits oben ausgeführt, hat hier die Zunahme der Fahrleistungen (+ 35 %) trotz geringfügiger spezifischer Emissionsminderung zu einer Erhöhung der Emissionen um 22 %, das heißt um 9 800 t gegenüber 1985, geführt. Die Zunahme der NO_x-Emissionen durch Lkw wurde vor allem auf den Autobahnen des Landes wirksam. So erklärt sich auch die insgesamt deutlich unterdurchschnittliche Reduzierung der NO_x-Emissionen im Autobahnverkehr.

Die Minderung der CO-Emissionen im Zeitraum von 1985 bis 1997 um über 504 000 t – dies entspricht einer Abnahme um 56 % – wurde fast ausschließlich durch die Maßnahmen zur Abgasreinigung im Pkw-Verkehr erreicht. Die durch die Abnahme der spezifischen Emissionen erzielte Verringerung der Pkw-Emissionen wurde durch die Verkehrszunahme um 89 000 t geschmälert. Ähnlich wie bei den CO-Emissionen ist die Situation für die Kohlenwasserstoffemissionen. Die HC-Emissionen durch den

Pkw-Verkehr wurden seit dem Jahr 1985 per saldo um 66 300 t reduziert. Diese Minderung fiel um 10 600 t geringer aus, als sie bei gleichbleibenden Fahrleistungen durch die vollzogene Umschichtung des Pkw-Bestands hin zu Fahrzeugen mit G-Kat erzielt worden wäre. Auch der Rückgang der Verdunstungsemissionen um knapp 50 % geht fast ausschließlich auf die Einführung des G-Kat zurück.

Die Gesamtentwicklung der Partikelemissionen seit 1985, die per saldo eine Zunahme um 260 t ausweist, resultiert aus teilweise gegenläufigen Entwicklungen bei den Fahrzeugkategorien. Durch die Erhöhung der Fahrleistungen von Diesel-Pkw wurde eine Zunahme um 474 t verursacht. Diese Emissionszunahme resultiert aus den durch die starke Verkehrszunahme verursachten 975 t minus den durch die Minderung der spezifischen Emissionen der Diesel-Pkw vermiedenen 414 t. Die Entwicklung bei den Lkw und Bussen führte per saldo zu einer Erhöhung der Partikelemissionen um 23 t, die sich in ähnlicher Weise wie bei den Pkw dadurch erklärt, daß die Minderung der spezifischen Emissionen durch die Zunahme der Fahrleistungen überkompensiert wurde. Dagegen hat die Menge der Partikelemissionen durch leichte Lkw um 235 t abgenommen.

Regionale Konzentration von Fahrleistungen und Emissionen

Die regionale Belastung durch straßenverkehrsbedingte Emissionen wird in erster Linie von der Einwohner- und Beschäftigtendichte sowie dem Anteil am überörtlichen bzw. Fernverkehr einschließlich Transitverkehr geprägt. Dementsprechend hoch sind die absoluten Fahrleistungs- und Emissionswerte in den dichtbesiedelten Stadt- und Landkreisen sowie in Kreisen mit hohem Anteil am Autobahnverkehr. Auch zwischen den Gemeinden innerhalb der Landkreise bestehen erhebliche Unterschiede in der Emissionsbelastung (*Schaubild 5 – Beispiel: Stickoxid-Emissionen*). Dabei sind durchaus signifikante Unterschiede in der regionalen Aufteilung der Gesamtfahrleistung auf die verschiedenen Fahrzeuggruppen zu beobachten, und auch die Verteilung der Fahrleistung nach Straßenkategorien differiert regional beträchtlich. In den Stadtkreisen haben die Innerortsfahrleistungen absolut und relativ ein weitaus größeres Gewicht als in den Landkreisen, und umgekehrt ist der Verkehr auf Außerortsstraßen und Autobahnen in den Stadtkreisen gemessen an der Bevölkerungszahl meist weit unterproportional ausgeprägt. So erklärt sich auch, daß insgesamt die Jahresfahrleistung pro Einwohner sowohl im Pkw- wie auch im Lkw-Bereich in den Stadtkreisen deutlich unter dem Landesdurchschnitt liegt (*Tabelle 3*). Im Gegensatz dazu weisen eher ländliche Kreise mit stark befahrenen Autobahnstrecken deutlich über dem Landesdurchschnitt liegende einwohnerspezifische Fahrleistungen auf. Auch bestehen auffällige Unterschiede in der regionalen Rangfolge bei den Fahrleistungen der Pkw bzw. Lkw. Wegen des besonders hohen Anteils der Autobahnen am Schwerlastverkehr ist die regionale Konzentration der Fahrleistungen und Emissionen im Lkw-Bereich stärker ausgeprägt als im Pkw-Bereich. Das mit Abstand höchste Lkw-Verkehrsaufkommen hat der Rhein-Neckar-Kreis mit fast 7 % der jährlich insgesamt im Land gefahrenen Lkw-Kilometer.

Ein Indikator für die regionale Verkehrsbelastung ist der Pkw-Bestand, der jedoch die regionalen Unterschiede allenfalls in Teilen zu erklären vermag. Tatsächlich streut der Pkw-Bestand bezogen auf die Bevölkerungszahl regional stark. Die geringste Pkw-Dichte weisen die Stadtkreise auf, wobei die Universitäts-

stadt Freiburg mit 417 Pkw je 1 000 Einwohner den deutlich niedrigsten Wert aufweist. Bemerkenswert ist auch die geringe Pkw-Dichte im Landkreis Tübingen, möglicherweise geprägt durch die Universitätsstadt Tübingen. Die höchste Pkw-Dichte hat der Hohenlohekreis, wobei dort allerdings ein hoher Anteil gewerblich genutzter Pkw besonders zu Buche schlägt. Es folgen in der Rangskala eine Reihe von Landkreisen in der Nachbarschaft großer Stadtkreise, die offenbar als Wohnsitzkreise stark nachgefragt sind und in denen eine hohe Mobilitätsnachfrage besteht. Dieser Zusammenhang dürfte auch erklären, weshalb in Baden-Baden die Pkw-Dichte sehr hoch liegt. Ähnlich unterschiedlich wie die Pkw-Dichte ist auch die Zunahme des Pkw-Bestands in den Jahren seit 1985 regional sehr verschieden ausgefallen. Die niedrigsten Steigerungsraten errechnen sich für Stuttgart und Heidelberg. Die höchste Zunahme weisen der Hohenlohekreis und der Landkreis Heilbronn auf, gefolgt von einer Reihe ländlicher Kreise (Biberach, Alb-Donau-Kreis, Main-Tauber-Kreis, Schwäbisch Hall und Sigmaringen). Bemerkenswert erscheint, daß in der Mehrzahl der Kreise, in denen der Pkw-Bestand überproportional zugenommen hat, auch die Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten überdurchschnittlich angestiegen ist.

Im Gegensatz zu den auf die Einwohnerzahl bezogenen Verkehrsdaten, die eher Hinweise auf die Ursachenstruktur für hohe Fahrleistungen und daraus folgend hohe Emissionen liefern, gibt die auf die Fläche der Kreise bezogene Emissionsdichte einen Maßstab für die Belastung des jeweiligen Gebiets (*Schaubild 6*). Hier zeigt sich, daß die Emissionsdichte in den Stadtkreisen, ausgenommen Baden-Baden, durchweg deutlich höher liegt als in den Landkreisen. Dabei ist die Reihenfolge bei den einzelnen Schadstoffkomponenten teilweise unterschiedlich. Generell die höchste Emissionsdichte hat Stuttgart, gefolgt von Mannheim und Karlsruhe, die in etwa gleich belastet sind. Bei CO und HC liegen die Werte für Mannheim höher, bei den Staubemissionen ist der Wert für Karlsruhe höher als der von Mannheim. Unter den Landkreisen weisen Esslingen und Ludwigsburg die höchsten Emissionsdichten auf, gefolgt vom Landkreis Böblingen und dem Rhein-Neckar-Kreis. Eine weitere Gruppe mit überdurchschnittlicher Emissionsdichte bilden die Landkreise Karlsruhe, Heilbronn, Rastatt, Göppingen und der Enzkreis. Dagegen sind fast spiegelbildlich zur Rangfolge bei den bevölkerungsbezogenen Emissionswerten die Emissionsdichten in den ländlichen Kreisen deutlich am niedrigsten (*Tabelle 4*).

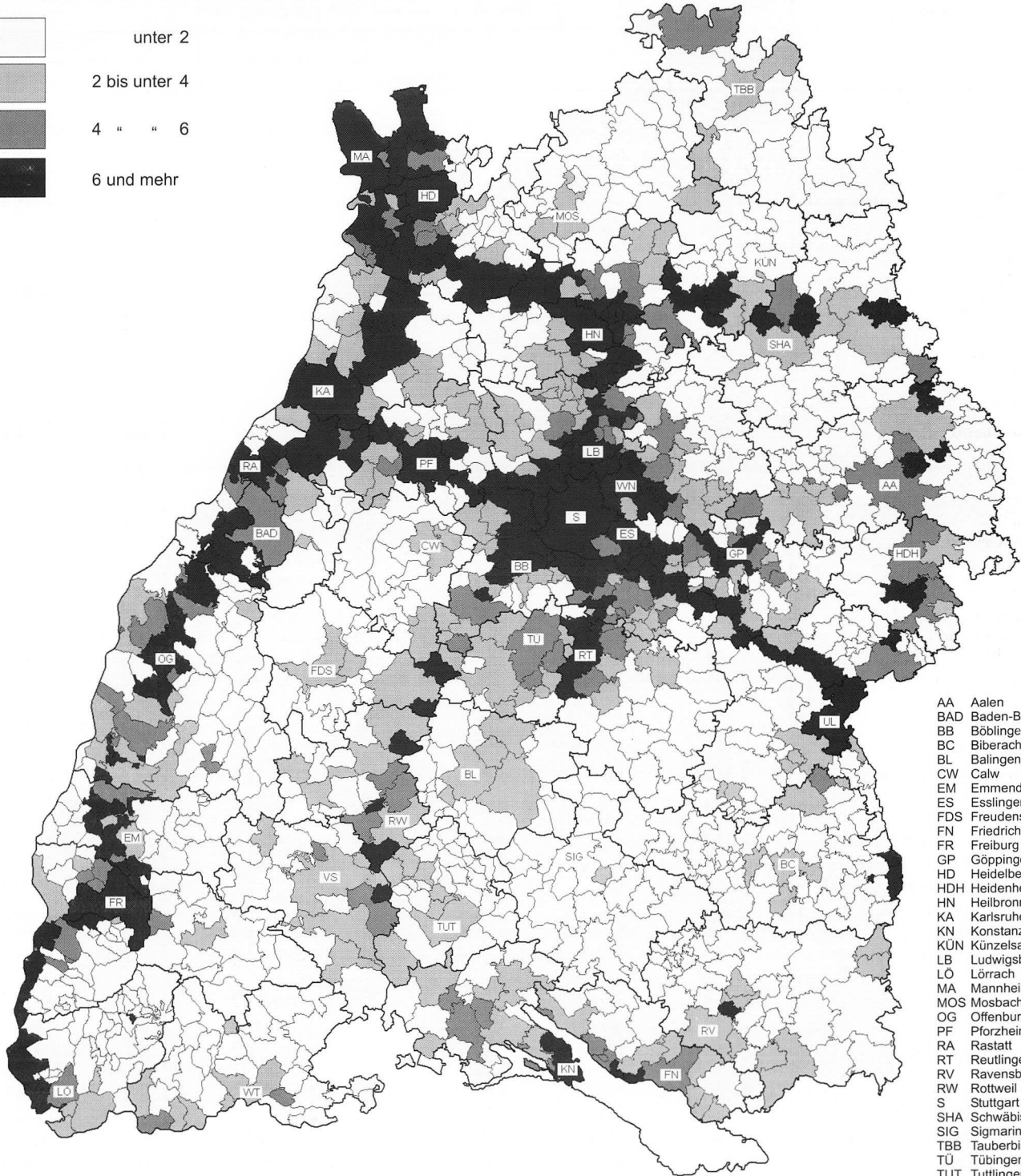
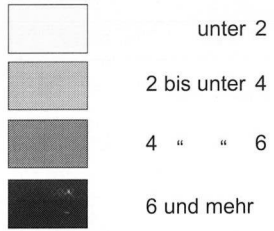
Regionale Entwicklung der Emissionen

Die Entwicklung der Emissionen seit 1985 ist geprägt von zahlreichen Einflußgrößen, die regional zum Teil sehr unterschiedlich stark wirkten. Die verschiedenen Einflußfaktoren, die die Emissionen der einzelnen Schadstoffe bestimmen, sind oben bereits ausführlich dargestellt. Je nach regionalen Verhältnissen sind auch Unterschiede hinsichtlich der einzelnen Schadstoffkomponenten festzustellen. Maßgeblich für die Entwicklung der Emissionen ist in erster Linie die regionale Verkehrsstruktur und deren Entwicklung seit 1985. Ursachen für die verschieden starke Zunahme der Fahrleistungen sind regionale Streuungen im Anstieg des Fernverkehrs, der sowohl im Pkw- wie auch im Lkw-Bereich zu erheblichen Steigerungen der Belastung auf Autobahnen und anderen Fernstraßen geführt hat, und vor allem auch Einflüsse, die aus dem stark differierenden Bevölkerungswachstum entspringen. So sind offensichtlich die Fahrleistungen vor allem in Regionen bzw. Kreisen überdurchschnittlich angestiegen, in denen die Bevölkerungszahl überdurchschnittlich gewach-

Schaubild 5

Stickoxid-Emissionen*) durch den Straßenverkehr in den Gemeinden Baden-Württembergs 1995

Emissionsdichte in t/km² Gemarkungsfläche



- AA Aalen
- BAD Baden-Baden
- BB Böblingen
- BC Biberach
- BL Balingen
- CW Calw
- EM Emmendingen
- ES Esslingen
- FDS Freudenstadt
- FN Friedrichshafen
- FR Freiburg
- GP Göppingen
- HD Heidelberg
- HDH Heidenheim
- HN Heilbronn
- KA Karlsruhe
- KN Konstanz
- KÜN Künzelsau
- LB Ludwigsburg
- LÖ Lörrach
- MA Mannheim
- MOS Mosbach
- OG Offenburg
- PF Pforzheim
- RA Rastatt
- RT Reutlingen
- RV Ravensburg
- RW Rottweil
- S Stuttgart
- SHA Schwäbisch Hall
- SIG Sigmaringen
- TBB Tauberbischofs.
- TÜ Tübingen
- TUT Tuttlingen
- UL Ulm
- VS Villingen-Schw.
- WN Waiblingen
- WT Waldsh.-Tieng.

*) Die Berechnung der Straßenverkehrsemissionen wurde mit den Emissionsfaktoren laut Emissionshandbuch des Straßenverkehrs (Hrsg. Umweltbundesamt) durchgeführt.

Tabelle 3

Indikatoren zur Entwicklung der Jahresfahrleistung in den Stadt- und Landkreisen Baden-Württembergs 1985 und 1997

Kreis	Veränderung der Wohnbevölkerung 1985/1997	Pkw-Dichte 1997	Veränderung des Pkw-Bestandes 1985/1997	Spezifische Jahresfahrleistung der Pkw ¹⁾ 1997	Darunter Jahresfahrleistungen auf den Innerortsstraßen 1997	Veränderung der Jahresfahrleistung ¹⁾ 1985/1997	
	%	Pkw/1 000 Einwohner	%	1 000 km/Einwohner		Pkw	Lkw, Busse > 3,5 t
						%	
Stadtkreis Stuttgart	+ 4,3	482	+ 18,7	5,7	3,5	+ 11,8	- 14,1
Landkreise							
Böblingen	+ 15,2	566	+ 37,8	8,3	2,1	+ 40,9	+ 27,4
Esslingen	+ 8,4	562	+ 30,4	6,3	1,8	+ 36,6	+ 33,3
Göppingen	+ 11,6	534	+ 36,1	6,6	2,1	+ 35,8	+ 18,8
Ludwigsburg	+ 12,9	547	+ 35,5	6,6	1,9	+ 44,1	+ 28,1
Rems-Murr-Kreis	+ 13,3	539	+ 33,4	5,3	1,8	+ 31,3	+ 13,6
Region Stuttgart	+ 10,2	535	+ 30,7	6,4	2,3	+ 32,0	+ 14,6
Stadtkreis Heilbronn	+ 9,3	542	+ 34,7	7,4	4,3	+ 35,0	+ 48,8
Landkreise							
Heilbronn	+ 23,9	581	+ 55,8	8,7	1,5	+ 58,9	+ 80,4
Hohenlohekreis	+ 23,5	605	+ 63,3	9,5	1,6	+ 64,9	+ 35,3
Schwäbisch Hall	+ 21,5	532	+ 43,7	7,8	1,9	+ 43,8	+ 75,2
Main-Tauber-Kreis	+ 13,8	543	+ 45,2	8,6	1,5	+ 50,7	+ 76,9
Region Franken	+ 19,4	562	+ 49,3	8,4	2,0	+ 51,8	+ 66,6
Landkreise							
Heidenheim	+ 11,7	521	+ 36,5	7,2	2,1	+ 111,6	+ 169,8
Ostalbkreis	+ 13,0	529	+ 39,9	6,5	2,1	+ 62,5	+ 83,7
Region Ostwürttemberg	+ 12,6	527	+ 38,9	6,7	2,1	+ 75,8	+ 108,8
Regierungsbezirk Stuttgart	+ 12,4	540	+ 35,5	6,9	2,2	+ 40,9	+ 38,2
Stadtkreise							
Baden-Baden	+ 8,5	575	+ 25,8	8,1	2,6	- 3,4	+ 16,0
Karlsruhe	+ 3,2	492	+ 22,4	6,7	3,0	+ 16,8	- 0,3
Landkreise							
Karlsruhe	+ 13,4	551	+ 37,6	7,6	1,6	+ 32,4	+ 30,6
Rastatt	+ 16,3	566	+ 36,1	7,2	1,9	+ 24,2	+ 26,0
Region Mittlerer Oberrhein	+ 10,6	539	+ 32,2	7,3	2,1	+ 23,4	+ 18,6
Stadtkreise							
Heidelberg	+ 4,1	429	+ 16,6	7,1	3,4	+ 6,8	- 18,4
Mannheim	+ 5,6	463	+ 20,9	5,9	3,3	+ 24,9	+ 3,7
Landkreise							
Neckar-Odenwald-Kreis	+ 15,2	531	+ 41,5	5,7	1,4	+ 39,9	+ 51,7
Rhein-Neckar-Kreis	+ 10,6	553	+ 33,0	7,8	1,6	+ 36,1	+ 38,2
Region Unterer Neckar	+ 8,9	510	+ 28,9	6,9	2,3	+ 29,2	+ 25,0
Stadtkreis Pforzheim	+ 13,6	460	+ 26,5	7,2	3,6	+ 21,1	+ 38,2
Landkreise							
Calw	+ 17,1	526	+ 40,2	5,9	2,1	+ 34,0	+ 33,0
Enzkreis	+ 14,7	551	+ 39,8	7,2	1,8	+ 44,4	+ 59,2
Freudenstadt	+ 18,7	519	+ 36,7	7,8	1,9	+ 37,3	+ 54,6
Region Nordschwarzwald	+ 15,9	519	+ 36,7	7,0	2,2	+ 35,0	+ 48,4
Regierungsbezirk Karlsruhe	+ 11,0	522	+ 31,7	7,1	2,2	+ 28,1	+ 26,0
Stadtkreis Freiburg im Breisgau	+ 9,9	417	+ 22,0	5,6	3,2	+ 18,7	+ 8,6
Landkreise							
Breisgau-Hochschwarzwald	+ 13,6	535	+ 33,8	8,4	1,5	+ 20,4	+ 17,7
Emmendingen	+ 9,9	528	+ 38,6	7,4	1,6	+ 32,3	+ 25,5
Ortenaukreis	+ 13,8	539	+ 41,0	8,0	2,0	+ 36,7	+ 43,8
Region Südlicher Oberrhein	+ 12,3	512	+ 35,4	7,5	2,1	+ 28,5	+ 28,6
Landkreise							
Rottweil	+ 11,0	545	+ 37,9	9,7	1,9	+ 56,7	+ 86,6
Schwarzwald-Baar-Kreis	+ 7,6	538	+ 31,5	7,1	1,9	+ 50,3	+ 55,5
Tuttlingen	+ 17,4	528	+ 42,0	6,3	1,9	+ 54,5	+ 39,8
Region Schwarzwald-Baar-Heuberg	+ 11,1	537	+ 36,1	7,7	1,9	+ 53,6	+ 63,2
Landkreise							
Konstanz	+ 12,6	505	+ 31,9	6,0	1,9	+ 35,4	+ 32,4
Lörrach	+ 12,2	508	+ 33,1	5,8	1,7	+ 41,5	+ 32,9
Waldshut	+ 13,1	541	+ 39,9	6,0	1,9	+ 33,1	+ 35,4
Region Hochrhein-Bodensee	+ 12,6	515	+ 34,4	6,0	1,8	+ 36,7	+ 33,4
Regierungsbezirk Freiburg	+ 12,1	518	+ 35,2	7,1	2,0	+ 36,1	+ 36,8
Landkreise							
Reutlingen	+ 14,3	537	+ 38,5	5,7	2,5	+ 50,5	+ 32,5
Tübingen	+ 14,3	481	+ 38,7	6,3	2,0	+ 51,3	+ 48,7
Zollernalbkreis	+ 13,2	574	+ 35,7	6,3	2,2	+ 54,3	+ 36,7
Region Neckar-Alb	+ 13,9	531	+ 37,7	6,1	2,3	+ 51,9	+ 38,4
Stadtkreis Ulm	+ 16,8	478	+ 36,4	7,3	3,6	+ 41,6	+ 33,9
Landkreise							
Alb-Donau-Kreis	+ 14,3	539	+ 45,6	9,2	1,6	+ 35,5	+ 27,0
Biberach	+ 17,0	540	+ 46,3	7,6	2,0	+ 51,5	+ 64,1
Region Donau-Iller ²⁾	+ 15,9	525	+ 43,7	8,1	2,2	+ 42,1	+ 38,9
Landkreise							
Bodenseekreis	+ 14,0	545	+ 34,4	6,8	2,5	+ 39,0	+ 32,1
Ravensburg	+ 13,1	526	+ 38,4	7,2	2,0	+ 59,9	+ 64,8
Sigmaringen	+ 15,4	536	+ 42,8	6,6	1,9	+ 40,0	+ 50,1
Region Bodensee-Oberschwaben	+ 13,9	534	+ 38,0	6,9	2,1	+ 48,2	+ 51,9
Regierungsbezirk Tübingen	+ 14,5	530	+ 39,4	6,9	2,2	+ 47,3	+ 42,8
Baden-Württemberg	+ 12,3	529	+ 35,1	7,0	2,2	+ 37,4	+ 35,1

1) Auf den Außerorts- und Innerortsstraßen. - 2) Soweit Land Baden-Württemberg.

Partikelemissionen durch den Straßenverkehr in den Stadt- und Landkreisen Baden-Württembergs 1985 und 1997

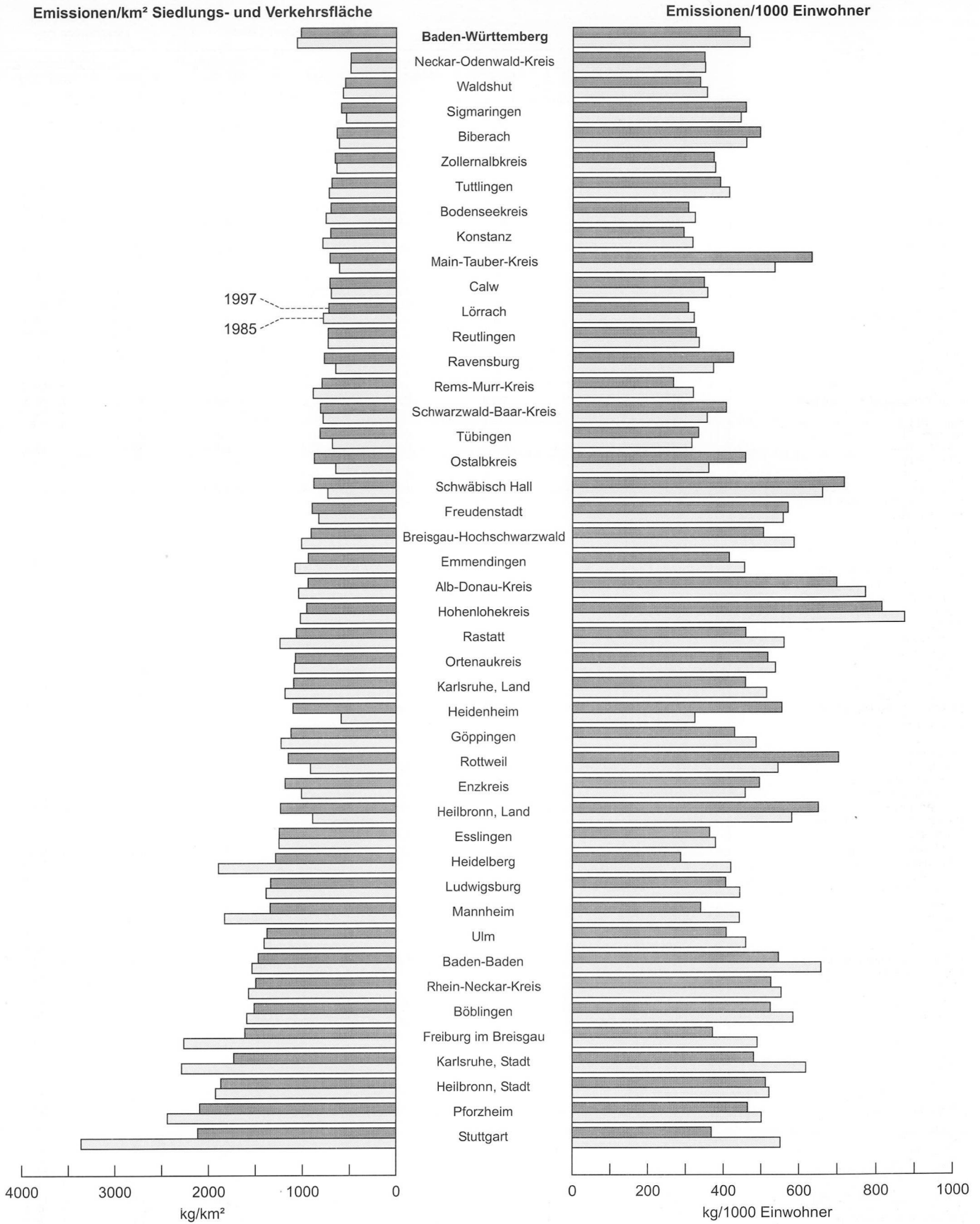


Tabelle 4

Emissionsdichte in den Stadt- und Landkreisen Baden-Württembergs 1985 und 1997

Kreis	Emissionsdichte 1997 ¹⁾ (Emissionen/km ² Gemarkungsfläche)							
	NO _x -Emissionen insgesamt		CO-Emissionen insgesamt		HC-Emissionen insgesamt (Abgas)		Partikelemissionen insgesamt	
	t/km ²	Veränderung 1985/1997 in %	t/km ²	Veränderung 1985/1997 in %	t/km ²	Veränderung 1985/1997 in %	kg/km ²	Veränderung 1985/1997 in %
Stadtkreis Stuttgart	25,0	- 48,2	88,5	- 65,0	11,3	- 67,2	1 039,5	- 30,2
Landkreise								
Böblingen	7,1	- 35,1	24,7	- 63,8	2,7	- 61,1	302,3	+ 3,4
Esslingen	7,2	- 38,2	28,5	- 57,5	3,2	- 58,7	279,9	+ 3,9
Göppingen	4,2	- 33,4	15,8	- 60,3	1,9	- 58,0	171,2	- 1,4
Ludwigsburg	7,2	- 32,5	27,4	- 57,4	3,2	- 57,9	288,9	+ 3,4
Rems-Murr-Kreis	3,2	- 39,9	15,3	- 52,1	1,9	- 58,8	125,7	- 5,0
Region Stuttgart	6,7	- 38,5	25,7	- 59,9	3,0	- 61,0	273,2	- 7,5
Stadtkreis Heilbronn	14,8	- 29,8	44,4	- 60,9	6,2	- 59,8	623,3	+ 7,3
Landkreise								
Heilbronn	4,4	- 15,7	13,4	- 52,9	1,5	- 53,1	183,1	+ 38,8
Hohenlohekreis	2,6	- 19,3	7,4	- 49,8	0,8	- 50,9	111,1	+ 15,2
Schwäbisch Hall	2,1	- 13,7	5,2	- 50,9	0,7	- 53,1	89,0	+ 32,0
Main-Tauber-Kreis	1,7	- 18,1	5,2	- 52,2	0,6	- 53,0	66,9	+ 34,8
Region Franken	2,8	- 18,0	8,3	- 53,1	1,0	- 53,8	119,5	+ 28,6
Landkreise								
Heidenheim	2,9	+ 23,7	8,9	- 33,1	1,1	- 42,4	121,9	+ 91,1
Ostalbkreis	2,3	- 11,1	7,8	- 42,6	1,0	- 51,3	95,0	+ 43,8
Region Ostwürttemberg	2,5	- 1,4	8,1	- 39,8	1,0	- 48,8	471,6	+ 35,0
Regierungsbezirk Stuttgart	7,7	- 31,1	26,9	- 57,3	3,2	- 58,6	317,8	+ 5,4
Stadtkreise								
Baden-Baden	5,4	- 50,0	16,4	- 67,3	2,1	- 68,8	205,7	- 10,1
Karlsruhe	19,1	- 42,0	53,4	- 65,9	6,9	- 64,3	768,1	- 19,8
Landkreise								
Karlsruhe	4,6	- 37,9	14,2	- 57,4	1,7	- 58,0	173,4	+ 1,1
Rastatt	3,6	- 39,6	11,0	- 57,0	1,4	- 57,9	137,3	- 4,5
Region Mittlerer Oberrhein	5,5	- 40,4	16,4	- 60,5	2,1	- 60,8	211,3	- 7,9
Stadtkreise								
Heidelberg	10,7	- 57,6	39,1	- 67,5	4,9	- 69,1	368,5	- 28,6
Mannheim	19,6	- 42,3	66,6	- 59,9	8,8	- 59,5	731,2	- 18,9
Landkreise								
Neckar-Odenwald-Kreis	1,1	- 30,1	4,2	- 52,5	0,6	- 56,3	46,0	+ 14,7
Rhein-Neckar-Kreis	6,8	- 33,8	19,3	- 58,7	2,3	- 58,5	256,1	+ 5,3
Region Unterer Neckar	5,1	- 38,7	16,0	- 59,5	2,0	- 60,0	192,4	- 4,2
Stadtkreis Pforzheim	14,1	- 36,7	51,4	- 60,8	6,1	- 63,0	561,7	+ 5,4
Landkreise								
Calw	1,5	- 37,2	6,4	- 54,4	0,9	- 59,4	68,9	+ 14,2
Enzkreis	3,9	- 24,2	14,2	- 57,7	1,7	- 56,2	162,7	+ 24,2
Freudenstadt	1,8	- 28,8	6,0	- 56,5	0,8	- 57,7	78,7	+ 21,6
Region Nordschwarzwald	2,7	- 30,9	10,0	- 57,5	1,3	- 58,8	116,2	+ 17,2
Regierungsbezirk Karlsruhe	7,9	- 38,7	24,8	- 59,7	3,1	- 60,2	305,7	- 3,6
Stadtkreis Freiburg im Breisgau	12,2	- 42,9	38,1	- 62,6	5,3	- 63,1	486,4	- 16,6
Landkreise								
Breisgau-Hochschwarzwald	2,2	- 42,6	7,3	- 59,3	0,9	- 60,5	86,3	- 2,1
Emmendingen	2,5	- 39,4	8,5	- 54,7	1,1	- 55,6	90,5	+ 0,1
Ortenaukreis	3,0	- 32,8	8,9	- 53,7	1,1	- 53,4	112,0	+ 9,6
Region Südlicher Oberrhein	3,0	- 38,1	9,4	- 57,0	1,2	- 57,5	113,8	+ 0,2
Landkreise								
Rottweil	3,1	- 17,9	10,0	- 52,4	1,1	- 53,5	128,1	+ 43,6
Schwarzwald-Baar-Kreis	2,1	- 27,9	8,2	- 50,9	1,0	- 55,3	83,2	+ 22,8
Tuttlingen	1,7	- 26,4	6,3	- 50,3	0,8	- 52,0	69,8	+ 10,6
Region Schwarzwald-Baar-Heuberg	2,3	- 23,8	8,2	- 51,3	1,0	- 53,9	92,9	+ 27,5
Landkreise								
Konstanz	2,7	- 36,1	11,6	- 52,0	1,4	- 54,9	94,2	+ 4,5
Lörrach	2,3	- 34,1	9,1	- 51,8	1,1	- 54,3	81,3	+ 7,0
Waldshut	1,3	- 34,2	5,3	- 49,8	0,7	- 55,3	49,1	+ 7,3
Region Hochrhein-Bodensee	2,0	- 34,9	8,3	- 51,4	1,1	- 54,8	71,9	+ 6,1
Regierungsbezirk Freiburg	4,4	- 34,2	15,0	- 54,6	1,9	- 56,1	170,4	+ 7,7
Landkreise								
Reutlingen	2,0	- 29,7	8,5	- 48,1	1,1	- 53,3	81,9	+ 11,5
Tübingen	3,4	- 30,0	13,3	- 52,2	1,6	- 54,4	131,8	+ 20,8
Zollernalbkreis	1,9	- 27,9	7,8	- 48,6	1,0	- 55,9	78,8	+ 11,9
Region Neckar-Alb	2,2	- 29,2	9,2	- 49,5	1,2	- 54,4	91,0	+ 14,2
Stadtkreis Ulm	10,1	- 34,1	36,9	- 57,9	4,5	- 61,1	398,6	+ 3,6
Landkreise								
Alb-Donau-Kreis	2,2	- 33,2	6,6	- 61,0	0,8	- 56,4	94,0	+ 3,2
Biberach	1,5	- 22,1	5,1	- 45,5	0,7	- 49,0	63,0	+ 26,3
Region Donau-Iller ²⁾	2,2	- 30,0	7,1	- 55,9	0,9	- 55,1	91,4	+ 10,1
Landkreise								
Bodenseekreis	2,5	- 35,0	11,0	- 47,1	1,5	- 52,1	90,4	+ 7,8
Ravensburg	1,7	- 20,0	6,2	- 44,5	0,8	- 50,0	69,1	+ 29,2
Sigmaringen	1,2	- 25,2	4,1	- 48,6	0,6	- 51,7	50,3	+ 18,9
Region Bodensee-Oberschwaben	1,7	- 26,1	6,4	- 46,3	0,9	- 51,1	66,6	+ 20,4
Regierungsbezirk Tübingen	3,4	- 29,0	12,3	- 51,5	1,6	- 54,0	137,0	+ 13,5
Baden-Württemberg	23,5	- 32,9	11,1	- 56,0	1,4	- 57,4	150,8	+ 8,9

1) Gesamtemissionen durch Kräder, Pkw, Lkw und Busse auf den Außerorts- und Innerortsstraßen. – 2) Soweit Land Baden-Württemberg.

sen ist. Zugleich liegt dort, wo hohe Verkehrszuwächse eintrafen, die Wirtschaftskraft eher unter dem Landesdurchschnitt. Dies spricht dafür, daß die Trennung von Wohn- und Arbeitsplatz weiter vorangeschritten und eine wesentliche Ursache ist für die zum Teil beträchtliche Verkehrszunahme in eher ländlichen Gebieten.

Überdurchschnittliche Emissionsminderung in Verdichtungsgebieten

Die NO_x -Emissionen wurden im Zeitraum seit 1985 landesweit um 33 % verringert. Der Rückgang in den einzelnen Kreisen variiert zwischen – 58 % in Heidelberg, gefolgt von Baden-Baden (– 50 %) und der Landeshauptstadt mit – 48 % sowie lediglich – 14 bzw. – 11 % im Landkreis Schwäbisch Hall und im Ostalbkreis (Tabelle 4). Eine Sondersituation nimmt der Landkreis Heidenheim mit einer deutlichen Zunahme der NO_x -Emissionen ein. Der Grund dafür liegt in der überdurchschnittlichen Verkehrsentwicklung auf den Autobahnen, von der Heidenheim besonders betroffen ist, da dort die neue Autobahn erst nach 1985 fertiggestellt wurde.

Allgemein ist die Emissionsminderung in den Stadtkreisen stärker ausgefallen als in den Landkreisen, wobei der hohe Anteil des Innerortsverkehrs in den Städten einen wesentlichen Grund darstellt. Unter den Landkreisen ist der Rückgang in der Region Stuttgart und anderen dichter besiedelten Kreisen stärker ausgeprägt als in den meisten eher ländlichen Kreisen. Dafür ist die oben bereits behandelte regionale Verkehrsentwicklung der Hauptklärungsfaktor.

Stark ins Gewicht fällt bei der Entwicklung der NO_x -Emissionen die Relevanz des Lkw-Verkehrs für diese Schadstoffkomponente, so daß Kreise mit überdurchschnittlichem Lkw-Verkehrszuwachs auch nur eine vergleichsweise geringe Emissionsminderung bzw. eine Emissionszunahme zu verzeichnen haben. Betroffen sind hierbei die Regionen Ostwürttemberg und Franken.

Ein anderes Bild als bei den NO_x -Emissionen zeigt die Entwicklung der CO-Emissionen seit 1985. Der Unterschied resultiert vor allem aus der eindeutigen Konzentration der CO-Emissionen auf den Pkw-Verkehr. Deshalb ist auch der Rückgang der CO-Emissionen dort am größten, wo der Pkw-Verkehr nur unterdurchschnittlich stark zugenommen hat. Die größte Minderung der CO-Emissionen seit 1985 wurde in den Stadtkreisen erreicht, angeführt von Heidelberg (– 68 %), Baden-Baden (– 67 %) und Stuttgart (– 65 %). Grund dafür ist die deutlich unterdurchschnittliche Zunahme des Pkw-Verkehrs auf den Innerortsstraßen, die in den Stadtkreisen besonders hohe Anteile haben. Vergleichsweise gering fiel die Minderung der CO-Emissionen in den Kreisen Heidenheim (– 33 %), Ostalbkreis (– 42 %) und Ravensburg (– 44 %) aus, wo eine deutlich überdurchschnittliche Zunahme des Pkw-Verkehrs zu registrieren war. Insgesamt ist die Streuung der Minderungsrate beim CO deutlich geringer als bei den NO_x -Emissionen. Ähnlich wie bei den CO-Emissionen stellt sich die Entwicklung der HC-Emissionen dar, weil auch für diese Schadstoffkomponente in erster Linie der Pkw-Verkehr verantwortlich ist.

Die regionale Entwicklung der Partikelemissionen seit 1985 verlief hingegen wieder deutlich differenzierter und ist eher vergleichbar mit der Entwicklung bei den NO_x -Emissionen. Grund dafür ist die in etwa gleich starke Beteiligung des Pkw- und Lkw-Verkehrs an der Entstehung der Partikelemissionen. Dabei fällt auf, daß die Zunahme der Emissionen in den Stadtkreisen deutlich

geringer ausfiel als im Landesdurchschnitt. In einigen Stadtkreisen sind die Partikelemissionen seit 1985 sogar spürbar zurückgegangen, in Stuttgart (– 30 %), Heidelberg (– 29 %), Karlsruhe (– 20 %) und auch in Mannheim (– 19 %). Diese vergleichsweise günstige Entwicklung liegt vor allem an der deutlichen Minderung des Lkw-Verkehrs auf den städtischen Innerortsstraßen. Vergleichsweise gering ist die Zunahmerate in der Region Stuttgart, und eine ebenfalls relativ geringe Mehrbelastung entstand in den Kreisen des Regierungsbezirks Freiburg, mit Ausnahme von Rottweil und dem Schwarzwald-Baar-Kreis, wo der Lkw-Verkehr stark zu Buche schlägt. Die stärkste Zunahme der Partikelemissionen haben die Kreise in den Regionen Franken und Ostwürttemberg zu verzeichnen, wo bis zu 40 % höhere Partikelemissionen zu registrieren waren, im Kreis Heidenheim sogar über 90 %. Diese ungünstige Entwicklung wurde in erster Linie durch die starke Zunahme des Verkehrs auf den Autobahnen verursacht, was auch die deutlich überdurchschnittliche Zunahme der Partikelemissionen im Kreis Rottweil erklärt.

Ausblick

Trotz einer anhaltenden Verkehrszunahme sowohl im Pkw- als auch Lkw-Bereich wurde eine beachtliche Verminderung der Emissionen erzielt. Während der Pkw-Verkehr und der Lkw-Verkehr um jeweils 37 % zugenommen haben, wurden die CO- und HC-Abgasemissionen seit 1985 mehr als halbiert, und auch die NO_x -Emissionen gingen um über 33 % zurück. Die Partikelemissionen lagen zwar 1997 noch um 6 % höher als im Vergleichsjahr 1985, aber auch für diese Schadstoffkomponente ist neuerdings eine Tendenzumkehr in der Entwicklung erreicht worden. Ausschlaggebend für die erzielten Emissionsminderungen war die Erneuerung der Pkw-Flotte mit fortschreitendem Anteil der Otto-Pkw mit G-Kat bzw. Diesel-Pkw. Dadurch wurden die spezifischen Emissionen der einzelnen Schadstoffe je Pkw stark reduziert. Zwischenzeitlich ist der Anteil der G-Kat-Fahrzeuge am Gesamtbestand der ottomotorbetriebenen Pkw zum Stand Ende 1998 auf über 74 % und der Anteil der schadstoffarmen Diesel-Pkw, die die Grenzwerte der US-Norm bzw. nach den EU-Richtlinien E1 und E2 erfüllen, auf über 71 % angestiegen. Gleichzeitig stieg der Anteil der dieselmotorbetriebenen Pkw am Gesamtbestand seit 1985 auf 15,4 %, wobei allerdings in den letzten Jahren der Zuwachs der Dieselfahrzeuge deutlich abgebremst wurde.

Mit der Einführung der EURO-2-Norm für Lkw ab dem Zulassungsjahr 1995/96 werden auch bei den großen Lkw und Bussen (> 3,5 t) spürbare Minderungen der spezifischen Emissionswerte, vor allem für NO_x und Partikel, in Gang gesetzt. Eine zusätzliche Reduzierung der spezifischen Emissionswerte im Lkw-Bereich wird die beschlossene EURO-3-Norm ab dem Jahr 2000 bringen. Deshalb ist davon auszugehen, daß auch die Emissionen durch den Lkw- und Busverkehr zukünftig trotz weiter steigender Fahrleistungen stärker als bislang zurückgehen werden. Damit dürfte in den nächsten Jahren auch beim Lkw-Verkehr eine deutliche Entkoppelung von Fahrleistungen und Schadstoffausstoß, zumindest bezogen auf die im Inland zugelassene Fahrzeugflotte, erzielt werden – ähnlich wie sie beim Pkw-Verkehr bezogen auf NO_x , CO und HC schon erreicht wurde. Weiterer Handlungsbedarf im Pkw-Bereich besteht jedoch weiterhin bei den Partikelemissionen, auch wenn bei weiter gestiegenen Fahrleistungen in den Jahren 1996 und 1997 die Partikelemissionen nicht weiter zugenommen haben.

Walter Stenius/Dr. Helmut Büringer