

BMBF Verbundprojekt
NIEDERschlagsbedingte **SCH**mutzbe**LA**stung der **G**ewässer
aus städtischen befestigten Flächen

NIEDERSCHLAG PHASE III
BILANZIERUNG/HOCHRECHNUNG

„Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer
aus städtischen befestigten Flächen“

Endbericht
FKZ.: 02-WA 9651/1
2000

Projektleiter: Prof. H. H. Hahn, Ph.D.
Dr.-Ing. Stephan T. Fuchs ¹
Dr.-Ing. C. Xanthopoulos

Beteiligte Institutionen:

Universität Karlsruhe (Institut für Siedlungswasserwirtschaft) ²
Universität Kaiserslautern (Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft)
Universität-Gesamthochschule Kassel (Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft)

gefördert durch den
Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie

¹ Übernahme der Projektleitung nach Ausscheiden von Dr. Xanthopoulos
² Projektkoordination

Berichtsform

Nach Absprache mit dem Projektträger und den Projektpartnern wurde die Form eines gemeinsamen Endberichtes zum Forschungsvorhaben gewählt. Um den gebietspezifischen Unterschieden in den einzelnen Wassereinzugsgebieten Lahn (rheinland-pfälzischer und hessischer Teil) sowie Neckar in Datenmaterial und Ergebnissen Rechnung zu tragen, sind die entsprechenden Kapitel und Unterkapitel nach den Flußeinzugsgebieten getrennt.

Die nachfolgenden drei Teilprojekte sind durch die Projektpartner im Verbundprojekt vertreten:

- Teilprojekt 1: „Städteplanerische Maßnahmen zur Emissionsvermeidung“ (Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft)
- Teilprojekt 2: „Bilanzierung anthropogener Schadstoffe vor dem Hintergrund der Einsatzmöglichkeiten von Verfahren zur Regenwasserbehandlung“ (Universität Karlsruhe, Institut für Siedlungswasserwirtschaft)
- Teilprojekt 3: „Quantifizierung der niederschlagsbedingten Gewässerbelastung als Element der ökologischen Gewässerbewirtschaftung“ (Universität-Gesamthochschule Kassel, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft)

Die Ergebnisse des Teilprojektes 4 „Extremwertvalidierung“ (Technische Universität Dresden, Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft) konnten aufgrund des zeitlich verschobenen Projektablaufes (8/1998 bis 12/2000) leider nicht in diesen Bericht aufgenommen werden. Es wird ein gesonderter Abschlußbericht erstellt.

Danksagung

An dieser Stellen möchten wir uns bei unseren Projektpartnern sowie allen an dem erfolgreichen Abschluß dieses Verbundprojektes Beteiligten für die vertrauensvolle Zusammenarbeit in den vergangenen Jahren bedanken.

Neben den Teilprojektleitern der Phase III, Herrn Prof. Dr.-Ing. T. Schmitt und Herrn Dr. rer. nat. D. Borchardt, gilt unser Dank insbesondere den projektbearbeitenden wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern:

Herrn Dipl.-Ing. J. Butz und Herrn Dipl.-Biol. A. Holz (Universität Karlsruhe, TH),

Herrn Dipl.-Ing. J. Wiese (Universität Kaiserslautern),

Frau Dipl.-Geogr. K. Geffers (Universität-Gesamthochschule Kassel).

Unser besonderer Dank sei auch das BMBF gerichtet, das die dem Bericht zugrundeliegenden Forschungsarbeiten über einen ungewöhnlich langen Zeitraum (s. Kapitel 2) betreut und gefördert hat.

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	viii
Im Text verwendete Abkürzungen	xii
1 VORBEMERKUNGEN	1
2 DAS PROJEKT NIEDERSCHLAG - EINE RETROSPEKTIVE.....	2
2.1 CHARAKTERISTIK DES FORSCHUNGSVERBUNDES	2
2.1.1 <i>Kooperation und Abstimmung zwischen diesem Projekt und anderen Forschungsvorhaben</i>	2
2.1.2 <i>Ziel der Arbeiten im Verbundprojekt</i>	4
2.2 DURCHFÜHRUNG DES VERBUNDPROJEKTES	4
2.2.1 <i>Schwerpunkt der Arbeiten jedes Partners</i>	5
2.2.2 <i>Erforderliche Abstimmungen in der gesamten Arbeitsgruppe</i>	7
2.2.3 <i>Anpassung und Umdisponierung in der Projektkonzeption während der Bearbeitung</i>	7
2.2.4 <i>Ergebnisse des Verbundprojektes</i>	8
3 UNTERSUCHUNGSGEBIETE	9
3.1 LAHN	9
3.1.1 <i>Hessischer Teil der Lahn</i>	10
3.1.2 <i>Rheinland-Pfälzischer Teil der Lahn</i>	15
3.2 NECKAR.....	19
4 MATERIAL UND METHODEN	25
4.1 DATENBESCHAFFUNG	25
4.1.1 <i>Hessischer Teil der Lahn</i>	25
4.1.2 <i>Rheinland-Pfälzischer Teil der Lahn</i>	29
4.1.3 <i>Neckar</i>	31
4.2 DATENAUFBEREITUNG UND VORBERECHNUNGEN	35
4.2.1 <i>Hessischer Teil der Lahn</i>	35
4.2.2 <i>Rheinland-Pfälzischer Teil der Lahn</i>	38
4.2.3 <i>Neckar</i>	40
4.2.4 <i>Einsatz von GIS</i>	41
4.3 BERECHNUNGSANSÄTZE - IMMISSIONEN	43
4.3.1 <i>Frachtberechnung bei Einzelproben</i>	43
4.3.2 <i>Frachtberechnung bei Mischproben</i>	44
4.3.3 <i>Frachtberechnung schwebstoffgebundener Stoffe</i>	45
4.4 BERECHNUNGSANSÄTZE - EMISSIONEN „IST-ZUSTAND“	45
4.4.1 <i>Punktförmige Eintragspfade</i>	45
4.4.2 <i>Diffuse Eintragspfade</i>	54
4.5 BERECHNUNGSANSÄTZE - SZENARIO „STAND DER TECHNIK“	56
4.5.1 <i>Einleitung</i>	56
4.5.2 <i>Szenario „Stand der Technik“</i>	57
4.6 BERECHNUNGSANSÄTZE - SZENARIO „STÄDTEBAULICHE MASSNAHMEN“	58
4.7 BERECHNUNGSANSÄTZE - SZENARIO „VERFAHRENSTECHNISCHE MASSNAHMEN“	64
4.7.1 <i>Einleitung</i>	64
4.7.2 <i>Fällung/Flockung</i>	64
4.7.3 <i>Bodenfilter</i>	66
4.7.4 <i>Kanalnetzsteuerung</i>	67
5 ERGEBNISSE	68
5.1 EINLEITUNG	68
5.2 LAHN - HESSEN: IST-ZUSTAND.....	68
5.2.1 <i>Nährstoffe und Zehrstoffe</i>	68
5.2.2 <i>Schwermetalle</i>	80
5.3 LAHN RHEINLAND-PFALZ: IST-ZUSTAND	87
5.3.1 <i>Nährstoffe und Zehrstoffe</i>	87

5.3.2	<i>Schwermetalle</i>	95
5.4	LAHN GESAMT: IST- ZUSTAND	101
5.5	UNTERSUCHUNGSGBIET NECKAR: IST-ZUSTAND	105
5.5.1	<i>Nährstoffe und Zehrstoffe</i>	105
5.5.2	<i>Schwermetalle</i>	118
5.6	STAND DER TECHNIK (SDT)	124
5.6.1	<i>Ergebnisse Lahn - Hessen</i>	124
5.6.2	<i>Ergebnisse Lahn - Rheinland-Pfalz</i>	127
5.6.3	<i>Flußeinzugsgebiet Lahn Gesamt</i>	131
5.6.4	<i>Ergebnisse Neckar</i>	133
5.7	ANWENDUNG STÄDTEBAULICHER MASSNAHMEN	136
5.7.1	<i>Einleitung</i>	136
5.7.2	<i>Ergebnisse Lahn - Hessen</i>	136
5.7.3	<i>Ergebnisse Lahn - Rheinland-Pfalz</i>	138
5.7.4	<i>Ergebnisse Neckar</i>	145
5.8	ANWENDUNG VERFAHRENSTECHNISCHER MASSNAHMEN	151
5.8.1	<i>Ergebnisse Lahn - Hessen</i>	151
5.8.2	<i>Ergebnisse Lahn - Rheinland-Pfalz</i>	152
5.8.3	<i>Ergebnisse Neckar</i>	154
6	IMMISSIONSORIENTIERTES BEWERTUNGSSHEMA	159
6.1	BEWERTUNGSKONZEPT UND ZIELVORGABEN	159
6.2	ERGEBNISSE LAHN - HESSEN	161
6.3	ERGEBNISSE LAHN - RHEINLAND-PFALZ	164
6.4	ERGEBNISSE NECKAR	167
6.5	EINZELEREIGNISBETRACHTUNG.....	168
7	ABSCHLIESSENDE BETRACHTUNG DER ERGEBNISSE.....	173
7.1	CHARAKTERISIERUNG DER EINZUGSGEBIETE VON LAHN UND NECKAR.....	173
7.2	NÄHRSTOFFE - IST-ZUSTAND.....	175
7.3	SCHWERMETALLE - IST-ZUSTAND.....	178
7.4	BETRACHTUNG DER SZENARIEN.....	180
8	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	184
9	LITERATUR	187
	ANHANG A: AUSGANGSDATEN FÜR FRACHTABSCHÄTZUNGEN	199
	ANHANG B: METADATEN.....	203
	TEIL 1: METADATEN - HESSISCHER TEIL DER LAHN	203
	TEIL 2: RHEINLAND-PFÄLZISCHER TEIL DER LAHN	208
	TEIL 3: METADATEN: NECKAR	210
	ANHANG C: ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN UND VORBERECHNUNGEN.....	213

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1: Die verschiedenen Niederschlagsprojekte und ihre schwerpunktmäßige Ausrichtung	3
Abbildung 2.2: Struktur des Verbundprojektes im Hinblick auf einzelne Teilprojekte und Bearbeitungsphasen.....	5
Abbildung 3.1: Karte des Lahngbietes (grau = rheinland-pfälzische Gemeinden, weiß = hessische Gemeinden, die Wassereinzugsgebiete der Lahn sind fett umrandet).....	10
Abbildung 3.2: Untersuchungsgebiet Lahn	11
Abbildung 3.3: Verteilung der Einwohnerwerte kommunaler Kläranlagen nach Reinigungstypen.....	14
Abbildung 3.4: Interpolierte Regenhöhenverteilung [mm] im Neckareinzugsgebiet für 1995.21	
Abbildung 3.5: Flächennutzungstypen im Neckareinzugsgebiet nach Wassereinzugsgebieten differenziert.....	22
Abbildung 3.6: Prozentuale Anteile der Kläranlagenverfahren in Baden-Württemberg und dem Neckareinzugsgebiet.	23
Abbildung 3.7: Wassereinzugsgebiete des Neckars und Anteil an Mischkanalisation.	24
Abbildung 4.1: Übersicht über das Probenahmeprogramm der LfU bezüglich der im Projekt betrachteten Stoffe im Bilanzjahr 1995.	33
Abbildung 4.2: Frachtschätzungsansätze für Emissionen (diffus und punktförmig ohne Kläranlage)	47
Abbildung 4.3: Frachtschätzungsansätze für Emissionen (punktförmig, für P, N, CSB)	47
Abbildung 4.4: Frachtschätzungsansätze für Emissionen (punktförmig, für Schwermetalle)	48
Abbildung 4.5: Zusammenhang zwischen e_V und e_F an den ausgewählten Beispielen N_{ges} und Zn.	53
Abbildung 5.1: 95%-Konfidenzintervalle für die Konzentration-Abflußbeziehung von Gesamt-Phosphor, obere Lahn	69
Abbildung 5.2: Spezifische Jahresfrachten in der Lahn an der Referenzstation Limburg/Kalkofen mit Fehlerbalken (Mittelwert \pm 95% Vertrauensbereich)	69
Abbildung 5.3: Schwebstoffgebundene Nährstofffrachten in der oberen Lahn nach unterschiedlichen Methoden.....	71
Abbildung 5.4: Separierung punktueller und diffuser Stoffeinträge über die Fracht-Abflußbeziehung nach der Immissionsmethode (BEHRENDT, 1993) am Beispiel von Phosphor für die obere Lahn	75
Abbildung 5.5: Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen für Gesamt-Stickstoff, obere Lahn	77
Abbildung 5.6: Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen für Gesamt-Phosphor, obere Lahn	78
Abbildung 5.7: Verteilung der Nähr- und Zehrstoffeinträge aus unterschiedlichen Quellen, obere Lahn	80
Abbildung 5.8: Ermittelte Eintragspotentiale von Schwermetallen in das Gewässersystem der Lahn in Hessen in $g/(ha*a)$	84

Abbildung 5.9: Verteilung der Schwermetalleinträge aus unterschiedlichen Quellen 1995 in der oberen Lahn	86
Abbildung 5.10: Verteilung der Nähr- und Zehrstoffeinträge aus unterschiedlichen Quellen im Flusseinzugsgebiet der gesamten Lahn	101
Abbildung 5.11: Gegenüberstellung der Phosphorbilanz für die Lahn in Hessen bzw. in Rheinland-Pfalz	102
Abbildung 5.12: Gegenüberstellung der Stickstoffbilanz für die Lahn in Hessen bzw. in Rheinland-Pfalz	103
Abbildung 5.13: Verteilung der Schwermetalleinträge aus unterschiedlichen Quellen im Flusseinzugsgebiet der gesamten Lahn	104
Abbildung 5.14: Darstellung der Problematik der Frachtschätzungen über die Konzentrations-Abfluß-Methode für Stationen, an denen das beprobte Abflußspektrum nicht mit dem realisierten übereinstimmt.....	106
Abbildung 5.15: Flächenspezifische Immissionsfrachten der Nähr- und Zehrstoffe an der Meßstelle bei Mannheim/Feudenheim, Neckar, 1995	107
Abbildung 5.16: Emissionen über Punktquellen für Nähr- und Zehrstoffe unterteilt nach Trockenwetterfrachten (TW) und Regenwetterfrachten (NW) in [%] der gesamten Punktemissionen für 1995, Neckar	108
Abbildung 5.17: Punktförmige CSB-Emissionen urbaner Gebiete des Neckars nach Wassereinzugsgebieten.	110
Abbildung 5.18: Vergleich spezifischer diffuser Nährstoffemissionen berechnet im Projekt („Phase III“) und von BEHRENDT et al. (1999, „Moneris (Neckar)“, verändert) für den Neckar.....	112
Abbildung 5.19: Gegenüberstellung der Immissions- und Emissionsfrachten für den Gesamtphosphor (TW=Trockenwetter; NW=Regenwetter; KA=Kläranlage) in [t/a] bzw. in [%] der Summe der Emissionen, Neckar 1995	113
Abbildung 5.20: Gegenüberstellung der Immissions- und Emissionsfrachten für den gesamten, anorganischen Stickstoff (TW=Trockenwetter; NW=Regenwetter; KA=Kläranlage) in [t/a] bzw. in [%] der Summe der Emissionen, Neckar 1995	114
Abbildung 5.21: Gegenüberstellung der Immissions- und Emissionsfrachten für den CSB (TW=Trockenwetter; NW=Regenwetter; KA=Kläranlage) in [t/a] und in [%] der Immissionen, Neckar	114
Abbildung 5.22: Wiederfindung (in [%]) im Projekt NIEDERSCHLAG und bei BEHRENDT et al. (1999, „Moneris“) für die Nährstoffe, Neckar	115
Abbildung 5.23: Anteil von Punktquellen an den Gesamtemissionen für die Parameter P_{ges} und N_{ges} in verschiedenen Studien	116
Abbildung 5.24: Flächenspezifischen Punktemissionen und Immissionen für Lahn und Neckar für den CSB in [t/(ha*a)] 1995.....	117
Abbildung 5.25: Partikulärer und gelöster Anteile der Immissionen der Schwermetalle für das Neckareinzugsgebiet.	118
Abbildung 5.26: Anteile der verschiedenen Emissionspfade an den gesamten Punktemissionen der Schwermetalle getrennt nach Trockenwetter (TW) und Regenwetter (NW) für 1995, Neckar	121
Abbildung 5.27: Gegenüberstellung der Immissions- und Emissionsfrachten für Cadmium 1995 (TW=Trockenwetter; NW=Niederschlagswetter; KA=Kläranlage), Neckar	123

Abbildung 5.28: Gegenüberstellung der Immissions- und Emissionsfrachten für Kupfer 1995 (TW=Trockenwetter; NW=Niederschlagswetter; KA=Kläranlage), Neckar	123
Abbildung 5.29: Gegenüberstellung der Immissions- und Emissionsfrachten für Blei 1995 (TW=Trockenwetter; NW=Niederschlagswetter; KA=Kläranlage), Neckar	124
Abbildung 5.30: Schwermetalleinträge aus punktförmigen Quellen für ausgewählte Pfade im Szenario SdT, dargestellt als positive und negative Abweichungen vom Ist-Zustand in [%] der Fracht im Ist-Zustand, hessische Lahn	126
Abbildung 5.31: Nähr- und Zehrstoffeinträge aus punktförmigen Quellen im Szenario SdT, dargestellt als prozentuale Abweichungen vom Ist-Zustand für ausgewählte Pfade, gesamte Lahn.....	131
Abbildung 5.32: Schwermetalleinträge aus punktförmigen Quellen im Szenario SdT, dargestellt als prozentuale Abweichungen vom Ist-Zustand für ausgewählte Pfade, gesamte Lahn.....	132
Abbildung 5.33: Änderungen der Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus ausgewählten Punktquellen vom SdT gegenüber dem Ist-Zustand in [%], Neckar	134
Abbildung 5.34: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) aus ausgewählten Punktquellen vom SdT gegenüber dem Ist-Zustand in [%], Neckar	135
Abbildung 5.35: Emissionen aus punktförmigen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“, dargestellt als prozentuale Abweichungen vom Szenario SdT für ausgewählte Pfade, hessische Lahn.....	137
Abbildung 5.36: Änderungen der Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) ausgewählter Punktquellen des Szenarios „Städtebauliche Maßnahmen“ (Min-Variante) gegenüber dem SdT in [%], Neckar	146
Abbildung 5.37: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) ausgewählter Punktquellen des Szenarios „Städtebauliche Maßnahmen“ (Min-Variante) gegenüber dem SdT in [%], Neckar.....	147
Abbildung 5.38: Änderungen der Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) ausgewählter Punktquellen des Szenarios „Städtebauliche Maßnahmen“ (Mittel-Variante) gegenüber dem SdT in [%], Neckar.....	148
Abbildung 5.39: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) ausgewählter Punktquellen des Szenarios „Städtebauliche Maßnahmen“ (Mittel-Variante) gegenüber dem SdT in [%], Neckar	148
Abbildung 5.40: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) ausgewählter Punktquellen des Szenarios „Städtebauliche Maßnahmen“ (Max-Variante) gegenüber dem SdT in [%], Neckar.....	150
Abbildung 5.41: Änderungen der gesamten punktuellen Emissionen des Szenarios „Städtebauliche Maßnahmen“ (alle drei Varianten) gegenüber dem SdT in [%], Neckar	150
Abbildung 5.42: Einträge über Regenentlastungen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“, dargestellt als prozentuale Abweichungen vom Szenario SdT, obere Lahn	152
Abbildung 5.43: Änderungen der Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) ausgewählter Punktquellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ (Fällung/Flockung) gegenüber dem SdT in [%], Neckar	155
Abbildung 5.44: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) ausgewählter Punktquellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ (Fällung/Flockung) gegenüber dem SdT in [%], Neckar	155

Abbildung 5.45: Änderungen der Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) ausgewählter Punktquellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ (Bodenfilter) gegenüber dem SdT in [%], Neckar	157
Abbildung 5.46: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) ausgewählter Punktquellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ (Bodenfilter) gegenüber dem SdT in [%], Neckar	157
Abbildung 6.1: Schwermetalle in Schwebstoffen: Vergleich der Meßwerte (1991-1996) mit dem geogenen Hintergrundwert nach Oberlahnstandard (OLS)	163
Abbildung 6.2: Beziehung zwischen der zeitlichen und räumlichen Wirkung von stofflichen Belastungen in Fließgewässern (nach Lijklema et al. 1992 verändert und ergänzt)	169
Abbildung 6.3: Sauerstoffganglinie in der Lahn unterhalb von Wetzlar bei Schönwetter und bei Niederschlag.....	170
Abbildung 6.4: Sauerstoffabsenkung in der Lahn in Abhängigkeit von der entlasteten Mischwassermenge aus dem Kanalnetz Wetzlar (spezifische Belastung: 13 EW/(l*s) bei MNQ).....	171
Abbildung 6.5: Ganglinien zu Ammonium- und Sauerstoffgehalten in der Lahn vor und nach einem Entlastungsereignis aus dem Kanalnetz Limburg.....	172
Abbildung 7.1: Flächennutzung für Lahn und Neckar.....	173
Abbildung 7.2: Anteil der einzelnen Emissionspfade an den gesamten P_{ges} Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter) für Lahn und Neckar in [%], 1995	175
Abbildung 7.3: Anteil der einzelnen Emissionspfade an den gesamten N_{ges} -Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter) für Lahn und Neckar in [%], 1995	176
Abbildung 7.4: Flächenspezifische P_{ges} -Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter) für Lahn und Neckar in [kg/(km ² *a)], 1995	177
Abbildung 7.5: Einwohnerspezifische P_{ges} -Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter) für Lahn und Neckar in [g/(E*a)], 1995.....	177
Abbildung 7.6: Anteile der Emissionspfade an den gesamten Schwermetall Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter) für Lahn und Neckar in [%], 1995.....	178
Abbildung 7.7: Einwohnerspezifische Cadmium-Emissionsfrachten für Lahn und Neckar in [mg/(E*a)], 1995.....	180
Abbildung 7.8: Veränderungen der Stickstoff-Emissionen aus ausgewählten Punktquellen (o.i.D. - ohne industrielle Direkteinleiter) in den Szenarien „Stand der Technik“, „Abkoppelung Mittel“ und „Bodenfilter“ gegenüber dem Ist-Zustand für Lahn und Neckar in [%]	181
Abbildung 7.9: Veränderungen der Cadmium-Emissionen aus ausgewählten Punktquellen (o.i.D. - ohne industrielle Direkteinleiter) in den Szenarien „Stand der Technik“, „Abkopplung Mittel“ und „Bodenfilter“ gegenüber dem Ist-Zustand für Lahn und Neckar in [%]	182

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 3.1: Abflüsse bei Gewässerkundlichen Hauptzahlen (LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN, 1991)	12
Tabelle 3.2: Landnutzung im hessischen Lahngbiet.....	13
Tabelle 3.3: Verteilung kommunaler Kläranlagen nach Größenklassen, nach HSL (1996a), HLfU (1996-1998) und ATV (1997)	13
Tabelle 3.4: abflußwirksamer Niederschlag [mm] in den Nebengewässern der unteren Lahn	16
Tabelle 3.5: Abflußspenden (in [l/(s·km ²)] für den Bereich der unteren Lahn (¹ 1936/95, ² 1973/95, ³ 1977/95)	16
Tabelle 3.6: Landnutzung im unteren Lahn-Einzugsgebiet (incl. 214 km ² rh.-pf. Elbbachgebietes).....	17
Tabelle 3.7: Übersicht über die Kläranlagen im rh.-pf. Teil der Lahn nach Verfahren.....	18
Tabelle 3.8: Übersicht über die Kläranlagen im rh.-pf. Teil der Lahn nach Ausbaugröße (entsprechend der 1995 geltenden Größenklasseneinteilung)	18
Tabelle 3.9: Unterteilung der Wassereinzugsgebiete und Nebenflüsse (mit Angabe zu Gebietsgröße, Einwohnerdichte und mittlerem Niederschlag (1995)).	20
Tabelle 3.10: Hauptwerte der Neckarpegel (LfU, 1996)	21
Tabelle 3.11: Landnutzung im Neckargebiet.....	23
Tabelle 4.1: Parameter aus dem Hessischen Gütemeßprogramm an der Station Limburg – Anzahl der Meßwerte.....	26
Tabelle 4.2: Kombinierte Datensätze der Gütemeßstation Limburg in Hessen bzw. Diez in Rheinland-Pfalz– Anzahl der Meßwerte.....	27
Tabelle 4.3: Gewässergütedaten der LfU B.-W. für das Bilanzierungsjahr 1995, Anzahl der Meßwerte	33
Tabelle 4.4: Mittlere Schwermetallgehalte im Oberboden in mg/kg: Lahneinzugsgebiet in Hessen im Vergleich zum Rheineinzugsgebiet (MOHAUPT 1998)	37
Tabelle 4.5: Gewässergütemeßstellen im unteren Lahngbiet, für die Frachtab-schätzungen durchgeführt wurden.....	38
Tabelle 4.6: mittlere Schwermetallgehalte im Oberboden ($c_{i,Boden}$ in [mg/kg]), unteres Lahngbiet.....	40
Tabelle 4.7: Parameter zur Ermittlung der undurchlässigen Fläche aus dem Flächennutzungs-rasterbild.....	41
Tabelle 4.8: Angenommene Abkoppelungspotentiale (in Abhängigkeit von der Einwohnerdichte).....	61
Tabelle 4.9: Wirkungsgrade [%] von Regenklärbecken bei Einsatz von Fällung/Flockung ...	65
Tabelle 4.10: Wirkungsgrade [%] von Bodenfiltern	66
Tabelle 5.1: Nähr- und Zehrstoffeinträge aus punktförmigen Quellen in t/a unterschieden nach Trockenwetterabfluß (TW) und Niederschlagsabfluß (NW), obere Lahn, 1995.....	73
Tabelle 5.2: Gegenüberstellung von Frachten aus Niederschlagswasserentlastungen in t/a nach Ergebnissen unterschiedlicher Projekte	74

Tabelle 5.3: Ermittelte Nährstoffeinträge aus diffusen Quellen in t/a	76
Tabelle 5.4: Anteile verschiedener Eintragspfade an der Nährstofffracht in der Lahn in %... 79	79
Tabelle 5.5: Schwermetallfrachten in der oberen Lahn berechnet aus Konzentrationen in der fließenden Welle nach unterschiedlichen Methoden in t/a	81
Tabelle 5.6: Schwebstoffgebundene Schwermetallfrachten in der oberen Lahn nach unterschiedlichen Methoden in t/a	81
Tabelle 5.7: Schwermetalleinträge aus punktförmigen Quellen in kg/a unterschieden nach Trockenwetterabfluß (TW) und Niederschlagswasserabfluß (NW).....	82
Tabelle 5.8: Gegenüberstellung der Immissionen und Emissionen in %	85
Tabelle 5.9: Schwermetalleinträge in die Lahn und in den Rhein in t/a (oben) und für beide Flüsse jeweils das Verhältnis der einzelnen Schwermetalle zu Zn in %.....	86
Tabelle 5.10: Errechnete Immissionen an den Meßstellen Lahnstein und die sich daraus ergebende Differenz (Schleuse Scheidt)	88
Tabelle 5.11: Emissionen aus Kläranlagenabläufen im unteren Lahngbiet im Ist-Zustand für 1995	90
Tabelle 5.12: Emissionen aus punktförmigen Quellen im unteren Lahngbiet im Ist-Zustand für 1995	91
Tabelle 5.13: Emissionen aus punktförmigen Quellen im unteren Lahngbiet im Ist-Zustand für 1995 (in [t/a] bzw. in [%] der Summe der Emissionen).....	93
Tabelle 5.14: flächenspezifischen Nähr- und Zehrstoff-Emissionen im unteren Lahngbiet für das Jahr 1995.....	94
Tabelle 5.15: Emissionen aus punktförmigen Quellen im unteren Lahngbiet im Ist-Zustand für 1995	95
Tabelle 5.16: Emissionen aus punktförmigen Quellen im unteren Lahngbiet im Ist-Zustand für 1995	95
Tabelle 5.17: Schwermetalleinträge infolge Bodenerosion für 1995 in [kg/a], unteres Lahngbiet.....	96
Tabelle 5.18: Flächenspezifische Schwermetallabtragungspotentiale von Ackerflächen in [g/(ha·a)], unteres Lahngbiet.....	96
Tabelle 5.19: Schwermetallemissionen aus punktförmigen Quellen für 1995 in [kg/a], unteres Lahngbiet.....	96
Tabelle 5.20: Flächenspezifische Schwermetall-Emissionen im unteren Lahngbiet	97
Tabelle 5.21: Verteilung der Schwermetalleinträge aus unterschiedlichen Quellen im hessischen und rheinland-pfälzischen Teilgebiet der Lahn in %	104
Tabelle 5.22: Gebietspezifische Jahresfrachten 1995 an der Meßstelle Mannheim/Feudenheim für verschiedene Berechnungsansätze in [t/km ² ·a], Neckar..	105
Tabelle 5.23: Emissionen über Punktquellen für Nähr- und Zehrstoffe unterteilt nach Trockenwetterfrachten (TW) und Regenwetterfrachten (NW) in [t/a] bzw. in [%] der gesamten Punktemissionen für 1995, Neckar.....	108
Tabelle 5.24: Gegenüberstellung der geschätzten Nährstoffemissionen des Projektes NIEDERSCHLAG („Phase III“) mit denen des Modells MONERIS (BEHRENDT et al., 1999) für ausgewählte Punktquellen in [t/a] bzw. in [%] der Ergebnisse MONERIS für 1995, Neckar	110
Tabelle 5.25: Korrelationskoeffizient der Schwermetallkonzentrationen zu den Abflüssen bei der Mischprobenahme, Neckar	119

Tabelle 5.26: Anteil der Überschreitungstage mit Tagesabflüssen größer des Abfluspektrums der Beprobung und der auf diese Tage entfallende Frachtanteil.	119
Tabelle 5.27: Gegenüberstellung von Schwermetall-Immissionen und -Emissionen für 1995 in [kg/a] bzw. [%] der Gesamtemissionen, Neckar	122
Tabelle 5.28: Einwohnerspezifische Eintragsfrachten für die Flußgebiete Neckar, Lahn und Elbe (Daten aus VINK et al , 1997) berechnet aus den gesamten punktförmigen Emissionen.....	124
Tabelle 5.29: Nähr- und Zehrstoffeinträge aus punktförmigen Quellen im Szenario SdT, dargestellt als Abweichungen vom Ist-Zustand in [t/a] (oben) und für ausgewählte Pfade in [%] der Fracht im Ist-Zustand (unten).....	125
Tabelle 5.30: Emissionen aus Kläranlagenabläufen im Szenario SdT in [t/a] bzw. in [%] der Gesamtemissionen aus Kläranlagen, unteres Lahnggebiet	127
Tabelle 5.31: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus punktförmigen Quellen im SdT in [t/a] bzw. in [%] der gesamten punktuellen Emissionen, unteres Lahnggebiet.....	129
Tabelle 5.32: Emissionen (Cd, Zn, Cu) aus punktförmigen Quellen im SdT in [kg/a] bzw. in [%] der gesamten punktuellen Emissionen, unteres Lahnggebiet.....	130
Tabelle 5.33: Emissionen (Pb, Cr, Ni) aus punktförmigen Quellen im SdT in [kg/a] bzw. in [%] der gesamten punktuellen Emissionen, unteres Lahnggebiet	131
Tabelle 5.34: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus punktförmigen Quellen im SdT und Differenz zum Ist-Zustand, jeweils in [t/a], Neckar	133
Tabelle 5.35: Emissionen (Cd, Zn, Cu) aus punktförmigen Quellen im SdT und Differenz zum Ist-Zustand, jeweils in [t/a], Neckar	134
Tabelle 5.36: Emissionen (Pb, Cr, Ni) aus punktförmigen Quellen im SdT und Differenz zum Ist-Zustand, jeweils in [t/a], Neckar	135
Tabelle 5.37: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus Kläranlagenabläufen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Min-Variante) in [t/a] bzw. in [%] der gesamten Emissionen aus Kläranlagen, untere Lahn.....	139
Tabelle 5.38: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Min-Variante) in [t/a], untere Lahn.....	139
Tabelle 5.39: Emissionen (Schwermetalle) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Min-Variante) in [kg/a], untere Lahn	141
Tabelle 5.40: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus Kläranlagenabläufen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Mittel-Variante) in [t/a] bzw. in [%] der gesamten Emissionen aus Kläranlagen, untere Lahn.....	141
Tabelle 5.41: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Mittel-Variante) in [t/a], untere Lahn	141
Tabelle 5.42: Emissionen (Schwermetalle) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Mittel-Variante) in [kg/a], untere Lahn	143
Tabelle 5.43: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus Kläranlagenabläufen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Max-Variante) in [t/a] bzw. in [%] der gesamten Emissionen aus Kläranlagen, untere Lahn.....	144
Tabelle 5.44: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus punktuellen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Max-Variante) in [t/a], untere Lahn	144
Tabelle 5.45: Emissionen (Schwermetalle) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Max-Variante) in [kg/a], untere Lahn	145

Tabelle 5.46: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ in [t/a], untere Lahn	153
Tabelle 5.47: Emissionen (Schwermetalle) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ in [kg/a], untere Lahn.....	154
Tabelle 5.48: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) ausgewählter Punktquellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ (Fällung/Flockung) gegenüber dem SdT in [%], Neckar	156
Tabelle 5.49: Änderung der Emissionen (Schwermetalle) der gesamten punktförmigen Quellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ im Vergleich zum SdT in [%], Neckar	158
Tabelle 6.1: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für Stickstoff- und Phosphorfrachten, unterschieden nach flächenhaften und punktförmigen Stoffeinträgen	160
Tabelle 6.2: Immissionsorientierte Bewertung der Nährstoffeinträge 1995, obere Lahn (A_{E_0} = 488.785 ha)	161
Tabelle 6.3: Immissionsorientierte Bewertung der Nährstoffeinträge aus Siedlungsgebieten in unterschiedlichen Szenarien), obere Lahn (A_{E_0} = 488.785 ha).....	162
Tabelle 6.4: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für N_{ges} für 1995, untere Lahn.....	164
Tabelle 6.5: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für P_{ges} für 1995, untere Lahn.....	165
Tabelle 6.6: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für N_{ges} für das Szenario SdT, untere Lahn	165
Tabelle 6.7: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für P_{ges} für das Szenario SdT, untere Lahn	165
Tabelle 6.8: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für N_{ges} für 1995 und Szenarien, untere Lahn	166
Tabelle 6.9: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für P_{ges} für 1995 und Szenarien, untere Lahn	166
Tabelle 6.10: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für P_{ges} und N_{ges} für 1995, Neckar ...	167
Tabelle 6.11: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für P_{ges} und N_{ges} für die Szenarien, Neckar.....	168
Tabelle 6.12: Ausgewählte Kenngrößen der Kanalnetze Wetzlar und Limburg (verändert nach Mang et al., 1998)	170
Tabelle 7.1: Berechnungsrelevante Kenngrößen von Lahn und Neckar.....	174
Tabelle 8.1: Summe der Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter) von N_{ges} und P_{ges} in Lahn und Neckar 1995, in [t/a] bzw. flächenspezifisch in [kg/(km ² *a)].....	184
Tabelle 8.2: Summe der Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter, diffuse Quellen nur über Wassererosion) der Schwermetalle in Lahn und Neckar 1995, in [kg/a] bzw. flächenspezifisch in [g/(km ² *a)]	185

IM TEXT VERWENDETE ABKÜRZUNGEN

γ		Befestigungsgrad im Teilgebiet
γ_{alt}	-	Befestigungsgrad im IST-Zustand
$\gamma_{\text{Kanal m. KA}}$	-	Befestigungsgrad im Teilgebiet mit Kläranlagenanschluß
$\gamma_{\text{Kanal o. KA}}$	-	Befestigungsgrad im Teilgebiet ohne Kläranlagenanschluß
η_{BF}	-	Wirkungsgrad von Bodenfiltern
$\eta_{\text{F, Kanal}}$	-	Frachtwirkungsgrad im Kanal
$\eta_{\text{F, Kanal, gel.}}$	-	Frachtwirkungsgrad im Kanal bezogen auf den gelösten Anteil
$\eta_{\text{F, Kanal, part.}}$	-	Frachtwirkungsgrad im Kanal bezogen auf den partikulären Anteil
$\eta_{\text{KA, r}}$	-	Wirkungsgrad der Kläranlage bezogen auf den Niederschlagsanteil
$\eta_{\text{KA, t}}$	-	Wirkungsgrad der Kläranlage bezogen auf den Trockenwetteranteil
$\eta_{\text{RKB, F/F}}$	-	Wirkungsgrad von Regenklärbecken unter Einsatz von Fällung/Flockung
η_{RWB}	-	Wirkungsgrad der Regenwasserbehandlungsmaßnahmen
η_{VB}	-	Wirkungsgrad der Vorbehandlung (Mehrkammerausfualgrube)
$\mu_{\text{abgekoppelt}}$	-	Grad des Stoffrückhaltes im abgekoppelten Gebiet
τ_{Misch}	-	Anteil des Mischsystems im Teilgebiet
$\tau_{\text{RÜB, F/F}}$	-	Anteil des im Mischsystem entwässerten Regenwassers, das auf zentralen RÜB behandelt wird (in denen F/F betrieben werden kann)
τ_{Trenn}	-	Anteil des Trennsystems im Teilgebiet
ρ	-	Faktor für den Anstieg des Abtragspotentials infolge Abkopplung
A_{Acker}	ha	Fläche des Ackerlandes
A_{EK}	ha	an die Kanalisation angeschlossene Fläche
A_{ges}	ha	Gebäude-, Frei- und Verkehrsflächen im Teilgebiet
A_{GuF}	ha	Gebäude- und Freiflächen
A_i	ha	Flächenanteil spezifischer Landnutzung
a_{KA}	-	Anschlußgrad an Kläranlagen
a_{Kanal}	-	Anschlußgrad an Kanalisation
AKP	-	Abkoppelungspotential der bisherigen undurchlässigen Fläche
AT	kg/(ha·a)	flächenspezifischer Bodenabtrag
A_U	ha	entwässerte undurchlässige Fläche
$A_{U, \text{alt}}$	ha	im Ausgangszustand entwässerte undurchlässige Fläche
$A_{U, \text{Kanal o. KA}}$	ha	undurchlässige Flächen mit Sammelkanalisation ohne KA-Anschluß
$A_{U, \text{Misch}}$	ha	im Mischsystem entwässerte undurchlässige Fläche
$A_{U, \text{neu}}$	ha	A_U bei Umsetzung der Abkoppelungsmaßnahmen
$A_{U, \text{Trenn}}$	ha	im Trennsystem entwässerte undurchlässige Fläche
A_{Verk}	ha	relevante Verkehrsflächen des Teilgebietes
BfG		Bundesanstalt für Gewässerkunde
$C_{i, \text{Boden}}$	mg/kg	Stoffgehalte im Oberboden
C_k	mg/l	Konzentration im Kläranlagenablauf
C_r	mg/l	Niederschlagsabflußkonzentration im Zulauf der KA
CSB	-	Index für den jeweiligen Parameter (hier CSB)
DWD		Deutscher Wetterdienst
E	-	an die Kläranlage angeschlossene Einwohner
e_0		zulässige Entlastungsabflußkomponente nach ATV-A 128
e_F	-	Entlastungsfrachtkomponente
$e_{F, F/F}$	-	Entlastungsfrachtkomponente bei F/F
EGW	-	an die Kläranlage angeschlossene Einwohnergleichwerte

ER	-	Anreicherungsfaktor (engl.: enrichment ratio)
e_v	-	Entlastungsabflußkomponente (nach A 128: Entlastungsrate)
EW	-	an die Kläranlage angeschlossene Einwohnerwerte = E+EGW
f	-	ins Gewässer verfrachteter Anteil des Bodenabtrages
F_a	kg/a	jährlicher Stoffabtrag von der Oberfläche
f_a	kg/(ha·a)	jährlichen flächenspezifischen Schmutzstoffabtrag von undurchlässigen Flächen infolge Niederschlagsabfluß
$F_{a, \text{abgekoppelt}}$	kg/a	F_a von der abgekoppelten Fläche
$F_{a, \text{alt}}$	kg/a	F_a im Ausgangszustand
$f_{a, \text{alt}}$	kg/(ha·a)	f_a im Ausgangszustand
$F_{a, \text{diffus}}$	kg/a	F_a infolge der Bodenerosion von Ackerflächen
$f_{a, \text{gel.}}$	kg/(ha·a)	gelöste Komponente von f_a
$F_{a, \text{Kanal o. KA}}$	kg/a	F_a aus Gebieten mit Sammelkanalisation ohne KA-Anschluß
$F_{a, \text{Misch}}$	kg/a	F_a aus Gebieten mit Mischkanalisation
$F_{a, \text{neu}}$	kg/a	F_a von den nicht abgekoppelten Flächen
$f_{a, \text{neu}}$	kg/(ha·a)	f_a auf nicht abgekoppelte Restflächen
$f_{a, \text{part.}}$	kg/(ha·a)	partikuläre Komponente von f_a
$F_{a, \text{Trenn}}$	kg/a	F_a aus Gebieten mit Trennkanalisation
f_{Boden}	kg/(ha·a)	Bodenabtrag
f_{diffus}	kg/(ha·a)	flächenspezifisches, diffuses Schmutzstoffabtragungspotential
$F_{e, \text{diffus}}$	kg/a	F_e infolge der Bodenerosion von Ackerflächen
$F_{e, N}$	kg/a	niederschlagsbedingter Schmutzstoffaustrag in das Gewässer
$F_{e, N, \text{abgekoppelt}}$	kg/a	$F_{e, N}$ aus abgekoppelten Flächen
$F_{e, N, \text{Entlastung}}$	kg/a	$F_{e, N}$ über Entlastungen
$F_{e, N, \text{Kanal o. KA}}$	kg/a	$F_{e, N}$ über Kanäle ohne KA-Anschluß
$F_{e, N, \text{Trenn}}$	kg/a	$F_{e, N}$ über Regenauslässe
$f_{EW, d}$	g/(E·d)	einwohnerspezifische Tagesfracht (ggf. auch in mg/(E·d))
$f_{i, \text{diffus}}$	kg/(ha·a)	flächenspezifisches, diffuses Nährstoffeintragspotential
$F_{k, N}$	kg/a	Frachten aus Kläranlagen infolge Niederschlagsabfluß
$F_{k, T}$	kg/a	Frachten aus Kläranlagen infolge Trockenwetterabfluß
$F_{\text{Kanal, T}}$	kg/a	Frachten infolge TW-Abfluß aus Kanälen ohne Kläranlagen
KA	-	Kläranlage (n)
max.		Index für das Abkoppelungsszenario „Maximum“
min.		Index für das Abkoppelungsszenario „Minimum“
mittel		Index für das Abkoppelungsszenario „Mittel“
N_{1995}	mm/a	Niederschlagshöhe im Bilanzjahr 1995
NW		Niederschlagswetter (im Projekt synonym für Regenwetter)
RW		Regenwetter
TW		Trockenwetter
$V_{f, a}$	m^3/a	auf der Kläranlage behandelte Jahresfremdwassermenge
$V_{g, a}$	m^3/a	auf der KA behandelte gewerbliche Jahresschmutzwassermenge
$V_{h, a}$	m^3/a	auf der KA behandelte häusliche Jahresschmutzwassermenge
$V_{N, A}$	$m^3/(ha·a)$	jährliches flächenspezifisches Niederschlagsabflußvolumen
$V_{r, a}$	m^3/a	auf der KA mitbehandelte Jahresregenwassermenge
$V_{TW, a}$	m^3/a	auf der Kläranlage behandelte Jahresschmutzwassermenge
WEG		Wassereinzugsgebiet (nach Gewässerkundlichem Flächenverzeichnis)
$X_{KA, r}$	-	partikuläre Anteil im zur KA weitergeleiteten Regenwasseranteil
X_r	-	partikulärer Anteil im Niederschlagsabfluß

1 VORBEMERKUNGEN

Ausgangspunkt dieser einen gesamten Themenkomplex umfassenden Untersuchungen war die Erkenntnis, daß es in der Vergangenheit schon sehr viele detaillierte Arbeiten zum Niederschlagsabfluß und den ihn bestimmenden Einflußgrößen gegeben hat. Die den Niederschlagsabfluß charakterisierende Qualität ist allerdings weniger analysiert worden. Eine Erklärung der Einflußgrößen der Eigenschaften des Niederschlagsabflusses im Sinne einer Vorhersage war bislang nicht möglich.

Ein besonders interessanter Aspekt, dessen Klärung für die Beschreibung der Qualität des Niederschlagsabflusses von ganz besonderer Bedeutung ist, ist die Analyse der Aufnahme, des Transportes und des weiteren Schicksals ungelöster, partikulärer Wasserinhaltsstoffe, insbesondere feinerer Körnung. Von diesen war zu vermuten, daß sie größere Schadstoffmengen mittransportieren. So wurde ein Vorhaben zu diesen Fragestellungen skizziert und der Deutschen Forschungsgemeinschaft als Antragskizze vorgelegt. Im Rahmen der regelmäßigen Koordination aller forschungsmittelgebenden Institutionen hat das Bundesministerium für Forschung und Technologie das Thema aufgegriffen und die ursprünglichen Antragsteller beauftragt, dieses im Sinne eines größeren Verbundprojektes aufzubereiten.

Damit ist aus einem auf eine einzige Fragestellung fokussierten Antragsentwurf ein komplexeres Vorhaben entstanden, das zahlreiche Teilaspekte beinhaltet und mit vielen Forschungsnehmern über mehrere Bearbeitungsphasen hin durchgeführt wurde. Dieses Vorhaben ist nun abgeschlossen. Die wichtigsten Ergebnisse wurden bereits den Fachkollegen aus Forschung und Praxis sowie auch den Überwachungsbehörden in einer zusammenfassenden Abschlußpräsentation dargestellt und in einem Band der Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe dokumentiert (FUCHS und HAHN, 1999).

Im vorliegenden Abschlußbericht werden die Ergebnisse der Phase III des Verbundprojektes NIEDERSCHLAG dokumentiert. Entsprechende Berichte zu den Phasen I und II liegen beim Projektträger vor.

2 DAS PROJEKT NIEDERSCHLAG - EINE RETROSPEKTIVE

2.1 CHARAKTERISTIK DES FORSCHUNGSVERBUNDES

Es lag im Interesse des Forschungsfinanzierenden und der Forschungsnehmer, zu diesem komplexen Thema mehrere Partner aus den unterschiedlichsten Bereichen zusammenzubringen. Die Aufgabenstellung erforderte nach Ansicht der das Forschungskonzept entwickelnden Arbeitsgruppe, daß Angehörige aus Forschungsinstituten ebenso wie Repräsentanten aus dem Bereich von Ingenieurbüros mitwirken sollten. Auch war die Aufgabenstellung, die bislang an einzelnen Hochschulen ausschließlich im Gebiet der Hydrologie, an anderen Institutionen ausschließlich im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft bearbeitet wurde, so konzipiert, daß Fachvertreter aus den Bereichen Umweltanalytik, Hydrochemie, Siedlungswasserwirtschaft und Wasserbau eingebunden werden sollten. Darüber hinaus war es ein besonderes Anliegen der Arbeitsgruppe, alle Forschungseinrichtungen und in Forschung und Entwicklung tätigen Ingenieurbüros, die sich in der Vergangenheit in diesem Arbeitsgebiet betätigt hatten, mit einzubeziehen.

Dies führte zu einer verhältnismäßig umfangreichen Gruppe von Institutionen, die in die Detailplanung des Forschungsvorhabens und auch in die spätere Bearbeitung eingebunden wurden. Insgesamt waren von der ersten Phase des Vorhabens bis zur jetzigen, abschließenden dritten Phase elf verschiedene Institutionen aus Forschung und Entwicklung, auf zehn verschiedene Standorte verteilt, beteiligt.

2.1.1 Kooperation und Abstimmung zwischen diesem Projekt und anderen Forschungsvorhaben

Betrachtet man die Situation des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft, so kann man vereinfachend die Jahre nach dem Zweiten Weltkrieg bis zum Beginn der achtziger Jahre vornehmlich als einen Zeitraum der Entwicklung und Vervollkommnung der Klärtechnik bezeichnen. In der Mitte der achtziger Jahre war dann durch verbesserte Kontrolle punktförmiger Einleitungen eine deutliche Verbesserung des Gewässerschutzes erreicht. Das Interesse verlagerte sich sinngemäß mehr auf Analyse, Beschreibung und Kontrolle nichtpunktförmiger Quellen, also vornehmlich auch des Niederschlagsabflusses. So ist es nicht weiter verwunderlich, daß sich neben dem hier zu berichtenden Verbundprojekt auch andere Forschungsförderer und andere Forschungsnehmer mit den Fragen des niederschlagsbedingten Stofftransportes, sei es im urbanen oder ländlichen Bereich, befaßten. Von besonderer Bedeutung für das Verbundprojekt NIEDERSCHLAG waren zwei nahezu gleichzeitig konzipierte Verbundvorhaben, einerseits der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit dem Themenschwerpunkt „Stofftransport in urbanen Räumen“ (BEICHERT, FUCHS, HAHN, 1996) und andererseits des BMFT mit dem Kurztitel „Weiherbachprojekt“ (PLATE et al., 1996). Wie in der schematischen Darstellung der Abbildung 2.1 angedeutet, ist das BMFT „Weiherbachprojekt“ im Spannungsfeld zwischen Grundlagenorientierung und Anwendungsausrichtung gleichermaßen angesiedelt,

vornehmlich aber auf den Niederschlagsabfluß aus dem ländlichen Raum konzentriert. Demgegenüber war das hier zu berichtende BMFT-Verbundprojekt NIEDERSCHLAG, mit der gleichen Zielsetzung, grundlagen- sowie anwendungsorientiert zu sein, fast ausschließlich auf die Fragen des Niederschlagsabflusses des urbanen Raumes ausgerichtet. Der DFG-Schwerpunkt „Stoffströme in urbanen Räumen“ war, entsprechend der Zielrichtung der Forschungsförderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft, vorwiegend auf die Beantwortung grundlegender Fragen ausgerichtet, und dies vornehmlich für den Abfluß und Stofftransport aus urbanen Räumen.

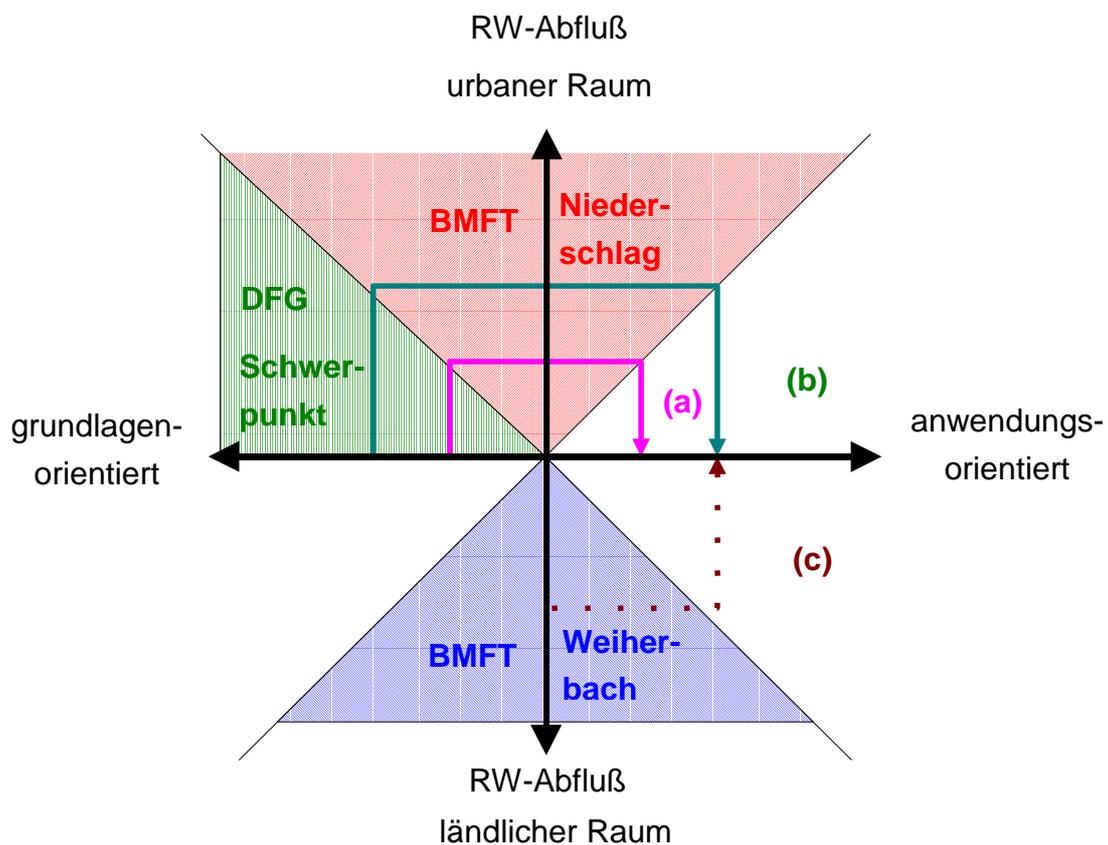


Abbildung 2.1: Die verschiedenen Niederschlagsprojekte und ihre schwerpunktmäßige Ausrichtung

Da diese Forschergruppen alle gleichzeitig arbeiteten, war eine thematische Abstimmung, aber auch eine Koordination von Arbeitsmethoden und eine Darstellung der Ergebnisse möglich. So ist heute die Aggregation der Forschungsergebnisse aus den drei Bereichen nicht nur im Prinzip möglich, sondern zur Beantwortung praktischer Fragestellungen direkt notwendig. Dies ist durch drei Illustrationsbeispiele in der Abbildung 2.1 angedeutet: (a) Wird die Frage nach dem Transport ungelöster Feststoffe mit dem Niederschlagsabfluß gestellt, so kann aus dem DFG-Schwerpunktprogramm grundlegende Information zum Thema Sedimentation und Erosion von Feststoffen im Kanal entnommen werden, zusammen auch mit der Entwicklung eines hierfür besonders geeigneten Meßverfahrens. Und aus dem BMFT-Verbundvorhaben NIEDERSCHLAG sind Daten einer weiter ausgeführten Meßkampagne in den verschiedensten Bereichen des Gesamtsystems Kanal, Kläranlage und Gewässer zum Thema ungelöste Feststoffe bis hin zur Übertragung dieser Erkenntnisse in Simulationsprogramme verfügbar; (b) und (c): Interessiert etwa das Verhalten spezifischer, anthropogener Schadstoffe und der Beitrag aller nichtpunktförmiger Quellen, so finden sich

im DFG-Schwerpunktvorhaben Hinweise auf Analytik und Speziation dieser Verbindungen, im BMFT-Verbundvorhaben NIEDERSCHLAG Hinweise zu Quellen, Transport und Wiederablagerung dieser Stoffe im gesamten urbanen System und im BMFT-Verbundvorhaben „Weiherbach“ die entsprechenden Daten für den ländlichen Raum. Damit ist eine Gesamtbilanz im Prinzip möglich.

2.1.2 Ziel der Arbeiten im Verbundprojekt

Wie schon angedeutet, gewann vor dem Hintergrund des fortschreitenden Ausbaus der Kläranlagen die Frage nach der Belastung des Niederschlagsabflusses, der nicht nur über die zentralen Kläranlagen abgeleitet wird, zunehmende Bedeutung für die Fragen des Gewässerschutzes. Insbesondere interessierten solche niederschlagsbedingten Schadstoffbelastungen, die entweder im Weg durch die Kläranlage einerseits oder in der Behandlung in Durchlaufbecken andererseits nicht zurückgehalten werden, also biologisch schwer abbaubare oder gelöste oder an Feinststoffe adsorbierte, gelöste Schadstoffe. Sie sind in der Vergangenheit mit verschiedenen Begriffen zusammenfassend z. B. als „Priority Pollutants“, als anthropogene Schadstoffe oder auch als ökotoxikologische Verbindungen bezeichnet worden.

Das Projekt sollte Daten liefern, die die Dissipation von Schadstoffen in unserer Umwelt zu beschreiben erlaubt. Das Beispiel Blei aus verkehrsbedingten Emissionen mag dieses Phänomen illustrieren. Es wurden Informationen dazu erwartet, wie trockene und nasse Deposition dieser Schadstoffe auf Entwässerungsflächen aller Art zu zeitlicher und/oder räumlicher Anreicherung führen könnten. Die gleichzeitig an den wichtigsten Punkten des Gesamtentwässerungssystems durchgeführten Messungen sollten Hinweise für technische und/oder administrative Lösungen ergeben.

Es war nicht beabsichtigt, praktische Regeln zu formulieren. Ergebnisse sollten dergestalt aufbereitet werden, daß sie die Bewertung der Bedeutung der Niederschlagsbelastung erlauben. Damit ist die Grundlage zu Sammlung, Behandlung und Ableitung des Niederschlagsabflusses zur verbesserten Kontrolle des Eintrages anthropogener Schadstoffe in die Umwelt gegeben.

2.2 DURCHFÜHRUNG DES VERBUNDPROJEKTES

Das Projekt ist, wie zuvor angedeutet, in drei Bearbeitungsphasen unterteilt (vgl. auch Abbildung 2.2). Die erste Arbeitsphase beinhaltet vornehmlich Messungen im jeweiligen Areal der einzelnen Forschungsnehmer. In der zweiten Phase sollten diese in verschiedenen Beobachtungsgebieten und teilweise auch zu unterschiedlichen Jahreszeiten gewonnenen Daten auf andere Regionen und auf andere Zeitperioden übertragen, angepaßt und zusammengefaßt werden, um damit einzelne Teileinzugsgebiete vollständig zu beschreiben. Die Anzahl der Messungen sollte zurückgeführt werden und bestenfalls noch Eich- und Kalibrierungsmessungen durchgeführt werden. In der dritten Phase ging es um die Hochrechnung und Gewichtung der Beobachtungen. Ausgehend von anfangs sieben unterschiedlichen Kleinstmeßgebieten über die zwei signifikant verschiedenen und im Detail

analysierten, gesamten Teileinzugsgebiete Alb und Elbe sollte eine Ermittlung des Eintrages solcher Schadstoffe durch Niederschlagsabflüsse in den Einzugsgebieten der Lahn und des Neckars erfolgen. In der letzten Phase sollten keinerlei Messungen mehr durchgeführt werden, sondern die große Anzahl der in den vorangehenden Phasen, insbesondere der in der ersten Phase gewonnenen Daten, kritisch betrachtet, korrigiert und aggregiert werden.

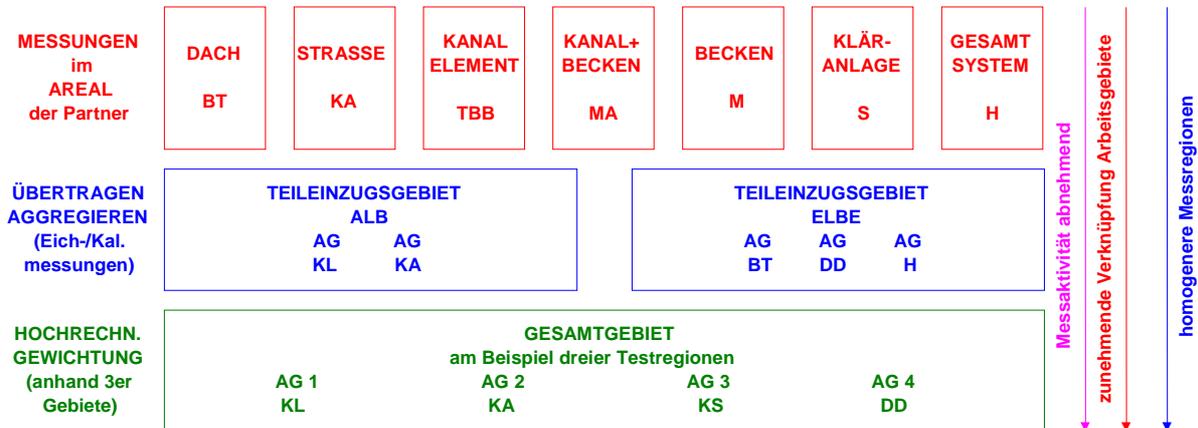


Abbildung 2.2: Struktur des Verbundprojektes im Hinblick auf einzelne Teilprojekte und Bearbeitungsphasen

2.2.1 Schwerpunkt der Arbeiten jedes Partners

Das Konzept des Verbundvorhabens sah für jedes wichtige Element des Gesamtsystems „Stadtentwässerung“ ein Teilprojekt vor, das von einer dafür besonders ausgewiesenen Institution bearbeitet werden sollte (siehe Abbildung 2.2).

- Von den an Entwässerungssysteme angeschlossenen befestigten Flächen stellen die Dachflächen den weniger belasteten Anteil des Einzugsgebietes dar. Von verschiedensten Dachflächen in unterschiedlichen Quartieren einer Stadt wurden bei Niederschlagsereignissen Proben in kürzestem Zeitabstand entnommen, das gesamte Ereignis beprobt und die gemeinsam von der Arbeitsgruppe vereinbarte Liste der Wasserinhaltsstoffe bestimmt. Die Arbeitsgruppe, die sich mit diesem Element des Gesamtentwässerungsgebietes befaßte, gehört dem „Lehrstuhl für Hydrologie der Universität Bayreuth“ an. Probenahmepunkte waren die Dachablauffrinnen. Dort wurden Probenehmer installiert.
- Die mit dem Begriff „Straße“ zusammengefaßten Teileinzugsgebietsflächen sollten den belasteteren Teil der urbanen, an Entwässerungsnetze angeschlossenen Flächen darstellen und wurden von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des „Institutes der Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe“ beprobt (Teilprojekt 2). Mit einem weitgehend vollautomatisierten Probenahmeprogramm konnten ebenfalls gesamte Niederschlagsereignisse erfaßt werden.¹ Auch hier wurden die gleichen Parameter wie bei der

¹ Ein Niederschlagsmeßgerät gibt einem Prozeßleitreechner ein Startsignal. Dieser startet Probenahme und kontinuierliche Meßgeräte und paßt je nach Ergebnis der kontinuierlichen Wasserqualitätserfassung die Probenahmeintervalle so an, daß wichtigste Veränderungen erfaßt werden können.

Erfassung der Qualität der Dachabflüsse untersucht. Der Beprobungspunkt war der Straßeneinlaufschacht unterhalb des durch Einbauten leicht modifizierten Sinkkastens. Soweit möglich wurden Proben über Schlauchpumpen mit fixiertem Entnahmepunkt gezogen.

- Einleitung, Transport, Ablagerung und Wiederaufnahme in Kanalelementen untersuchte das dritte Teilprojekt. Meßpunkte waren verschiedene Lokalitäten in einem typischen kommunalen Transportkanal, der in seinen Charakteristiken eher einer Anfangshaltung glich. Auch hier wurde das von der gesamten Arbeitsgruppe für alle Teilprojekte vereinbarte Spektrum der Wasserinhaltsstoffe bestimmt, zuzüglich die für den Kanal charakteristischen Strömungsgrößen. Angehörige des Ingenieurbüros „Umwelt- und Fluidtechnik GmbH“ in Bad Mergentheim bearbeiteten dieses Teilprojekt.
- Die Wechselwirkung zwischen Kanalabschnitten und Speicherbecken ist im vierten Teilprojekt von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Ingenieurbüros „Gesellschaft für Kläranlagen und Wasserwerke“ in Mannheim und dem „Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe“ untersucht worden. Im Vordergrund stand hier insbesondere die Bestimmung der Kanalablagerungen und der Wiederaufnahme dieser Ablagerungen vor dem Hintergrund der Fließbedingungen im Kanal, einem mit sehr geringer Sohlneigung verlegten Kanal, der rückstaubehaftet ist und von Drosselschiebern und von einem Speicherbecken beeinflusst wird. Neben der Messung der vereinbarten, den Niederschlagsabfluß charakterisierenden Qualitätsparameter sind hier insbesondere Überlaufereignisse am Gebietsauslaß gemessen und damit vollständige Massenbilanzen erstellt worden.
- Auf der Basis von Messungen sowie Modellrechnungen sollte das Entlastungsverhalten an einem als Durchlaufbecken konzipierten Regenüberlaufbecken erfaßt werden, um die Wirksamkeit von Regenüberlaufbecken in Mischsystemen zu bestimmen. Dieses fünfte Teilprojekt wurde vom „Institut für Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der Technischen Universität München“ durchgeführt. Neben der Messung der gemeinsam vereinbarten Wasserinhaltsstoffe ging es hier vor allen Dingen um die Beschreibung der Aufteilung der Stoffströme an einem Regenbecken während der Niederschlagsereignisse im Falle der Entlastung. Daraus sollten Verbesserungsvorschläge für die Bemessungsrichtlinien von Regenüberlaufbecken abgeleitet werden.
- Das letzte, wichtige Teilelement eines urbanen Entlastungssystems ist die Kläranlage. Der Trockenwetterzulauf bestimmt die Arbeitsweise und die Füllung der Becken der Kläranlage auch im Falle der Beschickung mit Regenwetterabflüssen. Da im Hinblick auf das Gewässer beim Mischverfahren die direkten Einleitungen aus der Regenwasserbehandlung gemeinsam mit aus dem beim Klärwerk eingeleiteten Frachten zu betrachten sind, sollten Abflußereignisse und deren Wirkungen in einem Klärwerk erfaßt werden. Die dort durch Mischwasserzufluß auftretenden Belastungsschwankungen sind grundsätzlich in ihrer Dynamik nicht mit den üblichen Arbeitsbedingungen des Klärwerks zu vergleichen. Die Untersuchungen, die von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern im „Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft der Universität Stuttgart“ bearbeitet wurden, sind z. T. an halbtechnischen Versuchseinrichtungen und am „Lehr- und Forschungskläwerk Büsnau der Universität Stuttgart“ durchgeführt worden.

- In einem weiteren, siebten Teilprojekt, das vom „Institut für Wasserwirtschaft der Universität Hannover“ durchgeführt wurde, ist der Einfluß einer gesamten Stadt (Hildesheim) auf den Gütezustand des die Stadt durchfließenden und ver- und entsorgenden Vorfluters (die Innerste) differenziert nach Belastungen aus Trenn- und Mischsystemeingleitungen und Kläranlagenablauf festgestellt worden. Daraus sollten verallgemeinerbare Erkenntnisse abgeleitet werden, insbesondere durch das Instrument einer Langzeitsimulation. Damit sollten die Datenreihen der zeitlich befristeten Meßkampagnen erweitert werden.

2.2.2 Erforderliche Abstimmungen in der gesamten Arbeitsgruppe

Im Hinblick auf die Beprobung an den einzelnen Punkten des Einzugsgebietes, die Analytik zur Bestimmung der Qualität der einzelnen Teilströme, und vor allen Dingen auch auf die gemeinsame Nutzung aller Daten, waren zahlreiche Abstimmungen in der Arbeitsgruppe erforderlich. Diese betrafen eine Mindestliste der zu messenden Wasserinhaltsstoffe und die dabei verwendeten analytischen Verfahren. Es war darüber hinaus jeder Arbeitsgruppe freigestellt, zusätzliche Messungen durchzuführen. Gleichzeitig sind Vereinbarungen bezüglich der zeitlichen Auflösung von Niederschlagsereignissen und vor allen Dingen auch auf die parallele Wassermengenmessung getroffen worden.

Auch im Hinblick auf die Nutzung der Daten, insbesondere aber auch die Auswertung der selbst erhobenen sowie der von Dritten überlassenen Daten, waren gemeinsame Absprachen erforderlich. Zum einen betraf dies die Definition von Niederschlagsereignissen und vor allen Dingen auch den dazwischen liegenden Trockenwetterperioden. Zum anderen war es notwendig, bei der Verdichtung der Daten die Bestimmung von Mittelwerten und Schwankungsgrößen zu vereinheitlichen. So wurden Mittelwerte aus einzelnen Konzentrationsmessungen resp. Mittelwerte oder auch Medianwerte aus Frachten während eines Ereignisses (also frachtbezogene Mittelwertbildung) definiert.

Zahlreiche Besprechungen der Angehörigen der Arbeitsgruppe befaßten sich auch mit dem Erfahrungsaustausch zu Probenahmepunkten und Probenahmesystemen, zu In-situ-Messungen, insbesondere zur Erfassung hydraulischer und hydrologischer Daten, zu Datenfernübertragung und Probenahmesteuerung und auch zu analytischen Auswertungen. Die hierzu erarbeiteten Erkenntnisse sind allerdings ausschließlich gruppenintern zur Verfügung gestellt worden.

2.2.3 Anpassung und Umdisponierung in der Projektkonzeption während der Bearbeitung

Wie in der Schemaskizze der Abbildung 2.2 abzulesen, war beabsichtigt, die sehr umfangreichen und aufwendigen Messungen hauptsächlich auf die Arbeitsphase I zu konzentrieren und in der abschließenden Phase III keinerlei Messungen mehr durchzuführen. In der Phase II sollte nur eine möglichst geringe Zahl gründlichst vorbereiteter Eich- oder Kalibrierungsmessungen durchgeführt werden. Diese Konzeption ließ sich nicht ganz durchhalten; der Umfang der Messungen in der Phase II, die der Überprüfung der Übertragbarkeit von Meßergebnissen aus einem Teileinzugsgebiet der

Phase I auf ein anderes Teileinzugsgebiet der Phase II dienen sollten, war größer als vorhergesehen.

Darüber hinaus erschien es notwendig, weitere Arbeiten, insbesondere auch in der Phase I hinzuzunehmen, die der genaueren Beschreibung der einzelnen Elemente, der Teileinzugsgebiete des gesamten Entwässerungssystems dienten. Hier wurde insbesondere mit den Mitarbeitern im „Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Universität Karlsruhe“ kooperiert, die ergänzend zu Auswertungen von Bebauungsplänen auch Befliegungsdaten und sogar die Auswertung von Satellitendaten für den Zweck der genauen Beschreibung der Einzugsgebietsgrenzen entwickelten. Auch im Hinblick auf die Erfassung der Qualität der einzelnen Teilströme des Niederschlagsabflusses und damit der möglichen Belastungsquellen der Umwelt wurde eine weitere Arbeitsgruppe, nämlich die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter am „Lehrstuhl für Ökologische Chemie und Geochemie der Universität Bayreuth“ zur Erfassung von niederschlagsbedingten PCDD/F-Einträgen in ein städtisches Entwässerungsnetz eingeschaltet. Die PCDD/F-Konzentrationen z. B. im Rohschlamm einiger Kläranlagen, aber auch in den Straßenabspülungen, wurden witterungsabhängig bestimmt und quantifiziert.

Sehr wichtig waren auch immer wieder zeitliche Anpassungen resp. Synchronisation der einzelnen Teilprojekte in den verschiedenen Phasen. Da das Meßobjekt durch natürliche Variabilität geprägt ist, war in dem anfangs konzipierten Zeitplan nicht abzusehen, nach welchen Meßperioden genügend sogenannte Niederschlagsereignisse meßtechnisch erfaßt werden konnten.

Aus dem Programm ausgeklammert resp. schon früher als geplant beendet, wurden die in der Phase I vorweggenommen Gesamtbilanzierungen; die Ergebnisse dieser Untersuchungen wirkten initiativengendend für die Durchführung in der Phase II und III. - Demgegenüber wurde die Phase III erweitert. Es wurden nicht nur Erkenntnisse der beiden Teileinzugsgebiete Alb und Elbe (Phase II) flächenanteilmäßig hochgerechnet. Vielmehr sind zwei komplexere, voneinander sehr stark unterschiedene gesamte Flußgebiete als Grundlage für Hochrechnung und Gewichtung der Meßergebnisse mit einem wiederum interdisziplinär und interinstitutionell zusammengesetzten Arbeitsteam detailliert erfaßt worden. Im noch laufenden Teilprojekt 4 der dritten Phase wird die erarbeitete Bilanzierungsmethode im Rahmen einer Extremwertvalidierung auf ein weiteres Gewässer, die Mulde, angewendet.

2.2.4 Ergebnisse des Verbundprojektes

Über das gesamte Verbundprojekt und seine Ergebnisse ist, zu Beginn und jeweils nach den drei Arbeitsphasen mehrmals in synoptischer Form als Gesamtübersicht berichtet worden (HAHN und XANTHOPOULOS, 1990 und 1992; XANTHOPOULOS und HAHN, 1995; FUCHS und HAHN, 1999). Die Berichterstattung erfolgte aber auch durch die Mitglieder der jeweiligen Arbeitsgruppe (vgl. für die Phase II: XANTHOPOULOS, 1998; SCHMITT, 1997; SEYFRIED, 1999; HAHN und SCHÄFER 1998). Bei allen Projektdarstellungen wurden Kommentare und Anregungen von ausgewiesenen Fachleuten aufgegriffen und in die Fortführung der Arbeiten miteinbezogen. Ganz besonders diesem Zweck diente das am 28. April 1998 veranstaltete Fachgespräch, zu dem Vertreter verschiedenster Fachdisziplinen eingeladen waren.

3 UNTERSUCHUNGSGBIETE

3.1 LAHN

Die Aufteilung des Testgebietes Lahn in einen rheinland-pfälzischen und einen hessischen Abschnitt und die nachfolgend weitestgehend getrennte Betrachtung der beiden Gebiete steht scheinbar im Widerspruch zu den Vorstellungen eines modernen Flußgebietsmanagements, in dem die Flüsse im Kontext des gesamten Einzugsgebietes betrachtet werden.

Dennoch gab es gute Gründe für die Aufteilung des Testgebietes Lahn in einen rheinland-pfälzischen und einen hessischen Teil und die getrennte Bilanzierung dieser beiden Gebiete:

Eines der wichtigsten Argumente, das für eine getrennte Betrachtung sprach, war die teilweise völlig unterschiedliche Datengrundlage in den beiden Flußabschnitten. Dies ließ eine einheitliche Vorgehensweise bei der Bilanzierung der Immissionen und Emissionen zunächst einmal nicht zu und erforderte in vielen Fällen eine Anpassung der Emissionsberechnungsformeln an die örtlichen Randbedingungen.

Ein weiterer Grund für die getrennte Betrachtung ist die unterschiedliche Verwaltungsstruktur der beiden Bundesländer. So sind die Gemeinden in Hessen sehr viel größer als in Rheinland-Pfalz und entsprechen eher den dortigen Verbandsgemeinden (Abbildung 3.1). Die kleinste rheinland-pfälzische Gemeinde im unteren Lahnggebiet hat zum Beispiel nur eine Fläche von 74 ha und beherbergt gerade 71 Einwohner. In Rheinland-Pfalz liegen deshalb, trotz der vergleichsweise geringen Größe, 206 Gemeinden ganz oder teilweise im Einzugsgebiet der Lahn. Da in beiden Ländern die Erfassung der statistischen Daten für die meisten Merkmale jeweils bis auf die Gemeindeebene erfolgt, konnte das rheinland-pfälzische Lahnggebiet sehr viel detaillierter betrachtet werden als dies in Hessen möglich gewesen wäre. Da in Rheinland-Pfalz außerdem nicht nur die Lahn, sondern auch einige Nebengewässer regelmäßig beprobt werden, bot sich das untere Lahnggebiet förmlich an, einen Teil dieses Flußgebietssystems etwas genauer zu betrachten und zu testen, ob sich die Bilanzierungsansätze auch auf kleinere Einzugsgebiete sinnvoll übertragen lassen.

Daneben sprachen aber auch die deutlich unterschiedlichen naturräumlichen und siedlungsstrukturellen Gegebenheiten dieser beiden Gebiete für eine getrennte Betrachtung.

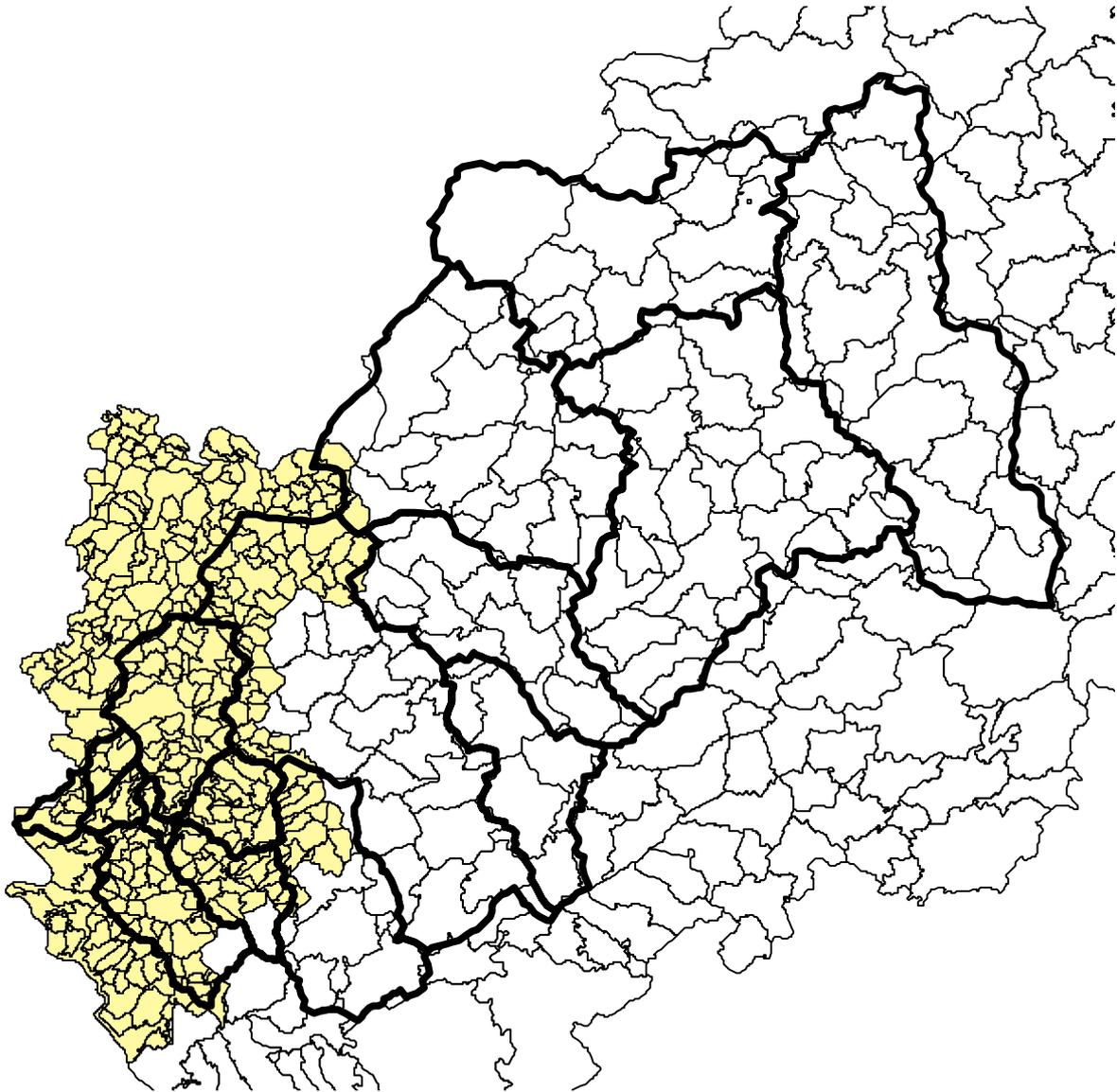


Abbildung 3.1: Karte des Lahngbietes (grau = rheinland-pfälzische Gemeinden, weiß = hessische Gemeinden, die Wassereinzugsgebiete der Lahn sind fett umrandet)

3.1.1 Hessischer Teil der Lahn

Hydrologie und Naturraum

Das oberirdische Einzugsgebiet der Lahn bis zur Landesgrenze von Hessen nach Rheinland-Pfalz hat eine Größe von rund 4900 km². Die Lauflänge beträgt 176 km. Der mittlere Abfluß am Pegel Kalkofen liegt bei 47 m³/s was einer mittleren Abflußspende von 290 mm/Jahr entspricht. Der mittlere Gebietsniederschlag liegt bei ca. 800 mm/Jahr. Hauptnebenflüsse sind die Ohm und die Dill.

Abbildung 3.2 zeigt das gesamte Untersuchungsgebiet. Abgebildet sind die Teileinzugsgebiete nach Gewässerkundlichem Flächenverzeichnis mit vierstelligen Kennziffern in Hessen und fünfstelligen in Rheinland-Pfalz, die Lahn sowie wichtige Gütemeßstellen und Abflußpegel. Die Gütemeßstelle Limburg und der Pegel Kalkofen in Rheinland-Pfalz ($A_{E0} = 5304$

km², ca. 25 km von der Landesgrenze zu Hessen entfernt) dienen als Referenzstationen für die Bilanzrechnungen der Lahn in Hessen. Die Berechnungen basieren auf den Teileinzugsgebieten 2581 bis 2587.

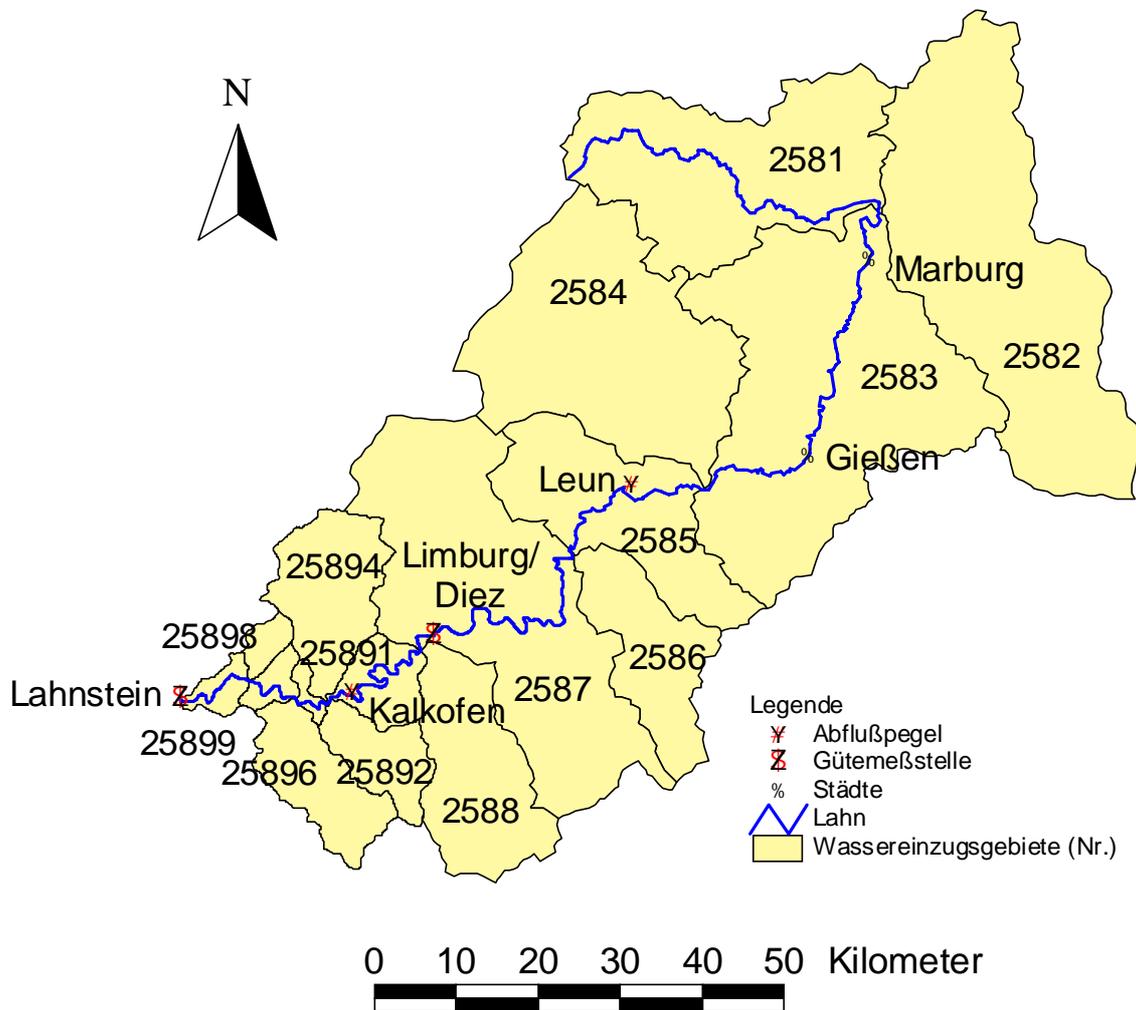


Abbildung 3.2: Untersuchungsgebiet Lahn

Naturräumlich liegt das Untersuchungsgebiet inmitten der rheinisch-hessischen Mittelgebirgszone. Es hat Anteil am Rheinischen Schiefergebirge im Westen (Paläozoikum) und an den Buntsandsteingebieten des Hessischen Berglandes im Osten (Trias). Das gesamte Gebiet ist geprägt durch starke tektonische und vulkanische Aktivitäten (Tertiär). Die basaltischen Vulkanitkomplexe Westerwald und Vogelsberg bilden mit über 500 bzw. 700 Metern ü. NN die höchsten Erhebungen im Einzugsgebiet. Im Durchschnitt liegt das Einzugsgebiet ca. 300 m hoch.

Der nahezu geschlossene Gebirgszug im Westen beeinflusst das regionale Klima in den mittleren und östlichen Teilen des Einzugsgebietes. Bei Westwetterlagen treten Lee-Effekte auf. Die Stationsniederschläge reichen von knapp 600 mm (Station Gießen) bis zu 1100 mm

in den Kammlagen (Station Sackpfeife). (FACHGEBIET SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT DER UNIVERSITÄT GH KASSEL, 1991)

Die obere Lahn fließt der Gebirgsabdachung folgend mit einem mittleren Gefälle von 2,36 ‰ nach Osten. Bei Cölbe beschreibt sie einen rechten Winkel nach Süden und nimmt mit der Ohm den wasserreichsten Nebenfluß auf. Zwischen Marburg und Gießen weitet sich die Talau der Lahn auf und erreicht stellenweise mehrere Kilometer Breite. Das mittlere Gefälle beträgt hier 0,72 ‰. Bei Gießen wendet sich die Lahn nach Westen, nimmt bei Wetzlar die Dill auf und gewinnt zunehmend den Charakter eines Durchbruchflusses. Durch die Nutzung als Bundeswasserstraße ist die untere Lahn als staugeregeltes Gewässer ausgebaut.

Das Abflußregime ist gekennzeichnet durch überwiegend winterliche Hochwässer sowie oft langanhaltende sommerliche Niedrigwasserperioden. Der mittlere Jahresabfluß am Pegel Kalkofen (MQ) beträgt 47 m³/s, was einer Abflußspende von 8,9 l/(s*km²) entspricht. Der mittlere Niedrigwasserabfluß (MNQ) liegt bei 10 m³/s, der Median beträgt 26 m³/s. (LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN, 1991).

Die Gewässerkundlichen Hauptzahlen gemäß dem Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch (DGJ) sind in Tabelle 3.1 aufgeführt (LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN, 1991). Die Angaben beziehen sich auf die Kalenderjahre 1936 bis 1991.

Tabelle 3.1: Abflüsse bei Gewässerkundlichen Hauptzahlen (LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN, 1991)

Pegel	A_{Eo} [km ²]	MNQ [m ³ /s]	MQ [m ³ /s]	MHQ [m ³ /s]	HQ1 [m ³ /s]	MNq [l/s*km ²]	Mq [l/s*km ²]
Kalkofen	5.304	10	47	388	306	1,89	8,86

Flächennutzung

Das Lahnggebiet wird seit frühgeschichtlicher Zeit vom Menschen genutzt und besiedelt. Ausgehend von den offenen Beckenlandschaften um Lahn und Ohm breiten sich mit beginnender bergbaulicher Tätigkeit im Hochmittelalter die Siedlungen auch in die Gebirgstäler von Oberlahn und Dill aus. Spuren dieser jahrhundertelangen Aktivitäten lassen sich bis heute an den erhöhten Schwermetallgehalten in den Sedimenten vieler Gebirgsbäche ablesen. (FACHGEBIET SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT DER UNIVERSITÄT GH KASSEL, 1991)

Die neuzeitliche Industrialisierung, im Lahnggebiet vor allem geprägt durch eine rapide Entwicklung des Erzverhüttungs- und Metallverarbeitungsgewerbes, führte zu einer verstärkten Herausbildung linearer Siedlungsbänder in den Talauen der oberen Lahn und entlang der Dill. Dies führt bis heute zu einer starken Ballung der Siedlungs- und Gewerbeemissionen in diesen Gebieten. (FACHGEBIET SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT DER UNIVERSITÄT GH KASSEL, 1991)

Im hessischen Einzugsgebiet der Lahn leben rund 960.685 Einwohner (HSL, 1997 und 1998). Siedlungen, Verkehr und Industrie beanspruchen 13,4 % der Gesamtfläche. Die weiteren Flächennutzungen verteilen sich vorwiegend auf Landwirtschaft und Wald mit rd. 43% bzw. 42% der Fläche (vergleiche Tabelle 3.2). Insgesamt ist die Landwirtschaft im

Lahneinzugsgebiet als extensiv einzustufen. Durchschnittlich rund ein Viertel der Landwirtschaftsfläche wird nicht mehr genutzt und ist brachgefallen; zirka drei Viertel der Betriebe werden im Nebenerwerb bewirtschaftet.

Tabelle 3.2: Landnutzung im hessischen Lahnggebiet

Nutzungs-klasse	Anteil [%]
urbane Flächen	13,4
Ackerland	24,0
Grünland	18,8
Wald	42,0
Sonstige	2,4

Siedlungswasserwirtschaft

Im hessischen Lahnggebiet sind 96,5 % der Wohnbevölkerung an insgesamt 171 kommunale Kläranlagen angeschlossen. Die Ausbaugröße aller Anlagen beträgt 1.438.500 Einwohnerwerte (EW). Davon entfallen rd. 70 % auf Kläranlagen der Größenklasse 4 und 5 (vergleiche Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3: Verteilung kommunaler Kläranlagen nach Größenklassen, nach HSL (1996a), HLFU (1996-1998) und ATV (1997)

Größen-klasse	Größe [EW]	Anzahl	Ausbaugröße [EW]	
			Anteil [%]	Anteil [%]
1	< 1.000	65	38	25.350
2	1.000 - 5.000	62	36	158.550
3	> 5.000 - 20.000	28	16	272.300
4	> 20.000 - 100.000	14	8	647.300
5	> 100.000	2	1	335.000
Gesamt:		171	100	1.438.500

Die Reinigungsleistung der kommunalen Kläranlagen im hessischen Einzugsgebiet der Lahn kann durch ihre Verteilung auf die verschiedenen Reinigungsverfahren beschrieben werden. Gemäß Abbildung 3.3 verfügen 12% der Anlagen mit einer Ausbaugröße von 56% der Gesamt-Ausbaugröße über eine gezielte Phosphorelimination. 20% der Anlagen mit einer Ausbaugröße von 54% sind mit einer gezielten Stickstoffelimination (Nitrifikation) ausgestattet. Anlagen ohne biologische Reinigungsstufe sind keine ausgewiesen. Der Anteil der Teichkläranlagen im Lahnggebiet ist vergleichsweise hoch, 58% der Anlagen der Größenklasse 1 und 2 stellen Abwasserteiche dar, wovon 43% belüftet und 15% unbelüftet sind.

Das Lahnggebiet wird überwiegend im Mischsystem entwässert (rd. 90 % des Kanalnetzes). Der Anschlußgrad der Wohnbevölkerung an die öffentliche Sammelkanalisation beträgt 99,4%. Informationen zum Ausbaugrad konnten trotz intensiver Recherche nicht erhoben werden.

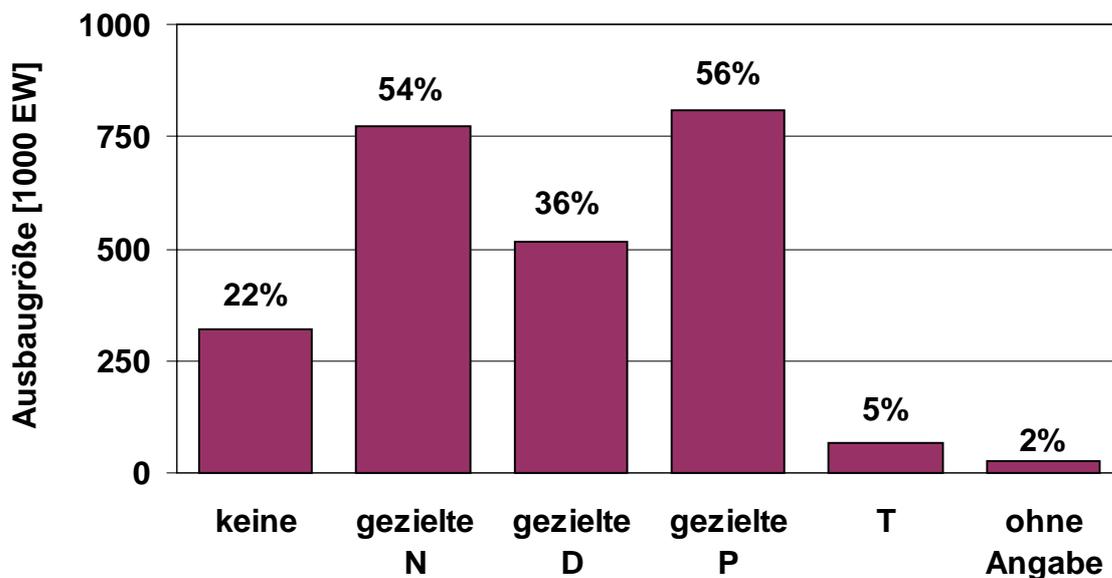


Abbildung 3.3: Verteilung der Einwohnerwerte kommunaler Kläranlagen nach Reinigungstypen

keine: keine weitergehende Abwasserreinigung
 gezielte N: gezielte Nitrifikation
 gezielte D: gezielte Denitrifikation
 gezielte P: gezielte Phosphorelimination
 T: Tropfkörperanlagen

Nach Auskünften des HSL (1998) beträgt das auf den Kläranlagen mitbehandelte Regenwasser im Durchschnitt mehr als 40% des insgesamt behandeltes Abwassers. Die verbleibende Wassermenge teilt sich zu gleichen Teilen auf in gewerbliches und häusliches Schmutzwasser sowie in Fremdwasser. Der Fremdwasseranteil in den Kanalnetzen des Untersuchungsgebietes ist vergleichsweise hoch. Dies konnte durch zwei am Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der Universität Gesamthochschule Kassel durchgeführte Projekte bestätigt werden. So betrachteten MEHLHART und STELTMANN (1991a) das Verhältnis von Nachtabfluß zum Trockenwetterabfluß und stellten in acht Kanalsystemen Überschreitungen im Sinne der ATV (1989) fest.

BORCHARDT und MENHADJ (1998) untersuchten 40 Teichkläranlagen im Lahneinzugsgebiet und beobachteten in 95% der Fälle einen erhöhten spezifischen Trockenwetterabfluß, der für ländliche Gebiete bei 100 Liter pro Einwohner und Tag angesetzt wurde. Die AutorInnen führen dies auf einen erhöhten Fremdwasseranteil zurück. Durch telefonische Anfragen bei verschiedenen Abwasserverbänden bestätigte sich die Annahme erhöhter Fremdwasserzuflüsse.

Gemäß der beschriebenen Gewerbe- und Siedlungsstruktur gibt es an der mittleren Lahn und entlang der Dill industrielle Direkteinleiter. Untersuchungen von MEHLHART und STELTMANN (1991b) weisen 44 industrielle Direkteinleiter oberhalb von Wetzlar aus.

3.1.2 Rheinland-Pfälzischer Teil der Lahn

Hydrologie und Naturraum

Die untere Lahn liegt in einem engen Mäandertal, das bis zu 200 m tief in die Hochflächen des westlichen Hintertaunus und des Niederwesterwaldes eingeschnitten ist. Um eine Nutzung als Bundeswasserstraße sicherzustellen, wurde die Lahn in diesen Bereich mit Hilfe von 11 Wehrbauwerken zu einem staugeregelten Gewässer ausgebaut. Als Folge der Staustufen findet man im unteren Lahnggebiet nur noch kurze freie Fließstrecken, der Großteil des ca. 70 km langen Lahnabschnittes ist durch Rückstau geprägt. Dieser Umstand und die meistens durch Steinwurf gesicherten Ufer haben dazu geführt, daß nur eine wenig differenzierte Ufer- bzw. keine differenzierte Gewässerbettstruktur vorhanden ist. Durch diese naturräumliche Merkmale unterscheidet sich der rheinland-pfälzische Teil wesentlich von der im vorherigen Kapitel beschriebenen hessischen Lahn.

Das rheinland-pfälzische Einzugsgebiet der Lahn umfaßt eine Fläche von ca. 950 km². Darüber hinaus liegen im Bereich der Nebenflüsse Aar, Mühlbach und Dörsbach noch hessische Gebiete mit einer Fläche von ca. 280 km². Das bilanzierte Einzugsgebiet hat somit eine Größe von 1.230 km², was etwas mehr als 20 % der Gesamtfläche des Lahnggebietes von 5.927 km² entspricht. In dieser Fläche sind 214 km² des Einzugsgebietes des Elbbachs enthalten, die zwar in Rheinland-Pfalz liegen, aber in den hessischen Teil der Lahn münden. Diese Gebiete gehen in die Bilanz des hessischen Teiles ein. Diese „Verschiebung“ von Bilanzposten war notwendig, um später eine korrekte Gegenüberstellung von Emissionen und Immissionen vornehmen zu können. Die im folgenden unter der Bezeichnung „Lahn - rheinland-pfälzischer Teil“ präsentierten Ergebnisse beziehen sich deshalb stets auf diejenige Einzugsgebietsfläche der Lahn, die zwischen den beiden Gewässergütemeßstellen Lahnstein, an der Mündung der Lahn in den Rhein, und Diez, an der Grenze zu Hessen, liegen. Dieser Flußabschnitt umfaßt eine Fläche von ca. 1.050 km².

Größere Nebenflüsse gibt es im unteren Lahnggebiet, außer der Aar mit ca. 312 km², keine. Daneben sind allerdings noch einige weitere, kleinere Nebengewässer vorhanden, die für die untere Lahn von Bedeutung sind. Hier sind vor allem der Gelbach (221 km²), der Dörsbach (114 km²) und der Mühlbach (171 km²) zu nennen.

Im Bilanzjahr 1995 fielen im betrachteten Gebiet im Mittel ca. 650 mm Niederschlag, wobei die Spannweite zwischen ca. 530 mm und 775 mm lag. Dies ist außergewöhnlich wenig, wenn man diese Zahl mit dem langjährigen Mittelwert von ca. 870 mm vergleicht. Mit Ausnahme der ersten Monate des Kalenderjahres, wo es aufgrund starker Niederschläge zu einem Hochwasser kam, lagen die Niederschläge in den einzelnen Teilgebieten deutlich unterhalb der langjährigen Mittelwerte.

Dieser Umstand wird insbesondere auch aus den abflußwirksamen Niederschlägen der Nebengewässer der unteren Lahn ersichtlich (Tabelle 3.4).

Tabelle 3.4: abflußwirksamer Niederschlag [mm] in den Nebengewässern der unteren Lahn

Flußgebiet	Kalenderjahr 1995	davon Jan.-Feb.	Kalenderjahr 1973/1995	davon Jan.-Feb.
Dörsbach	207	37 %	238	27 %
Gelbach	385	48 %	366	31 %
Mühlbach	184	32 %	223	24 %
Aar	207	38 %	241	27 %

Mit Ausnahme des Gelbachs lagen die abflußwirksamen Niederschläge in diesen Gewässern bis zu 17 % unterhalb ihrer langjährigen Mittelwerte, und das, obwohl die Niederschläge der Monate Januar und Februar im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten in allen Gebieten höher lagen. Eine Übersicht über die Abflußspenden für die wichtigsten Pegel gibt Tabelle 3.5.

Tabelle 3.5: Abflußspenden (in $l/(s \cdot km^2)$) für den Bereich der unteren Lahn (¹ 1936/95, ² 1973/95, ³ 1977/95)

Pegel	Gewässer	Nq ₉₅	Mq ₉₅	Hq ₉₅	MNq	Mq	MHq
Kalkofen (neu)	Lahn	1.85	10.7	104	1.90 ¹	8.94 ¹	74,0 ¹
Kloster Arnstein	Dörsbach	0.56	6.55	62.5	1.11 ²	7.56 ²	128 ²
Weinähr	Gelbach	1.63	12.1	190.0	1.86 ²	11.6 ²	159 ²
Zollhaus	Aar	0.30	4.22	40.4	1.30 ³	7.48 ³	77.3 ³
Schulmühle	Mühlbach	1.32	5.84	50.4	1.68 ²	7.06 ²	89.8 ²

Der geologische Untergrund des unteren Lahngbietes besteht überwiegend aus Tonschiefer und Tonschiefer mit Grauwackeeinschaltungen. Im Bereich des Dörsbach- und des Mühlbachgebietes findet man stellenweise auch Löß, Kalkstein und Quarzit, im Aargebiet örtlich Tonmergel und Kalkstein. Der Untergrund des Gelbaches und des übrigen Einzugsgebietes besteht neben den dort ebenfalls dominanten Tonschieferarten auch aus Bims, Quarzit, Trachyt, Basalt und Löß.

An Bodenarten kann man im Bereich des Dörsbachs und des Mühlbachs schluffigen bis tonigen Lehm, Lehm mit Grus und Steinen und grusig bis steinige Sand-, Schluff- und Lehmgemische antreffen. Im Aargebiet findet man außerdem noch Lehm über Sand und Kies, sandig bis schluffigen bzw. grusig bis sandigen Lehm und stellenweise auch Fels, Blöcke und Steine. Der Boden des übrigen Einzugsgebietes der unteren Lahn besteht ebenfalls aus den zuvor beschriebenen Bodenarten.

An Bodentypen sind überwiegend Braunerden, Parabraunerden und Pararendzina sowie Pseudogley anzutreffen.

Der jahrhundertelange Bergbau und die Verhüttung bzw. Verarbeitung der gewonnenen Buntmetallerze im Gebiet der unteren Lahn ist heute Geschichte. Diese früheren Nutzungsformen haben allerdings ihre Spuren in den Oberböden des unteren Lahntales hinterlassen. Als Folge der Gewinnung, Verhüttung und Aufbereitung der Erze sind stellenweise extrem hohe Schwermetallbelastungen zu verzeichnen (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN, 1996). Darüber hinaus wurde nahezu die gesamte regionale Umgebung kontaminiert.

Flächennutzung

Der rheinland-pfälzische Teil des unteren Lahngbietes ist ein überwiegend ländliches Gebiet. Wie aus Tabelle 3.6 zu entnehmen ist, werden ca. 40 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt und weitere 44 % des Gebietes sind mit Wald bedeckt, der damit die dominierende Nutzungsform in dieser Gegend darstellt. Die landwirtschaftliche Nutzung erfolgt überwiegend in den Einzugsgebieten der Nebengewässer. Die Auebereiche der Lahn werden als Wald und Grünland bzw. als Verkehrs- und Siedlungsflächen genutzt. Ackerland ist in diesem Bereich eher selten zu finden. Von Bedeutung ist an der Lahn darüber hinaus die zunehmende Nutzung ihrer Ufer und Auen für Zwecke der Naherholung (Campingplätze, Bootsanlegestellen, Wochenendhäuser etc.).

Die Einwohnerzahl ist in der Region entsprechend der ländlichen Struktur gering. Im Lahn-Einzugsgebiet unterhalb der Landesgrenze Rheinland-Pfalz/Hessen leben ca. 200.000 Einwohner, davon ca. 55.000 auf hessischem Gebiet. Im rheinland-pfälzischen Einzugsgebiet des Elbbachs leben darüber hinaus noch weitere ca. 40.000 Einwohner, die aber, wie bereits erwähnt, aus bilanztechnischen Gründen in den Ergebnissen des hessischen Teils berücksichtigt werden. Aus diesen Zahlen resultiert eine Einwohnerdichte von ca. 190 E/km², der Bundesdurchschnitt liegt zum Vergleich bei ca. 230 E/km². Allerdings ist die Besiedlungsdichte in diesen Gebiet stark unterschiedlich. Während in dichter besiedelten Gemeinden wie z.B. Bad Ems oder Diez mehr als 670 E/km² leben, gibt es andere Gemeinden, deren Einwohnerdichte deutlich unterhalb von 100 E/km² liegt. Beispielsweise beträgt sie in Oberfischbach, einer Gemeinde im Dörsbachgebiet, nur 29 E/km².

Tabelle 3.6: Landnutzung im unteren Lahn-Einzugsgebiet (incl. 214 km² rh.-pf. Elbbachgebietes)

Nutzungsklasse	Anteil [%]
urbane Flächen	11,6
Ackerland	22,7
Grünland	17,2
Wald	43,7
Sonstige	4,8

Die ländliche Prägung spiegelt sich auch in der Gewerbe- und Industriestruktur des rheinland-pfälzischen Teiles wieder. Die Betriebe des verarbeitenden Gewerbes konzentrieren sich im wesentlichen auf die größeren Gemeinden im Einzugsgebiet, wie z.B. Bad Ems, Nassau und Montabaur. Die Anzahl der im rheinland-pfälzischen Teil im verarbeitenden Gewerbe bzw. in der Industrie tätigen ArbeitnehmerInnen ist zudem mit ca. 13.000 recht gering. Der Schwerpunkt liegt dabei eindeutig im Einzugsbereich des Gelbachs. Mit über 4.000 Arbeitsplätzen ist die Wirtschaftsgruppe „Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden“ im rheinland-pfälzischen Lahngbiet am stärksten vertreten. Die übrigen Arbeitsplätze finden sich überwiegend in den Wirtschaftsgruppen „Stahl-, Maschinen- und Fahrzeugbau“, „Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik“ bzw. „Metallwaren“ sowie im „Holz-, Papier- und Druckgewerbe“.

Siedlungswasserwirtschaft

Die ländliche Struktur der unteren Lahn macht sich auch in der siedlungswasserwirtschaftlichen Situation bemerkbar. So waren zwar beispielsweise von den ca. 180.000 Einwohnern der rheinland-pfälzischen Einzugsgebiete im Bilanzjahr 1995 ca. 177.000 (98,3 %) an die öffentliche Kanalisation, aber nur ca. 148.000 (82,1 %) auch an eine Kläranlage angeschlossen.

Darüber hinaus ließ der Zustand der 1995 im unteren Lahnggebiet vorhandenen 77 rheinland-pfälzischen und 13 hessischen Kläranlagen teilweise sehr zu wünschen übrig. Beispielsweise waren in Rheinland-Pfalz noch 11.210 Einwohner an 33 mechanische Kläranlagen angeschlossen (Tabelle 3.7 und Tabelle 3.8). Ein Teil dieser veralteten Kläranlagen wurde aber bereits im Laufe des Jahres 1995 bzw. in den Jahren danach außer Betrieb genommen. Zudem befanden sich zum Bilanzzeitpunkt bereits einige neue Belebungsanlagen im Bau bzw. in der Einfahrphase.

Tabelle 3.7: Übersicht über die Kläranlagen im rh.-pf. Teil der Lahn nach Verfahren

Verfahren	Anzahl	Ausbaugröße	ange. E	ange. EGW	angeschl. EW	in %
Belebung	29	282.560	151.508	≈ 34.000	185.508	74,6
mechanisch	33	≈ 12.410	11.210	≈ 700	11.910	4,8
Abw.-Teich, belüftet	20	42.750	36.959	≈ 3.200	40.159	16,2
Abw.-Teich, unbelüftet	4	2.050	1.865	≈ 250	2.115	0,9
Tropfkörper	4	12.700	7.106	≈ 1.750	8.856	3,6
Summe	90	352.470	208.648	≈ 39.900	≈ 248.500	100,0

Tabelle 3.8: Übersicht über die Kläranlagen im rh.-pf. Teil der Lahn nach Ausbaugröße (entsprechend der 1995 geltenden Größenklasseneinteilung)

Größenklasse	Größe (EW)	Anzahl	Ausbaugröße	angeschl. EW	in %
GK 1	< 1.000	50	23.150	22.120	8,9
GK 2	> 1.000 ÷ 5.000	26	76.760	63.486	25,5
GK 3	> 5.000 ÷ 20.000	10	119.960	71.561	28,8
GK 4	> 20.000 ÷ 100.000	4	132.600	91.367	36,8
GK 5	> 100.000	0	0	0	0,0
Summe		90	352.470	≈ 248.500	100,0

Auf den insgesamt 90 Anlagen wurden 1995 9,1 Mio. m³ häusliches, 1,8 Mio. m³ gewerbliches und industrielles Schmutzwasser und 12,5 Mio. m³ Fremdwasser gereinigt. In der Summe ergibt sich somit ein Jahrestrockenwetterabfluß 1995 für das Bilanzgebiet von ca. 23,5 Mio. m³. Desweiteren wurden auf diesen Kläranlagen auch noch ca. 8,8 Mio. m³ Niederschlagswasser mitbehandelt. Auffällig ist allerdings, daß der Fremdwasseranfall auf den hessischen Kläranlagen sehr viel höher ist als in Rheinland-Pfalz. Bezogen auf den Jahrestrockenwetterabfluß macht er im hessischen Teil 61 %, in Rheinland-Pfalz im Mittel nur 49 % aus. Die Schwankungsbreite ist wiederum auf den rheinland-pfälzischen Anlagen sehr groß. Während einige Anlagen laut Statistik einen Anteil von unter 10 % haben, gibt es andere, bei denen der Fremdwasseranteil sehr hoch ist. In zwei Extremfällen betrug dieser sogar über 80 % des Jahrestrockenwetterabflusses, dies entsprach ca. 700 % des angefallenen häuslichen und gewerblichen Schmutzwassers!

Von den Einwohnern des rheinland-pfälzischen Gebietes waren im betrachteten Jahr ca. 30.000 Einwohner an einen öffentlichen Kanal, nicht aber an eine Kläranlage angeschlossen. Aus diesen Kanälen gelangten 1995 ca. 1,2 Mio. m³ häusliches und ca. 63.000 m³ gewerbliches Abwasser direkt in die Gewässer der unteren Lahn. Eine Behandlung dieses Schmutzwassers, sofern man davon überhaupt sprechen kann, erfolgte nur über die den Kanälen zumeist vorgeschalteten Mehrkammerausfallgruben. Der Fäkalschlamm dieser Gruben wurde bzw. wird von Zeit zu Zeit abgefahren und auf benachbarten Kläranlagen weiter behandelt.

Die Gemeinden dieses Flußabschnittes werden überwiegend im Mischsystem entwässert. Von den ca. 1.090 km rheinland-pfälzischen Kanalnetzes entfallen nur ca. 91 km auf Trennkanalisation. Bezogen auf die entwässerte Fläche ergaben die Berechnungen, daß der Anteil der Mischkanalisation ca. 94 % beträgt. Ganz im Trennsystem wird lediglich die Gemeinde Bad Ems entwässert. Weitere Gemeinden, wie z.B. Lahnstein, Diez, Montabaur und Nassau werden teilweise im Trennsystem entwässert. Man muß allerdings hinzufügen, daß in den statistischen Angaben zu den Mischkanälen auch diejenigen Sammler enthalten sind, die über keinen Kläranlagenanschluß verfügen. Bei diesen Haltungen handelt es sich überwiegend um überalterte und marode „Bürgermeisterkanäle“, die früher teilweise in Eigeninitiative der Dorfbewohner entstanden sind. Im Zuge des Anschlusses an Kläranlagen werden diese Relikte aus den Anfängen der Siedlungswasserwirtschaft nun allmählich ersetzt.

Entsprechend der Gewerbe- und Industriestruktur überwiegen in diesem Lahnabschnitt kleinere Betriebe, die ihr Abwasser zumeist in die öffentliche Kanalisation bzw. Kläranlagen einleiten. Es gab 1995 somit nur noch wenige industrielle Direkteinleiter, die ihre Abwässer, gegebenenfalls nach entsprechender Vorbehandlung, in das Gewässersystem der Lahn bzw. ihrer Nebenflüsse eingeleitet haben. Sonstige Direkteinleiter sind überwiegend Campingplätze am Rande der Lahn, deren Fracht aber mengenmäßig zu vernachlässigen ist.

3.2 NECKAR

Hydrologie und Naturraum

Hydrologisch zählt der Neckar zum Stromsystem des Rheins. Er läßt sich gewässerkundlich in zwei Abschnitte teilen, die sich in ihrer Fließgewässercharakteristik deutlich unterscheiden. Dies ist zum einen der staugeregelte, untere Neckar als schiffbares Gewässer 1. Ordnung von der Mündung in den Rhein bei Mannheim bis nach Plochingen (203 km) und zum anderen der obere Neckar von Plochingen bis zum Quellgebiet bei Villingen-Schwenningen. Die Fließstrecke des Neckars von 355 km überwindet eine Höhendifferenz von 620 m vom Quellsumpfbereich bei Schwenningen (706 m.ü.N.N.) mit einem durchschnittlichen Gefälle von 1,7 ‰ und ist typisch für einen Mittelgebirgsfluß ohne Niederungsstrecken.

Jedoch sind durch den wasserwirtschaftlichen Ausbau (27 Schleusen) Fließstrecken mit geringer, gewässeruntypischen Fließgeschwindigkeit entstanden, die zu einer höheren Schwebstoffsedimentation führen und eine stärkere Eutrophierungsgefährdung aufweisen.

Im Verhältnis zur Fließstrecke ist das Einzugsgebiet mit 13.957 km² außergewöhnlich groß. Der langjährige mittlere Abfluß beträgt 148,5 m³/s. Im betrachteten Neckareinzugsgebiet entfallen 2,2 % der Flächen auf Gebiete außerhalb von Baden-Württemberg, davon 298 km² auf Hessen und 16 km² auf Bayern. Die Einzugsgebiete der rechten Nebengewässer Kocher und Jagst sowie das Einzugsgebiet des linken Nebengewässers Enz umfassen zusammen etwa 45% des Gesamteinzugsgebietes. Diese Teileinzugsgebiete, geprägt von unterschiedlichen geologischen Formationen, weisen zudem die höchsten mittleren Jahresniederschläge im Neckareinzugsgebiet auf.

Für eine differenziertere Darstellung der Ergebnisse im Neckareinzugsgebiet, wurde dieses in Wassereinzugsgebiete (WEGs) unterteilt. Die 21 Wassereinzugsgebiete haben eine mittlere Größe von 665 km² (161 km² bis 1200 km²), die für eine meso- bis makroskalige Flußgebietsbetrachtung geeignet sind. Diese Einteilung beruht auf dem gewässerkundlichen Flächenverzeichnis, und bildet ebenfalls eine Bezugsebene für die Angaben des Statistische Landesamtes, Baden-Württemberg, welche für das Projekt benötigt wurden (s. Kapitel 4.1.3.3). Die nachfolgende Tabelle 3.9 gibt eine Zusammenstellung dieser Wassereinzugsgebiete.

Tabelle 3.9: Unterteilung der Wassereinzugsgebiete und Nebenflüsse (mit Angabe zu Gebietsgröße, Einwohnerdichte und mittlerem Niederschlag (1995)).

WEG Nr.	Beschreibung	Nebenfluß	A_{WEG} [km²]	E/km²	N 1995 [mm/a]
31	Neckar von der Quelle bis Glatt	Prim, Schlichem, Eschach	810	241	1086
32	Neckar von Glatt bis einschl. Eyach	Glatt, Eyach	704	233	1155
33	Neckar von Eyach bis Ammer	Starzel, Ammer	793	341	929
34	Neckar von Ammer bis Fils	Echaz, Erms, Lauter, Aich	980	549	1021
35	Fils	Fils	706	385	1070
36	Neckar von Fils bis Rems	Körsch	369	2237	795
37	Rems	Rems	582	588	1050
38	Neckar von Rems bis Enz	-	169	1093	852
39	Murr	Murr	508	329	1001
310	Enz von der Quelle bis Nagold	Enz Oberlauf	327	149	1608
311	Nagold	Enz Oberlauf, Nagold	726	208	1194
312	Würm	Enz Oberlauf, Würm	418	548	930
313	Enz von Nagold bis zur Mündung	Enz Unterlauf	756	616	904
314	Neckar von Enz bis Kocher	Schozach, Sulm, Zaber, Lein	663	489	913
315	Kocher von der Quelle bis e. Bühler	Kocher Oberlauf	1188	193	1027
316	Kocher von Bühler bis zur Mündung	Kocher Unterlauf	768	154	968
317	Jagst von der Quelle bis Brettach	Jagst Oberlauf	635	148	918
318	Jagst von Brettach bis zur Mündung	Jagst Unterlauf	1200	79	989
319	Neckar von Jagst bis Elsenz	Elz	906	160	1211
320	Elsenz	Elsenz	542	237	1037
321	Neckar von Elsenz bis zur Mündung	-	206	1121	947
Gesamt Neckareinzugsgebiet			13956	374	1029

In der nachfolgenden Tabelle 3.10 sind die hydrologischen Hauptwerte der vier Meßpegel des Neckars zusammengefaßt. Für das Jahr 1995 liegen die mittleren Abflußspenden 20% bis 30% über dem langjährigen Mittel. Das hydrologische Geschehen ist im Vergleich zum langjährigen Durchschnitt durch erhöhte Niederschlagsabflüsse geprägt und kennzeichnet das Bilanzierungsjahr 1995 als ein ausgesprochen nasses Jahr (LfU, 1996).

Tabelle 3.10: Hauptwerte der Neckarpegel (LfU, 1996)

Pegel	A_{Eo} [km ²]	Jahr	Abfluß [m ³ /s]			Abflußspende [l/s*km ²]		
			NQ	MQ	HQ	Nq	Mq	Hq
Rottweil	455	1995	1,38	7,1	126	3,03	15,7	277
(km 342)		1939-95*	1,00	5,0	104	2,19	11,0	229
Plochingen	3995	1995	18,10	59,1	383	4,53	14,8	96
(km 202)		1939-95*	11,20	46,2	437	2,80	11,6	109
Lauffen	7916	1995	34,60	107,0	679	4,37	13,5	86
(km 125)		1939-95*	25,70	88,2	821	3,25	11,1	104
Rockenau	12710	1995	56,20	172,0	1260	4,42	13,5	99
(km 60)		1939-95*	36,50	135,0	1200	2,87	10,6	94

*Mittelwerte für die Jahre 1939 bis 1995. Werte bezogen auf das Kalenderjahr.

Die Mittelwasserabflüsse übersteigen um 20% am Neckarunter- und um 25% am Neckaroberlauf das langjährige Mittel. Ebenfalls deutlich überschritten waren die mittleren Niedrigwasserabflüsse um 30% bis 40%.

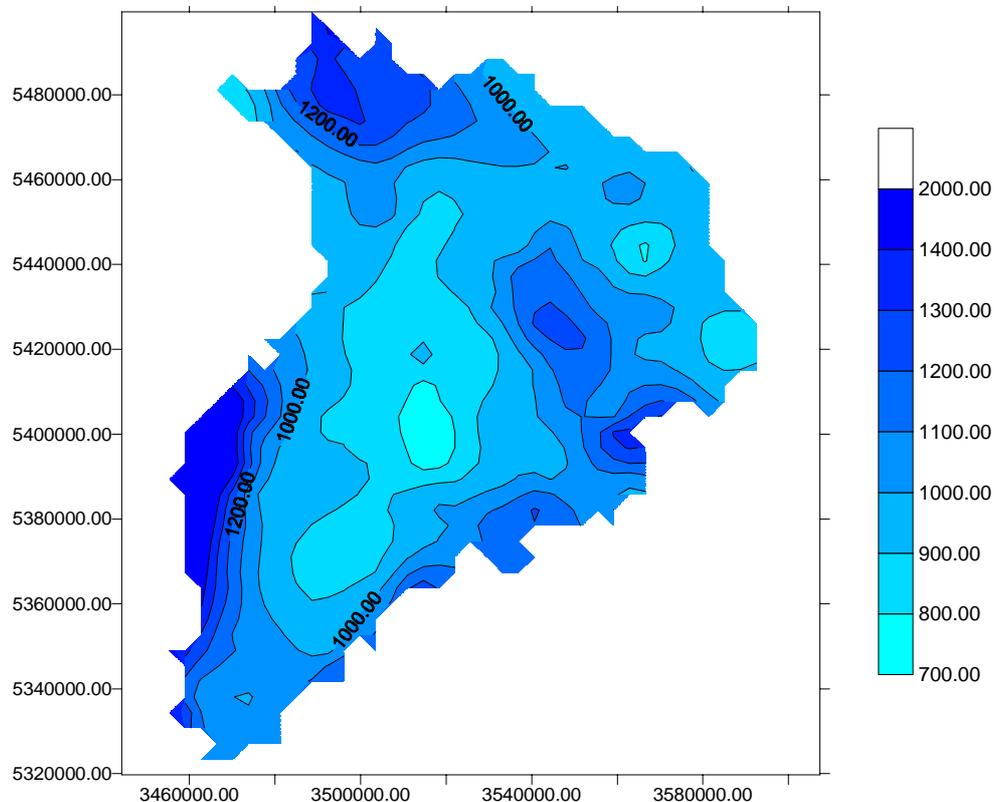


Abbildung 3.4: Interpolierte Regenhöhenverteilung [mm] im Neckareinzugsgebiet für 1995.

Der wesentliche klimatische Faktor für das Abflußverhalten und für den oberflächlichen Stoffabtrag ist der Niederschlag, dessen Verteilung im Neckareinzugsgebiet die Abbildung 3.4 wieder gibt. Für das Neckareinzugsgebiet zeigt sich ein regional unterschiedliches Niederschlagsmuster mit den höchsten jährlichen Niederschlagshöhen von 1608 mm im südwestlichen Schwarzwald sowie von 1211 mm im Odenwald und dem niedrigsten jährlichen Niederschlag von 795 mm im Vorland der Schwäbischen Alb. Im direkten Neckareinzugsgebiet mit seinen überwiegenden urbanen Gebieten liegen die jährlichen Niederschläge im Bereich von 800 mm bis 1000 mm.

Das obere Neckareinzugsgebiet wird westlich, im Bereich des Schwarzwaldes, durch Muschelkalk und vor allem durch Buntsandstein geprägt. Östlich, in der Region der Schwäbischen Alb, stellen Keuper und Jura die typischen geologischen Formationen dar. Im unteren Neckareinzugsgebiet ab Plochingen prägen Jura, Keuper und Muschelkalk die Landschaft; im Einzugsgebiet von Kocher und Jagst und im Unterlauf der Enz treten mächtige Lößbedeckungen auf.

Flächennutzung

Auf das Einzugsgebiet des Neckars entfallen 38% der Fläche von Baden-Württemberg. Bei einer Einwohnerzahl von 5,2 Mio. (1995) ergibt sich eine Einwohnerdichte von 385 E/km², der Durchschnitt in Baden-Württemberg liegt dagegen nur bei 290 E/km². Als extremer Raum kann der mittlere Neckar-Raum angesehen werden, hier gibt es den größten Industrie-flächenanteil und mit über 2200 E/km² die höchsten Siedlungsdichte.

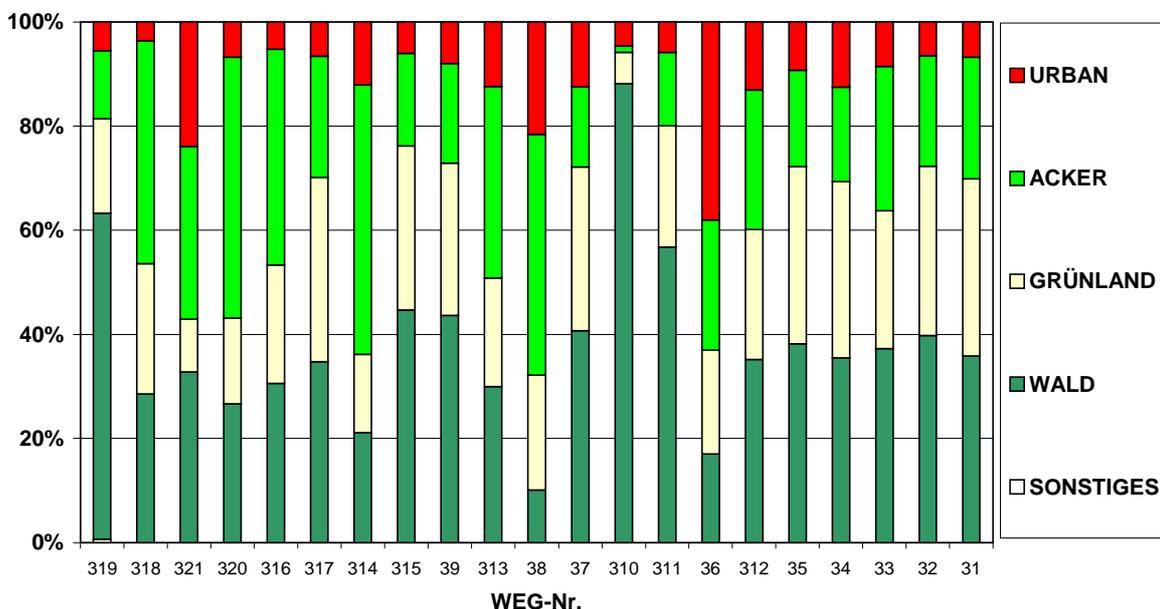


Abbildung 3.5: Flächennutzungstypen im Neckareinzugsgebiet nach Wassereinzugsgebieten differenziert.

Diese urban-industriellen Zentren in den Räumen Stuttgart und Heilbronn stehen den dünn besiedelten Teilgebieten der Mittelgebirge von Schwarzwald, Schwäbischer Alb und Odenwald gegenüber. Dies erklärt auch den hohen Waldanteil von 38% im gesamten Einzugsgebiet (vgl. WEG 310, Abbildung 3.5). Der Anteil an landwirtschaftlichen Nutzflächen beträgt über 50% des Gesamteinzugsgebietes, davon entfällt die Hälfte auf Ackerbau. Im engen Neckartal werden vor allem intensiver Obst- und Weinanbau betrieben, in fruchtbaren Nebentälern dominieren intensive Getreide- und Hackfruchtkulturen. Die Art und Ausprägung der Flächennutzung hat einen entscheidenden Einfluß auf die diffusen Emissionen in Flußeinzugsgebieten. Da die Flächennutzungsanteile in den verschiedenen Wassereinzugsgebieten z.T. sehr verschieden sind, werden sie in Abbildung 3.5 getrennt für die Gebiete dargestellt. In Tabelle 3.11 werden die zusammengefassten Anteile für das ganze Einzugsgebiet des Neckars gezeigt.

Tabelle 3.11: Landnutzung im Neckargebiet²

Nutzungsklasse	Anteil [%]
urbane Flächen	15,1
Ackerland	24,4
Grünland	23,8
Wald	35,8
Sonstige	0,9

Siedlungswasserwirtschaft

Für die 5,218 Mio. Einwohner des Neckareinzugsgebietes liegt der Anschlußgrad an die Sammelkanalisation bei 99,7 %, für die öffentliche Abwasserbehandlung bei 98,2 %. Seit 1991 erfolgt keine Reinigung mehr in rein mechanischen Anlagen. Der Anschlußgrad für Anlagen mit einer weitergehende Abwasserbehandlung beträgt 90,2 %. Einen Überblick über die Anteile der verschiedenen Klärverfahren in den Kläranlagen in Baden-Württemberg und im Neckar Einzugsgebiet verschafft Abbildung 3.6.

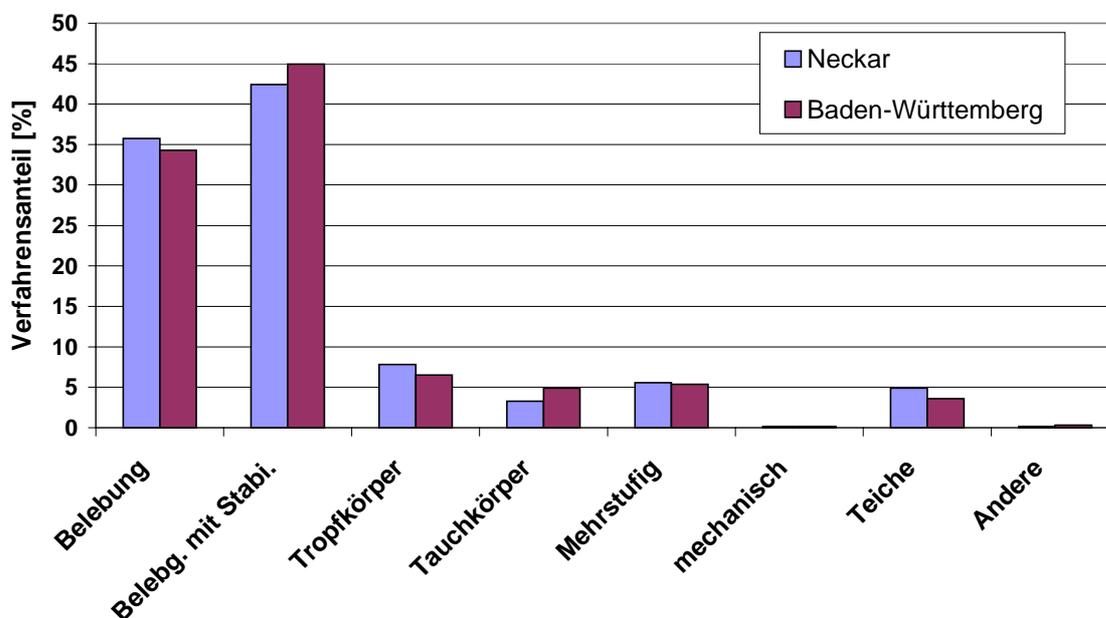


Abbildung 3.6: Prozentuale Anteile der Kläranlagenverfahren in Baden-Württemberg und dem Neckareinzugsgebiet.

Von etwa 55.000 km öffentlichen Abwasserkanälen in Baden-Württemberg wurden 20% als Trennsystem und 80 % als Mischsystem verlegt. Der Anteil des Mischsystems ist im Neckareinzugsgebiet mit 96,5 % deutlich höher, wie aus der nachfolgenden Abbildung 3.6 ersichtlich ist. Für die Regenwasserbehandlung wird ein Volumen von 3,6 Mio m³ Behandlungskapazität angestrebt. Von diesem Volumen sind landesweit 78 % bereits realisiert, wobei dieses Volumen zu über 50 % (1,55 Mio. m³) auf das Einzugsgebiet des Neckars entfällt. Dieses stellt somit ein geeignetes Testgebiet für Einsatzmöglichkeiten von Verfahren zur Regenwasserbehandlung als Teil einer ganzheitlichen Flußgebietenbewirtschaftung dar.

² Zur besseren Vergleichbarkeit mit den anderen Gebieten wurden die Daten dieser Tabelle aus den Angaben des statistischen Landesamtes berechnet.

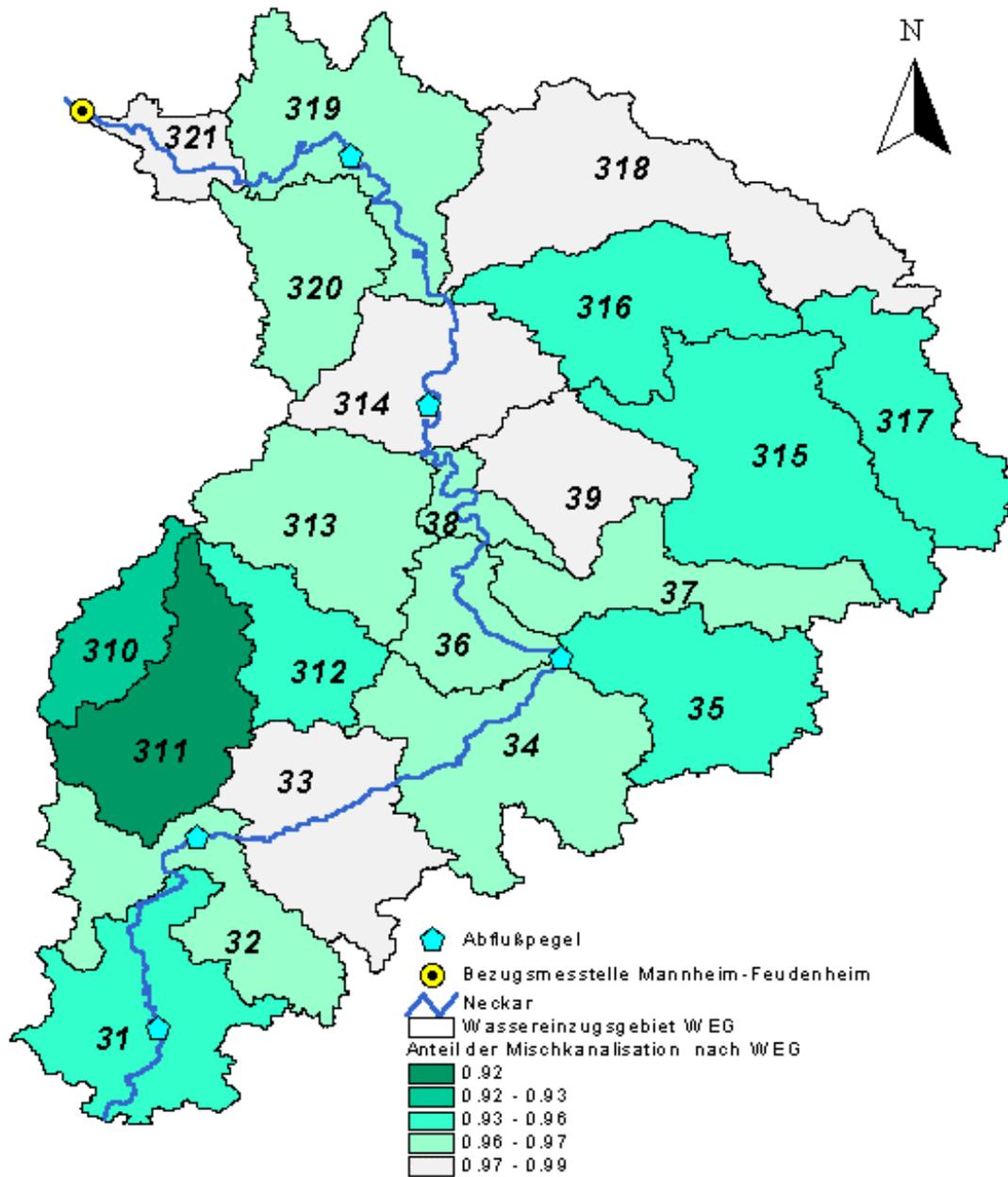


Abbildung 3.7: Wassereinzugsgebiete des Neckars und Anteil an Mischkanalisation.

4 MATERIAL UND METHODEN

4.1 DATENBESCHAFFUNG

In der Datenbeschaffungs- und -analysephase wurden eine Vielzahl unterschiedlicher Quellen erschlossen, um die für die Bilanzierung des Jahres 1995 benötigten Ausgangsdaten zu erhalten. In der Hauptsache wurde hierbei auf Daten- und Kartenmaterial der entsprechenden Landesbehörden und Dienststellen aus Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg und Hessen zurückgegriffen. Eine Liste der wichtigsten Metainformationen der einzelnen Projektpartner kann dem Anhang entnommen werden (Anhang B).

4.1.1 Hessischer Teil der Lahn

4.1.1.1 *Hydrologische Daten*

Niederschlagsdaten

Die Bilanzierung der niederschlagsbedingten Schmutzbelastung für das Einzugsgebiet der hessischen Lahn erfolgt auf der Basis von regionalisierten Gebietsniederschlägen. Diese Daten wurden vom Deutschen Wetterdienst (DWD) in digitaler Form zur Verfügung gestellt.

Abflußdaten

Die Abflußdaten stammen vom Pegel Kalkofen (neu) in Rheinland-Pfalz. Der Pegel Kalkofen liegt 25 km von der Landesgrenze entfernt und bildet als Gebietsauslaß der hessischen Lahn den Referenzpegel für die Bilanzierung. Die Meßdaten wurden von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) auf Diskette herausgegeben und liegen als Tagesmittelwerte vor.

Einzugsgebietskarten

Das hydrologische Einzugsgebiet der Lahn wurde gemäß dem Gewässerkundlichen Flächenverzeichnis Hessen (HLfU, 1973) bestimmt. Eine Unterteilung des gesamten Einzugsgebietes fand entsprechend der Wassereinzugsgebiete (WEGs) statt. Die analog vorliegende Karte wurde im Projekt digitalisiert und konnte so in das GIS eingebunden werden. Im Einzugsgebiet der hessischen Lahn wurden sieben WEGs berücksichtigt (2581-2587), das Einzugsgebiet der Aar (2588) wurde vom Verbundpartner in Kaiserslautern bearbeitet (s. Abbildung 3.2).

4.1.1.2 Stoffliche Daten

Immissionsdaten

Die Grundlage zur Beschreibung der Immissionssituation an der Lahn bildet das „Hessische Gütemeßprogramm für oberirdische Gewässer“ (HLfU, 1995). Zur Überwachung der chemischen Wasserbeschaffenheit werden an 31 Fließgewässern in Hessen mit unterschiedlicher Untersuchungsstrategie Proben entnommen und gemäß der beschriebenen Analyseverfahren untersucht (HMUEJFG, 1996). An der Lahn gibt es fünf Meßstationen zur Untersuchung von gelösten Stoffen und drei Meßstationen zur Bestimmung der an Schwebstoffe gebundenen Stoffe. Die Meßergebnisse liegen auf Diskette vor.

Für die Ermittlung der immissionsseitigen Stofffrachten wurden die Gütedaten der Meßstation Limburg am Gebietsauslaß der hessischen Lahn ausgewertet. An dieser Station werden sowohl Proben zur Analyse der gelösten als auch der partikulär gebundenen Stoffe entnommen. Der Nachweis der gelösten Stoffe erfolgt an 14-täglich entnommenen Einzelproben. Dabei werden die in der Tabelle 4.1 aufgeführten Parameter berücksichtigt.

Tabelle 4.1: Parameter aus dem Hessischen Gütemeßprogramm an der Station Limburg – Anzahl der Meßwerte

Stoffparameter im mg/l u. µg/l bzw. mg/kg		Gelöst (01/88-12/96)	An Schwebstoffe gebunden (09/91-11/96)
Nähr- und Zehrstoffe			
Gesamt-Phosphor	P _{ges.}	108 (9)	19
Gesamt-Stickstoff	N _{ges.}	94	19
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	153 (7)	<i>Keine Angabe</i>
Schwermetalle			
Cadmium	Cd	100 (99)	19
Zink	Zn	100 (21)	19
Kupfer	Cu	100 (94)	19
Blei	Pb	100 (97)	19
Chrom	Cr	100 (97)	20
Nickel	Ni	100 (98)	20

(in Klammern) : Anzahl der Meßwerte unter der Bestimmungsgrenze, z.B.: 9 von 108 Meßwerten liegen unter der Bestimmungsgrenze

Zusätzlich wurden für die gelöste Phase Meßwerte der Station Diez in Rheinland-Pfalz in die Berechnung der Stofffrachten am Gebietsauslaß der Hessischen Lahn einbezogen (die Daten stammen vom Projektpartner aus Kaiserslautern, s. Kapitel 4.1.2.2). Die Station Diez bei Limburg liegt auf der Landesgrenze. Für die genannten Nähr- und Zehrstoffparameter sind Probenahme und Analytik in Hessen und Rheinland-Pfalz methodisch vergleichbar. So konnten die jeweiligen Datensätze zusammengeführt und die zur Verfügung stehende Datengrundlage vergrößert werden. Dadurch steigt die Anzahl der vorliegenden Wertepaare zu Stoffkonzentration und Abfluß und die Möglichkeit, die Güte der Frachtschätzung im statistischen Sinne zu verbessern. Auch die Berücksichtigung der Messungen in den vorangegangenen Jahren vergrößert die Datengrundlage und somit die Repräsentativität der Konzentrationsmessungen in bezug auf das erfaßte Abflussspektrum. Eine solche Zusammenführung von Daten ist nur dann zulässig, wenn über den betrachteten Zeitraum kein Trend im Konzentrationsverlauf festzustellen ist. Gemäß der durchgeführten Analysen der zugrundeliegenden Beobachtungsjahre und Meßwerte konnte bei keinem Parameter ein

Trend nachgewiesen werden (vgl. Anhang C.1), so daß die Gütedaten der Jahre 1988 bis 1996 als Grundlage der Frachtschätzung herangezogen werden können.

Die Zusammenführung der Schwermetalldaten der Stationen Limburg und Diez ließ sich aufgrund unterschiedlicher Meß- und Analysemethoden in den beiden Bundesländern nur mit Einschränkung durchführen. So stimmen die Bestimmungsgrenzen für die einzelnen Schwermetalle nicht überein. Die durchgeführten Bilanzrechnungen basieren auf dem jeweils höheren Wert. Dies ist aufgrund der hohen Anzahl von Meßwerten unter der Bestimmungsgrenze bedeutsam. Die Gehalte in Wasser gelöster Schwermetalle sind überwiegend so gering, daß sie analytisch nicht nachgewiesen werden können. Um dennoch ihre Größenordnung einschätzen zu können, empfiehlt die Bundesanstalt für Gewässerkunde Berechnungsansätze, die auf der halben Bestimmungsgrenze beruhen (BfG, 1997). Die ergänzte Datengrundlage ist in Tabelle 4.2 aufgeführt.

Tabelle 4.2: Kombinierte Datensätze der Gütemeßstation Limburg in Hessen bzw. Diez in Rheinland-Pfalz – Anzahl der Meßwerte

Stoffparameter im mg/l		Limburg/ Hessen (01/88-12/96)	Diez/ Rh.-Pf. (01/92-12/96)	Gesamt
Nähr- und Zehrstoffe				
Gesamt-Phosphor	P _{ges.}	151	47	198
Gesamt-Stickstoff	N _{ges.}	108 (9)	41	149 (9)
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	153 (7)	26 (15)	179 (22)
Schwermetalle				
Cadmium	Cd	100 (99)	47 (46)	147 (145)
Zink	Zn	100 (63)	47 (37)	147 (100)
Kupfer	Cu	100 (94)	47 (46)	147 (140)
Blei	Pb	100 (97)	47 (46)	147 (143)
Chrom	Cr	100 (95)	47 (45)	147 (140)
Nickel	Ni	100 (97)	47 (45)	147 (142)

(in Klammern) : Anzahl der Meßwerte unter der (hessischen) Bestimmungsgrenze

Die Schwebstoffprobenahme wird vierteljährlich an der Station Limburg von der HLFU durchgeführt. Gemessen werden die Stoffgehalte an Schwebstoffen. Die Ergebnisse wurden auf Diskette bereitgestellt. Aus der Menge der Schwebstoffe in der Probe, die aus weiteren Meßgrößen ermittelt werden muß (s. Kapitel 4.2.1), kann schließlich auf die Stoffkonzentration der partikulär gebundenen Stoffe im Gewässer geschlossen werden.

Emissionsdaten, punktförmige Stoffeinträge

Die Erfassung der Emissionen aus punktförmigen Quellen basiert auf Informationen vom HMUEJFG, der Abwassertechnischen Vereinigung (ATV) und dem Hessischen Statistischen Landesamt (HSL). Vom HMUEJFG liegen Auszüge aus dem Heft „Beseitigung von kommunalen Abwässern in Hessen - Lagebericht 1995“ vor (HMUEJFG, 1995). Diese wurden von der HLFU bearbeitet und auf Datenträgern bereitgestellt.

Zur Ermittlung der aus Kläranlagenabläufen in die Lahn geleiteten Stofffrachten werden Angaben zu Wassermengen und Stoffkonzentrationen benötigt. Die Angaben zu Abwasser- und Schmutzwassermengen beruhen auf den Eigenkontrolldaten gemäß dem Lagebericht des HMUEJFG. Die Informationen zur mittleren Konzentration der Nährstoffe und der sauerstoffzehrenden Stoffe im Kläranlagenablauf stammen aus dem Handbuch der ATV „Kläranlagennachbarschaften“ (ATV, 1997). Bei der Bilanzierung sind die Parameter

Gesamt-Stickstoff, Ammonium-Stickstoff und Gesamt-Phosphor sowie der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) berücksichtigt worden. N_{ges} umfaßt dabei lediglich den anorganischen gebundenen Stickstoff. Alle Daten werden als Jahresmittelwerte angegeben.

Für Schwermetalle liegen keine Informationen zu Ablaufkonzentrationen vor. Die Berechnung der Schwermetallfrachten aus Kläranlagen erfolgt daher anhand von einwohnerspezifischen Tagesfrachten, die das Ergebnis einer Literaturrecherche sind (vgl. Anhang A.1). Die Angaben zu den „an die Kläranlage angeschlossenen Einwohnerwerten“ (EW) stammen vom HSL (s. nächster Absatz).

Die vom HSL bereitgestellten Daten beruhen vorwiegend auf dem Beitrag zur Statistik Hessens Nr. 329 „Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in Hessen 1975 bis 1995“ (HSL, 1998). Diese Daten konnten aggregiert auf Ebene der WEGs übernommen werden. Sie geben Auskunft über die Ablauffrachten des Zehrstoffes CSB und können als Vergleichsgröße zu den im Vorhaben berechneten Frachten aus den einzelnen Kläranlagen dienen.

Weiterhin ergänzen die Informationen vom HSL die kläranlagenbezogenen Daten vom HMUEJFG bzw. der HlfU durch zusätzliche Merkmale. So wird die in den einzelnen Wassereinzugsgebieten insgesamt behandelte Abwassermenge aufgeteilt nach ihrer Herkunft. Es werden die beiden Kategorien „Schmutzwasser aus Haushalten und Gewerbe“ sowie „Regen- und Fremdwasser“ unterschieden. Eine für die Flußgebietsbilanz wichtige Unterteilung zwischen Regenwasser und Fremdwasser auf der Ebene von Teileinzugsgebieten gibt es jedoch nicht. Es wurden lediglich Richtwerte für das Gesamteinzugsgebiet der hessischen Lahn zur Verfügung gestellt. Eine vollständige Liste der jeweils verwendeten Merkmale ist dem Anhang B.1 zu entnehmen.

Informationen zur Regenwasserbehandlung liegen bei den genannten öffentlichen Dienststellen nur sehr lückenhaft vor und konnten deswegen nicht weitergegeben werden. Die Ermittlung der an die Kanalisation angeschlossenen Flächen im hessischen Lahneinzugsgebiet wird im Kapitel 4.2 beschrieben.

Die Informationen zur Flächennutzung sind das Ergebnis einer Datenbankabfrage der Hessischen Gemeindestatistik „Hessen regional“ (HSL, 1996b). Die Hessische Gemeindestatistik wird im Kapitel 4.2.1 näher erläutert. Die Verknüpfung zwischen den gemeindebezogenen statistischen Daten und Flußgebieten erfolgt mithilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS). Die hierfür erforderlichen Arbeitsschritte sind ebenfalls im Kapitel 4.2.1 ausführlich dargelegt.

Die Bestimmung der Einträge von industriellen Direkteinleitern beruht auf einer Auswertung der Einleiterbescheide von MEHLHART und STELTSMANN (1991b) im Rahmen des „Lahn-Projekts“ (RP GIEßEN, 1994). Erfasst wurden 44 Betriebe oberhalb von Wetzlar.

4.1.1.3 *Statistische Daten*

Zur Ermittlung der Stoffeinträge aus punktuellen und diffusen Quellen werden u.a. statistische Daten verwendet. Die Daten zum hessischen Teil der Lahn stammen aus der Hessischen Gemeindestatistik „Ausgewählte Strukturdaten aus Bevölkerung und Wirtschaft“

und dem Beitrag zur Statistik Hessen Nr. 329 „Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in Hessen“ (HSL, 1996a und 1998). Die Hessische Gemeindestatistik wird analog und als Recherche-Datenbank „Hessen regional“ auf Diskette herausgegeben (HSL, 1996a und 1996b). Bei der Bilanzrechnung wurden die Merkmalsgruppen „Bevölkerung“ und „Flächennutzung“ berücksichtigt.

4.1.1.4 Flächenhafte Daten

Die Lage der Gemeinden im Raum bzw. die Gemeindegrenzen wurden vom Hessischen Landesvermessungsamt (LVA) als Vektordaten der Karte „Hessen 1:200 000 Verwaltungsgrenzen“ (H 200 V) auf CD-ROM zur Verfügung gestellt. Die Daten konnten im DXF-Format in AutoCAD eingelesen werden und so direkt in das GIS ArcCAD integriert werden. Die erstmalige Zuordnung der Attribute erfolgte manuell.

4.1.2 Rheinland-Pfälzischer Teil der Lahn

4.1.2.1 Hydrologische Daten

Niederschlagsdaten

Für das Lahneinzugsgebiet wurden von dem Deutschen Wetterdienst (DWD) Niederschlagsdaten in digitaler Form zur Verfügung gestellt. Dabei handelte es sich vor allem um die monatlichen und jährlichen Niederschlagshöhen der Basis- und Sammelgebiete im Bereich der gesamten Lahn sowie um die jährlichen, regionalisierten Gebietsniederschläge. Die Informationen bezogen sich jeweils auf die Jahre 1979 bis 1995. Darüber hinaus konnte bei Bedarf auch noch auf die Niederschlagsdaten der hydrologischen Jahrbücher bzw. der Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbücher zurückgegriffen werden.

Abflußdaten

Für die Jahre 1992 bis 1995 wurden vom Landesamt für Wasserwirtschaft, Rheinland-Pfalz, die Tages-, Haupt- und Extremwerte für sechs Lahnnebegewässer bereitgestellt. Die Abflußdaten für die beiden Lahnpegel Leun (neu) und Kalkofen (neu) lieferte die BfG. Hydrologische Daten für die Jahre vor 1992 konnten bei Bedarf den Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbüchern entnommen werden.

Einzugsgebietskarten

Als Ausgangsbasis für das Geographische Informationssystem dienten im unteren Lahn-Gebiet im wesentlichen zwei Karten. Zum einen handelte es sich um das Kartenwerk zum Gewässerkundlichen Flächenverzeichnis Rheinland-Pfalz im Maßstab 1 : 200.000 und zum anderen um den Übersichtsplan mit den rheinland-pfälzischen Verwaltungsgrenzen im gleichen Maßstab. Leider lagen diese Kartenwerke zu Projektbeginn nur im Papierformat vor und mußten im ersten Arbeitsschritt digitalisiert werden. Das rheinland-pfälzische Lahneinzugsgebiet wurde in zehn Teileinzugsgebiete untergliedert.

4.1.2.2 *Stoffliche Daten*

Immissionsdaten

Die für die Berechnung der Immissionsseite erforderlichen Gewässergütedaten wurden ebenfalls vom Landesamt für Wasserwirtschaft, Rheinland-Pfalz, zur Verfügung gestellt. Es handelt sich dabei um Meßwerte aus Einzelproben der Jahre 1992 bis 1996, die im Rahmen der chemisch-physikalischen Fließgewässerüberwachung erhoben wurden. Beprobte werden dabei im Monatsrhythmus sieben Gewässergütemeßstellen an der Lahn und im ein- bis zweimonatlichen Turnus sechs Meßpunkte an den größeren Nebengewässern.

Schwebstoffe werden erst seit Juli 1996 einmal im Monat an der Gewässergütemessstelle Lahnstein untersucht. Die Ergebnisse konnten deshalb nicht für das Bilanzierungsjahr 1995 herangezogen werden, zumal die Anzahl der vorliegenden Daten für eine statistische Auswertung nicht ausreichte.

Insbesondere bei den Schadstoffmessungen trat häufig das Problem auf, daß die Ergebnisse unterhalb der Nachweisgrenze für die jeweilige Substanz lagen. Dies führt zwangsläufig zu erheblichen Ungenauigkeiten bei der Berechnung der Jahresfrachten im Gewässer. Gerechnet wurde jeweils mit der halben Nachweisgrenze.

Emissionsdaten

Für die Festlegung der mittleren Kläranlagenablaufkonzentrationen im Bilanzjahr konnte entweder auf die Ergebnisse der Eigenüberwachung der Betreiber von 1995 oder die im Rahmen des ATV-Kläranlagenleistungsvergleichs im gleichen Jahre ermittelten Sauerstoff- und Nährstoffbedarfsstufen zurückgegriffen werden (ATV, 1997). Bei den hessischen Kläranlagen, die im Einzugsgebiet der unteren Lahn liegen, konnte auf bereits berechnete Nährstoff- und Zehrstoffjahresfrachten zurückgegriffen werden, die vom Hessischen Landesamt für Umwelt zur Verfügung gestellt wurden.

Die anderen für die Berechnung der Emissionen aus Kläranlagenabläufen erforderlichen Daten, nämlich die behandelten häuslichen und kleingewerblichen bzw. die gewerblichen und industriellen Schmutzwassermengen, sowie die mitbehandelten Fremd- und Regenwasservolumina konnten den Angaben des Landesinformationssystems (LIS) des statistischen Landesamtes, Rheinland-Pfalz, entnommen werden. Darüber hinaus lieferte dieses System Informationen bezüglich der an Kanalisation und Kläranlage angeschlossenen Einwohner, der Anzahl und Größe der Regenüberläufe bzw. Regenüberlaufbecken, den Kanallängen im Misch- und Trennsystem, sowie den direkt in das Gewässer eingeleiteten Schmutzwassermengen. Bei den an die Kläranlagen angeschlossenen Entwässerungsflächen konnte auf Angaben der Aufsichtsbehörden zurückgegriffen werden. Bis auf die zuletzt genannten Daten stammen alle Angaben aus dem Bilanzjahr 1995.

Die Ermittlung der Emissionen aus Direkteinleitungen erfolgte im wesentlichen mit Hilfe einer Liste der industriellen Direkteinleiter, den Einleiterbescheiden und den Ergebnissen aus der Fremdüberwachung. Allerdings ist anzumerken, daß nicht für alle Direkteinleiter die entsprechenden Informationen vollständig zur Verfügung standen. Diese Emissionen dürften

aber aufgrund der Art und des Umfangs der Gewässerbenutzung, die in diesen wenigen Fällen laut den Einleiterbescheiden zulässig war, vernachlässigbar gering sein.

4.1.2.3 *Statistische Daten*

Sozioökonomischen Merkmale sind zumeist über die Datenbanken der Landesinformationssysteme Rheinland-Pfalz und Hessen erhoben worden. Dies sind vor allem Informationen über die Land- bzw. Flächennutzung in den jeweiligen Gemeinde bzw. Einzugsgebieten, die Angaben zur Gewerbe- und Industriestruktur, eine Beschäftigungsstatistik für die Industrie bzw. das verarbeitende Gewerbe und schließlich einige Angaben über die landwirtschaftliche Nutzung in dieser Gegend.

Die vom Landesinformationssystem zur Verfügung gestellten Daten waren allerdings wegen der erforderlichen Sichtung und Aufbereitung seitens des statistischen Landesamtes oft noch nicht auf dem Stand von 1995. Einige Merkmale werden zudem auch nicht jährlich erhoben. Die meisten Informationen stammten dennoch aus den Jahren 1991 bis 1996 und waren somit verwendbar, zumal sich bei einigen Merkmalen, wie z.B. beim Waldflächenanteil, innerhalb weniger Jahre keine großen Veränderungen ergeben haben dürften.

4.1.2.4 *Flächenhafte Daten*

Außer diesen rein statistischen Daten wurden auch noch digitale und nicht-digitale Topographische Karten und digitale Satellitenbilder aus dem Gebiet der unteren Lahn verwendet. Zur genaueren Charakterisierung der einzelnen Teileinzugsgebiete fanden außerdem eine Reihe von geologischen und bodenkundlichen Karten Anwendung.

4.1.3 **Neckar**

4.1.3.1 *Hydrologische Daten*

Niederschlagsdaten

Die Grundlagendaten für die Ermittlung der Niederschläge für das Bilanzjahr 1995 konnten vom DWD bezogen werden. Dabei wurden die eigentlichen Niederschlagsdaten digital auf Diskette geliefert. Die Orte der Stationen, an denen diese Niederschläge gemessen wurden, lagen nur auf Papier vor und wurden mittels Scanner und Erkennungssoftware in digitale Form überführt.

Abflußdaten

Abflußdaten der Tagesabflüsse sowie die Haupt- und Extremwerte liegen für 5 Neckarpegel und 23 Nebenflüsse im Neckareinzugsgebiet vor und sind über die Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbücher (LfU, 1996) verfügbar. Auch sie mußten allerdings zunächst über Scanner und Erkennungssoftware digitalisiert werden, bevor sie weiterverarbeitet werden konnten.

Digital verarbeitet wurden die Tagesabflußwerte für das Bilanzierungsjahr 1995 und darüber hinaus für 1993 und 1994. Für diese Jahre liegen für die projektrelevanten Parameter ebenfalls Daten zur Fließgewässerbeschaffenheit im Neckareinzugsgebiet vor. Tagesabflüsse für die Meßstellen der Gewässergüte des Neckars, die nicht unmittelbar an einem Abflußpegel liegen, wurden einzugsgebietsproportional korrigiert.

Einzugsgebietskarten

Die Fluß- und Nebenflußeinzugsgebiete lagen auf der Grundlage des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses des Landes Baden-Württemberg (MELU, 1975) bereits von vorhergehenden Projekten am Institut für Siedlungswasserwirtschaft in digitaler Form vor, sie konnten direkt im GIS verwendet werden.

4.1.3.2 Stoffliche Daten

Immissionsdaten

Die Gewässergütedaten für die immissionsseitige Frachtschätzung sind dem Jahresdatenkatalog 1996 der LfU Baden-Württemberg entnommen (LfU, 1997a). Daraus werden die Gütedaten für die Fließgewässerbeschaffenheit für die Wasserphase und der Schwebstoffe verwendet. Diese im Rahmen der Umweltüberwachung erhobenen Meßdaten der Fließgewässerbeschaffenheit variieren jedoch stark hinsichtlich der Entnahmestrategie, Probenahmehäufigkeit und Anzahl der Meßstellen. Seit 1994 werden an 3 Meßstellen des Neckars monatlich an Einzelproben schwebstoffgebundene Schwermetalle und organische Schadstoffe bestimmt sowie wöchentliche Proben zur Beschaffenheit der Wasserphase entnommen. 1995 wurde an weiteren 20 Neckarpegeln im 2-wöchentlichen bis monatlichen Abstand Einzel- bzw. Mischproben entnommen und bezüglich anorganischer Inhaltsstoffe untersucht. 13 Nebenflüsse 1. Ordnung und weitere untergeordnete Nebenflüsse werden durch das LfU-Meßnetz an 32 Stellen erfaßt und im 2-wöchentlichen bis monatlichen Rhythmus mittels Einzelproben untersucht.

Die Abbildung 4.1 zeigt die Aufteilung der ausgewählten Stoffgruppen nach unterschiedlichen Bereichen und Probenahmenarten, die zusammen mit den Abflußdaten in die immissionsseitige Frachtschätzung eingehen. Grau dargestellte Pfeile zeigen die Frachtschätzungen, die für Plausibilitätsbetrachtungen herangezogen wurden.

Für die Ermittlung der Stofffrachten des CSB und der Schwermetalle in der Wasserphase wurden die Analysedaten des Mischprobenahmeprogramms herangezogen. Diese garantieren eine kontinuierliche, zeitproportionale Probenahme über automatische Probenehmer für die Bestimmung der Stoffkonzentrationen als Datenbasis für die Berechnung der Immissionsfrachten der Zehr- und Mikroschadstoffe.

Das Monitoring für den Parameter Gesamtstickstoff wurde 1993 aufgrund analysetechnischer Probleme eingestellt. Daher wurde für den Parameter N auf die einzelnen Stickstoffkomponenten (NH_4 , NO_2 und NO_3) zurückgegriffen, die zum gesamten, gelösten anorganischen Stickstoff (N_{ges}) aufaddiert wurden, und über Einzelprobenahme erfaßt werden. Die Analyse des Phosphates ($\text{P}_{\text{gelöst}}$) und des schwebstoffgebundenen

Phosphors ($P_{\text{partikulär}}$) erfolgt ebenso wie für die schwebstoffgebundenen Mikroschadstoffe im Rahmen des Einzelprobenahmeprogramms.

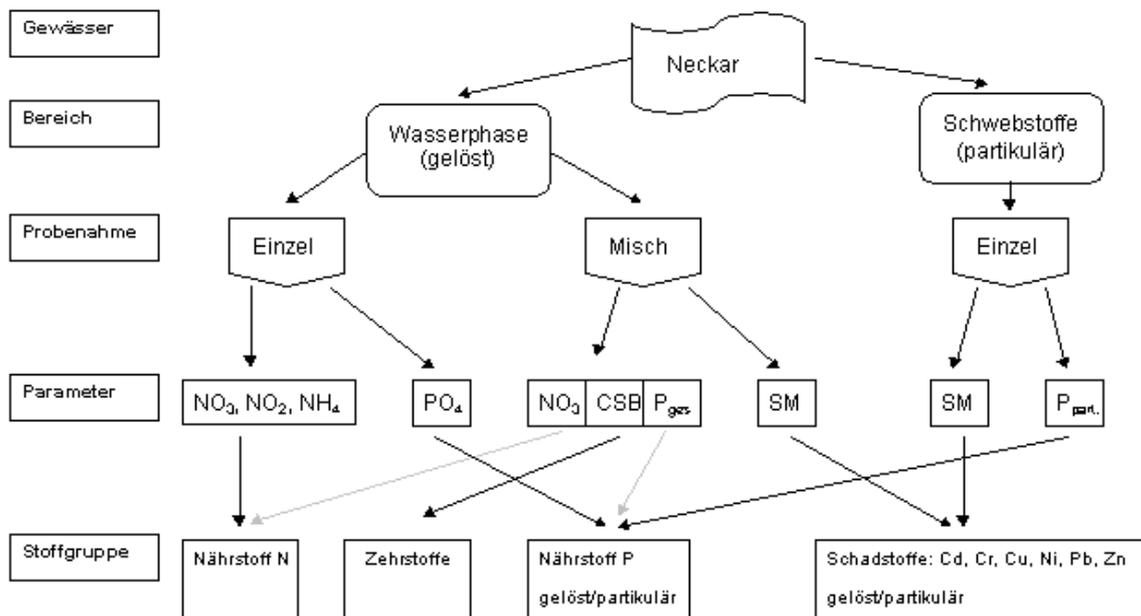


Abbildung 4.1: Übersicht über das Probenahmeprogramm der LfU bezüglich der im Projekt betrachteten Stoffe im Bilanzjahr 1995.

Organische Schadstoffe werden in einem 2-wöchigen bzw. monatlichen Untersuchungsprogramm an jeweils 10 Meßstellen des Neckars und seiner Hauptnebenflüsse kontrolliert. Die meisten Proben sowohl am Neckar als auch an den Nebenflüssen liegen jedoch unterhalb der Bestimmungsgrenze. Einen Überblick über die Anzahl der Meßwerte an den verschiedenen Meßstellen und die Probenahmeart gibt Tabelle 4.3.

Tabelle 4.3: Gewässergütedaten der LfU B.-W. für das Bilanzierungsjahr 1995, Anzahl der Meßwerte

Meßstelle Probenart	Poppenweiler			Kochendorf			Mannheim		
	W(M)	W(E)	S(E)	W(M)	W(E)	S(E)	W(M)	W(E)	S(E)
Nähr- und Zehrstoffe									
$P_{\text{partikulär}}$	51	-	12	50	-	12	51	-	12
$PO_4\text{-P}$	-	51	-	-	51(1)	-	-	51(1)	-
$NH_4\text{-N}$	-	51	-	-	51	-	-	51(4)	-
$NO_2\text{-N}$	-	51	-	-	51	-	-	51	-
$NO_3\text{-N}$	51	51	-	50	51	-	51	51	-
CSB	51	-	-	50	-	-	51	-	-
Schwermetalle									
Cd	51(51)	-	12	50(47)	-	12	51(50)	-	12
Zn	51	-	12	50	-	12	51	-	12
Cu	51	-	12	50	-	12	51	-	12
Pb	51	-	12	50	-	12	51	-	12
Cr	51	-	12	50	-	12	51	-	12
Ni	51	-	12	50	-	12	51	-	12

(in Klammern): Anzahl der Meßwerte unter der Bestimmungsgrenze

(M), (E): Mischprobe- bzw. Einzelprobenahme

W=Wasserphase (gelöste Stoffanteile); S=Schwebstoff (partikuläre Stoffanteile)

Emissionsdaten

Wichtigste Datengrundlage für die öffentliche Abwasserbeseitigung im Bilanzjahr sind die Daten des Statistischen Landesamtes, Baden-Württemberg (STALA, 1998), welche digital ausgeliefert wurden. Die Angaben zum Typ der Sammelkanalisation (Misch- bzw. Trennsystem), der angeschlossenen und nicht-angeschlossenen Einwohner, des Abwasseraufkommens (differenziert nach häuslich, kleingewerblich oder gewerblich-industrieller Herkunft), sowie zur Regenwasserbehandlung sind der Gemeindestatistik des Landesinformationssystems LIS des Landes Baden-Württemberg entnommen. Da diese Daten erst im Laufe des Projekts verfügbar waren, wurden außerdem von den 613 Kläranlagen (Stand 1995) im Neckareinzugsgebiet für alle Kläranlagen mit einer Ausbaugröße größer 5000 EW (welche 95% der angeschlossenen EW repräsentieren), Daten aus dem Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen der ATV (1996) zur Ausbaugröße, dem Behandlungsverfahren und Ablaufkonzentrationen für Nähr- und Zehrstoffe digital verarbeitet und mit Hilfe einer topographischen Karte räumlich zugeordnet.

Seitens der Direkteinleiter stellte sich die Datenbeschaffung aus datenrechtlichen Belangen und aufgrund der dünnen Datenlage als schwierig heraus. Angaben waren nur für die Ablaufmengen und die Ablaufkonzentrationen von Zehrstoffe beim Statistischen Landesamt, Baden-Württemberg, verfügbar³. Diese Situation bewog die Arbeitsgruppe Karlsruhe zu dem Entschluß, die Direkteinleiter bei den Betrachtungen innerhalb dieses Projektes, außer für CSB, nicht zu berücksichtigen.

Die wesentliche Grundlage zur Ermittlung der diffusen Schwermetalleinträge war die Karte der naturräumlichen Hauptgruppen, welche aus dem Handbuch Wasser 2 (LfU, 1995) gescannt wurde. Der naturraum-spezifische Bodenabtrag wurde direkt dem Bodenerosionsatlas Baden-Württemberg (GÜNDRA et al., 1995) entnommen. Die Schwermetallgehalten im Oberboden konnten digital dem Bodenzustandskataster der LfU Baden-Württemberg entnommen werden.

4.1.3.3 *Statistische Daten*

Die sozio-ökonomischen Merkmalsdaten entstammen der Gemeindestatistik des Landesinformationssystems LIS des Statistischen Landesamtes Baden-Württemberg. Die Daten konnten digital bezogen werden zu den Attributen Bevölkerung, Länge der Sammelkanalisation, Anschlußverhältnisse, Abwasseraufkommen, öffentliche Kläranlagen und Regenwasserbehandlung (siehe Anhang B.3).

³ Diese Problematik hat das Umweltbundesamt dazu veranlaßt, ein Forschungsvorhaben zum Thema der „Bilanzierung des Eintrages prioritärer Schwermetalle in Gewässer“ zu fördern, an dem auch das ISWW Karlsruhe beteiligt ist. Dieses Forschungsvorhaben widmet ein komplettes Teilprojekt den Direkteinleitern.

4.1.3.4 *Flächenhafte Daten*

Über das Landesvermessungsamt Baden-Württemberg wurden die Gemeindegrenzen in digitaler Form erstanden und konnten nach Transformation des Dateiformats in ArcCAD importiert und damit im GIS weiter verarbeitet werden.

Zentrale Bedeutung in den Bilanzierungen der Arbeitsgruppe des ISWW Karlsruhe hatte die im Rasterdatenformat vorliegende Karte der Flächennutzung im Einzugsgebiet des Neckars. Diese Daten stammen aus der Erfassung und Klassifizierung der Oberflächenbeschaffenheit über Fernerkundung (LANDSAT™ Satellitenbild des Jahres 1993). Die Auflösung wird durch die Pixelgröße von 30 m x 30 m vorgegeben. Die multispektrale Bildauswertung beruht auf 16 Nutzungsklassen und wurde vom Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Universität Karlsruhe vorgenommen. Für das Projekt wurden diese 16 Klassen zu 7 Flächennutzungsklassen aggregiert. Weitere Informationen über die Klassifizierung der Daten können zum Beispiel bei KISHI (2000) nachgelesen werden.

4.2 DATENAUFBEREITUNG UND VORBERECHNUNGEN

4.2.1 Hessischer Teil der Lahn

Vorberechnungen zur Schätzung der Immissionsfrachten

Im Rahmen des Hessischen Gütemeßprogramms werden die Schwebstoffe mittels einer Durchlaufzentrifuge gewonnen. Meßgrößen sind das Frischgewicht der Schwebstoffprobe, ihr Trockenrückstand und der Wasserdurchsatz durch die Zentrifuge sowie die Stoffgehalte an Schwebstoffen.

Um die im Kapitel 4.3.3 beschriebenen Formeln zur Schätzung der Immissionsfrachten anwenden zu können mußte demzufolge zunächst die Schwebstoffkonzentration aus dem Frischgewicht und dem Trockenrückstand der Probe sowie dem Wasserdurchsatz der Zentrifuge berechnet werden.

Vorberechnungen zur Bilanzierung der punktförmigen Einträge

Die Bestimmung der kanalisierten Fläche erfolgt auf der Grundlage von statistischen Daten zu den Merkmalsgruppen „Flächennutzung“ und „Bevölkerung“ für jedes Teileinzugsgebiet der Lahn (HSL, 1998 und 1996b). Alle statistischen Angaben wurden zunächst mit Hilfe der GIS ArcCAD und ArcView den zugrundeliegenden räumlichen Einheiten zugewiesen und dann mit den Grenzen der WEGs verschnitten. Die Flächen mit den Nutzungsmerkmalen Siedlung, Industrie und Verkehr wurden schließlich zu einer Fläche $A_{\text{innerorts}}$ zusammengefaßt. Die in der Hessischen Gemeindestatistik ausgewiesene Verkehrsfläche ging dabei um die Hälfte reduziert in die Berechnung ein, da ca. 50% der angegebenen Verkehrsfläche dem überörtlichen Verkehr angehören. Die Einteilung in innerörtliche und überörtliche Verkehrsflächen erfolgte anhand der Verteilung der Straßenlängen und -breiten im gesamten Bundesgebiet (BUNDESVERKEHRSMINISTERIUM, 1996).

Die statistischen Angaben zur Merkmalsgruppe „Bevölkerung“ beziehen sich auf die Wohnbevölkerung in den einzelnen Gemeinden. Diese Daten müssen nicht automatisch mit dem Standort der Kläranlage übereinstimmen und sind daher mit Unsicherheiten behaftet. Trotzdem läßt sich über die Multiplikation der ermittelten Fläche $A_{\text{innerorts}}$ und dem Anschlußgrad der Bevölkerung die kanalisierte Fläche abschätzen.

Die Flächenanteile von Trenn- und Mischkanalisation wurden über die Kanallängen ermittelt (HSL, 1998), die dabei implizit getroffene Annahme, daß die Länge der verschiedenen Kanäle und die Flächen der dadurch entwässerten Gebiete proportional zueinander sind wird z.B. von BROMBACH (1988) unterstützt. Als Zwischenergebnis sind für jedes Teileinzugsgebiet kanalisierte Flächen im Trennsystem und im Mischsystem ausgewiesen. Im Mischsystem werden zusätzlich diejenigen Flächen berücksichtigt, die an die Kanalisation aber nicht an eine Kläranlage angeschlossen sind.

Die Anzahl der Einwohner in einem Teilgebiet, die zwar an einen Kanal, nicht aber eine Kläranlage angeschlossen waren, wurde über eine Verschneidung der Teileinzugsgebiete mit den Gemeindegrenzen (auf die die entsprechenden statistischen Daten bezogen waren) ermittelt. Die Zahl der entsprechenden Einwohnergleichwerte wurde über eine rein volumenmäßige Abschätzung ermittelt, da keine Daten über die Verunreinigungen des gewerblichen Abwassers vorhanden sind. In der Regel macht aber die gewerbliche Schmutzwassermenge in den auf diese Art entwässerten Gebieten nur einen marginalen Anteil der Jahresschmutzwassermenge aus, weshalb diese Vereinfachung ausreichend genau sein dürfte. Für die Ermittlung der EGW wurden somit zunächst die häuslichen und gewerblichen Jahresschmutzwassermengen ermittelt, die in Kanäle ohne Kläranlagenanschluß eingeleitet worden sind.

Der Versiegelungsgrad der ermittelten, kanalisierten Flächen wurde zu 50% angesetzt, da die Einzugsgebietsfläche vorwiegend ländlich geprägt ist. Der auf die versiegelte Fläche treffende Niederschlag wird gemäß ATV (1992) mit einem mittleren Verlustfaktor von 0,7 belegt. Danach vermindert sich die Niederschlagsmenge beim Auftreffen auf versiegelte Flächen durch Benetzungs- und Muldenverluste im Durchschnitt um 30%. Der verbleibende Anteil der Niederschlagsmenge ist abflußwirksam. Somit ergibt sich für die betrachtete (Rest-)Fläche ein mittlerer Abflußbeiwert von 0,35. Dieser Wert kann durch Literaturangaben bestätigt werden. HOSANG (1993) bezieht sich dabei auf eine mittlere Bevölkerungsdichte von ca. 20 Einwohner pro Hektar besiedelter Fläche (Siedlung+Verkehr), wie sie auch in den Teileinzugsgebieten der Lahn zu finden ist.

Als zweite, wichtige Eingangsgröße für die Schätzungsformeln der punktförmigen Emissionen war die Entlastungsabflußkomponente e_v durch Vorberechnungen zu bestimmen. Die Entlastungsabflußkomponente beschreibt das Verhältnis zwischen der Wassermenge, die (integriert über den Zeitraum eines Jahres) bei Regenwetter aus dem Kanalnetz abgeschlagen wird (Entlastungsvolumen) zum gesamten oberflächlich abfließenden Regenwasser von mischkanalisierten Flächen (dem abflußwirksamen Niederschlagsvolumen).

Zur Ermittlung dieser Größe wurde zunächst diejenige Regenwassermenge bestimmt, die auf den Kläranlagen mitbehandelt wird. Dies konnte aufgrund der vorhandenen Datengrundlage getan werden. Die Differenz zwischen dem vorhandenen abflußwirksamen

Niederschlagsvolumen (ermittelt über den Niederschlag und die im Mischsystem entwässerte, undurchlässige Fläche) und dem mitbehandelten Regenwasser auf Kläranlagen ergibt das Entlastungsvolumen. Aus diesen Größen ließ sich dann die Entlastungsabflußkomponente berechnen.

Datenaufbereitung zur Bilanzierung der diffusen Einträge

Entsprechend der Vorgehensweise bei der Ermittlung der undurchlässigen Fläche im Misch- und Trennsystem wurden zunächst über eine Verschneidung die Flächennutzungsanteile für Acker, Wald und Grünland in jedem WEG ermittelt. Während dies bezüglich der diffusen Emissionen der Nährstoffen die einzige vorbereitenden Berechnungen waren, war für die Ermittlung der Schwermetallemissionen weitere Vorarbeiten notwendig.

Der jährliche Bodenabtrag von den Ackerflächen im Einzugsgebiet der oberen Lahn wurde bei durchschnittlich 4 Tonnen pro Hektar angesetzt. JUNG et al. (1980) geben für verschiedene Ackerstandorte nahe Gießen und Marburg Jahresdurchschnittswerte zwischen 1940 und 6238 kg/(ha*a) an. Diese Ergebnisse stützen sich auf bis zu 17 Untersuchungsjahre und umfassen somit unterschiedliche Niederschlagsverhältnisse in den Einzeljahren. Die Standorte unterscheiden sich durch die vorherrschenden Bodeneigenschaften (Ausgangsgestein, Bodenart, Bodentyp usw.) sowie die gewählte Versuchsanordnung in bezug auf Fruchtfolge und Bodenbearbeitung. Die Hangneigung beträgt an allen Standorten zwischen 8 und 11%. MOHAUPT (1998) setzt für das Rheingebiet einem jährlichem Bodenabtrag von 2,7 Tonnen pro Hektar an; in den DVWK-Materialien 5/98 ist für das Einzugsgebiet der Lahn ein Durchschnittswert von 4 Tonnen angegeben (DVWK, 1998).

Die Schwermetallgehalte im Boden wurden von der Themenkarte „Hintergrundgehalte umweltrelevanter Schwermetalle in Gesteinen und oberflächennahem Untergrund Hessens“ abgeleitet (Hessischen Landesamt für Bodenforschung, 1996). Die ermittelten Durchschnittswerte sind in Tabelle 4.4 aufgelistet und denen von MOHAUPT (1998) für das Rheingebiet gegenübergestellt. Ferner dienen Angaben von BRÜNE (1986) zu mittleren Schwermetallgehalten auf Ackerböden als Größenvergleich. Für die Parameter Cd, Zn, Cu und Pb läßt sich eine gute Übereinstimmung erkennen; die Oberbodengehalte an Cr und Ni liegen im Lahnggebiet allerdings deutlich über den in der aufgeführten Literatur angegebenen. Dies ist mit den erhöhten Cr- und Ni-Gehalten der Basalte des Vogelsberg zu begründen. Gemäß der o.g. Kartengrundlage enthalten die Unterböden über basischen Magmatiten und Vulkaniklastiten bis zu 210 mg Ni pro kg Boden und bis zu 313 mg/kg Cr. Genauere Informationen zur Ermittlung der durchschnittlichen Schwermetallgehalte in den Ackerböden der Lahn sind im Anhang C.2 aufgeführt.

Tabelle 4.4: Mittlere Schwermetallgehalte im Oberboden in mg/kg: Lahneinzugsgebiet in Hessen im Vergleich zum Rheineinzugsgebiet (MOHAUPT 1998)

	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
Lahn/Hessen	0,3	68	20	31	99	68
Rhein ¹⁾	0,3	60	20	27	29	33
Ackerböden ²⁾	0,1	66	18	25	39	38

1 nach MOHAUPT (1998)

2 nach BRÜNE (1988)

Der Anreicherungsfaktor ER (Enrichment Ratio) wurde nach AUERSWALD (1989) ermittelt und ergibt sich über folgende Gleichung: $ER = 2,53 * \text{Bodenabtrag}^{-0,21}$.

4.2.2 Rheinland-Pfälzischer Teil der Lahn

Vorberechnungen zur Schätzung der Immissionsfrachten

Die beschafften hydrologischen Daten sowie die Daten aus dem chemisch-physikalischen Überwachungsprogramm der Fließgewässer wurden zunächst vollständig digitalisiert und konnten dann entsprechend den verwendeten Formeln zur Immissionsschätzung verknüpft werden. In den meisten Fällen, in denen die Standorte der hydrologischen Pegel und der Gewässergütemeßstellen unterschiedlich waren, mußte allerdings zunächst noch eine einzugsgebietsproportionale Umrechnung der Abflüsse erfolgen. Basierend auf den im Kapitel 4.3 dargestellten Frachtschätzungsmethoden konnten anschließend die Immissionen berechnet werden.

Die Frachtberechnung erfolgte dabei für die elf in Tabelle 4.5 dargestellten Gewässergütemeßstellen. Sieben davon liegen an der Lahn, die restlichen vier sind Probenahmeorte im Mündungsbereich der größeren Nebengewässer. Der Grund dafür, daß in dem kleinen rheinland-pfälzischen Lahneinzugsgebiet gleich für so viele Meßpunkte Immissionsberechnungen durchgeführt worden sind, ist auf die detaillierte Betrachtung der Emissionsseite zurückzuführen.

Tabelle 4.5: Gewässergütemeßstellen im unteren Lahnggebiet, für die Frachtabeschätzungen durchgeführt wurden

Lahnstein (Lahn)	Schleuse Scheidt (Lahn)	Nassau (Mühlbach)
Elisenhütte (Lahn)	Schleuse Cramberg (Lahn)	Weinähr (Gelbach)
Obernhof (Lahn)	Diez (Lahn)	Klostermühle (Dörsbach)
Pegel Kalkofen (Lahn)		Diez (Aar)

Vorberechnungen zur Bilanzierung der punktförmigen Einträge

Für die Bilanzierung des unteren Lahnggebietes wurde im wesentlichen auf die Basis- und Sammelgebietsniederschläge zurückgegriffen, da diese die größte räumliche Auflösung besitzen. Durch diese Daten war es möglich, jedem der in diesem Bereich betrachteten elf Teileinzugsgebiete, mindestens ein Basis- bzw. Sammelgebiet und die entsprechenden Niederschläge zuzuordnen. Bei größeren Teileinzugsgebieten, für die mehrere Niederschlagsdaten zur Verfügung standen, wurden entsprechende flächengewichtete Mittelwerte errechnet, die dann die Grundlage für die weiteren Berechnungen bildeten.

Die Karte mit den Verwaltungsgrenzen von Rheinland-Pfalz und die Karte zum Gewässerkundlichen Flächenverzeichnis wurden zunächst digitalisiert und anschließend in ArcCAD miteinander verschnitten.

Trotz der kleinmaßstäblichen Karten gelang eine sehr präzise Digitalisierung der Einzugsgebietsgrenzen. Die Abweichung zur Realität, die mittels einer genaueren, in digitaler Form (allerdings im Rasterformat) vorliegenden Topographischen Karte gemessen worden ist, betrug in der Regel weniger als 200 m bezogen auf den tatsächlichen Grenz- bzw.

Flußverlauf. Ein Vergleich der digitalisierten mit der tatsächlichen Einzugsgebietsfläche ergab, daß der relative Gesamtfehler nur ca. 0,1 % betrug.

Größere Abweichungen kamen in Ausnahmefällen nur im Bereich der Gewässerläufe vor, da diese ebenfalls auf Basis des Gewässerkundlichen Flächenverzeichnisses erfaßt wurden. Aufgrund des kleinen Maßstabes dieser Karte müssen Gewässerverläufe geglättet dargestellt („generalisiert“) werden. Dadurch konnte es z.B. im Bereich von Mäanderstrecken zu Abweichungen von bis zu 300 m kommen. Da der Gewässerverlauf nicht als Eingangsgröße in die Bilanzierung einfließt, sondern in das Geographische Informationssystem nur aus Gründen der Übersichtlichkeit bzw. Orientierung eingefügt wurde, haben diese Abweichungen keinen Einfluß auf die Genauigkeit der Frachtberechnungen.

Bei den hessischen Kläranlagen, die im Einzugsgebiet der unteren Lahn liegen, konnte auf bereits berechnete Nährstoff- und Zehrstoffjahresfrachten zurückgegriffen werden, die vom Hessischen Landesamt für Umwelt zur Verfügung gestellt wurden. In diesen Fällen erfolgte dann neben einer Plausibilitätskontrolle nur noch eine Aufteilung der Frachten infolge Trockenwetter- bzw. Niederschlagsabfluß. Auf diesen Kläranlagen, für die diese genaueren Informationen verfügbar waren, werden ca. 80 % der an öffentlichen Kläranlagen angeschlossenen Einwohnergleichwerte behandelt.

Die Berechnung der entwässerten Fläche wurde über ein zweigleisiges Vorgehen ermittelt. So war für die meisten Kläranlagen die Größe des angeschlossenen Einzugsgebietes zwar verfügbar, es wurde dennoch alternativ dazu die Entwässerungsfläche über den Anschlußgrad der Bevölkerung an Kanal bzw. Kläranlage, den Anteil von Misch- und Trennsystem sowie den Gebäude-, Frei- und Verkehrsflächen in den jeweiligen Teilgebieten abgeschätzt. Gründe dafür gab es vor allem zwei:

Zum einen waren die Größe der entwässerten Flächen, die an Sammelkanäle ohne Kläranlagenanschluß angebunden sind, nicht vorhanden (sie wird aber für die Berechnungen benötigt) und zum anderen wurden im Einzugsgebiet kleinerer Kläranlagen die im Trenngebiet entwässerten Flächen nicht explizit ausgewiesen. Außerdem konnten durch diesen Weg die gegebenen Kläranlageneinzugsgebietsflächen auf Plausibilität überprüft werden. Bei manchen Kläranlagen zeigte sich dann auch deutlich, daß offensichtlich nicht nur die einzelnen Siedlungsgebiete sondern auch größere Außengebiete an die Kanalisation angeschlossen sind. Des öfteren übertrafen die angegebenen Einzugsgebietsfläche der Kläranlagen mehr oder weniger deutlich die gesamte Gebäude-, Frei- und Verkehrsfläche der jeweils angeschlossenen Gemeinden.

Alle weiteren Berechnungen bezüglich der Definition/Zuweisung der verschiedenen Flächen (undurchlässige Fläche, Trenn-/Mischgebiet, Flächen von Einwohnern ohne Kläranlagenanschluß etc.) ergaben sich analog dem Vorgehen der Kasseler Arbeitsgruppe.

Datenaufbereitung zur Bilanzierung der diffusen Einträge

Die für die Ermittlung der Nährstoff- und Schwermetallemissionen benötigte Ackerfläche je Teilgebiet wurde analog der Zuweisung der urbanen Flächen vorgenommen. Der flächenspezifische Bodenabtrag wurde in Abhängigkeit der Bodenart der Ackerflächen basierend auf der Arbeit von JUNG et al. (1980) festgelegt. Es wurden jährliche

Abtragungspotentiale von 1,750 bis 6,250 t/(ha·a) angesetzt. Bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet ergibt sich daraus ein Mittelwert von ca. 3,750 t/(ha·a). Bei den geologischen und bodenkundlichen Karten, die nur in Papierform zur Verfügung standen, erfolgte eine „grobe“ Digitalisierung. Diese bestand darin, daß den Teilflächen die dort vorherrschenden Untergrund- bzw. Bodenverhältnisse als Merkmale zugeordnet wurden.

Die Ermittlung der gebietsspezifischen Oberbodengehalte wurde mit Hilfe der Bodenbelastungskataster Rheinland-Pfalz (Ministerium für Umwelt und Forsten (Rh.-Pf.), 1996) durchgeführt. Aus Meßwerten, die auf verschiedenen Ackerland-Standorten erhoben wurden, wurden die folgenden Mittelwerte ermittelt (Tabelle 4.6). Der Anreicherungsfaktor ER wurde konstant zu 1,7 angenommen (WERNER et al. (1991) geben für partikulär gebundene Stoffe einen gebietsspezifischen Wert von 1,3 bis 2,3 (im Mittel von 1,7) an).

Tabelle 4.6: mittlere Schwermetallgehalte im Oberboden ($C_{i,Boden}$ in [mg/kg]), unteres Lahnggebiet

Schwermetall	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
$C_{i,Boden}$	0,85	150	28	142	27	37

4.2.3 Neckar

Vorberechnungen zur Schätzung der Immissionsfrachten

Sobald die Abfluß- und Gütedaten für den Neckar digital vorlagen, war keine weitere Aufbereitung nötig, die Ermittlung der Immissionen konnte entsprechend dem in Kapitel 4.3 dargelegten Weg vorstatten gehen.

Vorberechnungen zur Bilanzierung der punktförmigen Einträge

Die Aufbereitung der Daten zur Bilanzierung der punktförmigen Einträge verlief generell so wie bei den Projektpartnern in Kassel und Kaiserslautern, sie unterschied sich in zwei Punkten jedoch auch wesentlich:

Zur Ermittlung der gebietsspezifischen Niederschläge in den Wassereinzugsgebieten des Neckars wurden zunächst die Koordinaten der Meßstationen, zu denen Niederschlagsmessungen vorlagen, in das Programm Surfer eingelesen und diese Punkte dann mit der jeweiligen Jahresniederschlagshöhe verbunden. Anschließend konnten mit dem geostatistischen Verfahren des Krigings die punktuell vorliegenden Niederschlagsdaten für das gesamte Einzugsgebiet des Neckars regionalisiert werden (siehe Abbildung 3.4). In einem dritten Schritt wurden dann die Grenzen der 21 Wassereinzugsgebiete des Neckars aus dieser Oberfläche „herausgestanzt“ und das entstandene Teilvolumen durch die Fläche des WEGs dividiert, wodurch die jeweilige mittlere, WEG-spezifische Niederschlagshöhe berechnet wurde.

Die undurchlässige Fläche wurde basierend auf dem Flächennutzungsbild ermittelt. Nach einer Verschneidung der Flächennutzung mit den Grenzen der WEGs (siehe auch Kapitel 4.2.4) wurde die versiegelte Fläche differenziert nach den drei urbanen Flächennutzungsklassen (Stadt - dichte Besiedlung; Dorf - lockere Besiedlung; Industrie - großflächige Versiegelung) zugewiesen und weiterhin untergliedert nach den Oberflächen

Dach, Straße und Hof/Weg. Zusammen mit oberflächenspezifischen Abflußbeiwerten konnte die undurchlässige Fläche je WEG berechnet werden. Einen Überblick über die genutzten Parameter gibt nachfolgende Tabelle 4.7. Geringe, fehlende Teile (< 3 %) des in Hessen liegenden Teiles des Einzugsgebietes wurden anhand einer Topographischen Karte ergänzt.

Tabelle 4.7: Parameter zur Ermittlung der undurchlässigen Fläche aus dem Flächennutzungsrasterbild

	Dach	Straße	Weg/Hof
	[% von A _{urban} aus GIS]		
Dorf	0,20	0,15	0,10
Stadt	0,41	0,20	0,10
Industrie	0,34	0,32	0,08
Abflußbeiwert	0,9	0,7	0,7

Aufbereitung der Daten der diffusen Einträge

Aufgrund des einfachen Ansatzes zur Ermittlung der diffusen Nähr- und Zehrstoffemissionen (s. Kapitel 4.4.2) waren für diesen Berechnungsschritt keine besonderen Datenaufbereitungsarbeiten notwendig. Genutzt wurde lediglich die bereits bestehende Zuweisung der einzelnen Flächennutzungen zu den WEGs.

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung der diffusen Schwermetallemissionen war orientiert an den naturräumlichen Hauptgruppen im Neckareinzugsgebiet. Die entsprechende analoge Karte wurde allerdings der Einfachheit halber nur gescannt und georeferenziert, so daß sie zwar optisch in das GIS integriert werden konnte, eine Verschneidung im eigentlichen Sinne hat jedoch nicht stattgefunden.

Über eine solche optische Überlagerung wurde zum einen die Fläche der Nutzungsklasse „Acker“ je Naturraum geschätzt, zum anderen wurde über die ins GIS eingelesenen Meßorte der Schwermetallgehalte im Oberboden eine Zuweisung dieser zu den Naturräumen vollzogen. Das arithmetische Mittel dieser Gehalte ging dann als naturraumspezifischer Schwermetallgehalt des Oberbodens in die weiteren Berechnungen ein (aufgrund geringer Datenlage wurden dabei die Werte des Schwäbischen Keuper-Lias auf die Schwäbische Alb übertragen). Der Anreicherungsfaktor ER wurde ebenfalls naturraum-spezifisch berechnet, dabei wurde der Weg von AUERSWALD (1989) gewählt (analog der Vorgehensweise für den hessischen Teil der Lahn), der den Anreicherungsfaktor als Funktion des spezifischen Bodenabtrags AT definiert. Letzterer wiederum lag nach Naturräumen differenziert vor (s. Kapitel 4.1.3.2). In Anhang A.11 sind die übernommenen spezifischen Bodenabträge, die daraus ermittelten Anreicherungsfaktoren und die berechneten, mittleren Schwermetallgehalte in den Oberböden dargelegt.

4.2.4 Einsatz von GIS

Die Entscheidung, ein Geographisches Informationssystem (GIS) im Projekt einzusetzen, fiel sehr frühzeitig. Am ISWW Karlsruhe war auch - aber nicht nur - aus den vorhergehenden Phasen des Projektes NIEDERSCHLAG bereits entsprechendes Know-how (sowie Hard- und Software) vorhanden. Wie an den vorgestellten Berechnungsformeln gesehen werden kann (siehe Kapitel 4.3), wurde das GIS dabei nicht direkt in den Kalkulationen benötigt, für

das Pre- und Postprocessing, also die Datenaufbereitung und -darstellung, war es aber sehr hilfreich.

Der „kleinste gemeinsame Nenner“ in der Datenaufbereitung bestand zwischen den einzelnen Projektpartnern dabei in der Verschneidung der im Rahmen des Projektes betrachteten Flusseinzugsgebiete und politischen Grenzen (v.a. Gemeindegrenzen), welche mittels des Programmes ArcCAD durchgeführt wurde. Somit konnten die Bilanzgebiete in einen räumlichen Bezug zu denjenigen Regionen gestellt werden, bezüglich derer die benötigten statistischen Daten gegeben waren. Den unterschiedlichen Ausgangsvoraussetzungen der verschiedenen Projektpartner entsprechend lagen die geographischen Informationen dabei schon in den benötigten Formaten vor, konnten passend transferiert werden, oder mußten besorgt bzw. selbst digitalisiert werden. Das Aufbereiten der mit den Flächen verknüpften Attributdaten geschah mit dem Programm Excel, welches allen Projektpartnern zur Verfügung stand.

Der Karlsruher Projektgruppe stand darüber hinaus ein klassifiziertes Satellitenbild der Flächennutzung im Neckareinzugsgebiet zur Verfügung. Es bestand somit die Chance, die Flächennutzung nicht nur als statistische Daten auf Gemeindeebene vom Statistischen Landesamt zu beziehen, sondern sie direkt aus dem Satellitenbild herzuleiten. Im Unterschied zu einer Ermittlung über die Verschneidung der Gemeindegrenzen mit den Teileinzugsgebieten mußte somit nicht implizit von der Annahme ausgegangen werden, daß das Attribut (hier: die anteilige Flächennutzung) über das gesamte Gebiet (z.B. eines Kreises) gleichverteilt ist.

Im Gegenzug mußte dafür eine aufwendigere Bestimmung der Flächennutzung in den einzelnen Wassereinzugsgebieten hingenommen werden, da die Datenstruktur der beiden Basiskarten grundlegend verschieden war (Vektordaten \Leftrightarrow Rasterdaten). Es wurde dabei der Weg gewählt, die Vektordaten aus ArcCAD mittels dem Programm ETV2000 in das Vektorformat des Programmes IDRISI zu konvertieren, wo sie dann in ein Rasterdatenformat transferiert und sodann mit der Flächennutzungskarte verschnitten werden konnten. Da dieser große Aufwand der Verschneidung aber nur einmal betrieben werden mußte, erschien die gewählte Vorgehensweise jedoch hinnehmbar.

Bei der Datendarstellung wurde auf das Programm ArcView zurückgegriffen, dessen Funktionalitäten auf diesen Zweck zugeschnitten sind. Dadurch, daß dieses Programm vom selben Hersteller stammt wie ArcCAD traten an dieser Schnittstelle auch keine Reibungsverluste auf. Die Visualisierung unterstützte dabei vor allem die Überprüfung der Plausibilität der Ergebnisse. Bei entsprechender Fragestellung bieten die Karten auch die Grundlage für sehr vielseitige Möglichkeiten der übersichtlichen Darstellung von (Teil-)Ergebnissen.

Neben der Verarbeitung von reinen Flächendaten wurden ebenfalls eine Reihe von Punktinformationen in das GIS-Projekt eingebunden, z.B. Standorte von bzw. Angaben zu Kläranlagen, Staustufen, hydrologischen Pegeln und Gewässergütemeßstellen.

Schließlich konnte das GIS auch in der Funktionalität genutzt werden, daß einzelnen Flächen bzw. Punkten externe Dateien (z.B. Bildquellen) zugeordnet werden können. So wurden z.B. im Rahmen dieses Forschungsprojektes die einzelnen Teilgebietsflächen des unteren Lahnabschnittes mit digitalen Satellitenbilder und einer ebenfalls digitalen

Topographischen Karten verknüpft. Des Weiteren konnten Fotografien zugewiesen werden, die z.B. im Rahmen von Befahrungen des Projektgebietes entstanden waren. Die digitalisierten Bilder und Karten erwiesen sich bei der Emissions-Bilanzierung als ein sinnvolles Hilfsmittel, denn sie lieferten beispielsweise Informationen zu der Siedlungsstruktur und Flächennutzung in den jeweiligen Gemeinden. Zwar benötigen diese Bildquellen enormen Speicherplatz, dies stellt aber bei den zur Zeit verwendeten Speichermedien kein größeres Problem mehr dar. Um den Aufwand in Grenzen zu halten, wurden diese Bilder bzw. Karten allerdings nicht georeferenziert, d.h. sie wurden nicht mit Koordinaten versehen, eingemessen und gegebenenfalls entzerrt.

4.3 BERECHNUNGSANSÄTZE - IMMISSIONEN

Die Berechnung der Immissionen erfolgte in Anlehnung an die Empfehlungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG, 1997). In dieser Publikation werden Methoden vorgestellt für die Berechnung der Jahresfrachten aus Einzelprobenahmen, Mischprobenahmen und schwebstoffgebundenen Stoffen, welche im folgenden kurz vorgestellt werden.

4.3.1 Frachtberechnung bei Einzelproben

(E1) Mittelwert 1-Methode:

Bei der ersten Methode wird aus den gemessenen Konzentrationen und den dazugehörigen Abflüssen jeweils eine Fracht ermittelt. Anschließend wird der Mittelwert aus diesen Frachten berechnet. Die geschätzte Jahresfracht ergibt sich dann wie folgt:

$$F = \frac{364 \cdot 86.400}{1.000 \cdot 1.000} \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N c(t_i) \cdot Q(t_i) \quad [\text{t/a}] \quad (4.1)$$

(E2) Mittelwert 2-Methode:

Bei dieser Methode wird aus gemessenen Konzentrationen und den Tagesabflüssen jeweils ein Mittelwert gebildet und zur Jahresfracht hochgerechnet:

$$F = \frac{364 \cdot 86.400}{1.000 \cdot 1.000} \cdot c_{\text{Mittel}} \cdot Q_{\text{Mittel}} \quad [\text{t/a}] \quad (4.2)$$

Es wird bei diesem Verfahren davon ausgegangen, daß Konzentrationen und Abflüsse nur unwesentlich um ihre Mittelwerte c_{Mittel} und Q_{Mittel} schwanken.

(E3) Konzentrations-Abfluß-Methode:

Das dritte Verfahren geht davon aus, daß eine Korrelation zwischen Abfluß und Konzentration besteht und die Jahresfracht als

$$F = \frac{86.400}{1.000 \cdot 1.000} \cdot \sum_{i=1}^{364} c(Q_i) \cdot Q_i \quad [\text{t/a}] \quad (4.3)$$

ermittelt werden kann. Diese Abschätzung wird nachfolgend als Konzentrations-Abfluß-Methode bezeichnet.

(E4) Fracht-Abfluß-Methode:

Die letzte Methode wird häufig dann eingesetzt, wenn fast konstante Konzentrationen gemessen worden sind und somit keine Konzentrations-Abfluß-Beziehung erkennbar ist. Die Jahresfracht ergibt sich dann zu

$$F = \frac{86.400}{1.000 \cdot 1.000} \cdot \sum_{i=1}^{364} c(t)Q(t) \quad [\text{t/a}] \quad (4.4)$$

Im weiteren Verlauf wird dieses Verfahren Fracht-Abfluß-Methode genannt.

Von diesen Methoden wurde zumeist immer dann die Konzentrations-Abfluß-Methode präferiert, wenn der Korrelationskoeffizient größer als 0,3 war, ein Grenzwert der im BfG-Arbeitspapier als Anwendungsgrenze für die Konzentrations-Abfluß-Methode angesetzt worden ist. Andernfalls fand überwiegend die Fracht-Abfluß-Methode Anwendung. Die beiden Mittelwertmethoden wurden hauptsächlich dazu verwendet, die Bandbreite der möglichen Ergebnisse besser abschätzen zu können.

4.3.2 Frachtberechnung bei Mischproben

(M1) Ansatz Misch-1:

Beim ersten Ansatz wird die Jahresfracht aus dem mittleren Abfluß im Mischprobenintervall und der Mischprobenkonzentration für alle Messungen im Bilanzjahr aufsummiert und auf das Jahr hochgerechnet:

$$F = \frac{364 \cdot 86400}{1000 \cdot 1000} \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \bar{Q}_i \cdot \bar{c}_i \quad [\text{t/a}] \quad (4.5)$$

Dieses Verfahren wird Ansatz Misch-1 genannt. Hohe Variabilität von Abfluß und Konzentration im Probenahmezeitraum (z.B. Hochwasser) kann zu Abweichungen von der „wahren“, tatsächlich vorhandenen Jahresfracht führen.

(M2) Ansatz Misch-2:

Da die Stoffkonzentration der Mischprobe der mittleren Konzentration im Gewässer über den Probenahmezeitraum entspricht, ist der Mittelwert der Konzentrationen aller Mischproben gleich der mittleren Jahreskonzentration.

$$\bar{c} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \bar{c}_i \quad [\text{mg/L}] \quad (4.6)$$

Die Jahresfracht kann somit aus der jährlichen mittleren Konzentration und dem jährlichen mittleren Abflusses hochgerechnet werden. Dieses Verfahren wird Ansatz Misch-2 genannt und dient zum Vergleich der ermittelten Werte von Ansatz Misch-1.

$$F = \frac{364 \cdot 86400}{1000 \cdot 1000} \cdot \bar{c} \cdot \bar{Q} \quad [\text{t/a}] \quad (4.7)$$

Beide Berechnungsansätze werden für die in den Mischproben analysierten Stoffe angewendet.

4.3.3 Frachtberechnung schwebstoffgebundener Stoffe

(S1) Für die Ermittlung der schwebstoffgebundenen Stofffracht wird zuerst die mittlere Stoffkonzentration berechnet. Diese ergibt sich aus dem Produkt der Schwebstoffkonzentration S [mg/l] und der Stoffkonzentration c im Schwebstoff [mg/kg]. Aus der Angleichung der Einheiten (mg zu kg) ergeben sich die vorangestellten Faktoren

$$c_S = \frac{1}{1000 \cdot 1000} \cdot c \cdot S \quad [\text{mg/L}] \quad (4.8)$$

Werden, wie im Gewässergütemeßprogramm des Neckars, die schwebstoffgebundenen Schadstoffe über Einzelproben bestimmt, so können für die Frachtschätzung der Immission die im Kapitel 4.3.1 genannten Berechnungsmethoden angewendet werden.

Die funktionalen Abhängigkeiten der Stoffkonzentrationen vom Gewässerabfluß in der Schätzung der Stofffrachten für schwebstoffgebundene Stoffe sind in der Regel mit größeren Unsicherheiten behaftet als Frachtschätzungen für gelöste Stoffe in der Wasserphase. Dies liegt nicht zuletzt darin begründet, daß als zusätzlicher Parameter der Schwebstoffgehalt mit einbezogen werden muß, der zudem insbesondere im Hochwasserfall eine hohe Dynamik aufweist. Ein Großteil der Schwebstofffrachten kann von einzelnen wenigen Hochwasserereignissen transportiert werden (BfG, 1997), die meist nicht (z.B. durch abflußproportionale Beprobungen) repräsentativ erfaßt werden, was zu einer Unterschätzung der transportierten Schwebstofffrachten führt.

4.4 BERECHNUNGSANSÄTZE - EMISSIONEN „IST-ZUSTAND“

4.4.1 Punktförmige Eintragspfade

4.4.1.1 Vorbemerkungen

Die nachfolgend dargestellten Ansätze bzw. Berechnungsformeln halten sich an die Grundkonzeptionen, die in den (deutschen) Fachgremien üblich und zwischenzeitlich wohl allgemein anerkannt sind. Dazu gehört die Vorstellung, daß auf Siedlungs- und Verkehrsflächen ein bestimmtes Stoffpotential zum Abtrag durch Niederschlagsabfluß verfügbar ist. Generell wird angenommen, daß der schmutzstoffrelevante Abfluß und damit auch das Stoffabtragspotential innerhalb der Siedlungsflächen nur von undurchlässigen Flächen stammt.

Für die Trennkanalisation entspricht der Stoffeintrag durch Niederschlagsabflüsse ins Gewässer dem Stoffabtrag von Siedlungs- und Verkehrsflächen, sofern keine Regenwasserbehandlung (z.B. in Regenklärbecken) existiert. In diesen Fällen sind die Frachten um den Stoffrückhalt in der Regenwasserbehandlung zu reduzieren. Hierfür kann in der Regel ein maßnahmen- und stoffspezifischer Wirkungsgrad abgeschätzt werden.

Im Mischverfahren kommt es durch die nur teilweise Mitbehandlung des Regenwassers in der Kläranlage ebenfalls zu einem anteiligen direkten Austrag des Stoffpotentials, wobei die Bilanzierung durch das ebenfalls mitentlastete Schmutzwasser wesentlich komplexer wird. Die Vorgehensweise stützt sich dabei auf die Basis des Arbeitsblattes A 128 (ATV, 1992), die z.B. auch Grundlage der weit verbreiteten Schmutzfrachtmodelle SMUSI und KOSIM ist: Dabei wird der Stoffeintrag ins Gewässer zunächst in die beiden Eintragspfade

- Regenentlastungsbauwerke
- Stoffaustrag über Regenwasseranteil im Kläranlagenablauf aufgeschlüsselt.

Der entlastete Teil wird als Entlastungsanteil (fracht- oder volumenbezogen) beschrieben, wobei als 100 % - Bezugswert die Stofffracht im Niederschlagsabfluß bzw. das Niederschlagsabflußvolumen dient.

Die niederschlagsbedingten Emissionen über den Kläranlagenablauf lassen sich berechnen aus dem Volumenanteil des Niederschlagsabflusses, der nicht entlastet wurde, und der Konzentration im Kläranlagenablauf.

Nachfolgend werden die Formeln für die Schätzung der Emissionen über die verschiedenen Stoffeintragspfade aus urbanen Gebieten genauer dargestellt. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß im Rahmen dieses Projektes die „punktförmige Quellen“ abgegrenzt wurden über die Art der Emission ins Gewässer: Existiert ein definierter Punkt - ein (Kanal-)Rohr -, so gilt die Quelle als punktförmig. Diese Definition schließt die Einleitungen von Regenentlastungen und Trenngebieten ein, was im Gegensatz steht zu den Veröffentlichungen anderer Autoren, die die Definition im wesentlichen über die Stetigkeit der Quelle vornehmen, was dann in der Regel nur die Direkteinleiter (Kläranlagen und Direkteinleiter industrieller Art) erfasst.

Die drei folgenden Abbildungen geben einen grafischen Überblick über die nachstehend beschriebenen Frachtschätzungsformeln für die Emissionen.

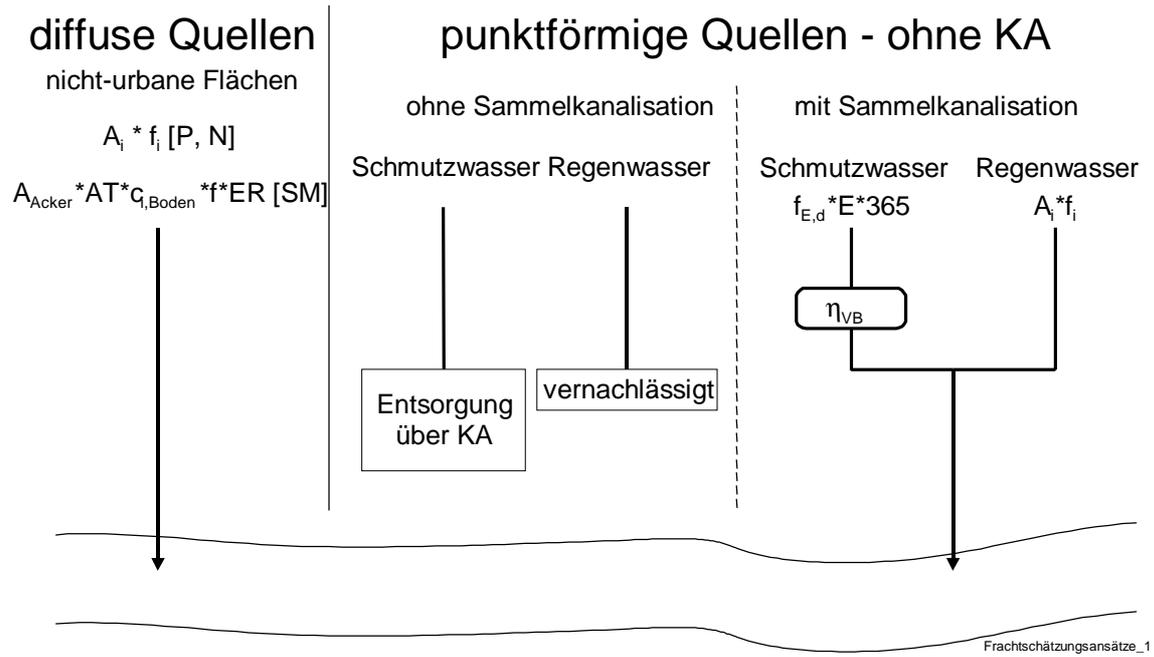


Abbildung 4.2: Frachtschätzungsansätze für Emissionen (diffus und punktförmig ohne Kläranlage)

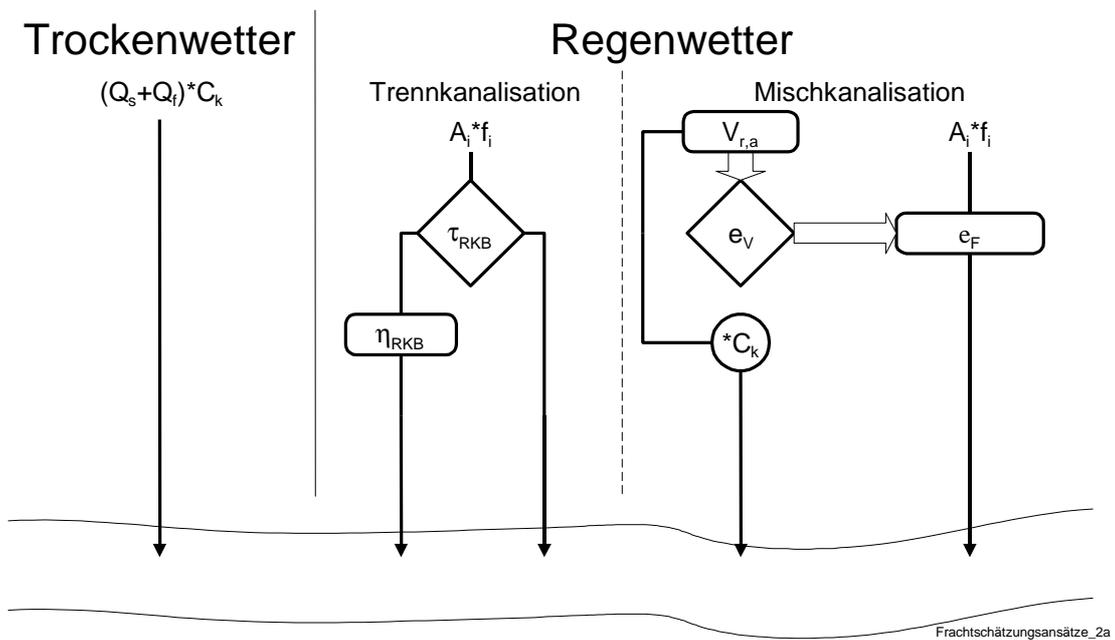


Abbildung 4.3: Frachtschätzungsansätze für Emissionen (punktförmig, für P, N, CSB)

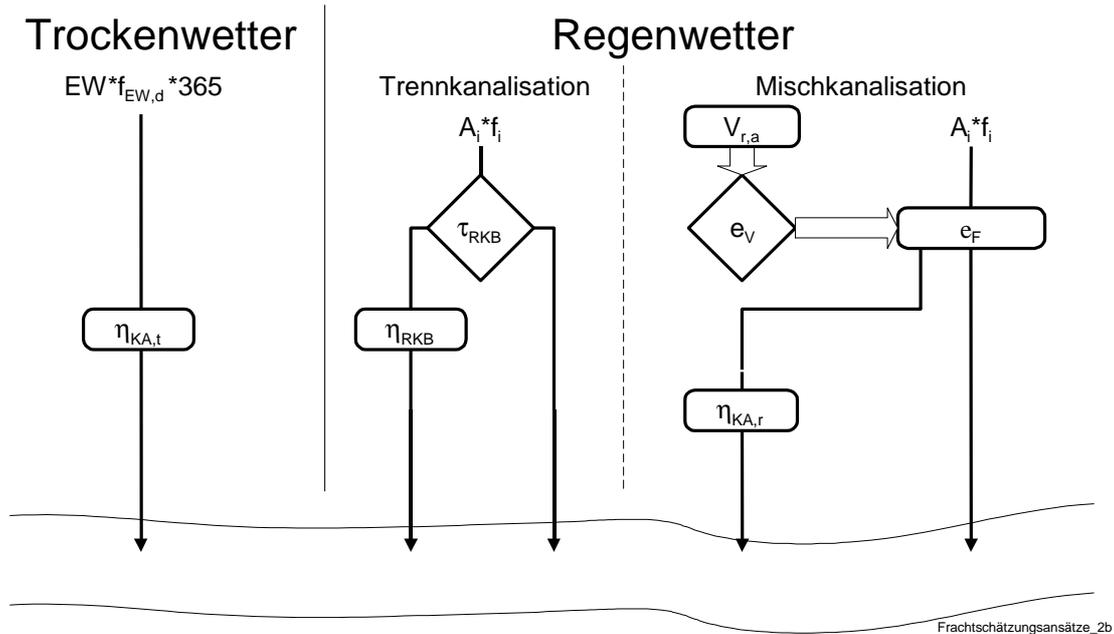


Abbildung 4.4: Frachtschätzungsansätze für Emissionen (punktförmig, für Schwermetalle)

4.4.1.2 Berechnung der Emissionen infolge Trockenwetterabfluß

4.4.1.2.1 Kläranlagen

Nähr- und Zehrstoffe

Bei den Kläranlagen, bei denen Informationen über die Ablaufkonzentrationen C_k vorhanden sind, wird die Berechnung der Emission infolge Trockenwetterabfluß $F_{k,T}$ wie folgt durchgeführt:

$$F_{k,T} = V_{TW,a} \cdot C_k \quad [\text{kg/a}] \quad (4.9)$$

Die auf der Kläranlage behandelte Jahrestrockenwetterabflußmenge $V_{TW,a}$ ergibt aus:

$$V_{TW,a} = V_{h,a} + V_{g,a} + V_{f,a} \quad [\text{kg/a}] \quad (4.10)$$

Für einige kleinere Anlagen mußte mangels Daten die Ablaufkonzentration mit Hilfe von Literaturwerten abgeschätzt werden, dies waren v.a. mechanische Anlagen und kleine Abwasserteiche. Bei belüfteten und unbelüfteten Abwasserteichen sowie Tropfkörperanlagen mit jeweils weniger als 1.000 EW wurde dabei auf die Ergebnisse von BUCKSTEEG (1997) zurückgegriffen (vgl. Anhang A.6). Diese Untersuchung beinhalten die Auswertung der Ablaufwerte von über 1.000 Kläranlagen in Bayern.

Im Falle der mechanischen Kläranlagen wurden die Ablaufkonzentration mit Hilfe von Literaturwerten und Daten über die Abwasserzusammensetzung von Schmutz- bzw. Regenwasser abgeschätzt. Maßgebliches Hilfsmittel waren dabei die Angaben bezüglich der Wirkungsgrade in Vorklärbecken mit einer Aufenthaltszeit von mehr als 2 h aus dem ATV-Arbeitsblatt A 131 (ATV, 1991, vgl. Anhang A.7). Da diese Kläranlagen aufgrund ihrer Größe

nur wenig ins Gewicht fallen, dürfte der Fehler, der sich durch diese Abschätzungen ergibt, relativ gering sein. Die Berechnung erfolgt somit über den Weg:

$$F_{k,T} = f_{EW,d} \cdot EW \cdot 365 \cdot (1 - \eta_{KA,t}) = f_{EW,d} \cdot (E+EGW) \cdot 365 \cdot (1 - \eta_{KA,t}) \quad [\text{kg/a}] \quad (4.11)$$

Die einwohnerspezifischen Tagesfrachten sind in Anhang A.1 dokumentiert. Die angeschlossene Einwohnerzahl E kann z.B. über die statistischen Datenbanken ermittelt werden. Die angeschlossenen Einwohnerequivalente EGW dürften sich ausreichend genau über eine hydraulische Abschätzung ermitteln lassen, da im Regelfall der industrielle bzw. gewerbliche Schmutzwasseranfall auf diesen veralteten Kläranlagen äußerst gering ($\leq 5\%$) ist

Schadstoffe

Im Gegensatz zur Berechnung der Nähr- und Zehrstoffjahresfrachten erfolgt die Berechnung der Schadstoffemissionen aus Kläranlagen bei Trockenwetter generell über den Weg von einwohnerspezifischen Tagesfrachten (Anhang A.1) und Wirkungsgrad (Anhang A.4):

$$F_{k,T} = f_{EW,d} \cdot EW \cdot 365 \cdot (1 - \eta_{KA,t}) = f_{EW,d} \cdot (E+EGW) \cdot 365 \cdot (1 - \eta_{KA,t}) \quad [\text{kg/a}] \quad (4.12)$$

Der Grund dafür ist, daß in aller Regel keine Informationen über Schadstoffablaufkonzentrationen von Kläranlagen verfügbar sind.

4.4.1.2.2 Kanalisation ohne Kläranlagenanschluß

Vorbemerkungen

Es gibt, v.a. in ländlichen Gebieten, noch eine Reihe von Gemeinden, deren Einwohner zwar an eine Kanalisation, nicht aber an eine Kläranlage angeschlossen sind. Bei den Kanälen ohne Kläranlagenanschluß handelt es sich in der Regel um Sammelkanalisationen, die früher auf Eigeninitiative der Gemeinden entstanden sind, weshalb man sie auch häufig als „Bürgermeisterkanäle“ bezeichnet. Diese Kanäle, die auch den Niederschlagsabfluß ableiten, sind mittlerweile meist veraltet und werden im Zuge des Anschlusses an Kläranlagen allmählich erneuert.

Die Einwohner, die noch an solche Kanäle angeschlossen sind, besitzen in der Regel Mehrkammerausfallgruben, in Ausnahmefällen auch Mehrkammerabsetzgruben, die für eine mechanische Vorbehandlung der in die Kanalisation eingeleiteten Abwässer sorgen. Während in Mehrkammerabsetzgruben absetzbare Stoffe und Schwimmstoffe entfernt werden, erfolgt in den Mehrkammerausfallgruben auch noch ein teilweiser anaerober Abbau organischer Schmutzstoffe. Mehrkammerausfallgruben haben einen Mindestinhalt von 6 m^3 und müssen mindestens als Dreikammergrube ausgebildet sein (ATV, 1985). Der Fäkal-schlamm, der sich in diesen nicht geschlossenen Gruben absetzt, wird von Zeit zu Zeit abgefahren und auf Kläranlagen weiterbehandelt.

Die Einleitung des Niederschlagsabflusses erfolgt im Normalfall nach der Grube. Selten wird der Niederschlagsabfluß auch nicht in die Kanalisation eingeleitet und statt dessen im Gebiet zurückgehalten. Fehlschlüsse, d.h. die Einleitung des Niederschlagsabflusses vor der

Mehrkammergrube (was mit einer Ausspülung des Kammerinhaltes verbunden ist), kommen zwar vor, dürften aber die Ausnahme sein. Sie fanden im Projekt keine Berücksichtigung.

Die alleinige mechanische Reinigung des Abwassers kann den heutigen Anforderungen für Einleitungen in ein Gewässer nicht mehr genügen, weshalb sich heute an die mechanische Reinigung eine biologische Reinigung mit technischen oder naturnahen Kleinkläranlagen anschließen muß. Für das Bilanzjahr wurde davon ausgegangen, daß die Einwohner, die an einen Kanal ohne Kläranlagenanschluß angeschlossen waren, überwiegend über keine biologischen Kleinkläranlagen verfügten. Als Vorreinigung wurde somit für die Bilanzierung nur der Wirkungsgrad der Mehrkammerausfallgruben angesetzt.

Ein Teil der Einwohner haben auch gar keinen Anschluß an eine Kanalisation. Ihr häusliches Abwasser wird in „abflußlosen Gruben“ gesammelt, regelmäßig abgepumpt und zur Kläranlage gefahren. Die Berücksichtigung dieser Einwohner geschieht also über den Pfad der Kläranlagenemissionen. Das Regenwasser der entsprechenden Gebiete fand im Projekt keine Berücksichtigung. Dies erscheint nicht nur im Hinblick auf die vergleichsweise geringen Mengen gerechtfertigt, sondern auch aus der Erfahrung, daß das Oberflächenwasser dieser Gebiete oft „unkontrolliert versickert“.

Vorgehensweise bei der Berechnung

Die Berechnung der Frachten infolge Trockenwetterabfluß aus Kanälen ohne Kläranlagen ($F_{\text{kanal,T}}$) mittels einwohnerspezifischen Tagesfrachten $f_{\text{EW,d}}$ (Anhang A.1) und Wirkungsgraden von Mehrkammerausfallgruben η_{VB} (Anhang A.5) erfolgt dann für Nähr-, Zehr- und Schadstoffe gleichermaßen:

$$F_{\text{kanal,T}} = f_{\text{EW,d}} \cdot \text{EW} \cdot 365 \cdot (1 - \eta_{\text{VB}}) = f_{\text{EW,d}} \cdot (\text{E} + \text{EGW}) \cdot 365 \cdot (1 - \eta_{\text{VB}}) \quad [\text{kg/a}] \quad (4.13)$$

4.4.1.3 Berechnung der Emissionen infolge Niederschlagsabfluß

4.4.1.3.1 Vorberechnung

Bevor die Emissionen im nächsten Schritt berechnet werden können, muß zunächst das jährliche flächenspezifische Niederschlagsabflußvolumen $V_{\text{N,A}}$ ermittelt werden. Dies geschieht mit Hilfe der vorhandenen Regendaten:

$$V_{\text{N,A}} = 0,7 \cdot \frac{N_a \cdot 10.000}{1.000} = 0,7 \cdot 10 \cdot N_a \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{ha} \cdot \text{a}} \right] \quad (4.14)$$

Der Faktor 0,7 beruht auf der Annahme, daß nur ca. 70 % des jährlichen Niederschlagsvolumens von undurchlässigen Flächen abflußwirksam werden. Diese Annahme ist u.a. auch Bestandteil des ATV-Arbeitsblattes A 128 (1992).

4.4.1.3.2 Berechnung der Emissionen aus Regenauslässen im Trennsystem

Die Ermittlung der Emissionen aus Regenauslässen kann relativ einfach durchgeführt werden. Der Stoffabtrag von der Oberfläche F_a ergibt sich aus dem jährlichen flächenspezifischen Schmutzstoffabtrag von undurchlässigen Flächen infolge Niederschlagsabfluß f_a und der undurchlässigen Fläche A_U im Trennsystem:

$$F_a = f_a \cdot A_U \quad [\text{kg/a}] \quad (4.15)$$

Grundlage dieser Berechnungen sind die im Anhang A.2 dargestellten flächenspezifischen Schmutzstoffabträge f_a von unbefestigten Flächen infolge Niederschlagsabfluß. Existieren keine Regenklärbecken (RKB), so ist diese Fracht gleich der ins Gewässer eingetragenen Fracht. Für die Gebiete, in denen Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung im Trennsystem vorhanden sind, wurde die eingetragene Schmutzfracht mittels zweier weiterer Faktoren berechnet.

Zuerst wird der Anteil der über RKB entwässernden Fläche im Trennsystem abgeschätzt, der Parameter τ_{RKB} . Dies wird getan über das aus den statistischen Daten bekannte Volumen der RKB je Gemeinde, welches durch das durchschnittliche spezifische Beckenvolumen von $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ befestigte Einzugsfläche geteilt wird (ATV, 1994). Das Verhältnis dieser Fläche zur gesamten befestigten Fläche im Trennsystem ergibt τ_{RKB} :

$$\tau_{\text{RKB}} = \frac{A_{\text{red,Trenn,RKB}}}{A_{\text{red,Trenn}}} = \frac{V_{\text{RKB}}}{10 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{ha}_{\text{red}}} \right]} \quad (\leq 1) \quad [-] \quad (4.16)$$

Das über ein Regenklärbecken in das Gewässer gelangende Regenwasser erfährt nun eine Reinigung, die über einen Wirkungsgrad des RKB, η_{RKB} , quantifiziert wird. Die im Projekt verwendeten Wirkungsgrade sind im Anhang A.10 wiedergegeben. Der niederschlagsbedingte Schmutzstoffeintrag in das Gewässer über Regenauslässe $F_{e,N,\text{Trenn}}$ beträgt somit:

$$F_{e,N,\text{Trenn}} = F_{a,\text{Trenn}} \cdot ((1 - \tau_{\text{RKB}}) + (\tau_{\text{RKB}} \cdot (1 - \eta_{\text{RKB}}))) \quad [\text{kg/a}] \quad (4.17)$$

4.4.1.3.3 Berechnung der Emissionen aus Kanälen ohne Kläranlagenanschluß

Die Berechnung der Emissionen aus Kanälen ohne Kläranlagenanschluß erfolgt ähnlich wie bei der Trennkanalisation: Ist die undurchlässige Fläche von diesen Kanälen $A_{U,\text{Kanäle o. KA}}$ ermittelt, so ergibt sich der niederschlagsbedingte Schmutzstoffaustrag über Kanäle ohne Kläranlagenanschluß infolge Niederschlagsabfluß $F_{e,N,\text{Kanal o. KA}}$ zu:

$$F_{e,N,\text{Kanal o. KA}} = F_{a,\text{Kanal o. KA}} = f_a \cdot A_{U,\text{Kanal o. KA}} \quad [\text{kg/a}] \quad (4.18)$$

Der jährliche, flächenspezifische Schmutzstoffabtrag von undurchlässigen Flächen infolge Niederschlagsabfluß f_a entspricht wiederum den Werten aus dem Anhang A.2.

4.4.1.3.4 Berechnung der Emissionen aus Regenentlastungen im Mischsystem

Die Berechnung der Emissionen aus Regenentlastungen im Mischsystem ist etwas aufwendiger, auch hier ist die entsprechende undurchlässige Fläche $A_{U,Misch}$ zunächst zu ermitteln (s. Kapitel 4.2). Im zweiten Schritt wird die Entlastungsabflußkomponente e_V ermittelt, die sich aus der jährlichen auf den Kläranlagen mitbehandelten Regenwassermenge $V_{r,a}$, dem jährlichen, flächenspezifischen Niederschlagsvolumen $V_{N,A}$ und der undurchlässigen Fläche im Mischsystem $A_{U,Misch}$ ergibt:

$$e_V = 1 - \frac{V_{r,a}}{V_{N,A} \cdot A_{U,Misch}} \quad [-] \quad (4.19)$$

Bei größeren Kläranlagen, an die Flächen angeschlossen sind, die in mehreren Teilgebieten liegen, muß gegebenenfalls, sofern nicht mit den tatsächlichen Einzugsgebietsgrößen gerechnet werden kann, ein flächenproportionaler Volumenausgleich der auf der Kläranlage mitbehandelten Regenwassermenge zwischen den einzelnen Teilgebieten erfolgen. Dieser Effekt tritt auf, wenn Kläranlagen eine kurze Strecke stromabwärts dem Mündungsbereich von größeren Nebenflüssen liegen oder an Stellen, wo das Einzugsgebiet eines größeren Flusses entlang des Flusses in mehrere Teileinzugsgebiete unterteilt wurde. Die Emissionen aus Kläranlagenabläufen infolge Niederschlagsabfluß werden allerdings nicht flächenproportional verteilt, denn diese fallen tatsächlich nur an dem Standort der Kläranlage an.

Für die eigentliche Berechnung des Stoffeintrages wird aber nicht die Entlastungsabflußkomponente e_V benötigt, sondern die Entlastungsfrachtkomponente e_F , die alleinig als Funktion der Entlastungsabflußkomponente angenommen wird:

$$e_F = f(e_V) \quad [-] \quad (4.20)$$

Für die Ermittlung dieser Funktionen wurden verschiedene Schmutzfrachtsimulationen am Beispiel des Modellnetzes des ATV-Arbeitsblattes A 128 (1992) herangezogen. Dieses Kanalisationssystem ist repräsentativ für Kanalnetze in Deutschland. Eingangsgrößen der Schmutzfrachtsimulation waren dabei die flächenspezifischen Abtragspotentiale bzw. die einwohnerspezifischen Tagesfrachten, die auch Grundlage der anderen Berechnungen im Rahmen dieses Projektes sind.

Durch die Variation der Drosselabflüsse bzw. Beckenvolumina des Modellnetzes wurden verschiedene jährliche Entlastungsabflußkomponenten und die daraus resultierenden Entlastungsfrachtkomponenten e_F bezogen auf die flächenspezifischen Abtragspotentiale berechnet. Diese Ergebnisse dienen als Stützstellen für die Deduktion entsprechender stetiger, funktionaler Beziehungen. Aufgrund der Mitberücksichtigung der Schmutzwasserkomponente kann deshalb die Entlastungsfrachtkomponente auch einen Wert von mehr als 1,0 annehmen, d.h. dass die Entlastungsfracht größer sein kann als die von der Oberfläche abgetragene Fracht.

Die Funktion mußte für jeden Stoff getrennt festgestellt werden, da das Verhältnis der Eingangsgrößen „flächenspezifisches Abtragspotential“ und „einwohnerspezifische

Tagesfracht“ sowie die Verteilung auf die partikulären bzw. gelösten Anteile stoffspezifisch variieren. Die abgeleiteten Funktionen sind in Anhang A.8 wieder gegeben, zwei ausgewählte Funktionen zeigt Abbildung 4.5.

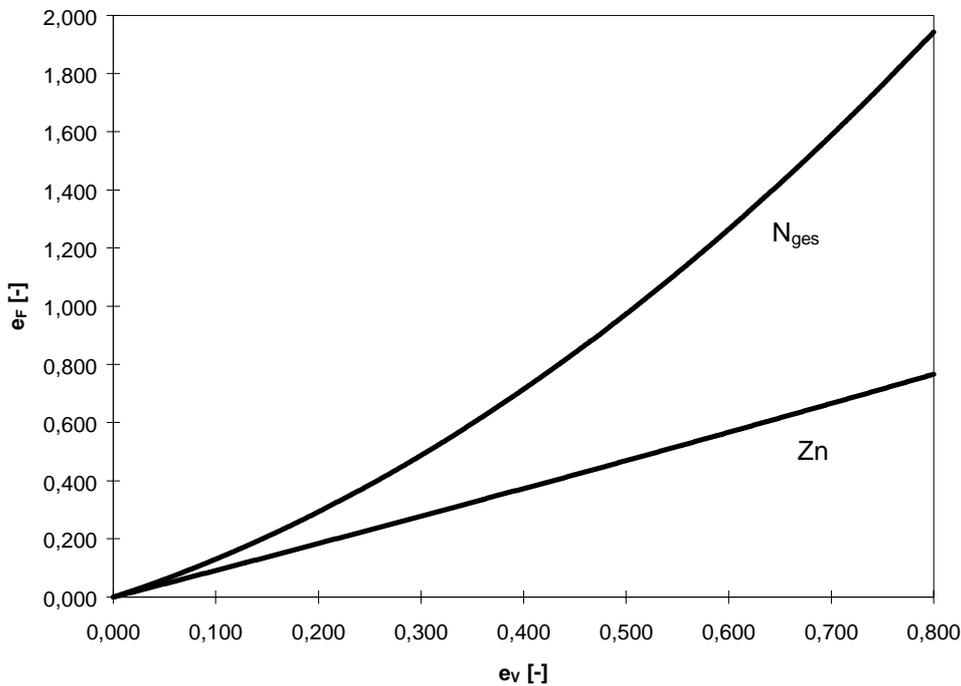


Abbildung 4.5: Zusammenhang zwischen e_v und e_F an den ausgewählten Beispielen N_{ges} und Zn.

Da diese Funktionen bereits die partikulär-gelöst Verteilung und einen teilweisen Stoffrückhalt durch Fangwirkung o.ä. beinhalten, erfolgt keine weitere Aufteilung der Formeln mehr in eine gelöste und partikuläre Komponente. Der jährliche niederschlagsbedingte Schmutzstoffaustrag über Entlastungen infolge Niederschlagsabfluß $F_{e,N,Entlastung}$ ergibt sich schließlich nach diesem Ansatz zu:

$$F_{e,N,Entlastung} = e_F \cdot F_{a,Misch} = e_F \cdot f_a \cdot A_{U,Misch} \quad [\text{kg/a}] \quad (4.21)$$

4.4.1.3.5 Berechnung der Emissionen aus Kläranlagen

Wenn die Datengrundlage es erlaubt, (i.d.R. bei den größeren Kläranlagen) werden die Nähr- und Zehrstoffemissionen infolge Niederschlagsabfluß analog zu Kapitel 4.4.1.2 über die Ablaufwerte C_k berechnet

$$F_{k,N} = V_{r,a} \cdot C_k \quad [\text{kg/a}] \quad (4.22)$$

Liegen für Stoffe keine Informationen über die ungefähren Ablaufkonzentrationen vor (was bei allen Kläranlagen bezüglich der Schwermetalle der Fall ist), ergibt sich der Schmutzstoffeintrag ins Gewässer infolge Niederschlagsabfluß $F_{k,N}$ aus dem jährlichen Oberflächenabtragspotential der an die Kläranlage angeschlossenen, im Mischsystem entwässerten Flächen $F_{a,Misch}$, der entlasteten Fracht $F_{e,N,Entlastung}$ und dem Wirkungsgrad der Kläranlage bei Regenwetter $\eta_{KA,r}$:

$$F_{k,N} = (F_{a,Misch} - F_{e,N,Entlastung}) \cdot (1 - \eta_{KA,r}) \quad [\text{kg/a}] \quad (4.23)$$

In Extremfällen, d.h. bei sehr hohen Entlastungsraten, kann es durch die Differenzbildung vorkommen, daß sich für $F_{k,N}$ ein negativer Wert einstellt, an der Richtigkeit der Gesamtbilanz ändert dieser Umstand allerdings nichts, da die für die Kläranlage berechnete Fracht nur um den Anteil des Schmutzwassers korrigiert wird, der entlastet worden ist. Ähnlich wie bei den Nähr- und Zehrstoffen muß auch hier darauf hingewiesen werden, daß zwar die Gesamtemissionen aus Kläranlagenabläufen ausreichend genau berechnet werden können, die Aufteilung nach Trockenwetter- und Regenwetterkomponente, die ebenfalls ausgewiesen wird, aber nur eine Näherung darstellt.

Der Wirkungsgrad der Kläranlage bei Regenwetter $\eta_{KA,r}$ wird aus dem Anteil partikulärer Stoffe berechnet und ergibt sich in Abhängigkeit vom Reinigungsverfahren wie folgt:

$$\eta_{KA,r} = 1,0 \cdot x_{KA,r} \quad \text{für Belebungsanlagen} \quad [-] \quad (4.24)$$

$$\eta_{KA,r} = 0,9 \cdot x_{KA,r} \quad \text{für sonstige Anlagen} \quad [-] \quad (4.25)$$

Der Faktor 0,9 ergibt sich aus der Überlegung, daß ca. 90 % der im Regenwasseranteil vorhanden Partikel größer sind als 10 μm . Partikel mit einer geringeren Größe setzen sich nicht mehr oder nur noch sehr schwer ab. Bei Belebungsanlagen wurde der Faktor 1,0 gewählt, da hier noch ein gewisser Teil an Schmutzstoffen bzw. Schadstoffen biologisch fixiert wird. Aus Vereinfachungsgründen wird der partikuläre Anteil im Zulauf zur Kläranlage $x_{KA,r}$ gleich dem partikulären Anteil im Regenwetterabfluß x_r gesetzt. Dies ist zwar nicht ganz korrekt, da durch den partikulären Stoffrückhalt in den Speicherbauwerken der partikuläre Anteil etwas ansteigen dürfte, die daraus resultierende Ungenauigkeit ist aber im Vergleich zu der in den sonstigen getroffenen Annahmen gering. Die einer Literaturrecherche entstammenden Werte für den partikulären Anteil der Stoffe im Regenwetterabfluß sind in Anhang A.12 dargestellt.

4.4.2 Diffuse Eintragspfade

Einen Schwerpunkt des Fachgespräches zum Verbundprojekt bildete der Diskussionsbedarf, der sich für die Abschätzung diffuser Emissionen bei der Projektbearbeitung herausstellte. Dabei ergaben sich folgende Erkenntnisse im Rahmen der Kurzstatements und anschließenden Diskussionen.

Der methodische Ansatz, die Emissionen diffuser Stoffeinträge über flächenspezifischen Abtragspotentiale zu ermitteln, stammt ursprünglich aus der Siedlungswasserwirtschaft und ist für die Übertragung auf landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Flächen zu hinterfragen. Derzeit ist das Prozeßverständnis für die Erosionsvorgänge und die sie beeinflussenden Faktoren noch nicht ausreichend für robuste Bilanzierungsansätze oder aussagekräftige Modellansätze für die Abschätzung der jährlichen diffusen Emission in makroskaligen Gebieten. Da die immissionsseitige Frachtschätzung zwar mit geringeren Unsicherheiten behaftet ist, die Retention- und Transformationsprozesse der einzelnen Stoffe jedoch zur Zeit noch kaum quantitativ abschätzbar sind, sollten die diffusen

Emissionen nicht aus der Differenz der Summe der Emissionen aus Punktquellen und der Summe der Immissionen und der Retention/Transformation abgeleitet werden.

Für das Projekt wurde deshalb beschlossen, die diffusen Emissionen mit sehr groben Methoden abzuschätzen und die Summe der Emissionen dann nur zur Prüfung der Plausibilität den Immissionen gegenüber zu stellen.

Nährstoffe

Die Berechnung der Nährstoffeinträge erfolgt bei den diffusen Quellen über die Fläche der jeweiligen Nutzungsklasse im betrachteten Teilgebiet A_i und ein spezifisches Stoffeintragungspotential $f_{i,diffus}$. Die Emissionen ergeben sich dann zu:

$$F_{diffus} = \sum_{i=1}^n f_{i,diffus} \cdot A_i \quad [\text{kg/a}] \quad (4.26)$$

Der Parameter $f_{i,diffus}$ ist dabei der flächenspezifische Stoffeintrag, umfaßt also die Emissionen über Bodenerosion, durch Oberflächenabfluß, aus Dränagen, sowie die Auswaschung über den Zwischen- und Basisabfluß. Die verwendeten Werte sind im Anhang A.3 aufgelistet.

Stoffeintragungspotentiale für nicht-urbane Flächen finden sich in der Literatur nur für Nährstoffe, jedoch nicht für den CSB, da im Hinblick auf die Gewässer und Flachmeere die Nährstoffe aufgrund ihres Eutrophierungspotentials von übergeordneter Bedeutung sind. Auch in der Landwirtschaft hat dieser Parameter keine Bedeutung. Für den Parameter CSB konnten somit keine Stoffeintragungspotentiale festgelegt werden. Eine Abschätzung der diffusen CSB Einträge konnte nicht durchgeführt werden.

Schwermetalle

Aufgrund der geringen Anzahl der in der Literatur gefundenen Werte für flächenspezifische Schwermetalleintragspotentiale und die große Schwankungsbreite diese Werte sowie die meist fehlenden Angaben zu den untersuchten Eintragungspfaden (Oberflächen-, Zwischen- und Basisabfluß), wird vom diffusen Stoffeintrag der Schwermetalle nur die Erosion mit dem Boden betrachtet.

Die Abschätzung der Emissionsfrachten (F_{diffus}) erfolgt über den flächenspezifischen Bodenabtrag (AT), dem Stoffgehalt der jeweiligen Schwermetalle im Oberboden ($C_{i,Boden}$), der Abtragsfläche (A_{Acker}) und dem Anteil (f) des erodierten Materials, der tatsächlich ins Gewässer gelangt. Aufgrund des bevorzugten Transportes kleiner Partikelgrößen, die vermehrt Stoffe adsorbieren, kommt es im Laufe des Transportes von Bodenmaterial zu einer Anreicherung der feinen Partikelfractionen und damit zu einem Ansteigen der Stoffgehalte im transportierten Boden. Daher ist für die Quantifizierung zudem ein Anreicherungsfaktor (ER) notwendig. Die Daten wurden entsprechend der in Kapitel 4.2 dargestellten Verfahrensweisen ermittelt, die Frachtschätzungsformel lautet:

$$F_{diffus} = A_{Acker} \cdot AT \cdot C_{i,Boden} \cdot f \cdot ER \quad [\text{kg/a}] \quad (4.27)$$

Untersuchungen zum Oberflächenabfluß und Bodenabtrag zeigen für Wald- und Grünlandflächen ein wesentlich geringeres Eintragungspotential gegenüber Ackerflächen. WERNER et al. (1991) geht von einer 45-fachen höheren Schutzwirkung von Wald- und Grünlandflächen aus. Untersuchungen von DIKAU (1986) im Neckareinzugsgebiet im Übergangsbereich Kraichgau-Odenwald ergaben für Bodenabtragungsmessungen auf Grünland keine Erosion infolge von Niederschlagsabfluß, ebenso traten bei Messungen auf Nadelwaldflächen keine Bodenverluste durch Erosion auf. Diese Ergebnisse bestätigen Arbeiten von PREUSS (1977) für Grünland sowie von BLESSING und BÄUMLER (1995) für Waldökosysteme. Somit erscheint der Anteil von Schwermetalleinträgen über oberflächliche Erosionsprozesse für diese Flächennutzungen vernachlässigbar, sie wurde nur für Ackerflächen berechnet.

Der Faktor f reduziert die vom Acker abgetragene Bodenfracht um den Anteil, der entweder nur von einer Parzelle auf eine andere umgelagert oder von Gewässerrandstreifen abgefangen wird, und somit nicht in das Gewässer gelangt.

Nach UEBE (1998) ergaben Untersuchungen im Einzugsgebiet der Erpe, einem Gewässer in der Norddeutschen Tiefebene, daß ca. 1,1 % des Bodenabtrages von erosiven, landwirtschaftlich genutzten Standorten im Gewässer gefunden werden kann. HUBER ET AL. (1998) schätzen auf der Basis ihrer Ergebnisse den Anteil der als eintragsgefährdet eingestuften Flächen an dem gesamten Einzugsgebiet für 8 Mittelgebirgs- und 12 Flachlandeinzugsgebiete ab. Die Zahlenwerte für die Mittelgebirgsgebiete schwanken dabei zwischen 11 % und 54 %, der Mittelwert betrug ca. 30 %. Dies ist ca. das vier- bis fünffache des Mittelwertes der Testgebiete im Tiefland (darunter auch die Erpe).

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde der Faktor f für die Testgebiete dieses Projektes zu 5 % angesetzt (was dem vier- bis fünffachen von 1,1 % entspricht). Darüber hinaus wurden die Berechnungen für das Gebiet der hessischen Lahn zusätzlich mit einem Faktor $f = 10$ % durchgeführt.

4.5 BERECHNUNGSANSÄTZE - SZENARIO „STAND DER TECHNIK“

4.5.1 Einleitung

Die Erarbeitung eines Modells zur Ermittlung der (vor allem) punktförmigen Emissionsfrachten und der Hochrechnung dieser auf Flußeinzugsgebiete war maßgebende Aufgabenstellung dieses Forschungsvorhabens. Damit wurde der „Ist-Zustand“, der Status Quo, dokumentiert. Des weiteren sollte ein Instrumentarium entwickelt werden, mit dessen Hilfe eine Abschätzung der Emissionsverringering infolge siedlungswasserwirtschaftlicher Maßnahmen möglich ist.

Bezüglich dieser Aufgabe wurden für die Erweiterung des Modells die nachfolgend genannten drei Szenarien definiert, deren Festlegung sich durch die derzeit diskutierten Ansätze siedlungswasserwirtschaftlicher Maßnahmen zur Verringerung städtischer Stoffemissionen ergab.

- Szenario „Stand der Technik“ (SdT)
- Szenario „Städtebauliche Maßnahmen zur Emissionsverminderung“
- Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen zur Emissionsverminderung“

Für jedes dieser Szenarien wurden erweiterte Berechnungsansätze entwickelt, mit deren Hilfe die veränderten Emissionen abgeschätzt wurden.

4.5.2 Szenario „Stand der Technik“

Die zu den beiden Flußeinzugsgebieten durchgeführten Datenrecherchen zeigen, daß in manchen Bereichen im Bilanzjahr 1995 noch erhebliche Defizite im siedlungswasserwirtschaftlichen Bereich vorlagen.

Es wurde aus diesem Grund ein Szenario „Stand der Technik“ definiert, das die Veränderung der Emissionen aus städtisch befestigten Flächen aufgrund der Umsetzung folgender Verbesserungsmaßnahmen bzw. der Aufhebung entsprechender Vollzugsdefizite aufzeigen soll:

- Die Kanalisationen, die noch an keine Kläranlage angeschlossen sind, werden an eine Kläranlage angeschlossen.
- Veraltete Kläranlagen (z.B. die noch vorhandenen mechanischen Anlagen) bzw. Kläranlagen, die den heutigen Anforderungen nicht mehr genügen, werden außer Betrieb genommen oder dem Stand der Technik entsprechend aufgerüstet. Im ersten Fall werden die Belastungen dieser Anlagen auf die restlichen, moderneren Kläranlagen im jeweiligen Gebiet verteilt.
- Die Regenwasserbehandlung wird auf 100 % ausgebaut. Dazu wurde die zulässige Entlastungsabflußkomponente e_0 mit Hilfe des ATV-Arbeitsblattes A 128 (ATV, 1992) näherungsweise abgeschätzt. Dieser Wert wurde mit dem im „Ist-Zustand“ ermittelten verglichen, der jeweils niedrigere - also bessere - ging in die Berechnungen des „Standes der Technik“ ein.

Damit kein Fehler in der Gesamtbilanz auftritt wird bei der Bilanzierung der Emissionen aus Kläranlagenabläufen entsprechend berücksichtigt, daß durch den Anschluß weiterer Kanäle und gegebenenfalls der Realisierung von neuem Beckenvolumen die zukünftig auf den Kläranlagen mitzubehandelnde Abwassermenge ansteigen wird.

Aufgrund der abweichenden Datengrundlage wurde im Gebiet des Neckars bezüglich der Kläranlagenabläufe eine leicht veränderte Vorgehensweise eingeschlagen. Hier wurden die Ablaufkonzentrationen von P_{ges} , N_{ges} und CSB von Kläranlagen über 5.000 EW, welche im GIS digitalisiert vorlagen, auf aktuelle Vorgaben korrigiert und mit den integrierten Frachten der Wassereinzugsgebiete aus dem „Ist-Zustand“ verglichen, wobei die Emissionen der Kläranlagen unter 5.000 EW als Block bestehen blieben. Durch die Teilweise nur geringen Abminderungen und die starke Aggregation beider Datensätze war das Ergebnis nicht immer positiv, so daß - ähnlich der Veränderungen bei den Mischwasserentlastungen - der jeweils günstigere Wert in den „Stand der Technik“ einfloß.

Ansonsten erfolgt die Abschätzung der Emissionen aus punktförmigen Quellen infolge Niederschlagsabfluß analog zur Berechnung des „Ist-Zustandes“, das heißt alle übrigen Ausgangsdaten, wie z.B. Gebäude- und Freiflächen, sind mit den bisher verwendeten Daten identisch.

4.6 BERECHNUNGSANSÄTZE - SZENARIO „STÄDTEBAULICHE MASSNAHMEN“

Von der Kaiserslauterner Arbeitsgruppe wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes ein Szenario entwickelt, das die Auswirkungen von städtebaulichen Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung auf die niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen befestigten Flächen grob abschätzen soll.

4.6.1.1 *Einleitung*

Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung gehen häufig damit einher, daß sich die an die Kanalisation angeschlossene, undurchlässige Fläche vermindert. Die abzuleitende und im Mischsystem entlastete Niederschlagsabflußmenge wird somit reduziert. Die Flächen, von denen kein Niederschlagsabfluß mehr in das Kanalsystem gelangt, werden oft auch als „abgekoppelte Flächen“ bezeichnet. Das Abkoppelungspotential ist somit der prozentuale Anteil der Fläche, deren Niederschlagsabfluß aufgrund von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen von der Kanalisation ferngehalten werden kann, an der ursprünglich angeschlossenen, undurchlässigen Fläche.

Es gibt zahlreiche Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung, sie lassen sich unter den folgenden Begriffen zusammenfassen:

- Abflußvermeidung
- Regenwassernutzung
- Regenwasserversickerung
- oberflächige Ableitung

Abflußvermeidung kann durch die Reduzierung des Versiegelungsgrades in Neubaugebieten auf ein Minimum oder aber in Bestandsgebieten durch Entsiegelungs- bzw. Belagänderungsmaßnahmen erfolgen, z.B. durch das Verlegen von Rasengittersteinen statt Asphalt auf Park- und Stellplätzen. Maßnahmen der Fassaden- und Dachbegrünung können ebenfalls abflußvermeidend bzw. -dämpfend wirken. Es gibt zahlreiche Möglichkeiten zur Entsiegelung bzw. Minimierung von befestigten Flächen. Häufig gibt es jedoch erhebliche Probleme bei der Umsetzung dieser Maßnahmen.

Die **Regenwassernutzung** dient hauptsächlich zur Einsparung von Trinkwasser, z.B. durch Substitution des Trinkwassers zur Gartenbewässerung oder im Haushalt (Toilettenspülung). Durch diese Maßnahme kommt es zwar zu einem insgesamt geringeren Anfall an Regenwasser in der Kanalisation, die für die Bemessung wichtigen und für das Entlastungsgeschehen ausschlaggebenden Mischwasserspitzen können jedoch oft nicht reduziert

werden. Grund dafür ist die Tatsache, daß die Regenwasserspeicher in der Regel genau dann überlaufen, wenn auch die Kanalisation ihre Höchstbelastung erhält.

Durch Maßnahmen der **Regenwasserversickerung** wird das Niederschlagswasser von der Kanalisation ferngehalten und im jeweiligen Gebiet der Versickerung zugeführt. Durch Regenwasserversickerung können sich erhebliche Abkoppelungspotentiale ergeben, die laut BMBau (1997) bis zu 90 % betragen können. Mit der Umsetzung dieser Maßnahmen kommt man den natürlichen Verhältnissen, d.h. dem weitgehenden Rückhalt des Niederschlages im Gebiet, am nächsten. Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Versickerungsmaßnahmen, z.B. Flächen- oder Muldenversickerung, die hier nicht näher beschrieben werden, da sie für die weiteren Betrachtungen ohne Bedeutung sind.

Eine Voraussetzung für die **oberflächige Ableitung** des Niederschlagsabfluß in offenen Mulden, Rinnen oder Gräben ist die Nähe eines Fließgewässers. In Ausnahmefällen kann nach einer oberflächigen Ableitung auch eine Ableitung in geschlossenen unterirdischen Kanälen erfolgen. Durch die Ableitung an der Oberfläche kommt es zu einer teilweisen Retention, Verdunstung und Versickerung des Niederschlagsabfluß. Nachteil dieser Ableitungsform ist u.a. der größere Flächenbedarf im Vergleich zur unterirdischen Ableitung. Maßnahmen der oberflächigen Ableitung und der Versickerung können auch miteinander kombiniert werden.

Die nachfolgend beschriebenen Ansätze beruhen vor allem auf Untersuchungen, die in den letzten Jahren am Fachgebiet für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Kaiserslautern, durchgeführt wurden (KLEPISZEWSKI, 1997; LEINWEBER und SCHMITT, 1998; WELKER et al., 1998).

4.6.1.2 *Ermittlung des abkoppelbaren Potentials*

Aufgrund der großräumigen Betrachtung ganzer Flußeinzugsgebiete kann in diesem Szenario keine detaillierte Berücksichtigung bzw. Ausarbeitung verschiedenen Maßnahmen erfolgen, zumal keine genauen Informationen zur Verfügung stehen, um die einzelnen Teilmaßnahmen, z.B. Versickerung, in den einzelnen Einzugsgebieten planen zu können. Die nachfolgend angegebenen Abkoppelungspotentiale sind als ein Ergebnis verschiedener, nicht näher beschriebener, Maßnahmen zu verstehen, die von Teilgebiet zu Teilgebiet unterschiedlich ausfallen können. Die Ergebnisse dieser Modellanwendung verstehen sich demnach auch nur als ein ungefährender Anhaltspunkt für eine mögliche Emissionsverminderung durch städtebauliche Maßnahmen.

In dem **Szenario „Städtebauliche Maßnahmen zur Emissionsverminderung“** sollen drei Teilszenarien betrachtet werden:

Das **Teilszenario Minimum** berücksichtigt die Flächen, die auch in einem ungünstigen Fall abgekoppelt werden können; es bleiben also Flächen unberücksichtigt, die aufgrund der örtlichen Umstände (Topographie, Freiflächenverfügbarkeit etc.) bzw. des möglichen Widerstandes der Bevölkerung bei der Umsetzung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen nicht verwendet werden können.

Im **Teilszenario Maximum** wird die weitgehende Umsetzung der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen angenommen. Dabei wird allerdings auch berücksichtigt, daß es in den Bestandsgebieten nicht immer möglich sein wird, alle Flächen abzukoppeln, z.B. Flächen im Ortskern. Die Wahrscheinlichkeit einer flächendeckenden Realisierung dieses Teilszenariums auch in Zukunft ist als sehr gering einzustufen.

Das **Teilszenario Mittel** ist, wie der Name schon ausdrückt, ein Mittelweg zwischen den Teilszenarien Minimum und Maximum.

Ausgangspunkt für die Ermittlung der abkoppelbaren Fläche im Rahmen dieses Szenariums ist die Arbeit von LEINWEBER und SCHMITT (1998). Ihre Untersuchungen in drei ländlichen Gemeinden (ca. 25 E/ha) in Rheinland-Pfalz ergaben ein durchschnittliches Abkoppelungspotential für das Szenario Real, das etwa vergleichbar ist mit dem hier verwendeten Teilszenario Minimum, von 35 %, für das Szenario „differenzierte Flächenbetrachtung“ (entspricht in etwa dem Teilszenario Mittel) von 58 % und für das Szenario Utopie (vergleichbar mit dem Teilszenario Maximum) von 80 %. Für einen Dortmunder Stadtteil (ca. 65 E/ha) wurde nach STECKER et al. (1996) ein Abkoppelungspotential von 42 % ermittelt. Die untere Grenze für dichter besiedelte Gebiete, bei denen eine Versickerung bzw. offene Ableitung nicht mehr oder nur sehr begrenzt möglich ist, bildet das Abkoppelungspotential, das sich durch Maßnahmen der Abflußvermeidung, d.h. durch Entsigelung und Belagänderung, ergibt und mit bis zu 10 % (BMBau, 1988; UMWELTBUNDESAMT, 1994) angesetzt werden kann. Die höheren Abkoppelungspotentiale in den ländlichen Gebieten sind v.a. darauf zurückzuführen, daß die Freiflächenverfügbarkeit dort größer ist und die Wege zum nächsten Gewässer meist kürzer sind.

Auf der Basis dieser Werte wird für das Szenario „Städtebauliche Maßnahmen zur Emissionsverminderung“ die Abschätzung des Abkoppelungspotentials AKP [-] über einen funktionalen Zusammenhang mit der Einwohnerdichte ED [E/ha] durchgeführt. Es wurden die folgenden Berechnungsformeln gewählt:

$$\text{Szenario Minimum: } \text{AKP}_{\min.} = 0,30 - \frac{(ED - 25) \cdot 0,30}{80 - 25} \geq 0 \quad [-] \quad (4.28)$$

$$\text{Szenario Mittel: } \text{AKP}_{\text{mittel}} = 0,55 - \frac{(ED - 25) \cdot 0,55}{90 - 25} \geq 0 \quad [-] \quad (4.29)$$

$$\text{Szenario Maximum: } \text{AKP}_{\max.} = 0,80 - (ED - 25) \cdot 0,01 \geq 0 \quad [-] \quad (4.30)$$

Die Anwendungsgrenzen bilden nach oben die Werte für eine Einwohnerdichte von 25 E/ha, da ein flächendeckende Abkoppelung von mehr als 80 % selbst im ländlichen Raum als zu optimistisch angesehen werden muß. Nach unten wird das Abkoppelungspotential abgegrenzt für eine Einwohnerdichte von 95 E/ha. Auf der Basis dieser Ansätze ergeben sich in Abhängigkeit von der Einwohnerdichte die in Tabelle 4.8 aufgeführten Abkoppelungspotentiale.

Tabelle 4.8: Angenommene Abkoppelungspotentiale (in Abhängigkeit von der Einwohnerdichte)

Einwohnerdichte [E/ha]	Szenario Maximum	Szenario Mittel	Szenario Minimum
≤ 25	80	55	30
30	75	51	27
35	70	47	25
40	65	42	22
45	60	38	19
50	55	34	16
55	50	30	14
60	45	25	11
65	40	21	8
70	35	17	5
75	30	13	3
80	25	8	0
85	20	4	0
90	15	0	0
≥ 95	10	0	0

Mit dem berechneten Abkoppelungspotential AKP und der bestehenden („alten“) undurchlässigen Fläche $A_{u,alt}$ kann nun die neue undurchlässige Fläche $A_{u,neu}$ wie folgt ermittelt werden:

$$A_{u,neu} = A_{u,alt} \cdot (1 - AKP) \quad [\text{ha}] \quad (4.31)$$

4.6.1.3 Ermittlung der Emissionsverminderung

Ausgangsbasis für das Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ ist ein leicht abgeändertes Szenario „Stand der Technik“. Vollzugsdefizite aufgrund des ATV-Arbeitsblattes A 128 bleiben unberücksichtigt, allerdings werden Kanäle ohne Kläranlagenanschluß an fiktive Kläranlagen angeschlossen und veraltete Kläranlagen (z.B. mechanische Anlagen) durch neuere Abwasserreinigungsanlagen ersetzt. Die Wahl des Ist-Zustandes im Bilanzjahr 1995 als Grundlage der Modellanwendung wurde verworfen, da eine umfangreiche Realisierung städtebaulicher Maßnahmen bei gleichzeitiger Beibehaltung der vorhandenen Defizite im Bereich Kläranlagenausbau ein unrealistisches Szenario liefern würde.

Die eigentliche Frachtermittlung für das Szenario erfolgt analog zu den im Kapitel 4.4 aufgeführten Berechnungsansätzen. Sollte sich aufgrund der Flächenabkoppelung eine negative Entlastungsabflußkomponente e_v ergeben, d.h. findet keine Entlastung mehr statt, so wird die auf der Kläranlage behandelte Jahresregenwettermenge $V_{r,a}$ so lange reduziert bis e_v gleich Null ist.

Durch die Abkoppelung von meist unbelasteten oder weniger belasteten Flächen steigt der jährliche flächenspezifischen Schmutzstoffabtrag der verbleibenden undurchlässigen Fläche infolge Niederschlagsabfluß f_a an. Dieser Umstand wird in der Modellanwendung dadurch berücksichtigt, daß ein neuer jährlicher flächenspezifischen Schmutzstoffabtrag $f_{a,neu}$ für die verbliebene Restfläche berechnet wird:

$$f_{a,neu} = \rho \cdot f_{a,alt} \quad [\text{kg}/(\text{ha} \cdot \text{a})] \quad (4.32)$$

Der Faktor ρ , „zuständig“ für den Anstieg des Schmutzstoffabtragungspotentials, ist dabei von Parameter zu Parameter unterschiedlich und wird als Funktion des Abkoppelungspotentials AKP angenommen:

$$\rho_{P_{ges}} = 2,0110 \cdot AKP^2 + 0,0804 \cdot AKP + 1 \quad [-] \quad (4.33)$$

$$\rho_{N_{ges}} = 1,0 \quad [-] \quad (4.34)$$

$$\rho_{CSB} = 1,2466 \cdot AKP^2 + 0,0247 \cdot AKP + 1 \quad [-] \quad (4.35)$$

$$\rho_{Cd} = 1,7608 \cdot AKP^2 + 0,0520 \cdot AKP + 1 \quad [-] \quad (4.36)$$

$$\rho_{Zn} = 2,3351 \cdot AKP^2 + 0,1006 \cdot AKP + 1 \quad [-] \quad (4.37)$$

$$\rho_{Cu} = 0,6264 \cdot AKP^2 + 0,0333 \cdot AKP + 1 \quad [-] \quad (4.38)$$

$$\rho_{Pb} = 0,7438 \cdot AKP^2 + 0,0161 \cdot AKP + 1 \quad [-] \quad (4.39)$$

$$\rho_{Cr} = 2,1203 \cdot AKP^2 + 0,1332 \cdot AKP + 1 \quad [-] \quad (4.40)$$

$$\rho_{Ni} = 2,2277 \cdot AKP^2 + 0,1169 \cdot AKP + 1 \quad [-] \quad (4.41)$$

Ausgangspunkt dieser Funktionen ist die Diplomarbeit von KLEPISZEWSKI (1997). In dieser Arbeit wurde mit Hilfe einer Auswertung der Flächenaufteilung verschiedener Gebiete ein fiktives, aber repräsentatives Einzugsgebiet aufgestellt. Auf der Basis dieser Flächenverteilung wurde anschließend für verschiedene Abkoppelungsvarianten die jeweiligen Schmutzstoffabtragungspotentiale ermittelt. Die in der Arbeit ermittelten Potentialänderungen flossen bei der Erstellung dieses Szenariums wie folgt ein:

Die Potentiale wurden für die Ermittlung des Faktors ρ zunächst normiert und anschließend durch eine polynomische Regressionsfunktion zweiten Grades angenähert. Die Funktionen der Faktoren für N_{ges} , CSB, Cu und Pb basieren dabei unmittelbar auf den in der Arbeit von KLEPISZEWSKI ermittelten Abtragungspotentialen. Die Gleichungen der Faktoren für Cd und Zn wurden auf ähnliche Art und Weise mit Hilfe angenommener Konzentrationen in den jeweiligen Teilabflüssen (Dach- bzw. Hofflächenabfluß) ermittelt. Diese Werte stammen aus den Untersuchungen von XANTHOPOULOS et al. (1993), die in der Waldstadt in Karlsruhe im Rahmen der Phase II des Projektes NIEDERSCHLAG durchgeführt wurden. Die Grundlagen der Gleichung für die Faktoren für Cr wurden mit Hilfe auf verschiedener Literaturquellen festgelegt und die Gleichungen für P_{ges} und Ni mußten mangels Informationen abgeschätzt werden.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß die Formeln den Anstieg des Schmutzstoffpotentials nur näherungsweise angeben und nicht etwa, wie vielleicht die äußere Form der Gleichungen vermuten läßt, eine genaue Entwicklung.

Auf der Basis dieser neuen Werte kann, wie bereits erwähnt, die Berechnung der Emissionen aus den Kläranlagenabläufen, Entlastungen und Regenauslässen infolge Niederschlagsabfluß analog zu den früheren Berechnungen erfolgen.

Das Frachtpotential der Flächen, die von der Kanalisation abgekoppelt werden, gelangt zwar nicht mehr in die Kanalisation bzw. Kläranlage, jedoch kann ein Teil dieses Potentials durchaus zu einer Gewässerbelastung führen, z.B. wenn die Entwässerung dieser Flächen über eine offene Ableitung mit anschließender Gewässereinleitung erfolgt.

Aus diesem Grund muß für die Gesamtbilanz dieser neue Eintragsweg berücksichtigt werden, andernfalls würde das Ausmaß der Emissionsverminderung durch städtebauliche Maßnahmen überschätzt.

Das Frachtpotential dieser Flächen berechnet sich aus dem Frachtpotential der ursprünglichen Gesamtfläche $F_{a,alt}$ abzüglich des Potentials der neuen Flächen $F_{a,neu}$ zu:

$$F_{a,abgekoppelt} = F_{a,alt} - F_{a,neu} = f_{a,alt} \cdot A_{U,alt} - f_{a,neu} \cdot A_{U,neu} \quad [\text{kg/a}] \quad (4.42)$$

Der sich aus diesem Potential ergebende niederschlagsbedingte Schmutzstoffeintrag in das Gewässer $F_{e,N,abgekoppelt}$ beträgt somit:

$$F_{e,N,abgekoppelt} = F_{a,abgekoppelt} \cdot (1 - \mu_{abgekoppelt}) \quad [\text{kg/a}] \quad (4.43)$$

$$\text{mit: } 0 \leq \mu_{abgekoppelt} \leq 1 \quad [-] \quad (4.44)$$

Der Grad des Stoffrückhaltes im abgekoppelten Gebiet $\mu_{abgekoppelt}$ läßt sich nicht abschätzen, da im Rahmen dieses Forschungsprojektes keine Einzelmaßnahmen in den jeweiligen Gebieten geplant werden können.

Der Grad wird deshalb per Definition einen Wert von 1 annehmen, wenn es gelingt, den gesamten Niederschlagsabfluß der abgekoppelten Flächen zu versickern bzw. auf einem anderen Weg komplett im Teilgebiet zurückzuhalten. Der Faktor 1 soll aber nicht signalisieren, daß es dadurch zu keiner Gewässerbelastung aus diesen Flächen mehr kommen kann, denn trotz der Abbauvorgänge und dem Rückhaltepotentials des Bodens, kann über kurz oder lang ein Teil der versickerten Fracht über das Grundwasser indirekt in ein Gewässer im Einzugsgebiet gelangen. Diese komplexen Vorgänge können allerdings in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt werden.

Die untere Grenze bildet ein Wirkungsgrad von 0; dies entspricht dem Fall, daß der gesamte Niederschlagsabfluß einer abgekoppelten Fläche direkt über eine offene Ableitung in ein sehr nahe gelegenes Gewässer eingeleitet wird (wie in einer Art Trennsystem). In diesem Fall wird Versickerung während der Fließzeit die Fracht nur unwesentlich vermindern. Dies soll aber nicht heißen, daß die offene Ableitung als von vornherein ungünstig eingeschätzt wird, denn in einem topographisch und geologisch günstigen Gebiet wird der Wirkungsgrad sehr viel höher sein, wenn er auch vermutlich nie einen Wert von 1 annehmen wird. Darüber hinaus können im realen Fall auch Fragen der Gestaltung/Ästhetik eine Rolle in der Entscheidungsfindung spielen.

Die beiden Wirkungsgrade 0 und 1 sind Extremwerte, die die Bandbreite der möglichen Ergebnisse angeben. Die Wahl von Zwischenwerten läßt es zu, einen Art „Break-even-point“ zu ermitteln, d.h. den Punkt, bei dem die Summe aller Gewässereinträge aus dem Abkoppelungsszenarium niedriger ist als die Summe aller Einträge aus dem Ausgangsszenarium. Dieser Wert gibt dann gleichzeitig an, welcher Anteil des Niederschlagsabflusses

der abgekoppelten Flächen im Teilgebiet zurückgehalten werden muß, damit es zu einer Emissionsverminderung durch die Abkoppelungsmaßnahmen kommt.

4.7 BERECHNUNGSANSÄTZE -

SZENARIO „VERFAHRENSTECHNISCHE MASSNAHMEN“

Von der Karlsruher Arbeitsgruppe wurde das im folgenden beschriebene Szenario zu „Verfahrenstechnischen Maßnahmen der Regenwasserbehandlung zur Emissionsverminderung“ entwickelt, welches die im Projektauftrag geforderte Bilanzierung von Schmutzstoffen vor dem Hintergrund der Einsatzmöglichkeiten von Verfahren zur Regenwasserbehandlung ermöglicht.

4.7.1 Einleitung

In der Regenwasserbehandlung lassen sich die konventionellen mechanisch-physikalischen Verfahren, bspw. Speicherung und Sedimentation, von weitergehenden Verfahren unterscheiden, in denen auch physikalisch-chemische und biochemische Prozesse zum Tragen kommen. Erstgenannte werden vorwiegend in Stauraumkanälen, Regenrückhaltebecken, Regenüberlaufbecken (RÜB) und Regenklärbecken (RKB) angewendet, weitergehende Verfahren bei der Fällung/Flockung oder dem Einsatz von Bodenfiltern. Die Verfahren reduzieren die entlasteten Stofffrachten (Bodenfilter führen zusätzlich zu einer Verminderung der hydraulischen Belastung) und dienen damit dem Ziel eines vorsorgenden Gewässerschutzes.

Die gebräuchlichsten Anlagen zur Regenwasserbehandlung lassen sich nach siedlungswasserwirtschaftlichen Aspekten entsprechend dem Kanalisationstyp unterscheiden: In der Trennkanalisation kommen Regenklärbecken (RKB), in der Mischkanalisation Regenüberlaufbecken (RÜB) zum Einsatz. In Abhängigkeit von der Topologie des Einzugsgebietes und den Fließzeiten des Niederschlagsabflusses zum RÜB werden diese als Durchlaufbecken (DB) oder Fangbecken (FB) ausgebildet, selten auch als Verbundbecken.

Das Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ läßt sich in drei Teilszenarien unterteilen, die nachfolgend beschrieben sind. Die beiden Teilszenarien, die für eine Erweiterung des Frachtschätzungsmodells für punktförmige Emissionen hinreichend quantifiziert werden konnten (Teilszenario „Fällung/Flockung“ und „Bodenfilter“), wurden in ihrer Auswirkung auf die emittierte Schutzfracht unabhängig voneinander untersucht. Ein Teilszenario („Kanalnetzsteuerung“) kann lediglich vorgestellt und kurz diskutiert werden, eine Umsetzung als weiterer Teil der Berechnungsformeln war nicht möglich.

4.7.2 Fällung/Flockung

Dieses Teilszenario befaßt sich mit den Auswirkungen eines Einsatzes von Anlagen zur Fällung/Flockung in Regenbecken. Untersuchungen zur weitergehenden Regenwasserbehandlung mittels Fällung/Flockung wurden in urbanen Gebieten für die Trennkanalisation

in Berlin (HEINZMANN, 1993) und in Karlsruhe (PFEIFER und HAHN, 1994; PFEIFER, 1998) sowie für die Mischkanalisation in Bremen (WEYAND und ILCHMANN, 1992) durchgeführt. Darüber hinaus liegen für die weitergehende Regenwasserbehandlung durch Fällung/Flockung nur wenige Erfahrungen vor, was vor allem für die Schwermetalle gilt.

Im Szenario wird unterschieden zwischen dem Einsatz im Trennsystem (bei Regenklärbecken) und im Mischsystem (Regenüberlaufbecken), und zwar nicht nur aufgrund der verschiedenen Ansätze in der Berechnung für den Ist-Zustand, sondern auch wegen den in der Regel unterschiedlichen Ladungsverhältnissen in Regen- und Mischwasser, welche einen entscheidenden Einfluß auf die Flockenbildung haben.

Da die Wirkungsgrade von Regenklärbecken sehr schlecht sind und es nur relativ wenige Becken gibt, wird im Szenario für das Trennsystem angenommen, daß Fällung/Flockung flächendeckend eingeführt wird. An den Formeln ändert sich dadurch nichts, die Wirkungsgrade für die einzelnen Schmutzstoffe η_{RKB} werden jedoch auf die in Tabelle 4.9 angegebenen Werte $\eta_{\text{RKB,F/F}}$ erhöht.

Tabelle 4.9: Wirkungsgrade [%] von Regenklärbecken bei Einsatz von Fällung/Flockung

Parameter	Zehr-, Nährstoffe			Schwermetalle					
	Pges	Nges	CSBs	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
$\eta_{\text{RKB,F/F}}$	69	12	86	66	50	74	75	66	18

Die Wirkungsgrade basieren auf den Daten von PFEIFER (1998). Sie wurden jedoch für den Einsatz in diesem Projekt modifiziert, da die Untersuchungsergebnisse von Pfeifer unter Bedingungen gewonnen wurden, die nicht als repräsentativ für reale Umstände angesehen werden können (unter experimentellen Verhältnissen idealisiert bezüglich Durchmischungsverhältnissen, Absetzzeiten, Flockungsmittelmenge, ...).

Angesichts der großen Anzahl, dem teilweise kleinen Volumen und der weitverstreuten Lage von RÜBs wäre es nicht sinnvoll, flächendeckend Fällung/Flockung zu betreiben. Dies kann also für das Mischsystem nur an großen, zentralen RÜBs gefordert werden, die aufgrund der Nähe zur Kläranlage auch entsprechend gewartet werden können. Um dies bei der Frachtschätzung berücksichtigen zu können, wird die Formel zur Berechnung der Entlastungsfracht für dieses Szenario um den Faktor $\tau_{\text{RÜB,F/F}}$ erweitert, welcher angibt, welcher Anteil des entlasteten Regenwassers RÜBs durchfließt, in denen gefällt/geflockt werden kann. Die Werte für $\tau_{\text{RÜB,F/F}}$ wurden im Projekt über eine Umfrage bei großen Kläranlagen ermittelt.

Wird Fällung/Flockung an einem RÜB realisiert, so ist dort mit einem höheren Stoffrückhalt zu rechnen, was zu einer Änderung der Entlastungsfrachtkomponente e_f führt. Dabei wurde angenommen, daß 10 % der gelösten und 90 % der partikulären Stoffe bei Fällung/Flockung eliminiert werden können (LOSLEBEN, 1999). Diese Werte sind zwar als optimal, nicht jedoch als zu hoch anzusehen, es muß an dieser Stelle vielmehr darauf hingewiesen werden, daß bei der Fällung /Flockung das flüssig/fest Trennverfahren einen erheblichen Einfluß auf den Wirkungsgrad der Anlage hat, des weiteren muß die Art und Menge des Flockungsmittels auf die Art und Beschaffenheit des Mischwassers abgestimmt sein, um gute Ergebnisse erzielen zu können (LOSLEBEN, 1999; HAHN und PFEIFER, 1993).

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurden - wie schon in der Erstellung der Formeln für das Ist-Szenario - mehrere Computersimulationen durchgeführt, die zu einer Änderung der funktionalen Beziehung zwischen der Entlastungsfrachtkomponente bei Fällung/Flockung $e_{F,F/F}$ und der Entlastungsvolumenkomponente e_v führten (s. Anhang A.9).

Insgesamt lautet die Formel zum Schätzen der Fracht aus Entlastungen unter Einsatz von Fällung/Flockung:

$$(F_{e,N,Entlastung})_{F/F} = f_a \cdot A_{U,Misch} \cdot ((1 - \tau_{RÜB,F/F}) \cdot e_F + \tau_{RÜB,F/F} \cdot e_{F,F/F}) \quad [\text{kg/a}] \quad (4.45)$$

4.7.3 Bodenfilter

Bodenfilter können sowohl in der Trenn- als auch in der Mischkanalisation für die Behandlung von Regenwasser oder Mischwasser als weitergehendes Reinigungsverfahren eingesetzt werden. Sie sind in ihrem Wirkungsgrad mit der Fällung/Flockung vergleichbar (LfU, 1998). Das auf Bodenfilter geschickte Wasser erfährt neben der rein mechanischen auch eine chemisch-biologische Behandlung. Darüber hinaus besitzt ein Bodenfilter auch eine Retentionsfunktion für die entlasteten Volumina und reduziert so die hydraulischen Belastungen der Gewässer bei Niederschlagsereignissen, deren Bedeutung zunehmend erkannt wird (FUCHS, 1997).

Um eine Kolmation (einen Verschuß) des Filters zu verhindern, benötigen Bodenfilter eine sedimentative Vorreinigung des Regenwassers bzw. Mischwassers, z.B. durch Regenklärbecken oder Regenüberlaufbecken. Im Sinne dieses Szenarios heißt das, daß die Emission aus Regenkanälen und Regenüberlaufbecken geschätzt wird, denen jeweils ein Bodenfilter nachgeschaltet wurde.

Hinsichtlich der Schadstoffströme im System Kanal/Kläranlage besteht der entscheidende Unterschied zur Flockung/Fällung, daß der Stoffrückhalt des Bodenfilters durch Adsorption und - bezüglich abbaubarer Substanzen - bio-chemische Umsetzungsprozesse erfolgt. Der Bodenfilter stellt also eine echte Senke dar, die zurückgehaltenen Stoffe werden nicht in eine zentrale Kläranlage weitergeleitet (Mischsystem) bzw. müssen nicht manuell geräumt werden.

Die Wirkungsgrade für Bodenfilter wurden als Mittelwerte mehrerer Literaturquellen berechnet, sie sind in Tabelle 4.10 dargestellt.

Tabelle 4.10: Wirkungsgrade [%] von Bodenfiltern

Parameter	Zehr-, Nährstoffe			Schwermetalle					
	Pges	Nges	CSB	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
η_{BF}	53	31	89	44	79	55	43	75	74

Mit diesen Wirkungsgraden werden die Emissionen von Trenn- und Mischsystemen belegt, so daß die Formeln sich wie folgt ändern:

$$(F_{e,N,Trenn})_{Bodenfilter} = F_{a,Trenn} \cdot ((1 - \tau_{RKB}) + (\tau_{RKB} \cdot (1 - \eta_{RKB}) \cdot (1 - \eta_{BF}))) \quad [\text{kg/a}] \quad (4.46)$$

$$(F_{e,N,Entlastung})_{Bodenfilter} = F_{e,N,Entlastung} \cdot (1 - \eta_{BF}) \quad [\text{kg/a}] \quad (4.47)$$

4.7.4 Kanalnetzsteuerung

Durch eine gezielte Steuerung⁴ des abfließenden Mischwassers im Kanalnetz lassen sich vielfache, im Sinne der Emissionsminderung positive Effekte erzielen. Dies sind zum einen eine Minimierung der ins Gewässer entlasteten Volumina und Schmutzfrachten durch eine gezielte Ausnutzung freier Kapazitäten im Netz bzw. vorrangige Beschickung leerer Speicherräume. Weiterhin kann die Prozeßstabilität der Kläranlage bei Regenwetter erhöht werden durch eine Anpassung an die jeweils aktuelle Kapazität, so daß auch die Emission der Kläranlagen gesenkt wird. Schließlich gibt es die Möglichkeit, bei Entlastungen in Vorfluter von unterschiedlicher Belastbarkeit gezielt in die am wenigsten empfindlichen Vorfluter einzuleiten (KUNTER, 1999).

Als weitere, positive Nebeneffekte sind zu nennen, daß bei einem gesteuerten Kanalnetz die Möglichkeit besteht, durch gezielten Rückhalt im Netz und/oder Regenbecken gefährliche Stoffe zurückzuhalten, die bei einem Unfall oder aufgrund von Betriebsstörungen in das Netz eingeleitet wurden. Zudem können Systemüberlastungen vermieden werden und Revisions- bzw. Instandhaltungsarbeiten gewährleistet werden (KUNTER, 1999; JAKOBS, 1998).

In umfangreichen, hydrodynamischen Simulationen hat JAKOBS (1998) für zwei verschiedene Netze und bei verschiedenen Steuerungsstrategien eine Reduktion der Entlastungsfracht von 20 % bzw. 70 % erreichen können, letztere allerdings im für die Kanalnetzsteuerung geradezu prädestinierten Karlsruher Kanalnetz. Er nennt weiterhin das Beispiel des Netzes in Ense-Bremen, wo durch die Realisierung eines Bewirtschaftungsprojektes eine Entlastungsvolumenreduktion um ca. 20 % erreicht werden konnte.

Eine Quantifizierung von Kanalnetzsteuerungsmaßnahmen als Teilszenario konnte jedoch leider nicht durchgeführt werden. Dies liegt nicht nur an den in der Literatur nur selten zu findenden Erfahrungen mit Bewirtschaftungsprojekten, sondern auch an der extrem unterschiedlichen Eignung von Kanalnetzen für die Steuerung. Diese hängt von vielfältigen Faktoren ab, so z.B. dem Ausnutzungsgrad der Kanalisation im derzeitigen Zustand, dem mittleren Gefälle der Haltungen, den Vorflutverhältnissen, den vorhandenen Steuerungsorganen u.v.m..

⁴ Der Begriff „Steuerung“ wird dabei in der Literatur i.d.R. im Sinne des englischen Wortes „control“ verstanden, der neben der Steuerung auch die Messung und Regelung umfaßt.

5 ERGEBNISSE

5.1 EINLEITUNG

Im folgenden werden die Ergebnisse der Stofffrachtbilanzierung der Nähr-, Zehr- und Schwermetalle für die Untersuchungsgebiete der Lahn und des Neckars für das Bilanzjahr 1995 als „Ist-Zustand“ dargestellt. Dabei werden die immissionsseitig ermittelten Stofffrachten aus den Daten der Gewässergüteüberwachung für eine Plausibilitätsbetrachtung den emissionsseitig ermittelten Stofffrachten gegenübergestellt. Ausgehend von den Erkenntnissen und Erfahrungen des Fachgespräches das in Karlsruhe zum Forschungsvorhaben stattgefunden hat, ist zu beachten, daß die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen zu diffusen Emissionspotentialen, vor allem von land- und forstwirtschaftlicher Flächen, sehr stark variieren und es noch keine allgemein anerkannten Modellierungsansätze für eine genaue quantitative Stofffrachtberechnung dieser diffusen Emissionspotential verfügbar sind. Die makroskalige Ermittlung diffuser Eintragspotentiale nicht-urbaner Flächen im Rahmen einer Emissions-Immissionsbilanzierung großer Flußgebiete stellt jedoch ein praktisches Werkzeug für eine integrative Flußgebietsbewirtschaftung und nachhaltige Sicherung und Verbesserung der Wasserqualität dar.

5.2 LAHN - HESSEN: IST-ZUSTAND

5.2.1 Nährstoffe und Zehrstoffe

5.2.1.1 *Immissionen*

Gelöste Stoffe

Die Berechnung der Frachten in der Lahn erfolgte entsprechend der Schätzmethode der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Rhein (IKSR) aus dem Meßprogramm 1995 (BfG, 1997), wie sie in Kapitel 4.3 vorgestellt wurden. Es wurden verschiedene Formeln angewendet, um die methodisch bedingte Bandbreite der Ergebnisse aufzuzeigen. Das Vorgehen und die Ergebnisse sind in den Anhängen C.4 und C.5 dargestellt.

Die im Folgenden vorgestellten Bilanzen beruhen bei den Nährstoffen auf Ergebnissen nach der Konzentrations-Abfluß-Methode (Gleichung 4.3) und bei den Zehrstoffen auf Ergebnissen der Fracht-Abfluß-Methode (Gleichung 4.4), abgegrenzt über den Korrelationskoeffizienten entsprechend Kapitel 4.3.1.

Die Unsicherheiten bei der Frachtschätzung sind in der Fachliteratur vielseitig diskutiert (z.B. KLOPP, 1986; SYMADER, 1988). Um mögliche Fehlerbereiche der hier vorliegenden Ergebnisse abzuschätzen, wurden mit statistischen Methoden Konfidenzintervalle berechnet. Das sind Spannbreiten um die Regressionsgerade der CQ- bzw. der FQ-Beziehung bei

vorgegebener Wahrscheinlichkeit (hier: 95%). Voraussetzung für die Bestimmung der Konfidenzintervalle bzw. Vertrauensbereiche ist die Normalverteilung der vorliegenden Meßwerte, die anhand des χ^2 -Testes für die betrachteten Parameter überprüft worden ist. In Abbildung 5.1 wird beispielhaft für Gesamt-Phosphor die Vorgehensweise veranschaulicht.

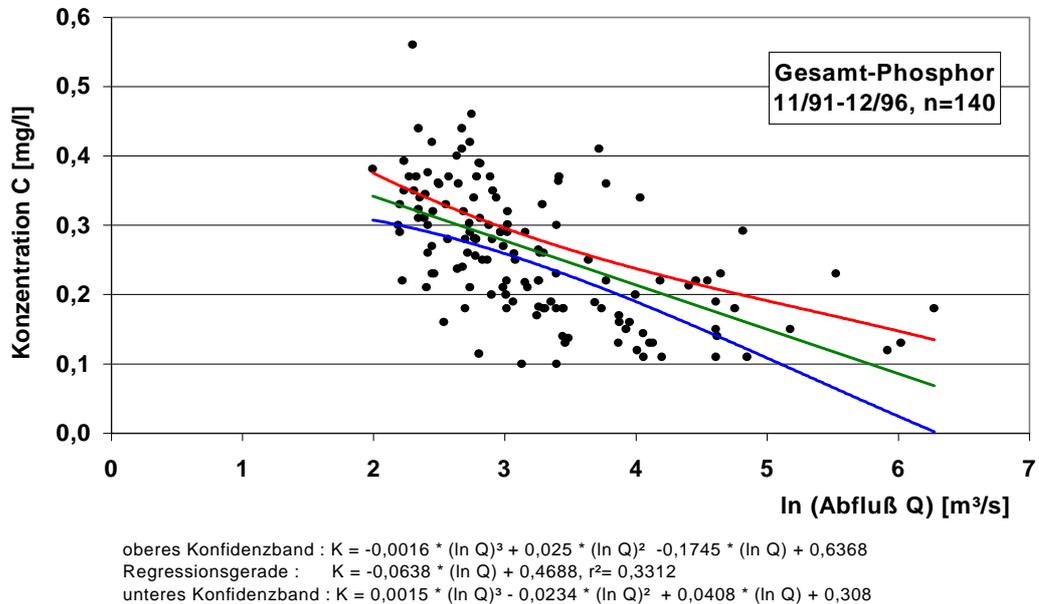


Abbildung 5.1: 95%-Konfidenzintervalle für die Konzentration-Abflußbeziehung von Gesamt-Phosphor, obere Lahn

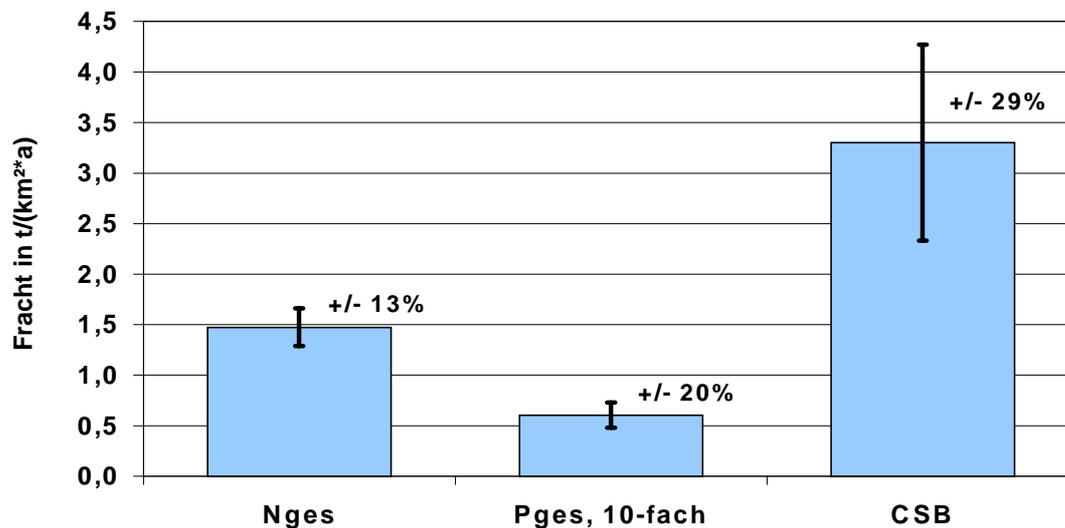


Abbildung 5.2: Spezifische Jahresfrachten in der Lahn an der Referenzstation Limburg/Kalkofen mit Fehlerbalken (Mittelwert ± 95% Vertrauensbereich)

Abbildung 5.2 zeigt die Ergebnisse der Immissionsschätzung als Säulendiagramm mit Fehlerbalken, die anhand der 95%-Konfidenzstreifen der CQ- bzw. FQ-Beziehung berechnet worden sind. Aus darstellerischen Gründen ist P_{ges} in dem Diagramm 10-fach überhöht aufgetragen. Die angegebenen Werte können in Anhang C.6 nachgelesen werden.

Die Größenordnung der ermittelten Nährstofffrachten entspricht den von BEHRENDT (1999b) für die Lahn bei Limburg berechneten Werten. Dabei müssen die hier vorgestellten Frachten für „Gesamt-Stickstoff“ dem „gelösten anorganischen Stickstoff“ bei BEHRENDT (DIN = dissolved inorganic nitrogen“) gegenübergestellt werden, da die Bezeichnung „Gesamt-Stickstoff“ innerhalb dieses Vorhabens definitionsgemäß lediglich den anorganisch gebundenen Anteil umfaßt. BEHRENDT (1999b) ermittelt Stickstoff-Jahresfrachten von 5687 Tonnen, während im NIEDERSCHLAG-Projekt 7201 Tonnen berechnet worden sind. Damit liegen die Ergebnisse von BEHRENDT (1999b) rd. 20% unter den hier ermittelten Frachten. Die statistische Spannweite liegt mit 6294 und 8123 Tonnen ebenfalls deutlich über den Vergleichszahlen. Da beide Berechnungen auf der gleichen Datenquelle beruhen, könnten die Abweichungen durch unterschiedliche Betrachtungszeiträume erklärt werden. Die hier durchgeführten Berechnungen beruhen auf 140 Wertepaaren zu Konzentration und Abfluß aus den Jahren 1991 bis 1996. Das Abflußspektrum des Beobachtungsjahres 1995 ist durch die Meßwerte vollständig abgedeckt. Ein Trend der Stoffkonzentrationen über die Einzeljahre konnte bei keinem Parameter festgestellt werden. Ein Trend der Stoffkonzentrationen über die Einzeljahre konnte bei keinem Parameter festgestellt werden (vgl. Anhang C.1). Die Ausführungen von BEHRENDT (1999b) beziehen sich auf die Jahre 1993 bis 1997.

Die P_{ges} - Frachten weichen in beiden Untersuchungen ca. 10% voneinander ab. BEHRENDT (1999b) ermittelt eine Jahresfracht von 264 Tonnen; im NIEDERSCHLAG-Projekt ergeben sich 294 Tonnen pro Jahr mit einem statistisch ermittelten Vertrauensbereich zwischen 235 und 357.

Beim Vergleich mit den Ergebnissen aus dem Lahnprojekt fallen insbesondere bei den Gesamt-Phosphorfrachten Unterschiede auf (RP GIEßEN, 1994 und WOLF & MEHLHART, 1992). Die Untersuchungen beziehen sich auf das Jahr 1989 und den Pegel Leun (A_{Eo} = ca. 3565 km²). Die ermittelten flächenspezifischen Jahresfrachten von rd. 0,2 t/(km²*a) liegen beinahe eine Zehnerpotenz höher als die für 1995 ermittelten. Diese Differenzen können verschiedene Ursachen haben. Einen Beitrag für die Verminderung der Phosphorfrachten von 1989 bis 1995 ist sicher durch den Ausbau der Kläranlagen mit der dritten Reinigungsstufe zu suchen. So geben WOLF & MEHLHART (1992) 252 Tonnen P_{ges} pro Jahr als Emissionen aus Kläranlagen an. Gemäß der im folgenden Abschnitt vorgestellten Bilanzierungen ergibt sich für 1995 ebenfalls ein Eintrag von 252 t/a aus kommunalen Kläranlagen. Letztere Angaben beziehen sich aber auf das Einzugsgebiet bis Limburg (A_{Eo} = ca. 4888 km²), so daß die Anzahl der berücksichtigten Kläranlagen größer ist als bei WOLF & MEHLHART (1992) und somit ein Rückgang der Frachten zu verzeichnen ist.

Ferner müssen unterschiedliche Methoden bei der Frachtkalkulation zur Erklärung der Differenzen zwischen Lahnprojekt und NIEDERSCHLAG-Projekt in Betracht gezogen werden. So gehen WOLF & MEHLHART (1992) nach dem Emissionsansatz vor, während die hier vorgestellten Ergebnisse auf einer Immissionsschätzung beruhen. Untersuchungen an zahlreichen Einzugsgebiet in Deutschland und Europa belegen, daß die Summe der

Einträge (Emissionsschätzung) sehr häufig größer ist als die Gesamtfracht im Gewässer (Immissionsschätzung) (z.B. BEHRENDT, 1999c; MOHAUPT et al., 1996).

An Schwebstoffe gebundene Nährstoffe

Die Berechnung der schwebstoffgebundenen Nährstofffrachten in der oberen Lahn erfolgt mit Hilfe der Mittelwert 2-Methode (Gleichung 4.2) und der Fracht-Abfluß-Methode (Gleichung 4.4), beschrieben durch eine nicht lineare Regression.

Die Wahl einer nicht linearen Regressionskurve als Anpassung an die gemessenen Wertepaare erfolgte auch dann, wenn durch einen linearen Kurventyp möglicherweise eine bessere statistische Anpassung, ausgedrückt durch das Bestimmtheitsmaß, erzielt werden konnte. Grund dafür ist ein bekanntermaßen nicht linearer Zusammenhang zwischen dem Abfluß und den Schwebstoffgehalten. Es kann davon ausgegangen werden, daß ein Großteil der Jahresfracht an Tagen mit extrem hohen Abflüssen transportiert wird. Als Ursache hierfür sind einzelne abflußwirksame (und erosive) Niederschlagsereignisse anzusehen, die zu einem sprunghaften Anstieg der Schwebstoffgehalte und der angelagerten Schmutzstoffe führen können.

Die Datengrundlage deckt das im Jahr 1995 beobachtete Abflußspektrum bis auf neun Tage im Jahr ab. Der beobachtete Maximalwert liegt bei 487 m³/s im Tagesmittel (Januarhochwasser); der höchste beprobte Abfluß erreicht 350 m³/s (HQ₁= 306 m³/s). Die anderen 18 Meßwerte liegen deutlich darunter im Mittelwasserbereich bis zu 80 m³/s (MQ= 47 m³/s). Die ermittelten schwebstoffgebundenen Frachten sind in Abbildung 5.3 dargestellt.

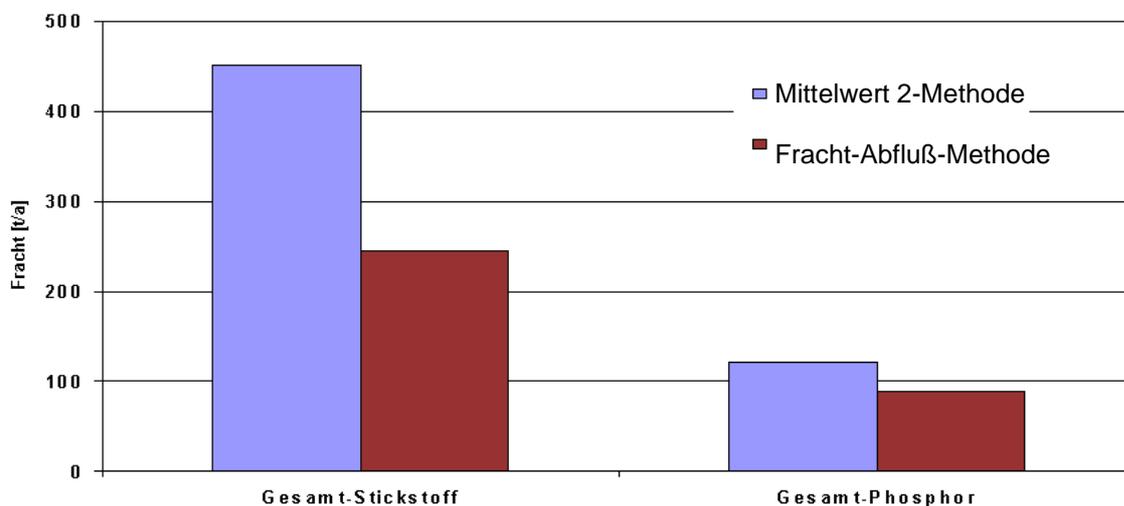


Abbildung 5.3: Schwebstoffgebundene Nährstofffrachten in der oberen Lahn nach unterschiedlichen Methoden

Gemäß Abbildung 5.3 ergeben sich nach der Mittelwertmethode deutlich höhere Frachten als über die Fracht-Abflußbeziehung. Dabei sind die nach der Fracht-Abflußmethode ermittelten N_{ges}-Frachten nahezu um die Hälfte kleiner, während die P_{ges}-Frachten lediglich um ein Drittel abweichen. Dies ist möglicherweise mit der jeweiligen statistischen Güte der

Fracht-Abflußbeziehung zu erklären. Für P_{ges} konnte eine bessere Anpassung der Regression an die Wertepaare erzielt werden als für N_{ges} .

Beide Methoden sind schon aufgrund der geringen Anzahl der Messungen ($n=19$) mit Unsicherheiten behaftet. Ferner müssen bei der Fracht-Abfluß-Methode die Nährstoffgehalte am Schwebstoff umgerechnet werden auf die Stoffkonzentration im Gewässer. Im Vergleich zur Fracht-Abfluß-Methode von gelösten Stoffen bedeutet dies eine zusätzliche potentielle Fehlerquelle. Auf eine statistische Auswertung zur Bestimmung der Fehlerbereiche der Frachtschätzung wurde aus diesen Gründen verzichtet. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse in Abbildung 5.3 bietet jedoch einen Hinweis auf mögliche Schwankungsbreiten der schwebstoffgebundenen Nährstofffrachten.

Setzt man die Frachten der schwebstoffgebundenen Stoffe in Beziehung zu den Frachten der gelösten Stoffe, ergibt sich ein Bild über die Bedeutung der partikulär gebundenen Stoffe. Für N_{ges} wurde ein Verhältnis von 1:16 bzw. 1:29 bei einer Jahresfracht der gelösten Stoffe von 7210 Tonnen ermittelt. Die partikuläre P_{ges} -Fracht macht 41% bzw. 30% der Immissionen der gelösten Stoffe aus, wenn die Jahresfracht von 294 Tonnen in der fließenden Welle gleich 100% gesetzt wird. Damit ist Anteil des partikulär gebundenen P an der Gesamtmission sehr bedeutsam, während die gebundene N-Anteile als gering einzustufen sind. Die erzielten Relationen stehen im Einklang mit den bekannten Bindungs- und Transporteigenschaften von P und N. Bei der nachfolgenden Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen im Sinne einer Stoffbilanz werden die Ergebnisse der Fracht-Abflußmethode einbezogen.

5.2.1.2 *Punktförmige Einträge*

Die Ergebnisse der Bilanzrechnungen der punktuellen Einträge sind in Tabelle 5.1 aufgeführt. Zusätzlich zu den berechneten Frachten aus den einzelnen Pfaden wurden in die Summe aller punktförmigen Einträge die Emissionen aus industriellen Direkteinleitern einbezogen. Diese Angaben stammen aus einer von MEHLHART & STELTSMANN (1991b) durchgeführten Untersuchung. Darin wurden 44 Direkteinleiter oberhalb von Wetzlar erfaßt (vgl. Kapitel 4.1.1 „Datenbeschaffung - Hessischer Teil der Lahn“). Die Frachtberechnung beruht auf Wassermengen und Konzentrationen gemäß der Einleiterbescheide. Dabei wurde entweder mit den Meßwerten aus der Einleiterüberwachung oder mit den maximalen Zulassungswerten gerechnet. Die maximal zulässigen Einleiterkonzentrationen wurden um 20% vermindert, da die gemessenen Werte teilweise deutlich unter den zugelassenen liegen.

Generell sind die vorliegenden Angaben zu industriellen Direkteinleitern in der folgenden Bilanzbetrachtung nur mit Vorsicht zu interpretieren. Neben der geschilderten Frachtermittlung, die eher zu einer Überschätzung der Industrieinleitungen führt, müssen weitere Einschränkungen hingenommen werden. So decken die Untersuchungen von MEHLHART & STELTSMANN (1991b) nicht das ganze hier betrachteten Einzugsgebiet ab. Ferner liegen keine aktuellen Daten vor.

Tabelle 5.1: Nähr- und Zehrstoffeinträge aus punktförmigen Quellen in t/a unterschieden nach Trockenwetterabfluß (TW) und Niederschlagsabfluß (NW), obere Lahn, 1995

Emissionen aus	P _{ges}	N _{ges}	CSB
Kläranlagenabläufen, TW-Abfluß	160	1.758	4.893
Kläranlagenabläufen, NW-Abfluß	92	1.025	2.832
Summe Kläranlagenabläufe:	252	2.783	7.725
Regenentlastungen (Mischsystem), NW	44	280	4.766
Regenauslässen (Trennsystem), NW	5	40	974
Kanäle ohne KA-Anschluß, NW	1	10	250
Kanäle ohne KA-Anschluß, TW	19	104	820
Summe Kanalnetz:	70	434	6.810
Summe Kläranlage + Kanal:	322	3.217	14.535
Industrielle Direkteinleiter ¹⁾ :	5	582	456
Summe punktförmiger Einträge:	327	3.799	14.991
davon aus Kanal & Klär. bei TW:	179	1.862	5.713
davon aus Kanal & Klär. bei NW:	143	1.355	8.822

1 Jahresfrachten aus Einleitergenehmigungen oder Messungen 1991, Lahn oberhalb Wetzlar; PO₄-P

Tabelle 5.1 zeigt, daß der überwiegende Teil der Nährstofffrachten aus Kläranlagenabläufen stammt. 78% der P_{ges}-Fracht und 87% der N_{ges}-Fracht aus kommunalen Einleitungen (Kläranlage + Kanal ohne industrielle Direkteinleiter) sind auf Kläranlagen zurückzuführen. Die CSB-Einträge werden in etwa zu gleichen Teilen durch Kläranlagenabläufe und Einleitungen der Kanalisation verursacht (53% bzw. 47%).

Das Verhältnis der bei Niederschlagsabfluß (NW) eingetragenen P_{ges}- und N_{ges}-Frachten aus den betrachteten Punktquellen zu den bei Trockenwetter (TW) eingetragenen liegt bei ca. 1 zu 1,3, wobei die Einträge aus industriellen Direkteinleitern wiederum nicht berücksichtigt werden. Der Anteil der Entlastungen aus dem Kanalnetz an der Summe aus Kläranlage + Kanal macht 14% (P_{ges}) bzw. 9% (N_{ges}) aus. Der Entlastungsanteil der CSB-Fracht liegt mit 33% deutlich darüber.

Zur Beurteilung der hier bilanzierten Frachten aus Mischwasserentlastungen sollen diese mit den Ergebnissen aus Schmutzfrachtberechnungen im Lahneinzugsgebiet (Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der Universität Gh Kassel, 1991) und einer Studie von BROMBACH & MICHELBAACH (1998) für den Bodensee verglichen werden. Die Schmutzfrachtberechnungen wurden mit dem Simulationsprogramm SMUSI (Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Hydraulik im Institut Für Wasserbau der TH Darmstadt, 1990) für die Jahre 1990 und 1991 im Rahmen des „Lahnprojekts“ durchgeführt (RP Gießen, 1994). Betrachtet wurden Mischentwässerungssysteme entlang der Lahn zwischen Marburg und Wetzlar mit insgesamt 289 Entlastungsanlagen. Teilergebnisse hieraus sind bereits im Zwischenbericht vorgestellt worden (HAHN & XANTHOPOULOS, 1998). In der von BROMBACH & MICHELBAACH (1998) durchgeführten Studie wird auf Basis von Literaturoswertungen ein Verfahren zur Abschätzung des Nährstoffaustrags aus Regenentlastungen im Einzugsgebiet des Bodensees entwickelt.

Als Vergleichsgröße zwischen den vorliegenden Frachten, den SMUSI-Ergebnissen und den von BROMBACH & MICHELBAACH (1998) abgeschätzten Einträgen soll der einwohnerbezogene Stoffaustrag in g/E*d dienen. Wenn die vorliegenden Daten aufgrund unterschiedlichster Materialien und Methoden auch nicht einwandfrei vergleichbar sind, so

bietet die Gegenüberstellung in Tabelle 5.2 zumindest eine Einschätzung der Größenordnung der vorliegenden Bilanzergebnisse.

Tabelle 5.2: Gegenüberstellung von Frachten aus Niederschlagswasserentlastungen in t/a nach Ergebnissen unterschiedlicher Projekte

Projekte	P _{ges}	N _{ges}	CSB
NIEDERSCHLAG Phase III¹	44	278	4705
Lahn-Projekt (SMUSI)²	52 ³	k.A.	4035
Brombach für 100% AG⁴	33	140	k.A.
Brombach für 50% AG⁴	49	231	k.A.

1 Angeschlossene Einwohner: 1.006.000 E

2 Angaben beziehen sich auf Einwohnerwerte (EW) und nicht auf Einwohner (E). Berücksichtigt: 51.989 EW.

3 PO₄-P

4 Die Frachten beziehen sich auf 50% bzw. 100% Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung. 100% entspricht einem spezifischen Stauvolumen von 23,3 m³/ha. Diese Angaben liegen für Hessen nicht vor.

k.A. keine Angabe

Aus Tabelle 5.2 ist ersichtlich, daß die dargestellten Entlastungsfrachten bei allen Projekten und Parametern relativ gut übereinstimmen. Die Angaben zu Nährstoffen nach BROMBACH & MICHELBAACH (1998) bei 50% Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung (AG) stimmen dabei deutlich besser mit den im NIEDERSCHLAG-Projekt Phase III ermittelten Frachten überein als die bei 100% Ausbaugrad. Die Abweichung zwischen den CSB-Frachten gemäß Schmutzfrachtsimulationen und den hier ermittelten beträgt weniger als 20%.

Auffällig an den Bilanzergebnissen in Tabelle 5.1 sind schließlich die verhältnismäßig hohen Einträge aus den Kanälen ohne Kläranlagenanschluß. Die ermittelten Jahresfrachten für die Parameter P_{ges} und N_{ges} erreichen nahezu die Hälfte der Einträge aus Mischwasserentlastungen. Der Hauptfrachtanteil aus Kanälen ohne Kläranlagenanschluß ergibt sich nach den Berechnungen im Trockenwetterfall. Die relativ hohen Eintragsfrachten erklären sich durch den geringen Stoffrückhalt in Mehrkammerausfallgruben und einen Anteil der Wohnbevölkerung von 5% im Bilanzjahr 1995, der an einen Kanal aber nicht an eine Kläranlage angeschlossen ist.

Insgesamt liefert die jeweils festgestellte Bedeutung der einzelnen Eintragspfade in Bezug auf die Gesamtjahresfracht wichtige Hinweise für die Auswahl von Maßnahmen zur Reduzierung der Stofffrachten aus punktförmigen Quellen.

5.2.1.3 Diffuse Einträge

Die Berechnung der diffusen Nährstoffeinträge in die Lahn erfolgt über zwei unterschiedliche Methoden:

- 1) gemäß Kapitel 4.4.2 über die Flächennutzung und die nutzungsspezifischen Stoffeintragspotentiale.
- 2) über die sogenannte Immissionsmethode nach BEHRENDT (1993).

Die erste Methode muß an dieser Stelle nicht näher erläutert werden, da sie in dem o.g. Kapitel bereits ausführlich beschrieben wurde. Die „Immissionsmethode“ nach Behrendt ist

ein Verfahren zur Separierung diffuser und punktueller Eintragsquellen mittels Immissionsanalyse. Die Aufteilung der Gesamtfracht nach diffusen und punktuellen Quellen erfolgt unter Berücksichtigung ihrer unterschiedlichen Abhängigkeit von Niederschlag und Abfluß. Es wird vorausgesetzt, daß der Eintrag aus Punktquellen nahezu konstant und nicht von Abfluß abhängig ist. Der Eintrag aus diffusen Quellen ist dagegen sehr variabel und findet fast immer zusammen mit Abflußereignissen statt (WERNER & WODSAK, 1994).

Die Immissionsmethode basiert demnach auf einer anderen Definition von Punkt- und diffusen Quellen, als sie diesem Forschungsvorhaben zugrunde liegt. Bei der Immissionsmethode gehören die Mischwasserüberläufe und die Regenabläufe der Trennkanalisation zu den diffusen Quellen, weil sie von Niederschlagsgeschehen abhängen. Bei den vorliegenden Bilanzrechnungen zählen sie zu den Punktquellen, da die Einleitungsorte bekannt sind. Diffuse Quellen sind hier zu verstehen als flächenhafte Einträge.

Die Abgrenzung der diffusen von den Punktquellen über das Kriterium „Abhängigkeit bzw. Unabhängigkeit vom Niederschlag“ bei der Immissionsmethode ermöglicht, aus dem statistischen Zusammenhang zwischen den Frachten und den zugehörigen Abflüssen am Gebietsauslaß eines Flusses den punktförmigen Anteil zu bestimmen. Eingangsgröße ist die Summe des Trockenwetterabfluß aller Kläranlagen im Einzugsgebiet. Als Rest ergibt sich der Frachtanteil aus diffusen Quellen.

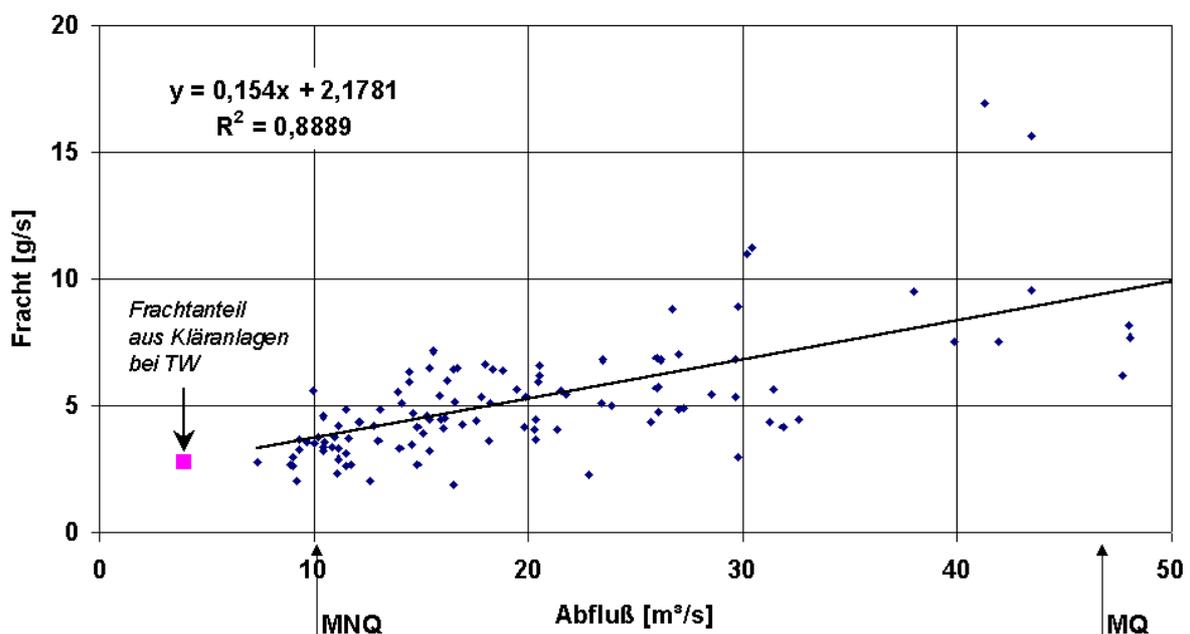


Abbildung 5.4: Separierung punktueller und diffuser Stoffeinträge über die Fracht-Abflußbeziehung nach der Immissionsmethode (BEHRENDT, 1993) am Beispiel von Phosphor für die obere Lahn

Die Immissionsmethode wurde in ca. 50 Einzugsgebieten in Deutschland getestet und mit unabhängig davon gewonnenen Emissionsermittlungen verglichen. Im Mittel wurden über die Immissionsmethode etwa 10% höhere Frachtanteile aus diffusen Quellen errechnet. Diese

systematische Abweichung liegt in der unterschiedlichen Definition von punktuellen und diffusen Quellen in den beiden Verfahren begründet. Nach der Immissionsmethode zählen auch die Mischwasserüberläufe und die Regenabläufe zu den diffusen Quellen. Daher können auch nur 80% der damit ermittelten diffusen Stoffeinträge flächenhaften Einträgen aus der Landwirtschaft zugeschrieben werden (vgl. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, LAWA, 1998b).

In Abbildung 5.4 wird das Vorgehen bei der Immissionsmethode am Beispiel der Fracht-Abflußbeziehung für Gesamt-Phosphor veranschaulicht. Anhand der Gesamtmenge des Trockenwetterabflusses aus kommunalen Kläranlagen im Bilanzjahr 1995 läßt sich über die Regressionsgleichung die Fracht aus punktuellen Quellen bestimmen. Dargestellt sind die in der Lahn gemessenen P_{ges} -Konzentrationen bei Abflüssen bis ca. MQ (Rauten) und die ermittelte Regressionsbeziehung (Linie), die für das gesamte, beprobte Abflußspektrum bis 531 m³/s gilt. Bei einem Trockenwetterabfluß von rd. 124.000.000 m³/a bzw. 3,9 m³/s ergibt sich eine P_{ges} -Fracht aus kommunalen Kläranlagen von 2,8 g/s bzw. 88 t/a (Quadrat).

Über die Abflußdauerlinie am Pegel Kalkofen für das Kalenderjahr 1995 und die ermittelte Fracht-Abflußbeziehung errechnet sich eine Gesamtfracht (Immission) in der Lahn von 323 t P_{ges} /a. Die Differenz aus der Gesamtfracht und der über Kläranlagen bei Trockenwetter eingetragenen Fracht ergibt schließlich die diffus eingetragene Stoffmenge. Um diese Stoffmenge mit der Fracht aus diffusen Quellen nach Methode 1 vergleichen zu können, bedarf es zum Ausgleich der unterschiedlichen Definitionen von diffusen Quellen eines Korrekturfaktors, der gemäß LAWA (1998b) mit 80% angesetzt wird (s.o.).

Die Ergebnisse beider Methoden sind in Anhang C.3 dargestellt. Dort können unter Methode 1 auch Teilergebnisse abgefragt werden, z.B. zu Austrägen von Flächen bestimmter Nutzung (Wald, Acker, Grünland). Tabelle 5.3 zeigt das Gesamtergebnis aus beiden Methoden.

Tabelle 5.3: Ermittelte Nährstoffeinträge aus diffusen Quellen in t/a

	P_{ges}	N_{ges}
"nutzungsspezifisches Frachtpotential"	202	7.819
"Immissionsmethode"	188	4.389

Die ermittelten P_{ges} -Frachten stimmen nach beiden Methoden gut überein. Die N_{ges} -Einträge dagegen liegen nach der Eintragungsschätzung über die nutzungsspezifischen Frachtpotentiale deutlich über denen nach der Immissionsmethode. Diese Tendenz ist auch bei MOHAUPT et al. (1996) beschrieben. Danach können die über die Immissionsmethode ermittelten Frachten deutlich unter den Eintragungsschätzungen von Emissionsverfahren liegen. MOHAUPT führt eine solche Differenz auf Abbau- und Rückhaltsprozesse zurück. Auch die LAWA (1998) geht davon aus, daß aufgrund der Denitrifikation in Fließgewässern die Gesamtfracht deutlich geringer sein muß als die Summe der Einträge.

Die Anteile der diffusen Einträge an der Gesamtfracht in der Lahn (Immission) werden im anschließenden Kapitel bei der Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen vorgestellt und erläutert. Diese Gegenüberstellung und alle folgenden Darstellungen beziehen sich auf die Ergebnisse der Immissionsmethode zur Ermittlung der Einträge aus diffusen Quellen.

5.2.1.4 Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen

In den Abbildung 5.5 und Abbildung 5.6 werden die gefundenen Nährstofffrachten in der Lahn (Gesamtimmissionen) den Frachten aus den einzelnen Eintragspfaden (Emissionen) gegenüberstellt. Die Gesamt-Immissionen setzen sich dabei aus den ermittelten Stofffrachten in der fließenden Welle und den an Schwebstoffe gebundenen zusammen.

Der Vergleich der Gesamt-Immissionen mit den Gesamt-Emissionen zeigt für N_{ges} eine gute Übereinstimmung (vgl. Abbildung 5.5). Die ermittelten Gesamt-Immissionen liegen um 9% unter den berechneten Gesamt-Emissionen. Bei P_{ges} sind die Gewässerfrachten um 26% kleiner als die berechneten Einträge. Auch MOHAUPT et al. (1996) findet bei seiner Untersuchung verschiedener Flußgebiete Deutschlands Gesamtfrachten in Flüssen, die teilweise deutlich niedriger sind als die Summe der Emissionen. Nach MOHAUPT zeigen die Unterschiede zwischen den Einträgen und den Frachten der Flüsse den Umfang der Abbau- und Rückhaltsprozesse in den Fließgewässern an. BEHRENDT (1999a) ermittelt in seiner neuesten Studie für diesen „Retentionsterm“ mittlere Standardabweichungen für Stickstoff bei 22% und für Phosphor bei 48%. Seine Untersuchungen stützen sich auf 16 verschiedene Einzugsgebiete und sieben Methoden zur Ermittlung der Emissionen.

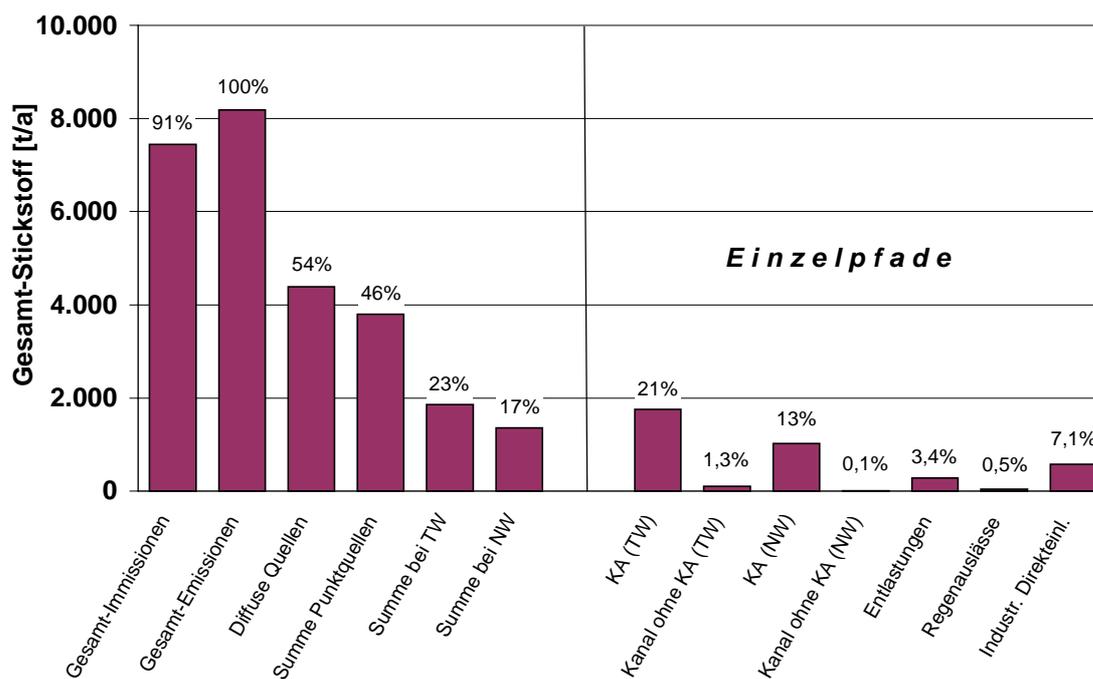


Abbildung 5.5: Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen für Gesamt-Stickstoff, obere Lahn

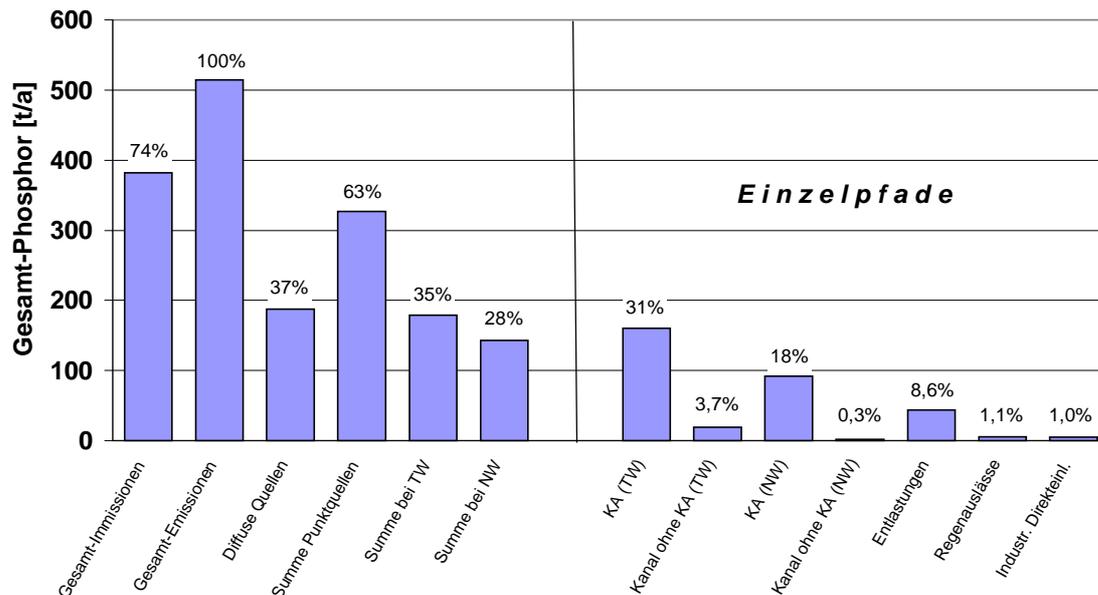


Abbildung 5.6: Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen für Gesamt-Phosphor, obere Lahn

Setzt man die Gesamt-Emissionen gleich 100%, so ergibt sich folgende Gewichtung der einzelnen Eintragspfade:

Bei N_{ges} stammen 46% der Einträge aus punktförmigen Quellen. Der größte Anteil ist dabei auf Kläranlagenabläufe im Trockenwetterfall (KA (TW)) zurückzuführen (21% der Gesamt-Emissionen). Die niederschlagsbedingten Stickstoffeinträge aus Siedlungsgebieten (NW) machen 17% der Gesamt-Emissionen aus, wobei der überwiegende Anteil aus Kläranlagen stammt (13%). Lediglich 3,4% der Summe der Stickstoffemissionen ist auf Entlastungsereignisse der Mischkanalisation zurückzuführen.

Bei P_{ges} stammen 63% der Einträge aus punktförmigen Quellen. Wie bei N_{ges} stellen auch hier die Kläranlagenabläufe im Trockenwetterfall mit 31% den Haupteintragspfad dar. Die niederschlagsbedingten Phosphoreinträge aus befestigten Flächen liegen bei 28%. Regentlastungen aus dem Kanalsystem machen ca. 9% der Gesamt-Emissionen aus.

Ein Vergleich der ermittelten Frachtanteile mit anderen Untersuchungen im Lahneinzugsgebiet und Prognosen für das gesamte Bundesgebiet zeigt Tabelle 5.4. Insgesamt ergibt sich aus dieser Tabelle eine gute Übereinstimmung der ermittelten Frachtanteile mit denen aus anderen Untersuchungen. Leicht erhöht ist der Anteil der punktuell eingetragenen Stickstofffracht. Dies ist auf die Berücksichtigung der Einträge von industriellen Direkteinleitern in der vorliegenden Untersuchung zurückzuführen. So bilden die Frachten aus Kläranlagen, der Kanalisation und aus industriellen Direkteinleitern die Summe der Punktquellen (punktuell). BEHRENDT (1999b) sowie WOLF & MEHLHART (1992) hingegen beziehen die direkten Einträge aus der Industrie nicht in ihre Bilanz mit ein. Die jeweiligen Anteile aus Kläranlagen und Kanalisation stimmen daher gut mit den hier ermittelten Frachtanteilen überein. Der abgeschätzte Stickstoffeintrag aus industriellen Direkteinleitern liegt im hessischen Lahngebiet mit 7% der Gesamt-Emissionen genauso hoch wie der vom UMWELTBUNDESAMT (1996) für das Bundesgebiet prognostizierte Frachtanteil.

Tabelle 5.4: Anteile verschiedener Eintragspfade an der Nährstofffracht in der Lahn in %

Stickstoff	Kläranlagen	Kanalisation	Punktuell	Diffus
Ergebnisse NIEDERSCHLAG	34	5	46	54
BEHRENDT, 1999b	37	2	39	61
WOLF & MEHLHART, 1992 ¹	34	1,2	35	65
BACH & FREDE, 1996 ¹	k.A.	k.A.	40	60
UMWELTBUNDESAMT, 1996 ²	30	3	40	60
Phosphor				
Ergebnisse NIEDERSCHLAG	49	14	63	37
BEHRENDT, 1999b	52	8	60	40
WOLF & MEHLHART, 1992	46	8	54	46
UMWELTBUNDESAMT, 1996	30	10	50	50

1 Untersuchungen im Lahneinzugsgebiet bis zum Pegel Leun ($A_{EG}=3565 \text{ km}^2$)

2 Prognose für 1995 und das gesamte Bundesgebiet

Im Vergleich zum Prognosewert für das Bundesgebiet fällt beim Phosphor im Lahngebiet der hohe Anteil aus Kläranlagen auf. Die entsprechenden Bilanzergebnisse liegen zwischen 46% und 52% und damit deutlich über der vom UMWELTBUNDESAMT (1996) angegebenen Fracht vom 30%. Dies spiegelt sich auch in der Summe der punktuellen Einträge (punktuell) wieder. Gemäß der Ergebnisse aus dem NIEDERSCHLAG-Projekt und von BEHRENDT (1999b) stammen 60% bzw. 63% der Phosphoreinträge in die Lahn aus punktförmigen Quellen. Für das Bundesgebiet hingegen werden durchschnittlich 50% der Phosphoreinträge den Punktquellen zugeschrieben (UMWELTBUNDESAMT, 1996).

Die Ursachen für diesen Unterschied sind in den naturräumlichen Eigenschaften des Lahneinzugsgebietes in Hessen zu suchen. Hier treten die diffusen Phosphoreinträge, aufgrund der vorwiegend extensiven Landwirtschaft, in ihrer Bedeutung an der Gesamtfracht im Gewässer gegenüber den Punktquellen zurück. Diffuse Einträge von Phosphor stehen vorwiegend in Zusammenhang mit der Abschwemmung von Bodenmaterial bei Niederschlagsereignissen (Wassererosion). Aufgrund der Topographie in Verbindung mit der Landnutzung sind im Untersuchungsgebiet vergleichsweise wenig Flächen erosionswirksam. Im Auebereich und in den Tälern findet sich in weiten Bereichen extensiv genutztes Grünland, während die Hänge größtenteils bewaldet sind. Nach den durchgeführten Bilanzrechnungen ergibt sich für die diffusen Stoffeinträge ein Anteil von rd. 37%.

Die im NIEDERSCHLAG-Projekt berechneten Einträge aus der Kanalisation liegen bei beiden Nährstoffen über den Vergleichsangaben. Dabei bildet der Pfad „Entlastungen“ gefolgt von „Kanal ohne Kläranlagenanschluß bei Trockenwetter“ die Haupteintragsquelle (vergleiche Abbildung 5.5 und Abbildung 5.6).

Für die Zehrstoffe konnten die Einträge aus diffusen Quellen nicht bestimmt werden. Somit liegt für CSB auch kein Wert für die Gesamt-Emissionen vor. Um dennoch eine prozentuale Verteilung der Einträge auf die betrachteten Quellen vornehmen zu können, werden die jeweils ermittelten Gesamt-Immissionen als Bezugsgröße angenommen. Danach ergibt sich für CSB ein Anteil von 93% aus punktuellen Quellen, wobei die Kläranlagen bei Trockenwetter und Mischwasserentlastungen mit jeweils 30% der Gesamt-Immissionen die Haupteintragspfade darstellen.

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Ergebnisse sind in Anhang C.7 als Tabellen aufgelistet. Eine Übersicht zu den Anteilen ausgewählter Eintragspfade für die drei betrachteten Parameter bieten die gestapelten Säulen in Abbildung 5.7. Bezugsgröße (100%) bildet bei den Nährstoffen die Summe der Emissionen und bei CSB die Gesamtfracht in der Lahn (Gesamt-Immissionen).

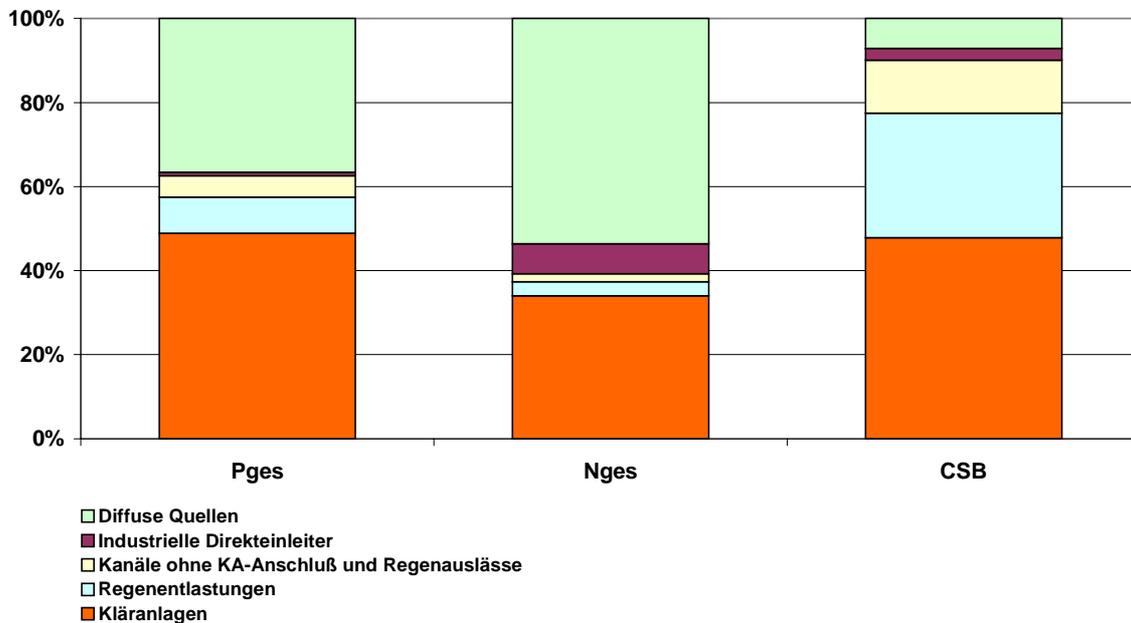


Abbildung 5.7: Verteilung der Nähr- und Zehrstoffeinträge aus unterschiedlichen Quellen, obere Lahn

5.2.2 Schwermetalle

5.2.2.1 Immissionen

Gelöste Stoffe

Die Berechnung der Schwermetallfrachten erfolgte entsprechend der Schätzmethoden der IKSR (BfG, 1997), wie sie im Kapitel 4.3 erläutert sind. Eingesetzt wurden die Formeln der Mittelwert 1-Methode und Mittelwert 2-Methode. Auf die Ermittlung der Frachten über die Konzentration-Abfluß-Methode bzw. über die Fracht-Abfluß-Methode mußte aufgrund der geringen Anzahl der Meßwerte über der Bestimmungsgrenze verzichtet werden. In Tabelle 5.5 sind die Ergebnisse der Immissionsschätzung dargestellt; zusätzliche Angaben zur Datengrundlage und mittleren Konzentrationen können dem Anhang C.5 entnommen werden. Die Ergebnisse zeigen, daß sich nach der Mittelwert 1-Methode geringere Frachten ergeben. Bei Cd, Cu, Ni und Zn liegen die Frachten um rd. 20% unter denen nach der Mittelwert 2-Methode, bei Cr und Pb um etwas mehr als 10%. Die weiteren Bilanzrechnungen stützen sich auf die höheren Frachten (Mittelwert 2-Methode).

Tabelle 5.5: Schwermetallfrachten in der oberen Lahn berechnet aus Konzentrationen in der fließenden Welle nach unterschiedlichen Methoden in t/a

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Mittelwert 2-Methode	0,25	3,67	5,40	5,74	5,26	33,19
Mittelwert 1-Methode	0,20	3,19	4,33	4,35	4,65	26,52
Unterschied in %	20,1	13,0	19,7	24,2	11,6	20,1

An Schwebstoffe gebundene Schwermetalle

Die Berechnung der schwebstoffgebundenen Schwermetallfrachten in der Lahn erfolgte analog der Vorgehensweise bei den Nährstoffen. So wurden die Frachten der Parameter Chrom und Kupfer nach der Konzentration-Abfluß-Methode und die der übrigen betrachteten Schwermetalle nach der Fracht-Abfluß-Methode ermittelt. In beiden Fällen wurde - wie bei den schwebstoffgebundenen Nährstoffen - ein nicht linearer Zusammenhang gewählt (vgl. Kapitel 4.3.1). Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.6 dargestellt.

Tabelle 5.6: Schwebstoffgebundene Schwermetallfrachten in der oberen Lahn nach unterschiedlichen Methoden in t/a

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Mittelwert 2-Methode	0,04	2,5	1,6	1,8	2,0	12,1
Konzentration-/Fracht-Abfluß-Methode	0,02	5,2	4,2	2,3	2,8	14,6
Unterschied in %	-92,3	51,1	61,6	20,7	29,4	17,6

Frachtschätzungen für schwebstoffgebundene Stoffe sind mit größeren Unsicherheiten behaftet als Frachtberechnungen für wasserlösliche Stoffe, da als zusätzliche Kenngröße der Schwebstoffgehalt mit einbezogen wird. Dieser weist gerade im Hochwasserfall ein hohe Dynamik auf. Die Unsicherheiten spiegeln sich auch in der Ergebnissen der hier durchgeführten Berechnungen wieder. Beim Cd werden nach der Mittelwert 2-Methode nahezu doppelt so hohe Frachten ermittelt wie über die Fracht-Abfluß-Methode. Bei den anderen Schwermetallen ergeben sich nach der Konzentration- bzw. Fracht-Abfluß-Methode durchgehend deutlich höhere Frachten. Dabei weisen diejenigen Parameter die höchsten Abweichungen auf (rd. 51% bzw. 62%), die nach Konzentration-Abfluß-Methode berechnet worden sind (Cu und Cr).

Für die Gegenüberstellung der Immissionen mit den Emissionen in Kapitel 5.2.2.4, werden die ermittelten, gelöst transportierten Schwermetalle in der Lahn und die an Schwebstoffe gebundenen Frachten zusammengefaßt und als Gesamt-Immissionen aufgeführt. Dabei werden für die gelösten und für die schwebstoffgebundenen Frachten die jeweils höchsten Werte zusammengerechnet. Das betrifft für die gelösten Stoffe die Frachten nach der Mittelwert 2-Methode (Vgl. Tabelle 5.6) und für die gebundenen Stoffe die nach den Konzentration-Abfluß-Methode bzw. Fracht-Abfluß-Methode ermittelten Frachten mit Ausnahme von Cd (vgl. Tabelle 5.6). Bei Cd fließt das Ergebnis nach der Frachtberechnung schwebstoffgebundener Stoffe in die weiteren Betrachtungen ein.

Bezogen auf die nun vorliegenden Gesamt-Immissionen (gelöste + gebundene Schwermetalle) sollen nun die Anteile der schwebstoffgebundenen Stoffe betrachtet werden: Ni, Pb und Zn werden zu rd. 30% gebunden transportiert. Der größte gebunden transportierte Stoffanteil an der Gesamt-Gewässerfracht ergibt sich bei Cr (ca. 60%),

während der geringste mit ca. 15% bei Cd festgestellt werden kann. Alle Angaben können im Anhang C.8 nachvollzogen werden.

5.2.2.2 Punktförmige Einträge

Bei der Bilanzierung der Schwermetallfrachten aus punktuellen Quellen wurden dieselben Eintragspfade beschrieben wie bei den Nährstoffen und CSB. Die Ergebnisse der Bilanzrechnungen sowie die Frachten aus industriellen Direkteinleitern sind in Tabelle 5.7 dargestellt.

Tabelle 5.7: Schwermetalleinträge aus punktförmigen Quellen in kg/a unterschieden nach Trockenwetterabfluß (TW) und Niederschlagswasserabfluß (NW)

Emissionen aus	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
Kläranlagenabläufen, TW	110	17.825	5.734	2.374	1.260	2.283
Kläranlagenabläufen, NW	70	9.979	770	279	174	174
Summe Kläranlagenabläufe:	180	27.805	6.504	2.653	1.434	2.457
Regenentlastungen (Mischsystem), NW	159	37.900	2.941	1.478	653	821
Regenauslässe (Trennsystem), NW	45	10.700	777	383	174	219
Kanäle ohne KA-Anschluß, NW	12	2.745	199	98	45	56
Kanäle ohne KA-Anschluß, TW	4	779	192	57	22	75
Summe Kanalnetz:	219	52.124	4.109	2.017	894	1.171
Summe Kläranlage + Kanal:	399	79.929	10.612	4.670	2.328	3.628
Industrielle Direkteinleiter ¹⁾ :	23	5.908	3.063	2,5	4.651	4.763
Summe punktförmiger Einträge:	422	85.837	13.675	4.672	6.979	8.391
davon aus Kanal + Klär. bei NW:	113	18.604	5.925	2.431	1.282	2.358
davon aus Kanal + Klär. bei TW:	285	61.325	4.687	2.239	1.046	1.270

¹ Jahresfrachten aus Einleitergenehmigungen oder Messungen 1991, Lahn oberhalb Wetzlar.

Die Frage nach dem dominierenden Eintragspfad der Schwermetalle, unterschieden nach Kläranlagen und Kanalnetz, kann gemäß Tabelle 5.7 nicht einheitlich für alle Parameter beantwortet werden. So überwiegen bei Cd und Zn die Emissionen aus dem Kanalnetz (55% und 65%), während Cu, Pb, Cr und Ni vorwiegend über die Kläranlagenabläufe eingetragen werden (61%, 57%, 62% und 68%). Die Einträge von Cd und Zn aus dem Kanalnetz sind zum überwiegenden Teil auf Mischwasserentlastungen zurückzuführen. Mit 40% bzw. 47% an der „Summe Kläranlage + Kanal“ stellen die Emissionen aus Entlastungen den Haupteintragspfad für Cd und Zn dar.

Die bei Niederschlagsabfluß (NW) eingetragenen Stofffrachten sind bei Cd mehr als doppelt so hoch wie bei Trockenwetter (TW); bei Zn ergibt sich ein Verhältnis von größer als 3:1. Die Einträge bei Niederschlagsabfluß überwiegen also deutlich. Bei den anderen Parametern hingegen stammen zwischen 52% und 65% der Fracht aus „Kläranlage + Kanal“ aus Emissionen bei Trockenwetter, wobei die Einträge aus der Kanalisation in keinem Fall 2% überschreiten. Für Cu, Pb, Cr und Ni ist somit der Eintragspfad „Kläranlagenabläufe bei TW“ dominant.

Bei Cr und Ni ist die Bedeutung der industriellen Direkteinleiter hervorzuheben. Die vorliegenden Daten sind bei Cr nahezu um das 2-fache größer als die bilanzierten Einträge aus „Kläranlage + Kanal“; die Nickeleinträge aus der Industrie sind um etwa 30% höher.

5.2.2.3 Diffuse Einträge

Die Berechnung der von der Fläche eingetragenen Schwermetalle erfolgt über zwei unterschiedliche Methoden:

- 1) gemäß Kapitel 4.4.2 „Diffuse Eintragspfade“ über die Flächennutzung und die nutzungsspezifischen Stoffaustragspotentiale.
- 2) über den Bodenabtrag durch Oberflächenabfluß (Wassererosion).

Die den Berechnungen unter 1) zugrundeliegenden flächenspezifischen Austragspotentiale von Wald, Acker und Grünland sind in Anhang A.13 zusammengestellt. Diese Angaben stammen aus einer Literaturrecherche und müssen nicht mit den regionalen Bedingungen an der Hessischen Lahn übereinstimmen. Trotzdem können die hier durchgeführten Berechnungen einen Hinweis zur Größenordnung möglicher Schwermetallausträge liefern.

Die Multiplikation der flächenspezifischen Austragsfrachten $[g/(ha \cdot a)]$ mit den Flächenanteilen der verschiedenen Nutzungen im Hessischen Lahneinzugsgebiet $[ha]$ ergibt in der Summe das Frachtaustragspotential an Schwermetallen $[kg/ha]$. Dieses Stoffpotential ist jedoch nicht identisch mit der Menge der Stoffe, die tatsächlich in die Oberflächengewässer eingetragen werden. Daher werden die jeweils ermittelten Austragspotentiale um einen Stoffrückhalt im Einzugsgebiet von 90% reduziert. Mit dieser Reduktion finden verschiedene Annahmen Berücksichtigung. So wird z.B. davon ausgegangen, daß nicht alle Flächen aufgrund ihrer Standorteigenschaften (z.B. Bodenbeschaffenheit, Bewuchses, Hangneigung) erosionsgefährdet sind. Darüber hinaus ist bekannt, daß Stoffe bei der Passage mit dem Sickerwasser durch den Boden (Auswaschung) verschiedensten Umlagerungs- und Pufferungsprozessen ausgesetzt sind und in einem bestimmten Zeitabschnitt nur ein Teil weiter transportiert wird. Für die Berechnung der Einträge in das Gewässersystems der Lahn wird daher ein Eintragspotential von 10% der ermittelten Austragsfrachten angesetzt. Ähnliche Angaben finden sich auch in der Fachliteratur. So rechnet auch die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) für das Rheineinzugsgebiet mit einem Rückhalt von 90% (vgl. MOHAUPT et al., 1998).

Abbildung 5.8 zeigt einen Vergleich zwischen den Ergebnissen der Methode 1 „nutzungsspezifisches Frachtpotential“ und der Methode 2 „Erosion“. Es wird deutlich, daß die Ergebnisse für Chrom und Nickel am weitesten auseinander liegen. Hierdurch kommt die Berücksichtigung der gebietsspezifischen Bodeneigenschaften bei Methode 2 zum Ausdruck. Die Werte für Cu und Pb sind in ihrer Größenordnung vergleichbar. Dabei stimmen die nach der Methode 1 ermittelten Frachten mit den „Erosionsfrachten bei 95% Gebietsrückhalt“ am Besten überein. Für Cd und Zn liegen die „Erosionsergebnisse mit 90% Gebietsrückhalt“ näher an dem „nutzungsspezifischen Frachtpotential“. Generell läßt diese Gegenüberstellung die Aussage zu, daß auch bei Nichtvorhandensein von regionalen Daten zu Bodenabtrag und Schwermetallgehalt, wie bei Methode 1, eine Einschätzung als Anhaltspunkt über mögliche diffuse Einträge von Schwermetallen erreicht werden kann. Wie die ermittelten Schwermetallfrachten in die Gesamtbilanz passen, wird im folgenden Kapitel erläutert.

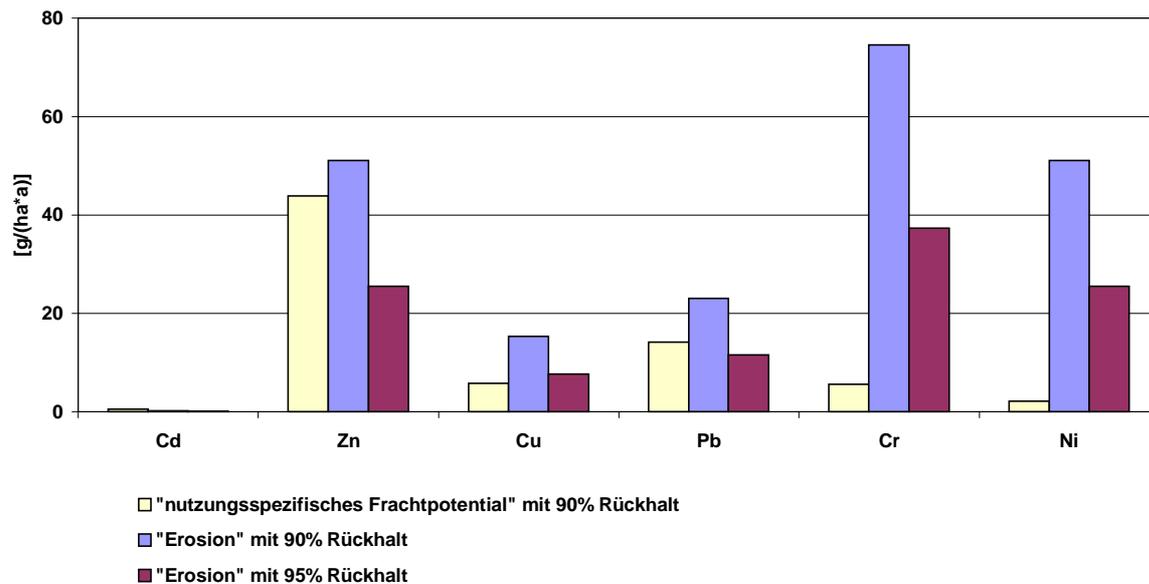


Abbildung 5.8: Ermittelte Eintragungspotentiale von Schwermetallen in das Gewässersystem der Lahn in Hessen in g/(ha*a)

5.2.2.4 Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen

Die Ergebnisse aus den vorangegangenen Abschnitten werden nun zu einer Bilanz zusammengefügt. Die „Gesamt-Immissionen“ berücksichtigen die gelösten und die schwebstoffgebundenen Schwermetallfrachten in der Lahn.

Für die diffusen Quellen gehen die Ergebnisse nach der Methode „Erosion mit 95% Rückhalt“ in die Bilanz ein (vgl. Kapitel 5.2.2.3 und Anhang C.2). Die Ergebnisse nach Methode 2 werden gewählt, da gebietsspezifische Angaben berücksichtigt werden. Die Wahl des größeren Gebietsrückhaltes wird mit den Erkenntnissen aus der Nährstoffbilanz begründet. Danach tritt im hessischen Einzugsgebiet der Lahn die Bedeutung der diffusen Quellen hinter den Punktquellen im Vergleich zum Bundesdurchschnitt zurück. Aufgrund der Topographie und Landnutzung ist der Anteil erosionsgefährdeter Flächen als gering einzustufen, und die Abschätzung der diffusen Schwermetalleinträge nach Methode 2 ist gleichzusetzen mit dem erosionsbedingten Bodenabtrag. Pfade wie Direkteinträge und Deposition bleiben unberücksichtigt.

Tabelle 5.8 zeigt die Anteile ausgewählter Eintragungspfade und der Gesamt-Immissionen an den Gesamt-Emissionen. Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede zwischen Immissions- und Emissionsseite. Mit Ausnahme von Pb liegen die Eintragungsschätzungen (Gesamt-Emissionen) über der jeweils ermittelten Gewässerfracht (Gesamt-Immissionen). Dabei können Abweichungen zwischen 22% (Cr) und 46% (Zn) festgestellt werden. Führt man sich an dieser Stelle sämtliche Annahmen und Rechenvereinbarungen vor Augen, die für die Ermittlung der Schwermetalleinträge aus punktuellen und diffusen Quellen sowie die Schätzung der Gewässerfrachten notwendig waren, so kann trotzdem behauptet werden, daß anhand der dargelegten Methoden sinnvolle Ergebnisse erzielt werden können.

Tabelle 5.8: Gegenüberstellung der Immissionen und Emissionen in %

	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
Gesamt-Immissionen	67	54	66	134	78	71
Gesamt-Emissionen	100	100	100	100	100	100
Diffuse Quellen	3	3	6	23	39	26
Summe Punktquellen	97	97	94	77	61	74
<i>davon bei TW</i>	26	21	41	40	11	21
<i>davon bei NW</i>	66	69	32	37	9	11
<i>davon Industrielle Direkteinleiter¹</i>	5	7	21	0,04	41	42

¹ Jahresfrachten aus Einleitergenehmigungen oder Messungen 1991, Lahn oberhalb Wetzlar

Auffällig sind die vergleichsweise hohen Anteile von Pb, Cr und Ni aus diffusen Quellen (23% bis 29%). Die hohen Cr- und Ni-Frachten aus diffusen Quellen können mit hohen geogenen Hintergrundgehalten in Zusammenhang gebracht werden, die auf erhöhte Oberbodengehalte in den Basaltgebieten des Vogelsberg zurückzuführen sind (vgl. Kapitel 5.2.2.3). Auch MOHAUPT et al. (1998) bilanziert für das Rheineinzugsgebiet im Rahmen der IKSR für Cr und Ni erosionsbedingte Einträge von über 20%. Allerdings sind in seiner Studie die geogenen Quellen noch zusätzlich ausgewiesen. Tendenziell ergibt sich aber eine ähnliche Bedeutung von Geologie und Bodenabtrag für diese beiden Parameter. Die in der Tabelle vorgestellten, verhältnismäßig hohen Pb-Anteile aus diffusen Quellen können allerdings nicht durch diesen Zusammenhang erklärt werden. Die Einträge der restlichen Schwermetalle durch flächenhaften Bodenabtrag erreichen bis zu 6% der Gesamt-Emissionen.

Ferner spiegeln sich in der Gesamtbilanz die hohen Chrom- und Nickelanteile aus industriellen Direkteinleitern wieder. Die Angaben zur Industrie sind –wie bereits bei den Nährstoffen diskutiert– mit Vorsicht zu interpretieren. Es ist möglich, daß sich die tatsächlich eingeleiteten Frachten deutlich von denen unterscheiden, die hier in die Bilanz einfließen und auf Einleiterbescheiden beruhen. Durchgeführte Messungen liefern Hinweise, daß die Grenzen der Einleiterbescheide häufig unterschritten werden. Die Ergebnisse der IKSR (MOHAUPT et al., 1998) bestätigen diese These: Hier werden lediglich rd. 15% der Cr- und Ni-Einträge auf die Industrie zurückgeführt.

Bei Cd und Zn sind die Einträge mit rd. 70% überwiegend niederschlagsbedingt (siehe Pfad „Summe Punktquellen, davon bei NW“). Den größten Anteil daran haben die Emissionen aus der Kanalisation. So liegen die Cd- und Zn-Anteile aus Mischwasserentlastungen bei 36% und 43% an den Gesamt-Emissionen. Bei Zn stellen die Emissionen aus Mischwasserentlastungen vor den Kläranlagen (31% der Gesamt-Emissionen) die Haupteintragsquelle dar. Bei Cadmium, Kupfer und Blei bilden die Kläranlagen mit jeweils etwa 40% der Gesamt-Emissionen den Haupteintragspfad (vgl. Abbildung 5.9). Die Einträge über Regenentlastungen bei Cu und Pb liegen bei rd. 20% und 25%.

Bei Cd und Zn fallen die relativ großen Anteile der Einträge aus „Kanälen ohne Kläranlagenanschluß und Regenauslässe der Trennkanalisation“ auf (ca. 15% an den Gesamt-Emissionen). Bei Pb, Cr und Ni sind die diffusen Schwermetalleinträge von Bedeutung (23%, 39% und 26%). Den Haupteintragspfad bei Cr und Ni stellen die industriellen Direkteinleiter dar (41% und 42%).

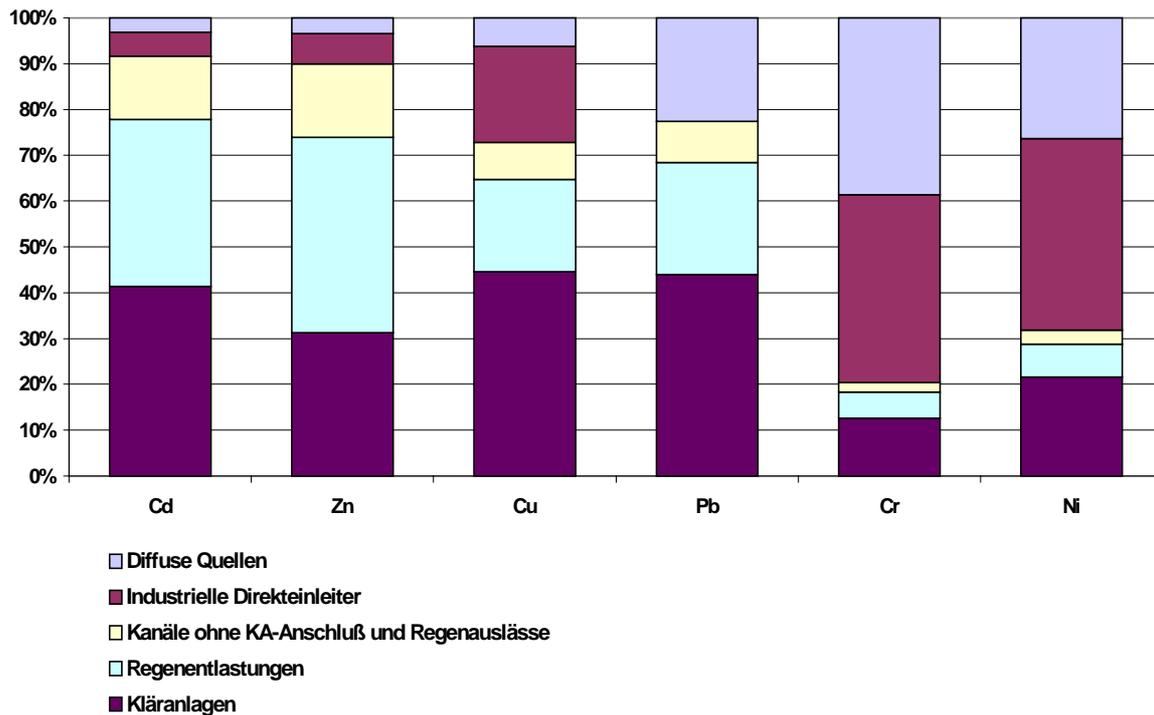


Abbildung 5.9: Verteilung der Schwermetalleinträge aus unterschiedlichen Quellen 1995 in der oberen Lahn

Der Vergleich der ermittelten Schwermetalleinträge in die Lahn mit den von der IKSR ermittelten für den Rhein ergibt eine gute Übereinstimmung, wenn man das Verhältnis der einzelnen Parameter in beiden Gebieten betrachtet. Mit den jeweils ermittelten Zinkeinträgen als Bezugsgröße ergeben sich die in Tabelle 5.9 angezeigten Prozentanteile. Abweichungen zwischen den Flußgebieten lassen sich bei den Verhältnissen von Pb und Cr erkennen. Im Rhein sind die ermittelten Bleianteile größer als am Gebietsauslaß der Lahn; bei Chrom ist es umgekehrt.

Tabelle 5.9: Schwermetalleinträge in die Lahn und in den Rhein in t/a (oben) und für beide Flüsse jeweils das Verhältnis der einzelnen Schwermetalle zu Zn in %

[t/a]	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
NIEDERSCHLAG/ Lahn	0,4	89	15	6	11	11
MOHAUPT et al. (1998)/ Rhein	4,4	970	180	160	86	110
[jeweilige Verhältnisse zu Zn in %]	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
NIEDERSCHLAG/ Lahn	0,5	100	16	7	13	13
MOHAUPT et al. (1998)/ Rhein	0,5	100	19	16	9	11

5.3 LAHN RHEINLAND-PFALZ: IST-ZUSTAND

5.3.1 Nährstoffe und Zehrstoffe

5.3.1.1 *Immissionen*

Im Zuge der Immissionsbilanzierungen wurden für sieben Gewässergütemeßstellen an der Lahn und vier weitere an den Mündungen der größeren Nebengewässer Frachtschätzungen durchgeführt. Für den Vergleich der Emissionen und Immissionen wurde auf der Ebene der Gesamtbilanz des unteren Lahngbietes auf die Frachtabschätzungen der beiden Gewässergütemeßstellen Lahnstein und Diez zurückgegriffen. Während die Gewässergütemeßstelle Lahnstein nahe der Lahnmündung angeordnet ist, befindet sich der Probenahmeort Diez unmittelbar an der Grenze zwischen den beiden Bundesländern Rheinland-Pfalz und Hessen. Das Einzugsgebiet zwischen diesen beiden Punkten ist damit identisch mit den ca. 1.050 km² des unteren Lahngbietes, die in der Emissionsberechnung berücksichtigt wurden. Die beiden Seiten der Bilanz können somit direkt gegenüber gestellt und miteinander verglichen werden.

Die Ergebnisse der anderen neun Gewässergütemeßstellen dienten dazu, Teilbilanzen für die jeweiligen Flußabschnitte bzw. für die Nebengewässer aufzustellen bzw. bei Bedarf als Ersatzwerte zu dienen, wenn die Berechnungen in Diez bzw. Lahnstein zu unplausiblen Ergebnissen führten.

Grundsätzlich erfolgte die Frachtberechnung für jede Meßstelle mit Hilfe der vier beschriebenen Berechnungsmethoden für Einzelproben, die im Kapitel 4.3.1 bereits erläutert worden sind. In die Bilanzen bzw. Teilbilanzen gingen aber in der Regel nur die Werte nach den Methoden der Konzentrations-Abfluß- bzw. Fracht-Abfluß-Beziehungen ein. Die übrigen Methoden dienten im wesentlichen dazu, die Bandbreite der möglichen Ergebnisse besser abzuschätzen.

Die Ergebnisse nach der Konzentrations-Abfluß-Methode wurden nur dann in Bilanzen übernommen, wenn der Betrag des Korrelationskoeffizient r größer als 0,3 war. Bei einem niedrigeren Korrelationskoeffizient wurden hingegen die Werte der Fracht-Abfluß-Methode herangezogen.

Die Frachten, die in die Gewässer der unteren Lahn eingeleitet worden sind, müssen theoretisch der Differenz aus den Frachten der Meßstellen Lahnstein und Diez entsprechen, sofern Quellen und Senken im Gewässer selbst vernachlässigt werden können. Die in Tabelle 5.10 für die Meßstelle Diez angegebenen Frachten für die einzelnen Parameter unterscheiden sich jedoch von den Werten, die im hessischen Teil für die Meßstelle Limburg/Diez ermittelt worden sind. Die Gründe dafür sind folgende:

Tabelle 5.10: Errechnete Immissionen an den Meßstellen Lahnstein und die sich daraus ergebende Differenz (Schleuse Scheidt)

Parameter	Einheit	Lahnstein	Diez	Differenz
P_{ges}	t/a	353	264	89
N_{ges}	t/a	8.164	6.210	1.954
BSB_5	t/a	6.328	5.376	952
CSB	t/a	17.600	14.713	2.887
Cd	kg/a	321	260	61
Zn	kg/a	116.943	70.000 ¹	46.943
Cu	kg/a	5.748	4.021	1.727
Pb	kg/a	3.141	2.464	677
Cr	kg/a	2.161	1.670	491
Ni	kg/a	5.144	3.886	1.258

Bei den Schwermetallen wurden bei der Gewässergütemessung in Rheinland-Pfalz und Hessen auf unterschiedliche Nachweisverfahren zurückgegriffen. Dies hat zur Folge, daß die Nachweisgrenzen in Rheinland-Pfalz deutlich niedriger sind als in Hessen. Ein Vergleich der Untersuchungsreihen zeigte außerdem, daß die Anzahl der Messungen, die über der Nachweisgrenze des jeweiligen Verfahrens liegen, in Rheinland-Pfalz nicht deutlich höher ist als in Hessen. Für die Frachtberechnung bedeutet dies, daß egal ob diese Meßwerte nun mit der halben oder ganzen Nachweisgrenze in die Berechnung einfließen, die Einbeziehung der hessischen Daten zu deutlich höheren Ergebnissen geführt hätte. Unabhängig davon, ob dadurch die tatsächliche Schwermetallfracht im Gewässer überschätzt worden wäre oder nicht, hätte dies dazu geführt, daß die Vergleichbarkeit der Ergebnisse dieser wichtigen Meßstelle mit den übrigen 10 im rheinland-pfälzischen Einzugsgebiet liegenden Gewässergütemeßstellen aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen nicht mehr gegeben gewesen wäre. Für die kleinräumige Betrachtung in diesem Teilabschnitt der Lahn ist aber die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von großer Bedeutung. Ein weiterer Grund, der gegen die Einbeziehung der Schwermetallmeßwerte aus Limburg sprach, ist der Umstand, daß aufgrund der Vielzahl von Meßwerten, die unterhalb der Nachweisgrenze lagen, keine sinnvolle Trendanalyse für diese Parameter durchgeführt werden konnte. Die Entwicklung der letzten Jahre läßt aber vermuten, daß gerade bei den Schwermetallen ein Trend nicht auszuschließen ist.

Darüber hinaus hat ein Frachtvergleich der einzelnen Meßstellen gezeigt, daß sich die Ergebnisse, die an der Gütemeßstelle Diez unter Einbeziehung des kompletten hessischen Datensatzes ermittelt wurden, sich zumeist nicht anhand der Ergebnisse von drei Gewässergütemeßstellen, die zwischen 10 und 25 km unterhalb der Meßstelle Diez liegen, bestätigen ließen.

Diese und weitere Erkenntnisse hatten zur Folge, daß es nur bei zwei Parametern (P_{ges} und CSB) sinnvoll erschien, hessische Daten mit in die Berechnung an der Landesgrenze mit einzubeziehen. In diesen beiden Fällen wurde allerdings nicht der gesamte hessische Datensatz, der bis in die 80er Jahre zurückreicht, verwendet. Aus Gründen der Vergleichbarkeit der Ergebnisse der verschiedenen Meßstellen wurden nur die Daten der Jahre 1992 bis 1996 verwendet, sodaß den an verschiedenen Stellen durchgeführten Berechnungen jeweils äquidistante Untersuchungszeiträume zugrunde liegen.

Anzumerken ist noch, daß beim Zink nicht die Ergebnisse der Meßstelle Diez, sondern die Immissionen an der Gewässergütemeßstelle Schleuse Scheidt, korrigiert um die Werte der

Einzugsgebiete 25891 und 2588, angesetzt werden mußten, da die Werte bei Diez unplausibel waren. Während bei Scheidt genauso wie bei Lahnstein eine deutliche Konzentrations-Abfluß-Beziehung beim Zink festgestellt werden konnte, war dies bei Diez nicht der Fall. Der Korrelationskoeffizient betrug nahezu 0, d.h. es war überhaupt kein Zusammenhang zwischen Konzentration und Abfluß vorhanden.

Einschränkend muß bei Ergebnissen der Schwermetallfrachten noch darauf hingewiesen werden, daß der Fehlerbereich der berechneten Immissionen aufgrund der ungünstigen Randbedingungen (keine Messungen über Sedimente und Schwebstoffe) ungleich höher sein dürfte als bei den Nähr- und Zehrstoffen.

5.3.1.2 *Punktförmige Einträge*

Im unteren Lahngbiet, das im wesentlichen die Wassereinzugsgebiete 2588 und 2589 umfaßt, wurde 1995 auf den 53 rheinland-pfälzischen und 13 hessischen öffentlichen Kläranlagen, die das ganze Jahr oder Teile des Jahres in Betrieb waren, eine Jahresschmutzwassermenge von ca. 19,3 Mio. m³ behandelt. 7,7 Mio. m³ (40 %) entfielen dabei auf häusliches und kleingewerbliches Abwasser und 1,7 Mio. m³ (9 %) auf gewerblich-industrielles Schmutzwasser (ca. 41.500 EGW). Bei den restlichen 9,8 Mio. m³ (51 %) handelt es sich um mitbehandeltes Fremdwasser. Angeschlossen waren an diese Anlagen im Bilanzjahr 1995 ca. 173.000 Einwohner, woraus sich ein durchschnittlicher Schmutzwasseranfall von ca. 122 l/(E·d) errechnet.

Die Berechnungen zeigen, daß aus diesen Kläranlagenabläufen infolge Trockenwetterabfluß 1995 an Nährstoffen ca. 33,4 t P_{ges} und ca. 324 t N_{ges} in die Gewässer dieses Gebietes eingeleitet wurden. Die Zehrstoffemissionen aus diesen Quellen können mit ca. 892 t CSB beziffert werden.

Darüber hinaus wurden auf diesen 66 Klärwerken auch noch ca. 6,6 Mio. m³ Regenwasser einer Behandlung unterzogen. Die Emissionen infolge Niederschlagsabfluß bewirkten einen zusätzlichen Nährstoffeintrag aus Kläranlagenabläufen von ca. 8,4 t P_{ges} bzw. 74 t N_{ges} bzw. bei den Zehrstoffen von ca. 191 t CSB. Allerdings ist darauf hinzuweisen, daß ca. 670.000 m³, also etwa ein Zehntel der Gesamtmenge des mitbehandelten Regenwassers, auf fehlerhaften statistische Angaben beruhen dürfte. Bei einigen Anlagen wurden die mitbehandelten Regenwassermengen offensichtlich zu hoch angegeben, was im wesentlichen zwei Gründe haben kann. Entweder enthalten diese Angaben einen größeren Anteil Fremdwasser oder die Zulaufmessungen verlaufen ungenau. Da die Ursachen bzw. Fehler im Nachhinein nicht mehr aufgeklärt werden konnten, wurde im Ist-Zustand zunächst einmal mit dem vorhandenen Angaben gerechnet. Wenn es sich bei diesen 670.000 m³ tatsächlich um Fremdwasser gehandelt hat, werden damit die Gesamteinträge aus Kläranlagenabläufen nahezu unverändert richtig berechnet, es werden lediglich die Komponenten infolge Trockenwetterabfluß leicht unterschätzt bzw. infolge Niederschlagsabfluß überschätzt. Sollten diese Werte jedoch auf einer falschen Zulaufmengenmessung beruhen, dann hat dies zur Folge, daß die in Tabelle 5.11 angegebenen Frachten infolge Niederschlagsabfluß mit maximal 10 % zu hoch ermittelt wurden. Aufgrund des geringen Anteils dieser Komponente an der Gesamtfracht ist dieser Fehler aber vernachlässigbar.

Tabelle 5.11: Emissionen aus Kläranlagenabläufen im unteren Lahngebiet im Ist-Zustand für 1995

1. Emissionen aus KA	P_{ges}		N_{ges}		CSB	
	t/a	%	t/a	%	t/a	%
1.1 infolge TW-Abfluß	33,4	79,9	324,2	81,5	892	82,4
1.2 infolge RW-Abfluß	8,4	20,1	73,6	18,5	191	17,6
Summe 1.1 und 1.2	41,8	100,0	397,8	100,0	1.083	100,0

Im betrachteten Gebiet waren 1995 ca. 26.400 Einwohner zwar an einen öffentlichen Kanal, nicht aber eine Kläranlage angeschlossen. Bezogen auf die an die öffentliche Kanalisation angeschlossene Bevölkerung ergibt sich daraus ein Anteil von ca. 13 %. Der Anteil dieser Gebiete an der über die Kanalisation entwässerten Fläche ist etwas geringer und dürfte ca. 12 % betragen. Aus diesen Kanälen wurden ca. 1,1 Mio. m³ häuslichen und kleingewerblichen Schmutzwassers, dies entspricht einem einwohnerspezifischen Schmutzwasseranfall von ca. 111 l/(E·d), und ca. 60.000 m³ gewerblich-industriellen Schmutzwassers direkt in die Gewässer eingeleitet. Eine Vorbehandlung erfolgte zumeist nur über die dem Kanal vorgeschalteten Mehrkammerausfallgruben.

Über diesen Eintragspfad sind somit infolge Trockenwetterabfluß 1995 an Nährstoffen ca. 19 t P_{ges} bzw. ca. 104 t N_{ges} und an Zehrstoffen ca. 818 t CSB emittiert worden. Infolge Niederschlagsabfluß gelangten aus den an diese Kanäle angeschlossenen Flächen ca. 0,8 t P_{ges} , 5,6 t N_{ges} und ca. 138 t CSB in das Gewässersystem der unteren Lahn.

Ca. 7 % der im unteren Lahngebiet an die öffentlichen Kanalisationen angeschlossenen Flächen werden im Trennsystem entwässert. Behandlungsmaßnahmen, wie z.B. Regenklärbecken, sind nicht vorhanden. Die Abschätzungen ergaben, daß über die Regenauslässe der Trenngebiete ca. 0,4 t P_{ges} , 2,6 t N_{ges} , und ca. 65 t CSB an Stoffeinträgen im Bilanzjahr 1995 in die Gewässer des Einzugsgebietes emittiert wurden.

Der überwiegende Teil (1995: ca. 81 %) des unteren Lahngebietes werden im Mischsystem entwässert. Die Abschätzung der Austräge aus Entlastungen ergaben, daß mit den entlasteten Mischwasser an Nährstoffen 4,0 t P_{ges} bzw. 25 t N_{ges} sowie an Zehrstoffen ca. 407 t CSB in das Gewässersystem der Lahn gelangt sein dürften. Daraus resultieren mittlere Entlastungskonzentrationen von 1,2 mg P_{ges} /l, 7,4 mg N_{ges} /l und 121 mg CSB/l.

Vergleicht man die Abflußvolumina, die für die Mischkanalisation errechnet wurden, mit den auf der Kläranlage mitbehandelten Niederschlagsmengen, so dürften 1995 ca. 36 % des abflußwirksamen Niederschlags in Mischgebieten entlastet worden sein, ein Wert, der auf den ersten Blick aufgrund der sonstigen siedlungswasserwirtschaftlichen Defizite erstaunlich niedrig ist. Allerdings ist dies nur ein Durchschnittswert, denn es gab auch kleinere Gemeinden, bei denen noch keine Regenüberlauf- oder Regenrückhaltebecken vorhanden waren. In diesen Gemeinden ergaben sich Entlastungsvolumenkomponenten von teilweise weit über 70 %. Hingegen wurden in einigen Gebieten, bei denen bereits entsprechende Rückhaltevolumen realisiert wurden, Entlastungsabflußkomponenten errechnet, die teilweise deutlich unterhalb des Mittelwertes lagen. Da dies überwiegend größere Gemeinden waren, haben sich diese Ergebnisse im gewichteten Mittelwert besonders niedergeschlagen. Darüber hinaus muß beachtet werden, daß 1995 in dieser Gegend ein äußerst regenarmes Jahr war, in dem stellenweise ca. 200 mm weniger Niederschlag fielen als im langjährigen Durchschnitt. Die mittlere Entlastungsabflußkomponente dürfte deswegen im langjährigen Mittel deutlich höher liegen.

In einigen wenigen Fällen ergaben die Berechnungen sogar negative Entlastungsvolumenkomponenten, was auf den unplausiblen Daten zur Regenwasserbehandlung beruht. Da die Berechnungen aber jeweils für jede Abwasserreinigungsanlage und das dazugehörige Kläranlageneinzugsgebiet einzeln durchgeführt wurden, ist der sich daraus ergebende Fehler als sehr viel geringer einzuschätzen als wenn die Berechnungen auf Flußgebietsebene durchgeführt worden wären. So ergaben Vergleichsrechnungen in einem Nebengewässer der Lahn, daß sich eine mittlere Entlastungsrate von nur 8 % ergab, wenn man die Kläranlagen zusammenfaßte und die Berechnungen auf Flußgebietsebene durchführte. Die Berechnung auf Ebene jeder einzelnen Kläranlage und die anschließende Ermittlung eines Mittelwertes ergab hingegen für das gleiche Flußgebiet eine Entlastungsabflußkomponente von 22 %, ein Wert der allerdings immer noch niedrig ist. In diesem Fall hätten die teilweise extrem hohen Regenwassermengen, die angeblich auf einigen wenigen Anlagen mitbehandelt wurden, zu einer deutlichen Unterschätzung der entlasteten Regenwassermenge geführt.

Industrielle Direkteinleiter spielen bezüglich der Fracht im unteren Lahnggebiet nur eine untergeordnete Rolle, als Emissionen wurden bei den Nährstoffen ca. 0,1 t P_{ges} bzw. 10,8 t N_{ges} und bei den Zehrstoffen ca. 7,4 t CSB errechnet.

Alle Ergebnisse sind nochmals in Tabelle 5.12 dargestellt.

Tabelle 5.12: Emissionen aus punktförmigen Quellen im unteren Lahnggebiet im Ist-Zustand für 1995

Emissionen aus	P _{ges}		N _{ges}		CSB	
	t/a	%	t/a	%	t/a	%
1. Kläranlagen						
1.1 infolge TW-Abfluß	33,4	50,5	324,2	59,4	892	35,4
1.2 infolge NW-Abfluß	8,4	12,7	73,6	13,5	191	7,6
Summe 1.1 und 1.2	41,8	63,2	397,8	72,9	1.083	43,0
2. Kanälen ohne KA						
2.1 infolge TW-Abfluß	19,0	28,7	103,9	19,0	818	32,5
2.2 infolge NW-Abfluß	0,8	1,2	5,6	1,0	138	5,5
Summe 2.1 und 2.2	19,8	30,0	109,5	20,1	956	38,0
3. Industr. Direkteinl.	0,1	0,2	10,8	2,0	7	0,3
4. Regenauslässe	0,4	0,6	2,6	0,5	65	2,6
5. Regenentlastungen	4,0	6,1	25,0	4,6	407	16,2
Summe 1 bis 5	66,1	100,0	545,7	100,0	2.518	100,0
davon aufg. TW-Abfluß	52,5	79,4	438,9	80,4	1.717	68,2
davon aufg. NW-Abfluß	13,6	20,6	106,8	19,6	801	31,8

Tabelle 5.12 macht deutlich, daß bei den Nähr- und Zehrstoffeinträgen aus punktförmigen Quellen der weitaus größte Teil auf Emissionen infolge Trockenwetterabfluß zurückzuführen ist. Besonders interessant ist dabei der Anteil der Einträge aus Kanälen ohne Kläranlagenanschluß. Obwohl nur ca. 13 % der ca. 243.000 an eine öffentliche Kanalisation angeschlossenen Einwohnerwerte auf Gebiete ohne Kläranlagenanschluß entfallen, machen die Emissionen infolge Trockenwetterabfluß aus diesen Kanälen bei den Nährstoffen bis zu 30 %, bei den Zehrstoffen sogar 38 % aus. Diese Werte machen deutlich, welche Defizite im Bezug auf die Kläranlagensituation im Jahre 1995 im rheinland-pfälzischen Lahnggebiet vorhanden waren und teilweise noch immer sind.

Darüber hinaus wird deutlich, daß der Anteil der niederschlagsbedingten Emissionen aus dem Kanalnetz bzw. aus der Kläranlage sowohl bei den Nähr- als auch bei den Zehrstoffen

im betrachteten Jahr vergleichsweise gering war und nur zwischen ca. 20 bis 30 % der Frachteinträge aus punktförmigen Quellen ausmacht.

5.3.1.3 *Diffuse Einträge*

Basierend auf der in der Literaturlauswertung ermittelten flächenspezifischen Eintragungspotentialen ergab sich beim Stickstoff eine Bandbreite möglicher Ergebnisse von 459 und 3.942 t/a. Beim Phosphor war diese mit 11 bis 117 t/a sogar noch etwas größer. Aus diesem Zusammenhang wird deutlich, wie schwierig es ist, diffuse Einträge abzuschätzen bzw. mit welchen Fehlern die errechneten Werte behaftet sein können. Allerdings ist anzumerken, daß diese große Bandbreite auf in der Literatur gefundene Extremwerte zurückzuführen ist, die mit Sicherheit nicht flächendeckend vorzufinden sind. Die durchgeführten Berechnungen weisen eher darauf hin, daß die Einträge aus diffusen Einträge eher im Bereich von 37 t P_{ges} bzw. 1.600 t N_{ges} liegen. Diesen Abschätzungen liegen die in Anhang A.3 dargestellten mittleren flächenspezifischen Eintragungspotentiale zugrunde, die auch in etwa den Schwerpunkt der in der Literatur gefundenen Werte widerspiegeln (s. a. Kapitel 4.4.2).

Im Rahmen einer Studie (SCHMITT et al., 1999), die die Quellen und das Ausmaß der Nährstoffbelastungen des Ohmbachstausees (Westpfalz) ermitteln sollte, wurden die diffusen Quellen analog zu der in diesem Forschungsprojekt angewendeten Vorgehensweise abgeschätzt. Das Einzugsgebiet, ebenfalls in einem Mittelgebirge gelegen, des oberhalb des Stausees liegenden Ohmbaches umfasst eine Fläche von ca. 36 km². Es ist sowohl von der naturräumlichen Nutzung als auch von der Siedlungsstruktur ähnlich größeren Teilen des unteren Lahngbietes. Die landwirtschaftliche Nutzung dominiert, Gewerbe- und Industrie sind kaum vorhanden. Darüber hinaus gibt es weitere Ähnlichkeiten zwischen den Gebieten, wie z.B. den sehr niedrigen Anteil der im Trennsystem entwässerten Bereiche an der gesamten entwässerten Fläche sowie verwandte bzw. stellenweise auch gleiche Boden- gruppen bzw. -arten. Aufgrund der günstigen Randbedingungen, es gibt keine Kläranlagen- abläufe in diesem Gebiet und der Anschlußgrad an Kanalisation und Kläranlage beträgt über 99 %, können die punktförmigen Quellen, mit Ausnahme einiger Regenentlastungen, aus Sicht der Nährstoffbelastung weitestgehend vernachlässigt werden. Ein Vergleich der berechneten Immissionen mit den Mittelwerten der diffusen, flächenspezifischen Nährstoffeintragspotentiale, die auch im Rahmen dieses Projektes verwendet worden sind, zeigte eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden Bilanzseiten. Die Abweichung betrug sowohl beim Stickstoff als auch beim Phosphor weniger als 15 %.

Für CSB konnten keine flächenspezifischen Potentiale ermittelt werden, da der Zehrstoffparameter in der Land- und Forstwirtschaft keine praktische Bedeutung hat. Dementsprechend konnten aus der Literatur keine Potentiale ermittelt werden.

5.3.1.4 *Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen*

Die Ergebnisse aus den vorangegangenen Abschnitten sollen nun zu einer Gesamtbilanz zusammengefügt werden.

Tabelle 5.13: Emissionen aus punktförmigen Quellen im unteren Lahnggebiet im Ist-Zustand für 1995 (in [t/a] bzw. in [%] der Summe der Emissionen)

Emissionen aus	P_{ges}		N_{ges}		CSB t/a
	t/a	%	t/a	%	
1. Kläranlagen	41,8	40,4	397,8	18,5	1.083
2. Kanälen ohne KA	19,8	19,1	109,5	5,1	956
3. Industriel. Direkteinl.	0,1	0,1	10,8	0,5	7
4. Regenauslässe	0,4	0,4	2,6	0,1	65
5. Regenentlastungen	4,0	3,9	25,0	1,2	407
davon aufg. TW-Abfluß	52,5	50,7	438,9	20,4	1.717
davon aufg. NW-Abfluß	13,6	13,1	106,8	5,3	801
Punktförmige Quellen	66,1	63,9	545,7	25,3	2.518
Diffuse Quellen	37,4	36,1	1.607,4	74,7	
Summe Emissionen	103,5	100,0	2.153,1	100,0	
Summe Immissionen	89,0	86,0	1.954,0	90,8	2.887

Vergleicht man die abgeschätzten Emissionen mit den Immissionen, so zeigt sich eine gute Übereinstimmung bei den Nährstoffen. Die Abweichungen betragen nur etwa 14 % beim P_{ges} und nur ca. 9 % beim Stickstoff. Geht man davon aus, daß die Immissionsberechnungen und die Emissionen aus punktförmigen Quellen trotz aller möglicher Fehlerquellen einigermaßen genau sind, so deutet dies darauf hin, daß die diffusen Einträge mit den gewählten Mittelwerten recht gut abgeschätzt worden sind. Die noch vorhandenen kleinen Unterschiede lassen sich dann noch mit Verlusten durch Abbauprozesse bzw. mit einer Zwischenspeicherung im Gewässer (z.B. in Sedimenten) erklären.

Errechnet man sich nun auf Basis der ermittelten Gesamtemissionen die prozentuale Verteilung der einzelnen Eintragspfade, so stellt man beim Phosphor fest, daß ca. 64 % der Einträge aus punktförmigen Quellen oder besser aus Siedlungsgebieten stammen. Der überwiegende Teil davon ist allerdings auf Trockenwetterabfluß zurückzuführen, nämlich 51 %. Die Emissionen infolge Niederschlagsabfluß befestigter Flächen betragen hingegen nur ca. 13 % und liegen damit noch deutlich unter den Einträgen aus diffusen Quellen (37 %). Etwas anders sieht die Situation beim Stickstoff aus. Hier dürften ca. 75 % der Einträge auf diffuse Quellen zurückzuführen sein und nur ein Viertel stammt aus punktförmigen Einträgen. Genauso wie beim Phosphor ist allerdings der weitaus größte Teil der Emissionen aus urbanen Gebieten auf den Trockenwetterabfluß zurückzuführen, während nur ca. 5 % der niederschlagsbedingten Stickstoffeinträge auf befestigte Flächen zurückzuführen sind.

Bei den Zehrstoffen ist eine Interpretation der Gesamtergebnisse nicht so einfach möglich, da der Eintragspfad über die diffusen Quellen nicht berechnet werden konnte. Ein direkter Vergleich zwischen den Emissionen aus punktförmigen Quellen und den abgeschätzten Immissionen, nach denen die punktförmigen Eintragspfade die dominierende Größe darstellen, erscheint ebenfalls nicht zulässig, da bei den Zehrstoffen mit deutlich höheren Abbauvorgängen im Gewässer gerechnet werden muß als bei den Nährstoffen.

In Tabelle 5.14 sind die flächenspezifischen Emissionen dargestellt, die sich durch Umrechnung der in Tabelle 5.13 dargestellten und bereits erläuterten Werte ergeben.

Tabelle 5.14: flächenspezifischen Nähr- und Zehrstoff-Emissionen im unteren Lahngbiet für das Jahr 1995

Emissionen aus	P_{ges} kg/(ha·a)	N_{ges} kg/(ha·a)	CSB kg/(ha·a)
punktförmige Quellen	0,63	5,2	24,0
diffuse Quellen	0,36	15,3	
Gesamt	0,99	20,5	

Im Rahmen der recht detaillierten Berechnung der unteren Lahn wurde nicht nur eine Gesamtbilanz, sondern auch eine Reihe von Teilbilanzen für die größeren Nebengewässer der Lahn durchgeführt. Bei diesen Teilbilanzen hat sich aber gezeigt, daß die beiden Seiten der Bilanz in aller Regel nicht gleich groß sind. Auch bei den Nährstoffen, deren Gesamtbilanz recht gut aufgegangen ist, kam es nur selten zu einer ungefähren Übereinstimmung der beiden Bilanzseiten.

Der Fehler dürfte in diesem Fall aber nicht bei den doch sehr kleinmaßstäblich durchgeführten Emissionsberechnungen zu suchen sein, sondern vielmehr bei der Immissionsbilanzierung. Diese Einschätzung kann damit begründet werden, daß beispielsweise in einem Fall die berechneten Immissionen unterhalb der ermittelten Emissionen aus Kläranlagenabläufen lag. Diese Emissionen basierten allerdings bei allen Kläranlagen im Einzugsgebiet dieses Nebengewässer auf den Messungen der Eigenüberwachung. Die Ergebnisse können somit als relativ genau angesehen werden. Ähnlich verhält es sich auch bei anderen Nebengewässern.

Daß der Fehler offensichtlich bei den ermittelten Immissionen zu suchen ist, scheint auf den ersten Blick verwunderlich, denn die Berechnung gestaltete sich einfacher als bei der gesamten rheinland-pfälzischen Lahn. Da die meisten Gewässergütemeßstellen der Nebengewässer nahe der Mündung angeordnet sind, können die berechneten Werte direkt in die Bilanz übernommen werden, während es bei der Gesamtbilanz erforderlich war, zunächst noch die Differenz der beiden Meßstellen Lahn und Diez zu bilden, eine Vorgehensweise, die wieder ein erhebliches Fehlerpotential in sich birgt. Auf der anderen Seite gibt es auch bei den Nebengewässern einige Umstände, die zu fehlerbehafteten Ergebnissen bei der Immissionsbilanzierung führen können. Die Nebengewässer werden im Lahngbiet weniger oft beprobt als im Hauptgewässer, außerdem war der Beobachtungszeitraum der zur Verfügung stehenden Daten kürzer. Da bereits die Anzahl der Beprobungen im Hauptgewässer an der absolut unteren Grenze der Anzahl der Messungen lag, die für eine halbwegs statistisch abgesicherte Berechnung erforderlich waren, führt die nochmals niedrigere Anzahl der Untersuchungen bei der Ermittlung der Immissionen in den Nebengewässern zwangsläufig zu entsprechenden Fehlern. Dieses Manko der geringen Anzahl von Meßwerten zeigt sich auch daran, daß das Abflussspektrum, welches in den Nebengewässern beprobt wurde, in aller Regel kleiner ist als bei den Lahnmeßstellen. D.h. besonders die Hochwasserereignisse, in deren Verlauf es beispielsweise zum Bodenabtrag infolge Wassererosion kommen kann, wurden nicht oder nur ungenügend erfaßt.

5.3.2 Schwermetalle

5.3.2.1 Punktförmige Einträge

Bei den Schwermetalleinträgen aus punktförmigen Quellen sieht die Situation etwas anders aus als bei den Nähr- und Zehrstoffen. Der Anteil der niederschlagsbedingten Emissionen ist hier deutlich höher. Bei Cadmium und Zink dominiert er sogar mit einem Anteil von ca. 70 % die punktförmigen Einträge. Aber auch bei den anderen Schwermetallen machen diese Eintragswege noch ca. 25 bis 40 % aus (Tabelle 5.15 und Tabelle 5.16).

Tabelle 5.15: Emissionen aus punktförmigen Quellen im unteren Lahnggebiet im Ist-Zustand für 1995

Emissionen aus	Cd		Zn		Cu	
	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%
1. Kläranlagen						
1.1 infolge TW-Abfluß	8,3	21,7	2.210	24,9	684,2	52,3
1.2 infolge NW-Abfluß	6,1	16,0	764	8,6	60,5	4,6
Summe 1.1 und 1.2	14,4	37,7	2.974	33,6	744,7	57,0
2. Kanälen ohne KA						
2.1 infolge TW-Abfluß	2,0	5,2	632	7,1	151,1	11,6
2.2 infolge NW-Abfluß	6,3	16,5	1.514	17,1	109,8	8,4
Summe 2.1 und 2.2	8,3	21,7	2.146	24,2	260,9	20,0
3. Industr. Direkteinl.	0,0	0,0	34	0,4	13,8	1,1
4. Regenauslässe	3,0	7,9	713	8,0	51,7	4,0
5. Regenentlastungen	12,5	32,7	2.994	33,8	236,4	18,1
Summe 1 bis 5	38,2	100,0	8.861	100,0	1.307,5	100,0
davon aufg. TW-Abfluß	10,3	27,0	2.876	32,5	849,1	64,9
davon aufg. NW-Abfluß	27,9	73,0	5.985	67,5	458,4	35,1

Tabelle 5.16: Emissionen aus punktförmigen Quellen im unteren Lahnggebiet im Ist-Zustand für 1995

Emissionen aus	Pb		Cr		Ni	
	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%
1. Kläranlagen						
1.1 infolge TW-Abfluß	296,4	52,5	157,2	56,5	285,0	60,3
1.2 infolge NW-Abfluß	19,6	3,5	13,7	4,9	12,7	2,7
Summe 1.1 und 1.2	316,0	56,0	170,9	61,5	297,7	63,0
2. Kanälen ohne KA						
2.1 infolge TW-Abfluß	46,8	8,3	18,0	6,5	61,5	13,0
2.2 infolge NW-Abfluß	54,2	9,6	24,6	8,8	31,0	6,6
Summe 2.1 und 2.2	101,0	17,9	42,6	15,3	92,5	19,6
3. Industr. Direkteinl.	1,3	0,2	0,6	0,2	1,7	0,4
4. Regenauslässe	25,5	4,5	11,6	4,2	14,6	3,1
5. Regenentlastungen	120,5	21,4	52,3	18,8	65,8	13,9
Summe 1 bis 5	564,3	100,0	278,0	100,0	472,3	100,0
davon aufg. TW-Abfluß	344,5	61,0	175,8	63,2	348,2	73,7
davon aufg. NW-Abfluß	219,8	39,0	102,2	36,8	124,1	26,3

5.3.2.2 Diffuse Einträge

Entsprechend der in Kapitel 4.4.2 dargestellten Vorgehensweise und den in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Vorberechnungen ergeben sich für den rheinland-pfälzischen Teil der Lahn die in Tabelle 5.17 aufgeführten Schwermetalleinträge.

Tabelle 5.17: Schwermetalleinträge infolge Bodenerosion für 1995 in [kg/a], unteres Lahnggebiet

Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
7	1.172	215	1.108	210	288

Bezogen auf die gesamte ackerbauliche Fläche in diesem Gebiet ergeben sich daraus die in Tabelle 5.18 gezeigten, mittleren flächenspezifischen Schwermetallabtragspotentiale $f_{a,diffus}$.

Tabelle 5.18: Flächenspezifische Schwermetallabtragspotentiale von Ackerflächen in [g/(ha-a)], unteres Lahnggebiet

Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
3,2	558	103	527	100	137

5.3.2.3 Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen

Die Ergebnisse aus den vorangegangenen Abschnitten sollen nun zu einer Gesamtbilanz zusammengefügt werden.

Tabelle 5.19: Schwermetallemissionen aus punktförmigen Quellen für 1995 in [kg/a], unteres Lahnggebiet

Emissionen aus	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
1. Kläranlagen	14,4	2.974	744,7	316,0	170,9	297,7
2. Kanälen ohne KA	8,3	2.146	260,9	101,0	42,6	92,5
3. Industr. Direkteinl.	0,0	34	13,8	1,3	0,6	1,7
4. Regenauslässe	3,0	713	51,7	25,5	11,6	14,6
5. Regenentlastungen	12,5	2.994	236,4	120,5	52,3	65,8
davon aufg. TW-Abfluß	10,3	2.876	849,1	344,5	175,8	348,2
davon aufg. NW-Abfluß	27,9	5.985	458,4	219,8	102,2	124,1
Punktförmige Quellen	38,2	8.861	1.307,5	564,3	278,0	472,3
Diffuse Quellen	6,6	1.172	215,2	1.107,9	210,3	288,3
Summe Emissionen	44,8	10.033	1.522,7	1.672,2	488,3	760,6
Summe Immissionen	61,0	46.943	1.727,0	677,0	491,0	1.258,0

Tabelle 5.19 zeigt, daß die beiden Bilanzseiten bei einigen Parametern, z.B. Kupfer und Chrom mit einer Abweichung etwa 12 % bzw. 0,5 % ganz gut bis sehr gut übereinstimmen. Allerdings ist hier ebenfalls Vorsicht angebracht, denn beide Seiten der Bilanz dürften aufgrund der ungünstigen Randbedingungen mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sein. Die guten Übereinstimmungen bei dem ein oder anderen Schwermetallparameter könnten deshalb durchaus auch nur zufallsbedingt sein, wofür beispielsweise die Ergebnisse beim Zink sprechen würden. Der extrem hohe Wert, der an der Meßstelle Lahnstein gemessen wurde, beruht auf einer recht guten Konzentrations-Abfluß-Beziehung. Bei allen anderen Meßstellen und Schwermetallparametern konnten hingegen zumeist keine entsprechenden Beziehungen gefunden werden. Beispielsweise war der Korrelationskoeffizient der Konzentrations-Abfluß-Beziehung an der Meßstelle Diez nahezu Null, weshalb hier auf die Ergebnisse der Meßstelle Scheidt zurückgegriffen werden mußte, bei der ebenfalls beim Zink eine deutliche Konzentrations-Abfluß-Beziehung erkennbar war. Auch die sonstigen Rahmenbedingungen waren bei diesem Parameter in Lahnstein recht günstig, fast alle Meßwerte lagen oberhalb der Nachweisgrenze und das Abflußspektrum wurde zwar nicht komplett, aber doch einigermaßen vollständig abgedeckt.

Industrielle Direkteinleiter könnten beispielsweise nur einen Bruchteil dieser Fracht einleiten, selbst wenn sie die Grenzen ihrer Einleiterbescheide voll ausnützen würden. Die Kontrollmessungen der Aufsichtsbehörden, die allerdings von Art und Umfang nur in geringer Zahl für die jeweiligen Einleiter zur Verfügung standen, deuten aber eher darauf hin, daß diese Grenzen hinsichtlich Volumen und Konzentration eher deutlich unterschritten werden. Weitere Fehler könnten darin bestehen, daß die Emissionen aus Kläranlagen infolge Trockenwettereinfluß bzw. die Frachtabtragspotentiale auf den undurchlässigen Flächen zu niedrig angesetzt worden sind.

Daß bei den meisten Parametern die berechneten Immissionen über den Emissionen liegen ist insofern plausibel, da einige Messungen der Gewässergüteüberwachung Werte ergaben, die unterhalb der Nachweisgrenze lagen. In diesen Fällen gingen die Werte mit der halben Nachweisgrenze ein, ein übliches Verfahren. Bei manchen Parametern wurde allerdings im betrachteten Zeitraum von 1992 bis 1996 Verfahren mit niedriger Nachweisgrenze eingeführt. Betrachtet man diese neuen Meßwerte, so stellt man teilweise fest, daß selbst der Ansatz der halben Nachweisgrenze in vielen Fällen noch etwas zu hoch gewesen sein dürfte. D.h. die Frachtabschätzungen mittels der Methode der halben Nachweisgrenze bezüglich der Schwermetalle dürften in einigen Fällen zu einer Überschätzung der tatsächlichen Jahresfrachten geführt haben.

In Tabelle 5.20 werden die flächenspezifischen Schwermetallfrachten, die aus den Ergebnissen der Emissionsabschätzung berechnet wurden, dargestellt. Bezüglich der Aussagekraft dieser Werte gelten die gleichen Einschränkungen wie bereits bei den absoluten Einträgen.

Tabelle 5.20: Flächenspezifische Schwermetall-Emissionen im unteren Lahngebiet

Emissionen aus	Cd g/(ha·a)	Zn g/(ha·a)	Cu g/(ha·a)	Pb g/(ha·a)	Cr g/(ha·a)	Ni g/(ha·a)
punktförmige Quellen	0,36	84,4	12,5	5,4	2,6	4,5
diffuse Quellen	0,06	11,2	2,1	10,6	2,0	2,8
Gesamt	0,43	95,6	14,6	15,9	4,7	7,2

Fehlerbetrachtung

Die Emissionsbilanzierungen für die Kläranlagenabläufe infolge Trockenwetter- und Regenwetterabfluß sind bei den Nähr- und Zehrstoffen nahezu ausschließlich abhängig von den behandelten Volumina bzw. den Ablaufkonzentrationen. Für letztere waren im rheinland-pfälzischen Lahngebiet v.a. für die größeren Kläranlagen Daten aus der Eigenüberwachung vorhanden, die von den Kläranlagenbetreibern zur Verfügung gestellt wurden. Die durch diese Werte abgedeckten Kläranlagen behandeln, bezogen auf die angeschlossenen Einwohnergleichwerte, ca. 80 % des Abwasseraufkommens. Geht man davon aus, daß diese Werte einigermaßen genau die durchschnittliche Reinigungsleistung der Anlagen im Verlauf des Jahres 1995 wiedergeben, so können bezüglich der Ablaufkonzentrationen größere Unsicherheiten nur von den kleineren Anlagen kommen, für die keine entsprechenden Werte vorhanden waren. Für viele dieser Anlage konnte mit Hilfe des ATV-Leistungsvergleichs (1997) die Ablaufwerte einigermaßen abgeschätzt werden. Der Fehler, der daraus resultiert, dürfte sich deshalb in Grenzen halten, zumal sich im Rahmen der Bilanzierung gezeigt hat, daß einige Werte aus der Eigenüberwachung, die erst zu einem

späten Bearbeitungszeitpunkt eintrafen, und die die bis dahin verwendeten Abschätzungen aus dem Leistungsvergleich ersetzt, nur eine geringe Veränderung der Ergebnisse bewirkten. Nur für einige kleine Anlagen (z.B. mechanischen Anlagen) mußten somit Reinigungsleistungen entsprechend dem Verfahrensprinzip der Kläranlage angenommen werden .

Vergleichsrechnungen, bei denen alle Ablaufwerte die nicht auf Ergebnissen der Eigenüberwachung beruhen mit einer Schwankungsbreite in die Berechnungen einfließen, haben gezeigt, daß der Fehler, der aus einer ungenauen Abschätzung der Kläranlagenabläufe resultieren könnte, vermutlich deutlich niedriger ist als $\pm 5\%$.

Bezogen auf die mitbehandelten Wassermengen können sich ebenfalls Unsicherheiten ergeben. Die Plausibilitätskontrollen, die für die Kläranlagen durchgeführt wurden, zeigten aber in den meisten Fällen keine ungewöhnliche Werte. Dies gilt im besonderen Maße für die mitbehandelten häuslichen und gewerblichen Schmutzwassermengen. Vereinzelt traten bei den mitbehandelten Fremd- und Regenwassermengen jedoch unplausible Ergebnisse auf, in den vorangegangenen Abschnitte wurde bereits darauf eingegangen. Aufgrund der geringen Anzahl dieser offensichtlich falschen Werte, dürfte der Fehler sich nur gering auf die Ergebnisse der Gesamtbilanz auswirken, zumal sich diese Fehler zumindestens teilweise gegenseitig aufheben dürften. Bei den mitbehandelten häuslichen und gewerblichen Schmutzwassermengen sollte der Fehler aufgrund der plausiblen einwohnerspezifischen Schmutzwasseranfallswerte gering sein, beim Fremdwasser bzw. Regenwasser könnte sich aufgrund der teilweisen unplausiblen statistischen Angaben ein Volumenfehler von bis zu ca. 10 % ergeben.

Kombiniert man diese beiden Fehler miteinander so kann man daraus ableiten, daß der Fehler für die Gesamtposition „Emissionen aus Kläranlagenabläufen“ wohl unterhalb von $\pm 15\%$ liegen dürfte. Allerdings ist noch darauf hinzuweisen, daß die angenommenen Kläranlagenablaufwerte zumeist einen Jahresdurchschnittswert darstellen. D.h. bei den Nähr- und Zehrstoffen wurden in der Regel für Trockenwetter und Niederschlagswetter gleiche Ablaufkonzentrationen angesetzt. In der Realität dürfte es allerdings so sein, daß die Reinigungsleistung im Trockenwetterfall etwas besser ist als bei Mischwasserzufluß. Dies bedeutet, daß eine mehr oder weniger große Komponente der errechneten Trockenwetteremissionen, die sich allerdings aufgrund der zeitlichen Auflösung der vorhandenen Daten nicht genauer spezifizieren läßt, eigentlich den Emissionen infolge Niederschlagsabfluß zuzuordnen ist. Aus den verschiedenen Rahmenbedingungen, z.B. den mitbehandelten Volumina der verschiedenen Abwasserkomponenten, läßt sich allerdings die Aussage ableiten, daß dieser Fehler an den grundsätzlichen Ergebnissen der Emissionsbilanzierung nichts ändern dürfte. Auf das Gesamtergebnis hat dieser Zusammenhang ohnehin keinen Einfluß.

Bei den Schwermetallemissionen läßt sich eine Fehlerbetrachtung sehr viel schwerer durchführen, da hier im Vergleich zu den Nähr- und Zehrstoffen noch weitere Unsicherheiten hinzukommen können. Die berechneten Emissionen sind nicht nur abhängig von den behandelten Volumen, sondern auch von den gewählten einwohner- bzw. flächenspezifischen Frachten sowie den Annahmen bezüglich der Reinigungsleistungen der Anlagen. Für den Fehler, der sich durch die unplausible Volumenangaben ergibt, gilt das

gleiche wie bei den Nähr- und Zehrstoffen. Da für das gesamte untere Lahnggebiet keine Schwermetallmessungen im Ablauf von Kläranlagen verfügbar waren, mußten die Emissionen zwangsläufig über entsprechende spezifische Frachten abgeschätzt werden, die auf den Ergebnissen einer Literaturrecherche festgelegt wurden (vgl. Anhang A.1). Die den ausgewerteten Literaturquellen zugrunde liegenden Untersuchungen stammen entweder aus der ersten Hälfte der 90er Jahre oder teilweise sogar noch aus den 80ern. Dies hat zur Folge, daß sie die ein oder anderen umweltpolitischen Maßnahmen (z.B. Einführung des bleifreies Benzins) und die sich daraus sicherlich ergebenden Auswirkungen auf die Schwermetallpotentiale, noch nicht oder nur teilweise berücksichtigen dürften. Insbesondere der Vergleich der Emissionen und Immissionen beim Blei macht deutlich, daß die angesetzten Potentiale eventuell zu hoch sind. Aufgrund fehlender Vergleichsgrößen kann jedoch nur schwer eine Aussage zu dem Grad der Über- bzw. gegebenenfalls auch Unterschätzung der Potentiale gemacht werden. Eine weitere Unsicherheit kommt durch die angenommenen Wirkungsgrade in die Berechnungen, denn es gibt nur einige Untersuchungen auf diesen Gebiet und es ist fraglich, ob sich die wenigen Ergebnisse so ohne weiteres auf andere Anlagen übertragen lassen, die eventuell ganz andere Randbedingungen aufweisen.

Dennoch wurden Vergleichsrechnungen mit einwohnerspezifischen Tagesfrachten durchgeführt, die auf Angaben von KOPPE et al. (1993) beruhen. Die Ergebnisse zeigten, daß in diesem Fall die Schwermetallfrachten aus Kläranlagenabläufen infolge Trockenwetterabfluß in der Regel um ca. 30 bis 40 % über den bereits dargestellten Ergebnissen liegen. Bei Cadmium wäre die Abweichung allerdings noch viel größer und beträgt ca. 120 % des Ausgangswertes. Allerdings müssen diese Ergebnisse kritisch betrachtet werden, denn die Angaben von KOPPE et al. (1993, 3. Auflage) waren bereits Bestandteil der 2. Auflage von 1986, d.h. die angegebenen Werte dürften aus der ersten Hälfte der 80er Jahre stammen oder sind eventuell sogar noch älteren Datums. Diese Werte können demnach nicht die umweltpolitischen Entwicklungen der letzten Jahre beinhalten. Auch die Ergebnisse aus dem Neckargebiet, wo teilweise Schwermetallmessungen auf den Kläranlagen durchgeführt wurden, belegen, daß die heutigen einwohnerspezifischen Frachten sehr viel niedriger als die Werte von Koppe et. al. sein dürften. D.h. die tatsächlichen Fehlerpotentiale sind vermutlich deutlich niedriger als die oben genannten prozentualen Angaben

Die Emissionen aus Kanalnetzen ohne Kläranlagenanlagenanschluß infolge Trockenwetterabfluß hängen ausschließlich von den einwohnerspezifischen Frachten und den Wirkungsgraden ab. Prinzipiell gilt hier das Gleiche wie bei den Emissionen aus Kläranlagen. Das Fehlerpotential dürfte allerdings aufgrund der statistisch recht gut abgesicherten Werte für Nähr- und Zehrstoffe bei diesen Parametern deutlich niedriger sein als bei den Schwermetallen. Eine Vergleichsrechnung, bei der die einwohnerspezifischen Tagesfrachten und Wirkungsgrade im Rahmen einer sinnvollen Bandbreite variiert wurden, zeigte, daß der potentielle Fehler bei den Nähr- und Zehrstoffen niedriger als $\pm 15\%$ sein sollte. Bei den Schwermetallen gelten im Prinzip die Ausführungen des vorangegangenen Absatzes.

Das Fehlerpotential der Emissionsberechnungen aus Regenentlastungen, Regenauslässen und Kanälen ohne Kläranlagenanschluß ist abhängig von den angenommenen flächenspezifischen Stoffpotentialen, den angenommenen Versiegelungsgraden und im Mischsystem auch noch vom Stoffrückhalt im Kanal, der durch Maßnahmen der Regenwasserbe-

handlung erzielt wird. Im Gegensatz zu den bereits diskutierten Schwermetallpotentialen dürften sich bei den Nähr- und Zehrstoffen in den letzten Jahren kaum Veränderungen ergeben haben. Die sich aus diesen Potentialen ergebenden Konzentrationen im Niederschlagsabfluß liegen darüber hinaus im Bereich üblicher Literaturwerte. Im reinen Niederschlagsabfluß lagen sie bei den Berechnungen beispielsweise für P_{ges} bei etwa 0,4 mg/l. Unter Berücksichtigung des mitentlasteten Schmutzwasser und des Stoffrückhaltes im Kanal ergaben sich daraus Konzentration im entlasteten Mischwasser von ca. 1,2 mg P_{ges} /l. Im Vergleich maßen WENDLING et al. (1997) bei ihren Untersuchungen, in deren Verlauf 2 Regenüberlaufbecken und 2 Regenüberläufe im Arzbachgebiet, einem Teilgebiet der unteren Lahn, beprobt wurden, Mittelwerte von 0,8 bis 1,1 mg P_{ges} /l.

Bezüglich des Fehlers, der sich durch eine Fehleinschätzung der versiegelten Fläche ergeben könnte, ist anzumerken, daß die Volumenbilanzen in der Regel zu plausiblen Ergebnissen geführt haben. Der Fehler, der sich aus den Maßnahmen der Regenwasserbehandlung ergeben kann, kann ebenfalls nicht näher quantifiziert werden, denn jedes Kanalnetz und Sonderbauwerk ist und reagiert unterschiedlich. Eine Übertragung der an einer Stelle gewonnenen Erkenntnisse auf ein anderes Gebiet führt somit zwangsläufig zu einem Fehler.

Der Gesamtfehler, mit dem die Emission aus Regenentlastungen und Regenauslässen theoretisch behaftet sein könnte, läßt sich aufgrund der Vielzahl der möglichen Fehlerquellen somit nur schwer abschätzen, zumal die einfache Aneinanderreihung von Fehlerpotentialen zu Ergebnissen führen würde, die in einer nahezu beliebig großen, aber völlig unrealistischen Bandbreite liegen.

Die Spannweite der möglichen Ergebnisse bei den diffusen Schwermetallemissionen ist vor allem abhängig von den Faktoren Oberbodengehalt und Bodenabtrag bzw. welcher Anteil des daraus resultierenden Stoffabtragspotentials auch tatsächlich eingetragen wird. Aufgrund der Randbedingungen der einzelnen Gebiete kann allerdings jeder dieser Parameter äußerst stark streuen. Die in der Literatur für einen Parameter gefundenen Werte unterscheiden sich beispielsweise manchmal um mehr als eine Zehnerpotenz. Es zeigt sich somit, daß eine Kombination der verschiedenen Unsicherheiten ein nahezu unbegrenztes Spektrum an möglichen Ergebnissen liefern würde. Dennoch kann versucht werden, den möglichen Fehler etwas genauer zu fassen.

Die errechneten Oberbodengehalte sind z.B. der Mittelwert aus den Ergebnissen von 16 Ackerstandorten im unteren Lahntal. Dieser Wert dürfte somit als statistisch einigermaßen repräsentativ für dieses Gebiet sein, wenn auch einschränkend hierzu angemerkt werden muß, daß die Probenahmeorte nicht flächendeckend über das untere Lahngbiet verteilt waren, sondern im Umkreis von Bad Ems lagen. Die angenommenen Bodenabtragspotentiale, die teilweise auf Untersuchungen basieren, die im Lahngbiet durchgeführt wurden, scheinen ebenfalls plausibel zu sein. Sie liegen zwar noch unterhalb des Bundesdeutschen Durchschnitts, allerdings flossen auch in diesen Wert Ergebnisse von Standorten ein, die um ein Vielfaches erosionsgefährdeter waren als das Lahngbiet. Die wesentliche Unsicherheit bei der Emissionsberechnung diffuser Flächen läßt sich somit auf den Faktor zurückführen, der das Verhältnis von Abtrags- zu Eintragspotential angibt.

5.4 LAHN GESAMT: IST- ZUSTAND

In diesem Abschnitt werden die Einzelergebnisse aus dem hessischen und dem rheinland-pfälzischen Teil des Lahneinzugsgebietes zu einer Gesamtbetrachtung des Flußgebietes zusammengefaßt. Zur Veranschaulichung der ermittelten Frachten wird ein Stapeldiagramm gewählt, aus dem die Bedeutung ausgewählter Eintragspfade abgelesen werden kann (vgl. Abbildung 5.10). Für die Nährstoffe gilt die Summe der Emissionen als Bezugsgröße (100%). Die berechneten Zehrstoffeinträge hingegen werden auf die Frachten in der Lahn (Immissionsschätzung) bezogen, da keine Emissionsbestimmung für die diffusen Quellen durchgeführt werden konnte. Die diffusen Zehrstoffeinträge ergeben sich daher indirekt aus der Differenz der Gewässerfracht und der Summe der punktförmigen Einträge.

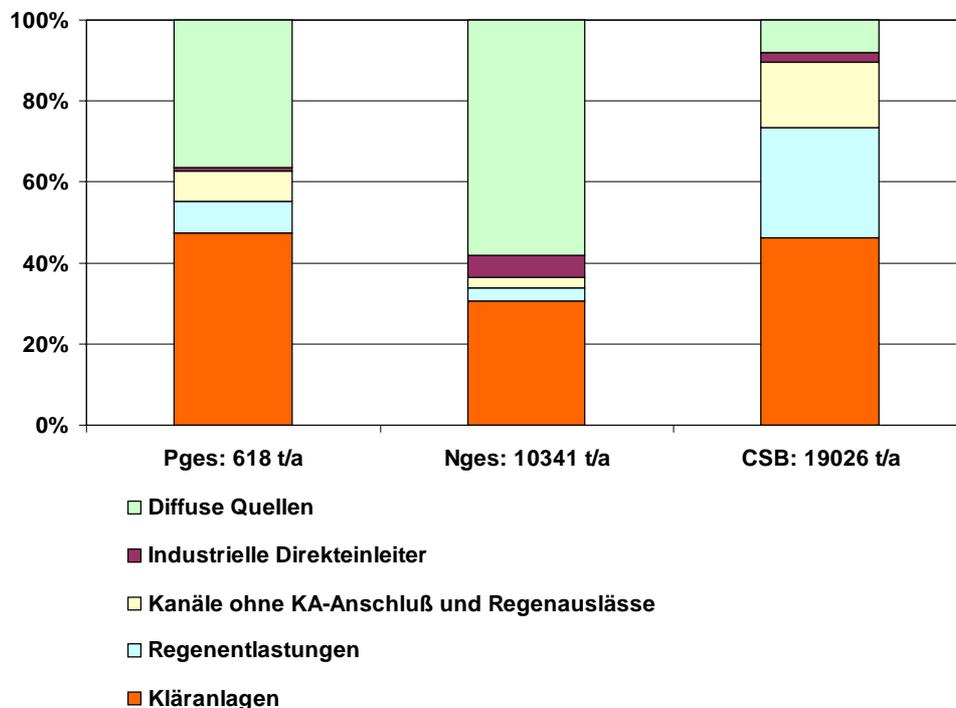


Abbildung 5.10: Verteilung der Nähr- und Zehrstoffeinträge aus unterschiedlichen Quellen im Flußeinzugsgebiet der gesamten Lahn

Die für das Lahnggebiet bilanzierten Phosphoreinträge stammen zu 64 % aus punktförmigen Quellen. Der größte Anteil ist dabei auf die Kläranlageneinleitungen zurückzuführen (47%): Bei Trockenwetter werden 31 % und bei Niederschlagsabfluß 16 % über Kläranlagen eingetragen. Bei Stickstoff überwiegen die Einträge aus diffusen Quellen mit 58 % der Gesamt-Emissionen. Aus Kläranlagen stammen 31 % der Einträge, wobei ebenfalls der größere Anteil auf den Trockenwetterfall zurückzuführen ist (20 % der Gesamt-Emissionen).

Der Vergleich der Gesamtbilanz mit den Ergebnissen des Lahneinzugsgebietes bis Limburg (Hessen) ergibt eine sehr ähnliche Aufteilung der Belastungspfade (vgl. Kap. 5.2.1.4). Unterschiede ergeben sich lediglich bei den Einträgen aus Kanälen ohne Kläranlagen-

anschluß bei Trockenwetter. Dieser Emissionspfad ist im rheinland-pfälzischen Teil der Lahn sehr bedeutsam und spiegelt sich für alle Nähr- und Zehrstoffparameter in der Gesamtbilanz wieder. So stammen in Hessen lediglich 5 % der Summe aller CSB-Einträge aus Kanälen ohne Kläranlagenanschluß bei Trockenwetter, während im Unterlauf der Lahn 32 % der Zehrstoffeinträge über diesen Pfad erklärt werden können. Für die Nährstoffe gelten ähnlich Tendenzen mit deutlich geringeren Unterschieden (bei P_{ges} 15%; bei N_{ges} 4%).

Eine Gegenüberstellung der Nährstoffbilanzen für die Lahn in Hessen und die in Rheinland-Pfalz zeigen die Abbildung 5.11 und Abbildung 5.12. Aufgeführt sind für P_{ges} und N_{ges} die Prozentanteile alle betrachteten Eintragspfade an der Summe der Gesamt-Emissionen sowie der relative Vergleich zur Immissionsschätzung.

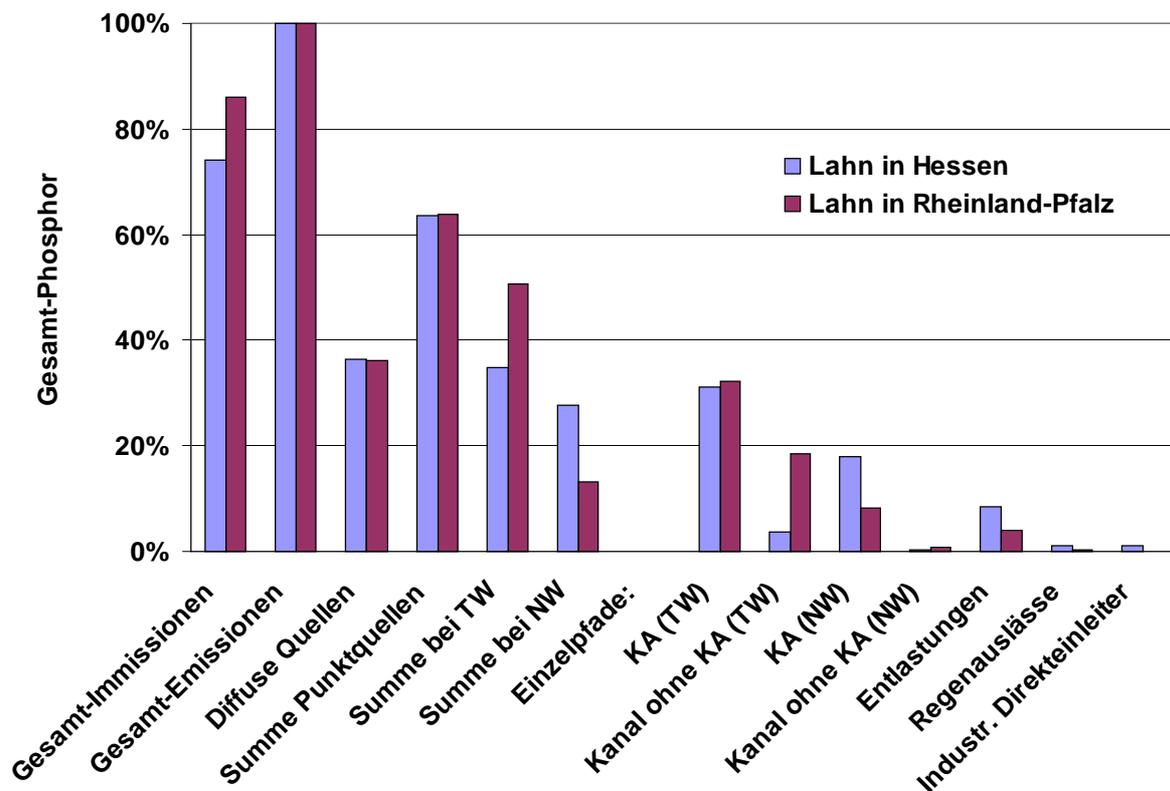


Abbildung 5.11: Gegenüberstellung der Phosphorbilanz für die Lahn in Hessen bzw. in Rheinland-Pfalz

Der Vergleich der P-Bilanzen in den Teilgebieten der Lahn zeigt bei zwei Einzelpfaden Unterschiede. Die deutlich größere Bedeutung der Einträge über Kanäle ohne Kläranlagenanschluß bei Trockenwetter in Rheinland-Pfalz gegenüber Hessen wurde bereits zu Abbildung 5.11 erläutert, da Auswirkungen auf die Gesamtbilanz beobachtet werden können. Abbildung 5.12 zeigt außerdem Differenzen zwischen den Einträgen über Kläranlagenabläufe bei Niederschlagsabfluß. Dieser Eintragspfad ist in Hessen mit 18 % an den Gesamt-Emissionen weitaus bedeutender als in Rheinland-Pfalz (ca. 8 %). Ursache hierfür sind die verhältnismäßig hohen Regenwassermengen, die auf den Kläranlagen im hessischen Einzugsgebiet der Lahn mitbehandelt werden. Wie in Kapitel 3.1 vorgestellt, ist in Hessen mit erhöhtem Fremdwasseraufkommen zu kalkulieren. Aufgrund dieses Zusammenhangs ergibt

sich auch bei Stickstoff eine größere Bedeutung der Kläranlageneinträge bei Niederschlagsabfluß in Hessen als in Rheinland-Pfalz.

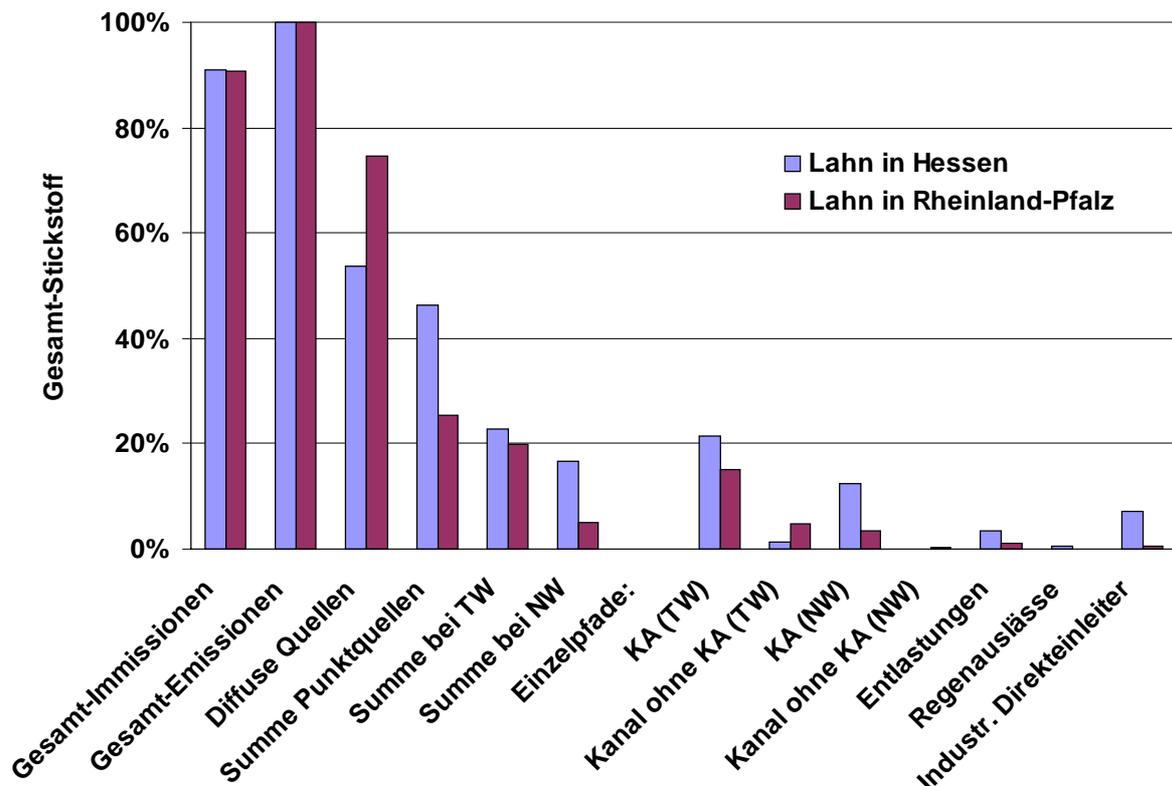


Abbildung 5.12: Gegenüberstellung der Stickstoffbilanz für die Lahn in Hessen bzw. in Rheinland-Pfalz

Abbildung 5.12 zeigt ferner deutliche Differenzen zwischen der Aufteilung der Gesamtemissionen in Punkt- und diffuse Quellen. So ergibt sich in Hessen bei Stickstoff ein Verhältnis von 46 % zu 54 %; während die Ergebnisse für Rheinland-Pfalz ein Verhältnis von 25 % zu 75 % aufweisen. Dabei gilt zu beachten, daß die „Punktquellen“ die Stickstoffeinträge aus Industriellen Direkteinleitern berücksichtigen, die mit 7% an der Gesamtfracht in Hessen deutlich größer sind als in Rheinland-Pfalz. Würde man diese verhältnismäßig unsicheren Schätzungen der Industrieleitungen nicht in Bilanz einbeziehen, würde sich die Relation zwischen punktförmigen und flächenhaften Einträgen in beiden Teilgebieten angleichen.

Die Anteile der einzelnen Eintragspfade an den Schwermetallemissionen im Flußgebiet der gesamten Lahn ist im Abbildung 5.13 dargestellt. Der Vergleich zu der Aufteilung in Hessen (bis Limburg) zeigt ein nahezu identisches Bild (vgl. Kapitel 5.2.2.4, Abbildung 5.9). Damit wird die Dominanz der Einträge aus dem hessischen Einzugsgebiet (A_{E_0} ca. 4888 km²) gegenüber dem rheinland-pfälzischen Teilgebiet (A_{E_0} ca. 1050 km²) deutlich. Ein direkter Vergleich zwischen den Schwermetalleinträgen in Hessen und Rheinland-Pfalz mit relativen Zahlen ergibt durchaus Unterschiede zwischen den beiden Teilgebieten (vgl. Tabelle 5.21).

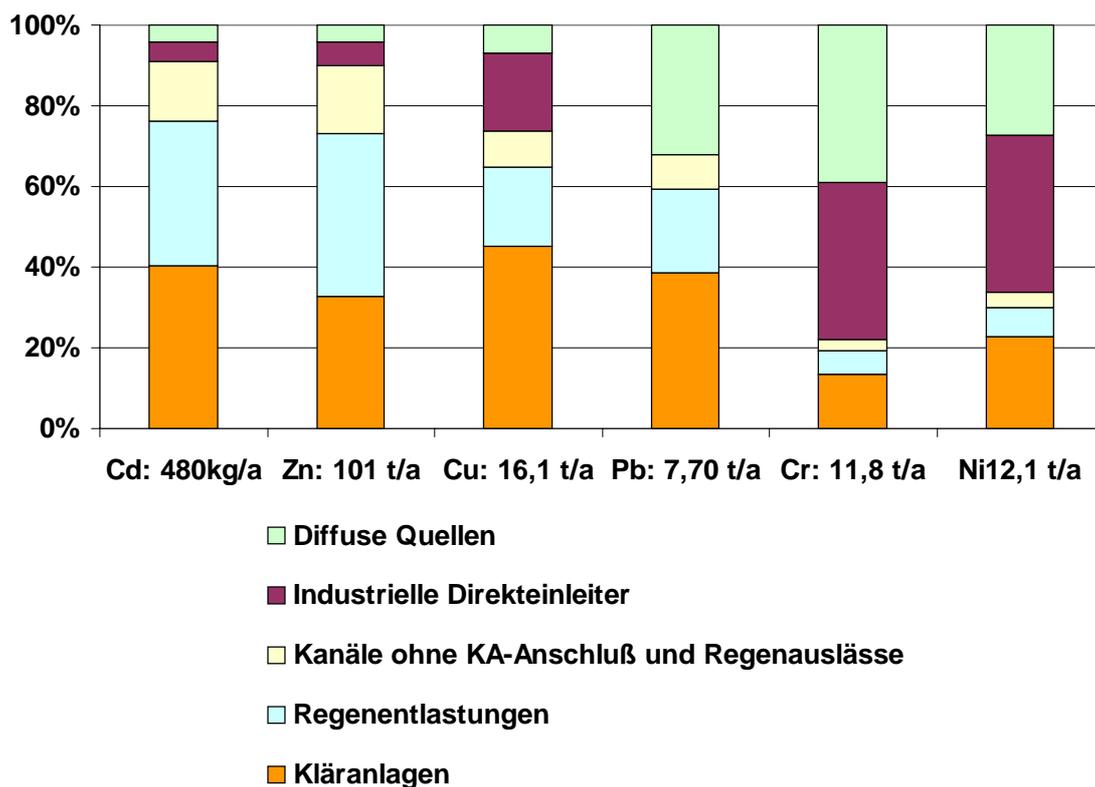


Abbildung 5.13: Verteilung der Schwermetalleinträge aus unterschiedlichen Quellen im Flußeinzugsgebiet der gesamten Lahn

Tabelle 5.21: Verteilung der Schwermetalleinträge aus unterschiedlichen Quellen im hessischen und rheinland-pfälzischen Teilgebiet der Lahn in %

	Cd		Zn		Cu		Pb		Cr		Ni	
	Hess	R-Pf.										
Diffuse Quellen	3	15	3	10	6	14	23	66	39	43	26	38
Industrielle Direkteinleiter	5	0	7	0	21	1	0	0	41	0	42	0
Kanäle ohne KA-Anschluß und Regenauslässe	14	25	16	23	8	21	9	8	2	11	3	14
Regenentlastungen	36	28	43	24	20	16	24	7	6	11	7	9
Kläranlagen	41	32	31	42	45	49	44	19	13	35	22	39

Tabelle 5.21 ergibt eine differenziertes Bild über die Bedeutung der betrachteten Eintragspfade in den beiden Teilgebieten, das durchaus für die einzelnen Schwermetalle unterschiedlich ausfallen kann. So sind die Zn-, Cr- und Ni-Einträge über Kläranlagenabläufe in Rheinland-Pfalz weitaus bedeutender als in Hessen, bei den restlichen Parameter sind die Unterschiede zwischen den Teilgebieten deutlich geringer. Für Blei gelten sogar umgekehrte Verhältnisse: In Hessen liegen die relativen Einträge über Kläranlagen erheblich über den entsprechenden in Rheinland-Pfalz.

Ferner können im hessischen Ober- und Mittellauf der Lahn deutlich größere Anteile der Cd-, Zn- und Pb-Emissionen auf Regenentlastungen zurückgeführt werden als im rheinland-pfälzischen Unterlauf. Für Cu, Cr und Ni sind die relativen Unterschiede nicht so groß.

Auch für die Schwermetalle zeichnet sich das Gewicht des Pfades „Kanäle ohne KA-Anschluß und Regenauslässe“ in Rheinland-Pfalz ab, das im Vorangegangenen bereits

diskutiert wurde. Einträge aus der Industrie sind in Rheinland-Pfalz so gering, daß ihr Betrag, in ganzen Prozentanteilen von den gesamten Emissionen ausgedrückt, außer für Kupfer stets zu Null wird.

5.5 UNTERSUCHUNGSGEBIET NECKAR: IST-ZUSTAND

5.5.1 Nährstoffe und Zehrstoffe

5.5.1.1 Immissionen

Für das Bilanzjahr 1995 werden in Tabelle 5.22 für den Bezugspegel des Untersuchungsgebietes Neckar, die Gewässergütemeßstelle Mannheim/Feudenheim, die Ergebnisse der verschiedenen Berechnungsansätze der Frachtberechnung aus Einzelproben (siehe Kapitel 4.3.1) zusammengefaßt und mit dem Bestimmtheitsmaß, als Korrelationskriterium für die Wertepaare verglichen. Es werden flächenspezifischen Stofffrachten [t/km²*a] aufgelistet, die einen Vergleich mit den flächenspezifischen Frachten anderen Flußeinzugsgebieten erlauben.

Tabelle 5.22: Gebietspezifische Jahresfrachten 1995 an der Meßstelle Mannheim/Feudenheim für verschiedene Berechnungsansätze in [t/km²*a], Neckar

Berechnungs- ansatz	Konzentration-Abfluß Beziehung		Fracht-Abfluß Beziehung		Misch-1	Misch-2
CSB	-		-		7,22	6,63
NO₃-N	2,160	R ² =0,11/n=101	2,175	R ² =0,95/n=101	2,11	2,19
NO₂-N	0,027	R ² =0,03/n=101	0,025	R ² =0,77/n=101	-	-
NH₄-N	0,063	R ² =0,07/n=68	0,055	R ² =0,62/n=68	-	-
N_{ges}*	2,250	-	2,256	-	-	-
P_{part}	5,340	R ² =0,58/n=27	0,038	R ² =0,86/n=27	-	-
PO₄-P	0,048	R ² =0,26/n=100	0,049	R ² =0,33/n=100	-	-
P_{ges}**	5,388	-	0,087	-	-	-
P_{ges} (Wasserphase)	-		-		0,077	0,081

*N_{ges} = Gesamter, gelöster anorganischer Stickstoff (Summe von NO₃, NO₂ und NH₄)

**P_{ges} = Summe von PO₄-P und partikulärer Phosphor

R² = Bestimmtheitsmaß; n = Anzahl der Meßwerte

Werden die angewendeten Berechnungsansätze verglichen, so zeigt die Frachtschätzung über den Ansatz Misch-1 eine gute Übereinstimmung mit der Frachtschätzung über den Ansatz Misch-2 sowohl für die Zehrstoffe als auch für die Nährstoffe NO₃-N und P_{ges} in der Wasserphase. Weiterhin zeigen die Berechnungsansätze für die Einzelprobenahme sowohl für die Konzentration-Abfluß-Beziehung als auch für die Fracht-Abfluß-Beziehung für die Nährstoffe eine Übereinstimmung in den Frachtergebnissen. Da die Werte des Bestimmtheitsmaßes R² für die Konzentration-Abfluß-Beziehung jedoch alle unter 0,3 liegen und somit keine enge Beziehung für diese Wertepaare aufweisen, werden im folgenden die Ergebnisse der Fracht-Abfluß-Beziehung herangezogen.

Abweichungen der geschätzten Fracht von der echten Fracht ergeben sich vor allem daraus, daß die zu den Probenahmezeitpunkten gehörenden Abflüsse nicht das ganze Abflussspektrum des jeweiligen Jahres abdecken. Insbesondere Tage mit hohen Abflüssen wurden nicht beprobt. Diese realisieren aber ein erhebliches Abflussvolumen, obwohl sie seltener

auftreten. Wird die Fracht zudem mit einer exponentiellen Konzentrations-Abfluß-Beziehung berechnet, können erhebliche Überschätzungen der Fracht die Folge sein. In Abbildung 5.14 wird der beschriebene Zusammenhang grafisch dargestellt.

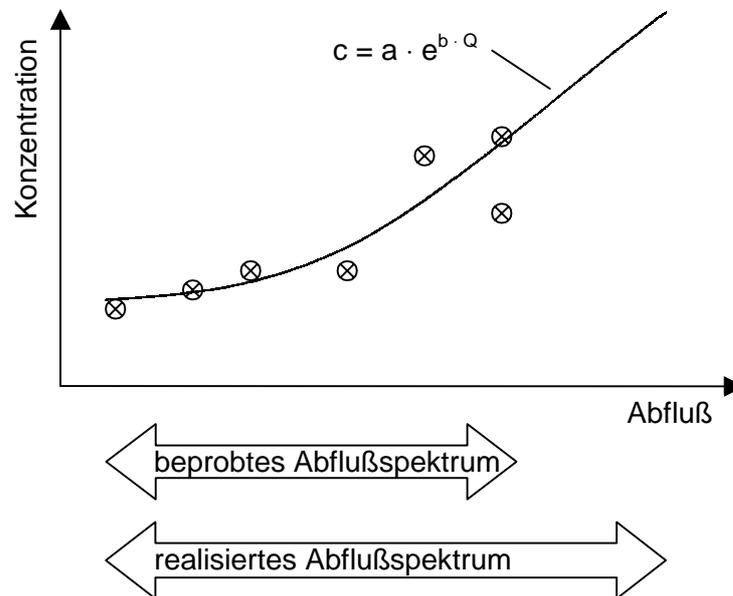


Abbildung 5.14: Darstellung der Problematik der Frachtschätzungen über die Konzentrations-Abfluß-Methode für Stationen, an denen das beprobte Abflußspektrum nicht mit dem realisierten übereinstimmt

Für die Nährstoffe der Wasserphase wird das Spektrum von Q_{\min} 51,6 m³ bis Q_{\max} 582 m³ abgedeckt. 3% des Abflußspektrum, welche auf Hochwasserabflüsse entfallen, werden somit im Bilanzjahr 1995 nicht abgedeckt. Für den partikulären Phosphor zeigt sich eine deutliche Diskrepanz zwischen den Ergebnissen aus den beiden Frachtberechnungsansätzen. Aufgrund der geringeren Anzahl der partikulären Probenahmen sind über 7 % des Jahresabflußspektrums nicht durch das Abflußspektrum im Probenahmezeitraum abgedeckt. Dieser Bereich des Hochwasserabflusses ergibt bei der Schätzung über die Konzentration-Abfluß-Methode 99 % der gesamten Jahresfracht. Es liegt nahe, zu vermuten, daß die über der Konzentration-Abfluß-Methode ermittelte spezifische Fracht von 5,388 [t/km²*a] eine deutliche Überschätzung darstellt. Im Gegensatz dazu liefert die Schätzung der spezifischen Fracht über die Fracht-Abfluß-Methode einen Wert von 0,038 [t/km²*a], obwohl ähnliche Werte für das Bestimmtheitsmaß vorliegen.

Zudem kann zur Kontrolle die gesamt Phosphorfracht P_{ges} (0,077 [t/km²*a]), ermittelt über Mischprobenahme, mit der Summe der über die Fracht-Abfluß-Methode ermittelten Frachten des gelösten und partikulären Anteils (0,087 [t/km²*a]) verglichen werden. Diese Werte stimmen weitgehend überein. Aufbauend auf dieser Plausibilitätsbetrachtung wurde beschlossen, die Fracht-Abfluß-Methode für die Frachtabschätzung der partikulären Stoffe heranzuziehen.

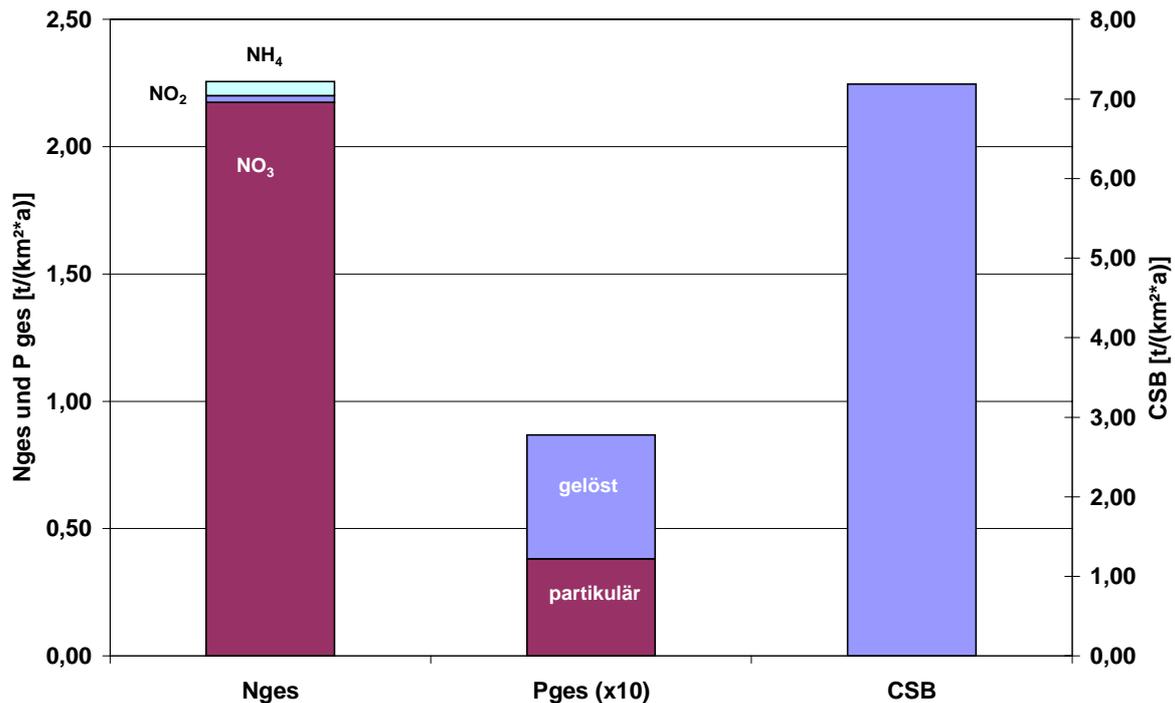


Abbildung 5.15: Flächenspezifische Immissionsfrachten der Nähr- und Zehrstoffe an der Meßstelle bei Mannheim/Feudenheim, Neckar, 1995

Ein Vergleich der gebietsspezifischen Frachten des Neckareinzugsgebietes (Abbildung 5.15) mit dem Einzugsgebiet der hessischen Lahn ergibt für die Nährstoffe Werte der selben Größenordnung. Im Rahmen einer bundesweiten Studie zum Nährstofftransport (BEHRENDT, 1998) wurden für den Neckar flächenspezifische Frachten von 0,071 t/km²*a für P_{ges} und 1,84 t/km²*a für den gesamten gelösten anorganischen Stickstoff für die Jahre 1993 bis 1995 ermittelt, die ebenfalls mit den Ergebnissen dieser Untersuchung übereinstimmen.

Eine Gegenüberstellung der gebietsspezifischen Frachten der Jahre 1993 und 1995 zeigt am Pegel Mannheim/Feudenheim 1995 für Gesamtphosphor eine 5 % bis 25 % und für Nitrat-Stickstoff eine 25 % bis 35 % höhere Fracht (je nach Berechnungsmethode).

5.5.1.2 Punktförmige Einträge

Berücksichtigt werden die urbanen Nährstofffrachten bei Trockenwetter bedingt durch den Trockenwetterabfluß der Kläranlagen und durch Sammelkanalisation ohne Abwasserbehandlung sowie bei Niederschlag über Regenwassereinleitungen bzw. Mischwasserentlastungen und das auf Kläranlagen mitbehandelte Regenwasser. Im Bilanzjahr 1995 wurde auf allen öffentlichen Kläranlagen im Neckareinzugsgebiet eine Abwassermenge von 903,8 Mio. m³ behandelt, davon entfallen 306,7 Mio. m³ (34 %) auf Schmutzwasser, mit einem häuslich-kleingewerbliches Schmutzwasseranteil von ca. 87 % und einem gewerblich-industrielle Schmutzwasseranteil von ca. 13 %, und ca. 370,2 Mio. m³ (40 %) auf Fremdwasser. Der Anteil des mitbehandelten Niederschlagswassers betrug 232,2 Mio. m³ (26%). 128,3 Mio. m³ Mischwasser wurden in die Gewässer entlastet. Der mittlere Schmutz-

wasseranfall liegt bei 148 l/(E*d) für die 5,26 Mio. Einwohner im gesamten Neckar-einzugsgebiet, einschließlich der hessischen und bayrischen Gebietsanteile.

Eine detaillierte Übersicht der Frachtmengen und Frachtanteile der einzelnen Zehr- und Nährstofffrachten aufgeteilt nach Trockenwetter und Regenwetter gibt Tabelle 5.23. In Abbildung 5.16 ist der Kern der Tabelle grafisch aufgearbeitet zu sehen.

Tabelle 5.23: Emissionen über Punktquellen für Nähr- und Zehrstoffe unterteilt nach Trockenwetterfrachten (TW) und Regenwetterfrachten (NW) in [t/a] bzw. in [%] der gesamten Punktemissionen für 1995, Neckar

Emissionspfad	Pges		Nges		CSB	
	[t/a]	[%]	[t/a]	[%]	[t/a]	[%]
KA-Ablauf TW	684	67,4	9584	71,1	18071	50,9
KA-Ablauf NW	235	23,1	3288	24,4	6202	17,5
Summe Kläranlagen	919	90,6	12872	95,5	24273	68,4
Mischwasserentlastungen, NW	80	7,9	512	3,8	8885	25,0
Regenauslässe, NW	4	0,4	32	0,2	656	1,8
Sammelkanalisation ohne KA-Anschluß, TW	12	1,2	65	0,5	512	1,4
Summe Kanalsystem	96	9,4	609	4,5	10054	28,3
Industrie, TW					1183	
Gesamteinträge Punktquellen	1015	100,0	13481	100,0	35510	100,0
Anteil der Trockenwetterfrachten	696	68,6	9649	71,6	19767	55,7
Anteil der Regenwetterfrachten	319	31,4	3832	28,4	15743	44,3

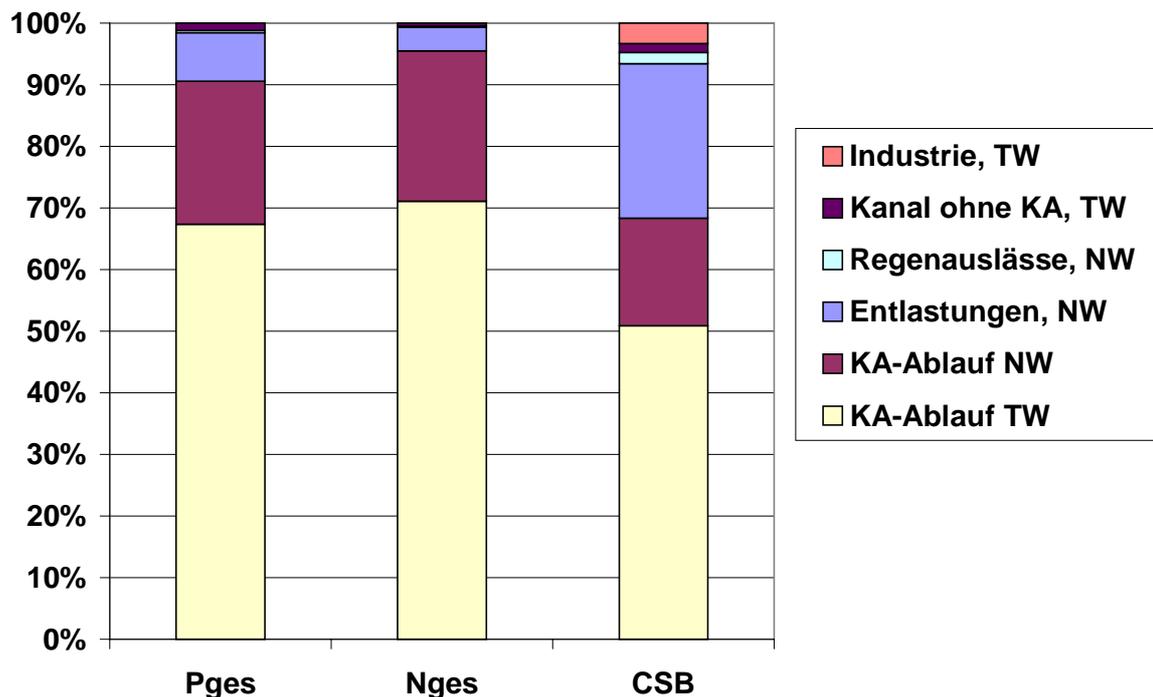


Abbildung 5.16: Emissionen über Punktquellen für Nähr- und Zehrstoffe unterteilt nach Trockenwetterfrachten (TW) und Regenwetterfrachten (NW) in [%] der gesamten Punktemissionen für 1995, Neckar

Die Verteilung der emittierten Stofffrachten der Punktquellen zeigt sowohl für die Nährstoffe, als auch für den CSB eine deutliche Dominanz der Frachtanteile über die Kläranlagen-abläufe aus Trockenwetter- und Regenwetteranteil. Im Gegensatz zu den Nährstoffen sind die punktuellen CSB-Einträge durch Mischwasserentlastungen mit 28 % bedeutend.

Dies mag zunächst überraschen, da die Kurven in der Grafik der Entlastungsfrachtkomponente e_F über der Entlastungsvolumenkomponente e_V für Phosphor und Stickstoff über der von CSB liegen (s. Formeln im Anhang A.8). Mit anderen Worten: bei gleichem Entlastungsvolumen wird bei den Nährstoffen ein größerer Anteil der von Oberflächen abgespülten Fracht entlastet. Offensichtlich spielt aber das Verhältnis zwischen Oberflächenabtragungspotential zur einwohnerspezifischer Tagesfracht (und damit der Trockenwetterabflußkonzentration) die ausschlaggebende Rolle: Während es bei Phosphor bzw. Stickstoff bei 1,10 bzw. 1,45 liegt, nimmt es bei CSB einen Wert von 3,26 an (Einheit: $\{kg/(ha_u \cdot a)\}/\{g/(E \cdot D)\}$).

Diese Schmutzstofffrachten gelangen mit dem jährlichen entlasteten Mischwasservolumen von 128,3 Mio. m³ in die Fließgewässer des Neckareinzugsgebietes. Für die Entlastungsabflußkomponente e_v , als Anteil des entlasteten Niederschlagswasser am gesamten im Mischsystem abfließenden Niederschlagswasser, ergibt dies einen jährlichen Mittelwert von $e_v = 0,38$. Für die betrachteten WEG's unterscheiden sich die jährlichen Entlastungsabflußkomponenten jedoch deutlich und liegen zwischen 17 % bis 61 %, je nach Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung.

Die über die Regenauslässe eingetragenen Nährstofffrachten (0,4 % bzw. 0,2 %) und Zehrstofffrachten (1,8 %) sind vernachlässigbar, entsprechend des geringen Flächenanteils der Trennkanalisation von 3 % im Neckareinzugsgebiet.

Im Jahr 1995 betrug das gesamte direkt eingeleitete Produktionsabwasser der Industrie nur 2,2 % des Ablaufvolumens öffentlicher Kläranlagen im Neckareinzugsgebiet. Dieser Volumenstrom erbrachte für die im CSB zusammengefaßten Zehrstoffe ebenfalls nur einen Frachtanteil von 4 % an der gesamten CSB-Fracht für Punktquellen aus urbanen Gebieten. Für die Nährstoffe waren keine Frachtangaben oder Ablaufwerte einzelner, in der Landesstatistik erfaßten Wirtschaftszweige, verfügbar. Ein „worst case“ Betrachtung für die maximal zulässigen Eintragsfrachten über die gesetzlich festgelegten Ablaufgrenzwerte für Direkteinleiter erwies sich als unpraktikabel, da sich die verfügbaren Produktionswassermengen auf Wirtschaftsabteilungen beziehen, bspw. der chemische Industrie. Diese können ihrerseits sehr heterogen zusammengesetzt sein, so daß sich keine abteilungsspezifische Ablaufwerte für Schmutz- und Schadstoffparameter zuordnen ließen.

Ausgehend von der Abwasserableitung und Abwasserbehandlung mit einem Anschlußgrad von 98,6 % an öffentliche Kläranlagen in Neckareinzugsgebiet sind die Zehr- bzw. Nährstofffrachten, die über die Sammelkanalisation ohne Kläranlagen (0,3 %) in ein Gewässer abgeleitet werden, unbedeutend. Bei einer detaillierteren Betrachtung auf der Ebene von Wassereinzugsgebieten (WEG) können diese jedoch an Bedeutung gewinnen, und bspw. für den Oberlauf des Kochers (WEG 315) bis zu 12 % der gesamt CSB-Fracht aus Punktquellen ausmachen. Deutlich zeigt WEG 36, welches den urbanen Raum Stuttgart repräsentiert die höchste CSB-Fracht über Kläranlagenabläufe sowie einen hohen Regenwasseranteil im KA-Ablauf und einen hohen Anteil an Entlastungen aus der Mischkanalisation, trotz der geringen Niederschlagshöhen, im Vergleich zu anderen WEG's im Neckareinzugsgebiet (siehe Kapitel 3.2).

Die anschließende Abbildung 5.17 zeigt eine detailliertere Betrachtung, aufgelöst nach den 21 Wassereinzugsgebieten des Neckars, und verdeutlicht die regionalen Unterschiede in der

Gewässerbelastung durch Zehrstoffe sowohl für die eingetragenen Stoffmengen als auch in der Bedeutung einzelner Eintragspfade.

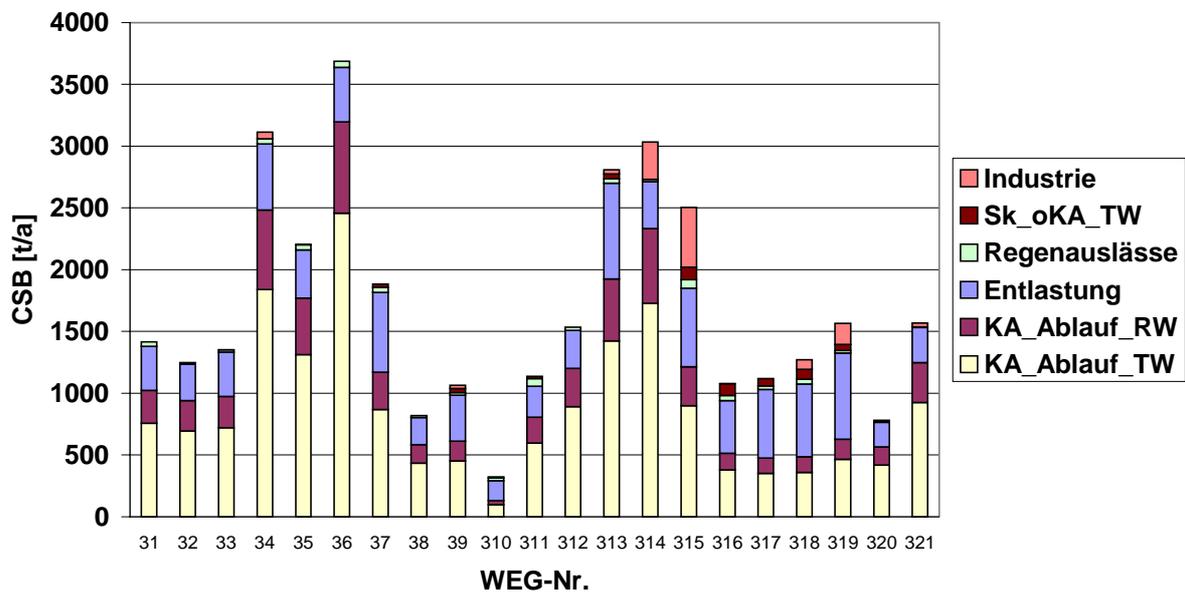


Abbildung 5.17: Punktförmige CSB-Emissionen urbaner Gebiete des Neckars nach Wassereinzugsgebieten.

Neben einer allgemeinen Betrachtung der Datengrundlage hinsichtlich Unsicherheiten (s.u.) bietet vor allem ein Vergleich mit den Ergebnissen anderer Modelle bzw. Studien eine Möglichkeit, die eigenen Bilanzen einzuordnen. In Tabelle 5.24 werden deswegen die Ergebnisse des Projektes NIEDERSCHLAG (Phase III) denen des Modells MONERIS (BEHRENDT et al., 1999) gegenübergestellt.

Tabelle 5.24: Gegenüberstellung der geschätzten Nährstoffemissionen des Projektes NIEDERSCHLAG („Phase III“) mit denen des Modells MONERIS (BEHRENDT et al., 1999) für ausgewählte Punktquellen in [t/a] bzw. in [%] der Ergebnisse MONERIS für 1995, Neckar

	P_{ges} [t/a]			N_{ges} [t/a]		
	Phase III	Moneris	Differenz	Phase III	Moneris	Differenz
KA-Ablauf	919	823	11,7%	12872	15145	-15,0%
Entlastungen	80	180	-55,5%	512	895	-42,8%
Regenauslässe	4	4	-6,6%	32	39	-18,5%
Kanal ohne KA	12	1	982,3%	65	25	160,2%

Angesichts der vergleichsweise sehr guten Datenbasis bezüglich der Kläranlagenabläufe erscheint die Differenz insbesondere beim Parameter N_{ges} groß. Dabei muß allerdings berücksichtigt werden, daß MONERIS die Summe aller Stickstoffformen berechnet, und nicht nur die der anorganischen Spezies. Addiert man zu den KA-Abläufen aus NIEDERSCHLAG die Fracht des organischen Stickstoffs, so ergibt sich eine Fracht von 15132 t N¹ und die Differenz zu MONERIS wird vernachlässigbar gering.

¹ Abschätzung über 903.777.000 m³ behandeltes Abwasservolumen (Statistisches Landesamt) und eine organische Stickstoffkonzentration von 2,5 mg/L (Annahme aus MONERIS).

Die Möglichkeiten zur Abschätzung von Mischwasserentlastungen können als außerordentlich schlecht bezeichnet werden. Zieht man zudem in Betracht, daß die Wege, über die die Frachten abgeschätzt wurden, sehr unterschiedlich sind, so können die dargestellten Abweichungen als durchaus tolerabel gewertet werden. Die Regenauslässe stimmen wiederum recht gut überein und wurden, unabhängig von einander, mit ähnlichen Ansätzen angegangen.

Nicht zu erklären ist der enorme Unterschied bei den Emissionen des Pfades Kanäle ohne Kläranlagenanschluß, da die Frachtschätzungsformeln auch hier als ähnlich klassifiziert werden können. Aufgrund der einwohnerspezifischen Werte ergibt sich ein Unterschied von 73 % (P) bzw. 10 % (N). Dieser kann jedoch nur einen Teil der in Tabelle 5.24 zu beobachteten Unterschiede erklären. Eine weitere Analyse ist ohne genaue Kenntnis der verwendeten Eingangsdaten nicht durchführbar. In beiden Studien haben die Emissionen über Kanäle ohne Kläranlagenanschluß einen Anteil von deutlich kleiner als 1 % an den Gesamtemissionen.

Betrachtung der Datengrundlage hinsichtlich Unsicherheiten

Die Abschätzung der Trockenwetter- wie Niederschlagsfrachten für Kläranlagenabläufe erfolgte mittels den Restbelastungen im Kläranlagenablauf, die bei den Kläranlagenbetreibern erfragt werden, sowie der Abschätzung der Trockenwetterablaufmengen und dem mitbehandeltem Regenwasser. Nur für letztere ergeben sich Unsicherheiten, durch die Abschätzung des Fremdwasseranteils und dem Anteil des mitbehandeltem Regenwasser, und den daraus resultierenden Frachten. Für das Bilanzjahr waren für die öffentliche Abwasserbeseitigung nur Daten zur Schmutzwassermenge verfügbar, jedoch fehlten Angaben zur Fremdwassermenge und zur mitbehandelten Regenwassermenge. Für die Abschätzung der mitbehandelten Regenwassermenge wurde für den gesamten auf Kläranlagen behandelten Abwassermenge zum Trockenwetterabflusses ein Verhältnis von 1,35 für das Neckareinzugsgebiet angenommen. Dieses Verhältnis entspricht den vom rheinland-pfälzischen Statistischen Landesamt erhobenen Daten.

Für die Abschätzung der über die urbanen befestigten Flächen in die Gewässer eingetragenen Nähr- und Zehrstofffrachten (Mischwasserentlastungen und Regenauslässe) ergeben sich höhere Unsicherheiten über die in unterschiedlichen Untersuchungen ermittelten und in der Literatur zitierten flächenspezifischen Stoffabtragspotentiale. Bezogen auf den in dieser Studie benutzten Literaturmittelwert schwanken die ermittelten Frachten bei Einsatz von minimalen bzw. maximalen in der Literatur dokumentierten Abtragspotentialen um ca. 20 % bei den Nährstoffen und um ca. 50 % beim CSB.

5.5.1.3 Diffuse Einträge

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln Immissionen und punktuellen Emissionen abgeschätzt wurden, sollen nun ergänzend die Emissionen aus diffusen Quellen abgeschätzt werden. Die Abschätzung erfolgt über nutzungsspezifische Stoffeintragungspotentiale, die mit den jeweiligen Flächennutzungen im Flußgebiet verknüpft werden (s. Kapitel 4.4.2)

Die Berechnung der diffusen Nährstoffemissionen ergaben für das Neckareinzugsgebiet eine Jahresfracht von 700 t Phosphor und 24470 t Stickstoff. Gemittelt über die gesamten nicht-urbanen Flächennutzungen (Acker-, Grünland- und Waldflächen) resultiert hieraus eine flächenspezifische P-Fracht von 0,05 t/km²*a bzw. eine flächenspezifische N-Fracht von 1,75 t/km²*a.

Der Definition des Projektes nach werden alle urbanen Emissionen den Punktquellen zugeordnet, so auch die über befestigte, städtische Flächen, die über eine Sammelkanalisation (Regenkanal im Trennsystem, Mischwasserkanal im Mischsystem) entwässert werden und somit exakt lokalisiert werden können. Dieser Ansatz unterscheidet sich von anderen Zuordnungen, die alle variablen, stark niederschlagsabhängigen Stoffeinträge zu den diffusen Quellen zählen und alle wenig variablen, nicht-niederschlagsabhängigen Stoffeinträge zu den punktuellen Quellen (DECOURSEY, 1985).

Bei dem Vergleich mit den Ergebnissen von BEHRENDT et al. (1999) wurde die unterschiedliche Art der Definition zunächst entsprechend rechnerisch berücksichtigt (der Emissionspfad „Einträge von urbanen Flächen“ wurde von den diffusen zu den punktförmigen Quellen „umgelagert“). Die in Abbildung 5.18 dargestellte Übersicht weicht somit scheinbar von den Angaben der Originalquelle ab.

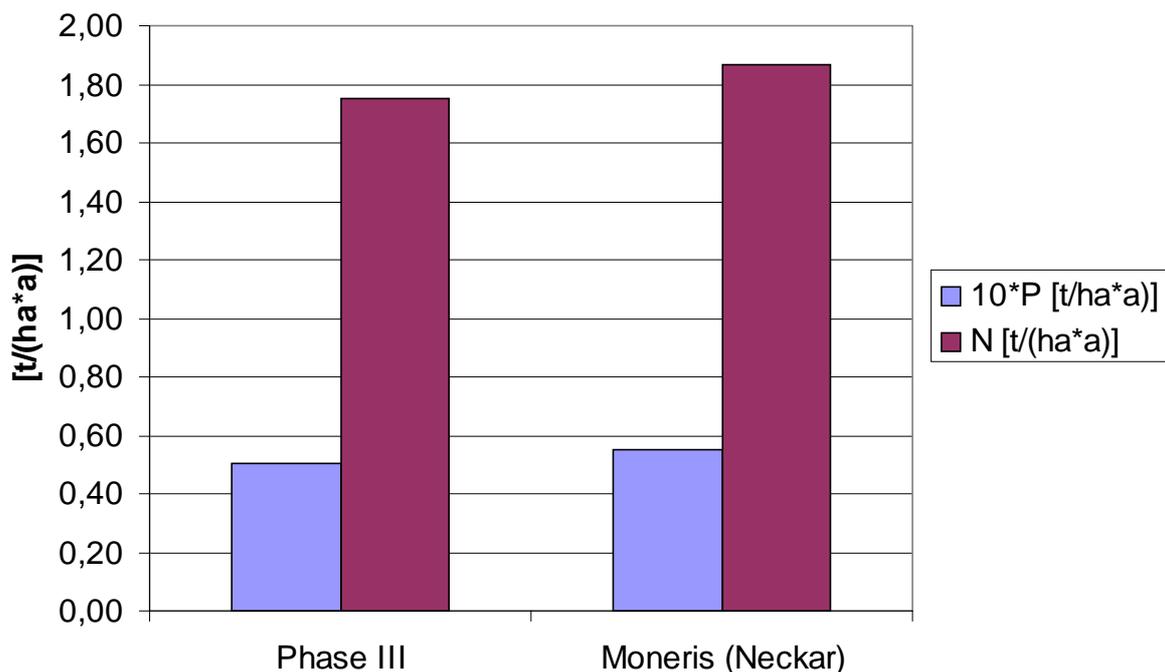


Abbildung 5.18: Vergleich spezifischer diffuser Nährstoffemissionen berechnet im Projekt („Phase III“) und von BEHRENDT et al. (1999, „Moneris (Neckar)“, verändert) für den Neckar

Die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen beiden Studien ist sehr gut, insbesondere angesichts der sehr unterschiedlichen Frachtschätzungsformeln: Die diffusen Emissionen von BEHRENDT et al. beruhen auf der Summe von sechs einzeln bilanzierten Pfaden. Das Ergebnis spricht für die im Rahmen des Projektes ausgewählten nutzungsabhängigen, flächenspezifischen Eintragspotentiale.

5.5.1.4 Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen

Eine Gegenüberstellung der Immissionen und Emissionen eines Stoffes, wie sie in Abbildung 5.19 bzw. Abbildung 5.20 für Phosphor bzw. Stickstoff und in Abbildung 5.21 für den CSB dargestellt ist, verschafft zum einen den grafischen Überblick über die Belastungssituation in einem Einzugsgebiet, zum anderen kann so dem Aspekt der Retention und Transformation von Stoffen etwas nachgegangen werden, die nicht explizit im Forschungsvorhaben berechnet wurde.

Die Emissionssituation des Phosphors im Neckareinzugsgebiet wird - auf Jahresfrachten bezogen - dominiert von zwei Pfaden: Den Kläranlagenabläufen (mit 54 %) und den diffusen Quellen (mit 41 %). Dabei entsprechen alleine die Abauffrachten von Kläranlagen bei Trockenwetter den gesamten diffusen Emissionen. Lediglich die Frachten durch Mischwasserentlastungen machen noch einen Anteil größer als 1 Prozent der Gesamtemissionen aus.

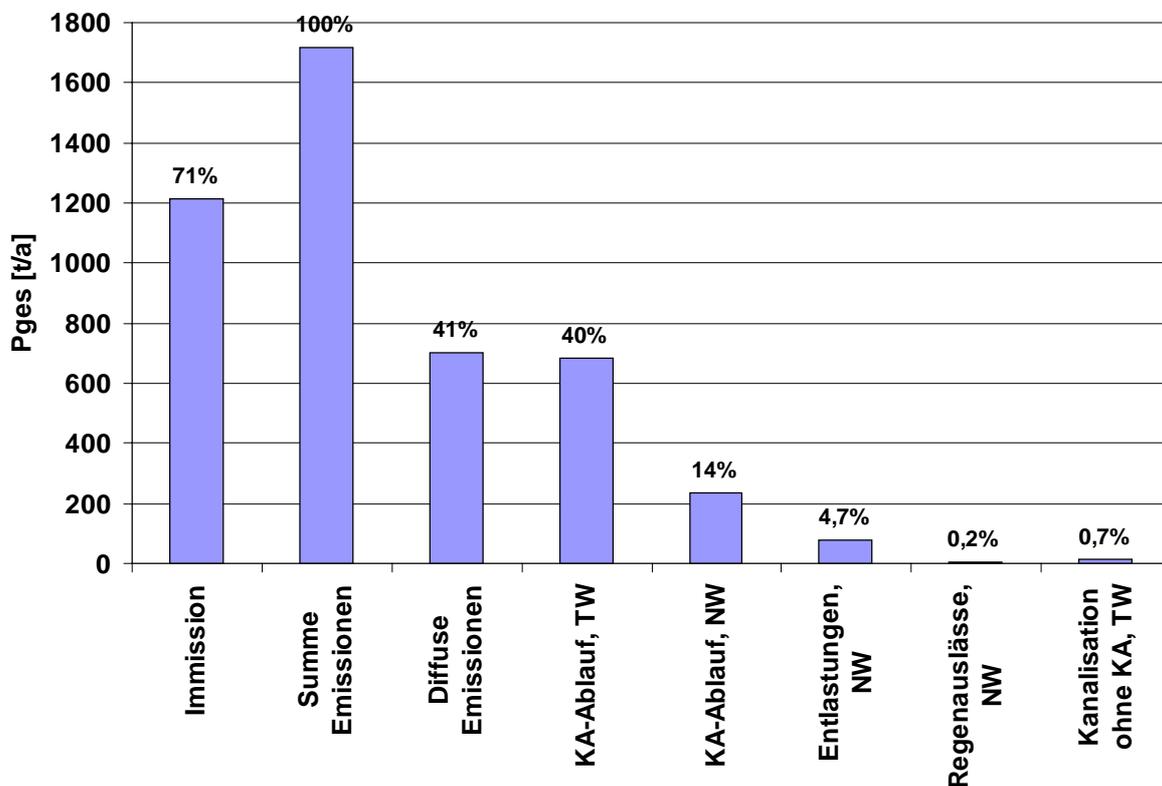


Abbildung 5.19: Gegenüberstellung der Immissions- und Emissionsfrachten für den Gesamtphosphor (TW=Trockenwetter; NW=Regenwetter; KA=Kläranlage) in [t/a] bzw. in [%] der Summe der Emissionen, Neckar 1995

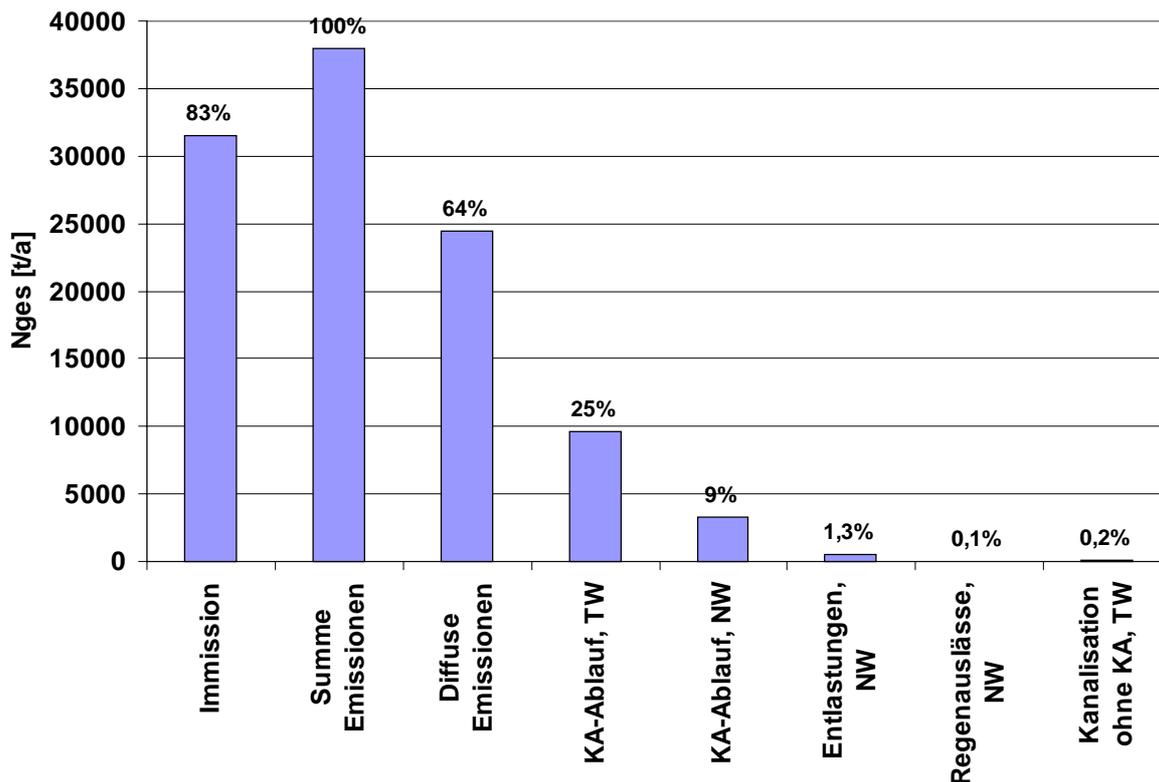


Abbildung 5.20: Gegenüberstellung der Immissions- und Emissionsfrachten für den gesamten, anorganischen Stickstoff (TW=Trockenwetter; NW=Regenwetter; KA=Kläranlage) in [t/a] bzw. in [%] der Summe der Emissionen, Neckar 1995

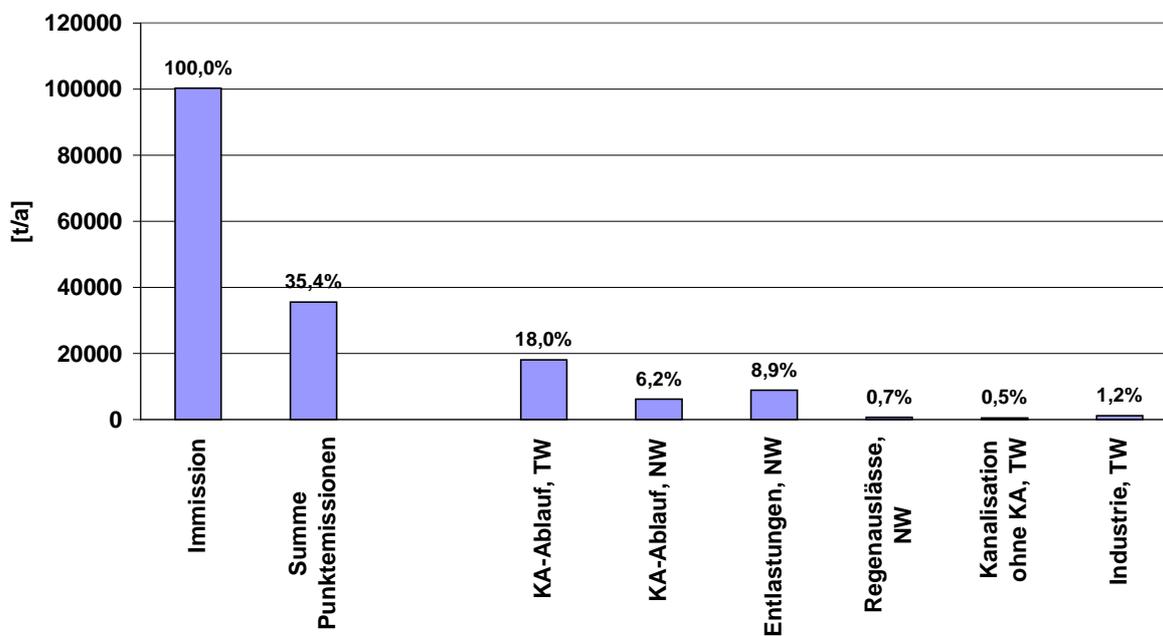


Abbildung 5.21: Gegenüberstellung der Immissions- und Emissionsfrachten für den CSB (TW=Trockenwetter; NW=Regenwetter; KA=Kläranlage) in [t/a] und in [%] der Immissionen, Neckar

Die Dominanz der Kläranlagenabläufe und diffuse Pfade ist beim Stickstoff noch extremer als beim Phosphor. Die anderen Pfade erreichen hier in der Summe gerade 1,5 Prozent der Gesamtemissionen. Allerdings dominieren beim Stickstoff insgesamt eindeutig die diffusen Emissionen.

Da es für den CSB nicht möglich war, die diffusen Quellen abzuschätzen, dient die Darstellung der Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen in Abbildung 5.21 - über die im Kapitel 5.5.1.2 diskutierten Aspekte hinaus - dem Vergleich der Summe der Punktemissionen mit den Immissionen. Dieser zeigt, daß die Ergebnisse für den CSB im Bereich der Werte bei den Nährstoffen liegt (Phosphor: 42 %, Stickstoff: 23 %).

Die erste Säule in den Übersichtsdiagrammen für Phosphor und Stickstoff stellt jeweils die Immissionen dar. Ihr Anteil an den Gesamtemissionen wird als Wiederfindung bezeichnet und gibt eine integrale Auskunft über das Ausmaß von Retention und Transformation der betrachteten Stoffe im Wasserkörper (für den CSB macht diese Betrachtung aufgrund der fehlenden diffusen Quellen keinen Sinn). Die beiden Prozesse spielen offensichtlich beim Phosphor (71 % Wiederfindung) eine größere Rolle als beim Nitrat (83 % Wiederfindung). Zum gleichen Ergebnis kommen auch BEHRENDT et al. (1999), wie in Abbildung 5.22 bemerkt werden kann. Wesentlich ist allerdings die insgesamt höheren Wiederfindungsrate in den Berechnungen des Projektes NIEDERSCHLAG. Dies ist zu einem guten Teil zu erklären durch die unterschiedliche Wahl des Bilanzierungszeitraumes: Im Projekt NIEDERSCHLAG wurden die Immissionen nur für das Bilanzjahr 1995 berechnet, welches durch ausgeprägte, erhöhte Abflüsse charakterisiert war. Derartige Fließzustände verhindern offenkundig Sedimentation partikulärer Stoffe und stellen zudem ungünstige Randbedingungen für biologische Um- und Abbauprozesse dar. Werden die Bilanzen für längere Zeiträume gebildet, wie bei BEHRENDT et al. (1999) der Fall, können diese eher außergewöhnlichen Zustände nicht abgebildet werden.

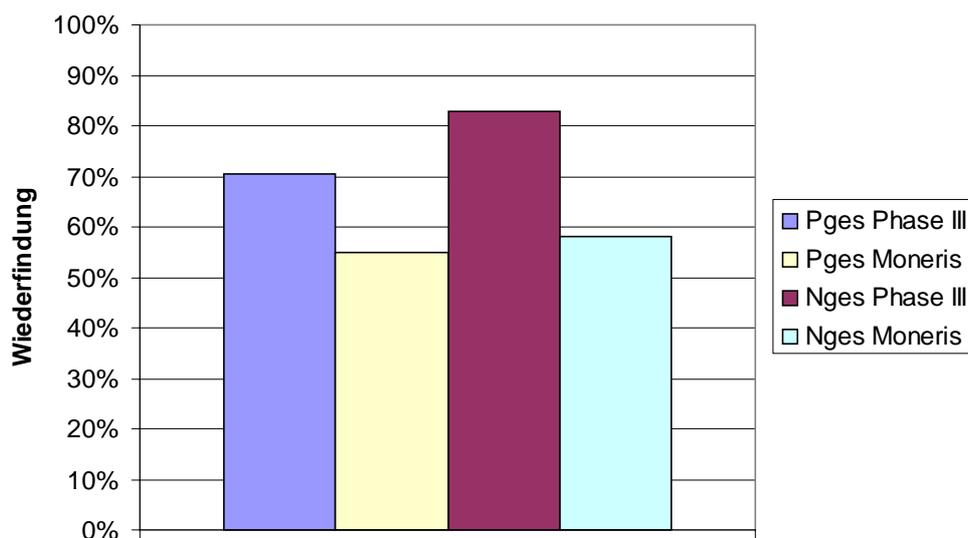


Abbildung 5.22: Wiederfindung (in [%]) im Projekt NIEDERSCHLAG und bei BEHRENDT et al. (1999, „Moneris“) für die Nährstoffe, Neckar

Ein weiterer Vergleich mit anderen Studien kann aufgrund von Abbildung 5.23 durchgeführt werden, die den Anteil der Punktquellen (nach Definition des Projektes NIEDERSCHLAG) an den gesamten berechneten Emissionen darstellt. Allerdings bezieht sich - außer der hier präsentierten Untersuchung („Phase III“) - nur die Darstellung von „Moneris (Neckar)“ direkt auf den Neckar. Das Bilanzgebiet von „Moneris BRD“ und „UBA“ ist die gesamte Bundesrepublik und „IWQWM“ bezieht sich auf das Deutsche Einzugsgebiet der Donau.

Nach den zuvor dargestellten Ergebnissen überrascht es kaum, daß die Angaben von „Phase III“ und „Moneris (Neckar)“ gut übereinstimmen. Die Zahlen von „Moneris BRD“ und „UBA“ stimmen etwas weniger gut überein, liegen aber immer noch in der gleichen Größenordnung. Aus der Graphik zeigt sich, daß der Neckar (v.a. durch den Großraum Stuttgart) im Vergleich zur gesamten Bundesrepublik urban geprägt ist, und damit einen hohen Anteil punktueller Quellen aufweist. Einen wesentlich kleineren Anteil an Punktquellen weist die Studie des Institutes für Wassergüte und Abfallwirtschaft aus („IWQWM“). Dies ist allerdings im Hinblick auf das betreffende Einzugsgebiet durchaus auch zu erwarten: Im Deutschen Teil der Donau liegt zwar die Stadt Augsburg und das Ballungsgebiet München, ansonsten ist das Gebiet aber ländlich geprägt, mit einem hohen Anteil an landwirtschaftlicher Nutzfläche. Auch der Anteil der punktuellen Quellen des Modells Moneris ist im Donau-Gebiet wesentlich geringer als im Bundesdurchschnitt (nicht dargestellt). Einheitlich ist die Ausweisung eines höheren Anteils punktueller Quellen für den Phosphor im Vergleich zum Stickstoff, was nach den drei genannten Studien auf den hohen Eintrag des Stickstoffs über den Basisabfluß (sprich: nitrathaltiges Grundwasser) zurückzuführen ist.

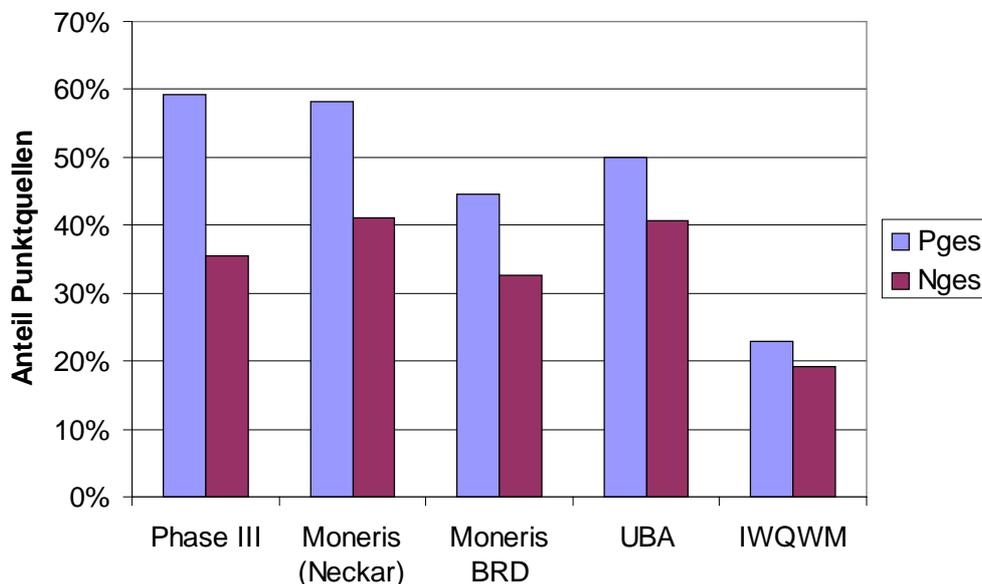


Abbildung 5.23: Anteil von Punktquellen an den Gesamtemissionen für die Parameter P_{ges} und N_{ges} in verschiedenen Studien

Wie Abbildung 5.24 zeigt, liegen die flächenspezifischen CSB Jahresfrachten aus Punktquellen im Neckar sehr nah bei denen in der Lahn. Die gleiche Abbildung läßt aber auch erkennen, daß die flächenspezifischen Immissionen im Neckar die in der Lahn um mehr als 100 % überragen. Dieser Unterschied war Anlaß zu weiteren Nachforschungen, die sich

konzentrierten auf die Frage nach dem Beitrag autochthon gebildeter Biomasse (insbesondere verstärktes Planktonwachstum) zum Summenparameter CSB.

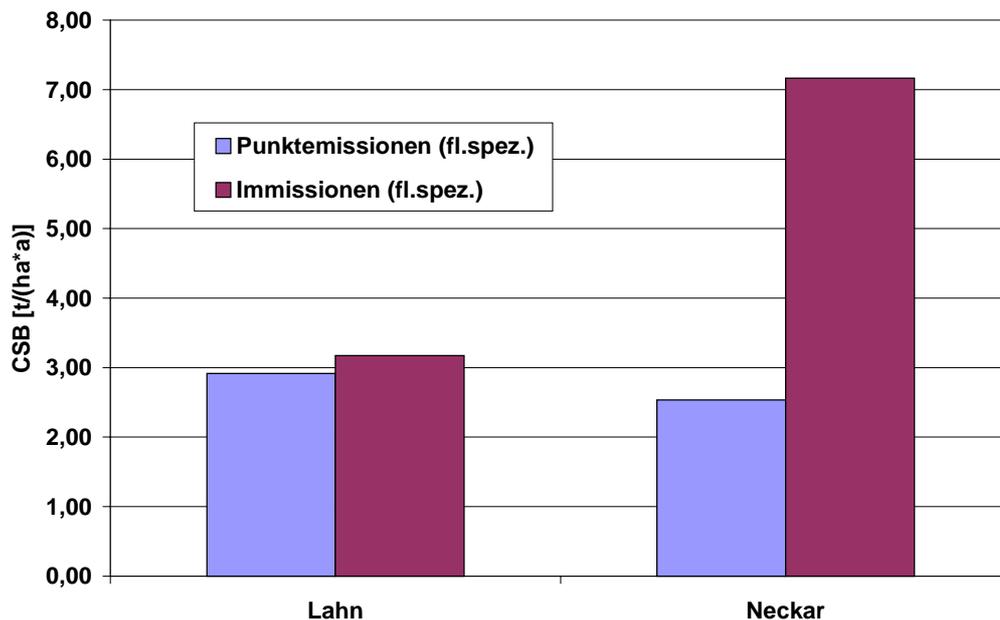


Abbildung 5.24: Flächenspezifischen Punktemissionen und Immissionen für Lahn und Neckar für den CSB in [t/(ha*a)] 1995

Die Überlegung stützte sich dabei auf die generelle Einschätzung, daß der Neckar als Fließgewässer mit staureguliertem Potamal als eutrophierungsgefährdet einzustufen sei und daß damit, insbesondere beim hohen Standard der Kläranlagen im Neckar Einzugsgebiet, der Einfluß des organischen Materials aus der Phytoplanktonproduktion für den CSB an den aus den Kläranlagenabläufen heran reichen könnte. Eine Studie der LfU (LfU, 1997b) bestätigt diese generelle Einschätzung. Die gleiche Studie belegt aber auch, daß im Jahr 1995 für den Neckar ein solcher Einfluß nicht vorhanden war.

„In den Beobachtungsjahren 1995 und 1996 ergaben sich aus dem jeweiligen Witterungsverlauf mit z.T. langfristigen Einstrahlungsdefiziten und häufigen Hochwasserführungen insgesamt eher ungünstige Bedingungen für das Planktonwachstum.“ Das Jahr 1995 kann damit „als ein planktonarmes Jahr eingestuft werden“, „hinsichtlich der Chlorophyllkonzentrationen [ist es] als auffallend produktionsarm zu bezeichnen“ (LfU, 1997b). Überschlägige Rechnungen ergaben, daß mit einem Beitrag von höchstens der Höhe der Industriellen Direkteinleiter zu rechnen wäre. Die in Abbildung 5.24 beschriebene Situation würde sich dadurch in keiner Weise aufklären. Weitere Untersuchungen konnten nicht mehr durchgeführt werden.

Für den Parameter CSB bestehen nach Kenntnis der Autoren keine vergleichbaren Studien anderer Autoren.

5.5.2 Schwermetalle

5.5.2.1 Immissionen

Die im Gewässer transportierten Schadstoffe, z.B. die Schwermetalle, werden sowohl in der Wasserphase als auch an Schwebstoffen gebunden transportiert. Die Verteilung der gelösten und partikulären Anteile der Schadstoffkonzentrationen wird durch verschiedene Faktoren bestimmt, wie pH-Wert, Adsorption und Lösung durch organische Komplexbildner. Die Löslichkeit der Schwermetalle kann anhand der Adsorptionsisothermen abgeschätzt werden. Insgesamt sinkt bei den Schwermetallen die Löslichkeit bei gleichen adsorbierten Gehalten im allgemeinen in der Reihe $Cd \geq Zn > Ni > Cu > Cr \geq Pb$, vice versa nehmen bei vergleichbaren Lösungsgehalten die adsorbierten Anteile zu (SCHEFFER & SCHACHT-SCHABEL, 1992), und wird wesentlich durch den pH-Wert beeinflusst, wobei mit abnehmenden pH-Wert die Schwermetalllöslichkeit zunimmt.

Aus dem Gewässergüte-Monitoring Programm der LfU werden die zur Verfügung stehenden Daten für Schwermetallkonzentration aus der Wasser- und Schwebstoffphase verwendet. Die Frachtschätzung in der Wasserphase erfolgt über die Berechnungsansätze für Mischprobenahme und für die partikulären Frachtschätzungen über die Fracht-Abfluß-Methode, wie es sich aus der für den partikulären Phosphor im Kapitel 5.5.1.1 dargestellten Plausibilitätsbetrachtung ergibt.

Die Ergebnisse der Immissionsschätzungen für die Schwermetalle, die mit der fließenden Welle transportiert werden, sind in der nachfolgenden Abbildung 5.25 für die gelösten und partikulären Anteile als flächenspezifische Frachten für das Bilanzjahr 1995 dargestellt.

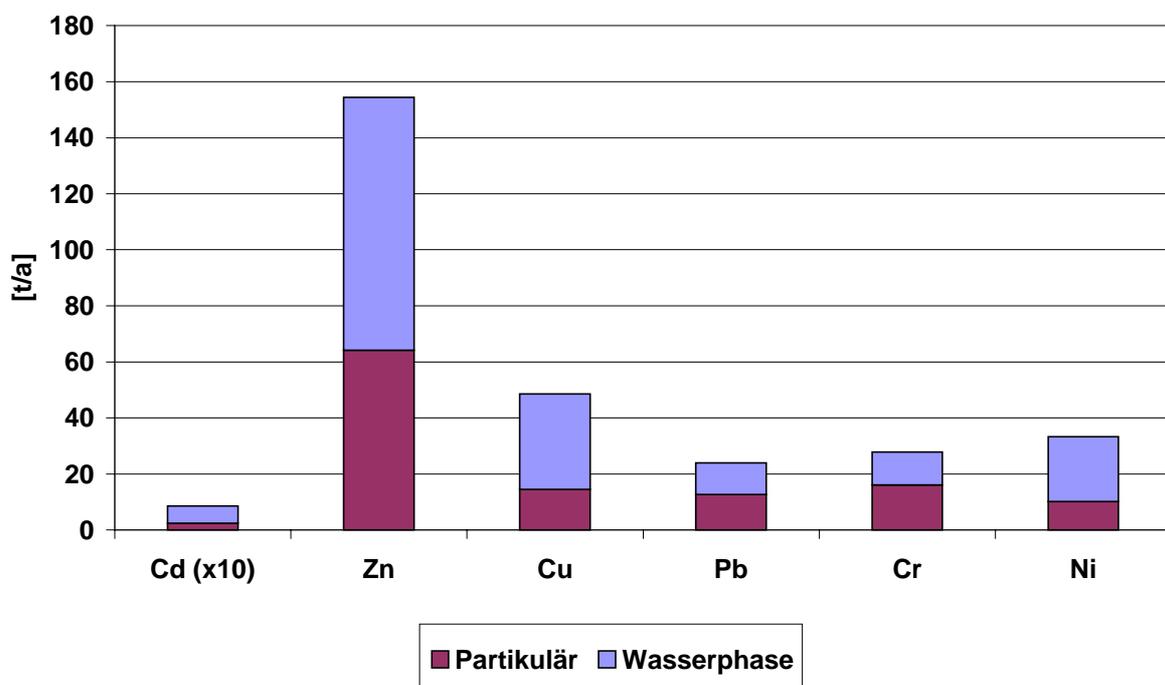


Abbildung 5.25: Partikulärer und gelöster Anteile der Immissionen der Schwermetalle für das Neckareinzugsgebiet.

Die Resultate für die gelösten und partikulären Anteile korrelieren mit der geringeren Löslichkeiten von Cr und Pb gegenüber der höheren Löslichkeit von Cu, Ni und Zn in der Wasserphase. Bei Cd lag ein großer Teil der Meßwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze (vgl. Kapitel 4.1.2). Diese Daten gehen mit dem halben Wert der Bestimmungsgrenze in die Frachtaberschätzung ein.

Fehlerbetrachtung

Die Güte der Frachtschätzung aus Mischprobenahmen (wie es für die gelösten Schwermetalle der Fall ist) hängt auch von der Korrelation von Konzentration zu Abfluß ab. So wird bei einem positiven Korrelationskoeffizienten die Jahresfracht unterschätzt, während sie bei einem negativen Korrelationskoeffizienten überschätzt wird (BfG, 1997). Wie aus Tabelle 5.25 hervorgeht, besteht für alle Parameter (außer Nickel) eine positive Korrelation, was zu einer systematischen Frachtunterschätzung führt. Im Meßprogramm der LfU werden jedoch die gelösten Schwermetalle in der Wasserphase aus der unfiltrierten Gesamtprobe bestimmt. Dies führt somit zu einer analytisch-bedingten Frachtüberschätzung, so daß die Abweichung der ermittelten Frachten von den wahren Frachten als gering eingeschätzt werden kann.

Tabelle 5.25: Korrelationskoeffizient der Schwermetallkonzentrationen zu den Abflüssen bei der Mischprobenahme, Neckar

Parameter	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Korrelationskoeffizient	0,13	0,07	0,00	0,20	0,10

Im Gegensatz zu den 51 wöchentlichen Mischprobenahmen für die Parameter der Wasserphase werden die Schwermetallgehalte der Schwebstoffe nur über 12 Einzelprobenahmen erhoben und analysiert. Die Abschätzung der partikulären Anteile der Schwermetallfrachten über die Fracht-Abfluß-Beziehung ist somit mit größeren Unsicherheiten behaftet. Hier läßt sich eine Fehlerabschätzung über die Größe des Extrapolationsbereiches vornehmen, indem die Tage bestimmt werden, für die der Tagesabfluß außerhalb des Abflußspektrums der Probenahme liegen. Da eine nicht lineare Fracht-Abfluß-Beziehung angenommen wird, können grosse Extrapolationsfehler insbesondere dann auftreten, wenn der Großteil der Jahresfracht an Tagen mit extrem hohen Abflüssen transportiert wird, die nicht beprobt wurden (BfG, 1997).

Nachfolgend sind in Tabelle 5.26 für die ermittelten partikulären Schwermetallfrachten der Anteil der Tage, deren Abflüsse oberhalb des Abflußspektrums der Probenahme liegen, und der für diese Abflüsse ermittelte Frachtanteil zusammengefaßt. Für alle Schwermetalle zeigt sich, daß über 40 % der berechneten Fracht (sieben) Tagen mit Hochwasserabflüssen zuzuweisen sind, die nicht im Abflußspektrum der Probenahme liegen. Die Niedrigwasserabflüsse sind alle durch das Abflußspektrum der Probenahme abgedeckt.

Tabelle 5.26: Anteil der Überschreitungstage mit Tagesabflüssen größer des Abflußspektrums der Beprobung und der auf diese Tage entfallende Frachtanteil.

Parameter	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Überschreitungstage [%]	7	7	7	7	7
Frachtanteil [%]	43	44	45	45	45

Für die Betrachtung der Gesamtjahresfracht der Schwermetalle, die in der fließenden Welle des Neckars transportiert werden, sind vor dem Hintergrund der 27 Staustufen die Sedimentation bei Niedrigwasser und Remobilisierung bei Hochwasser zu berücksichtigen.

Zu diesem Themenkomplex ergab das Fachgespräch zum Verbundprojekt, daß die Stauhaltungen nur 1 % der Zeit als Sedimentquelle fungieren (sprich: Erosion stattfindet). Das Bilanzjahr weist einen im Vergleich zu den langjährigen Werten erhöhten mittleren Abfluß auf und läßt damit eine höhere Remobilisierung erwarten. Die genau Jahresnettosedimentationsrate kann jedoch nur abgeschätzt werden, wenn Daten zu den Hochwässern vorhanden sind.

Für das Hochwasser vom 23.01. bis 30.01.1995 liegen Untersuchungen zu den in der fließenden Welle transportierten Schwermetallfrachten am Pegel Lauffen vor (KERN, 1997). Ein direkter Vergleich mit über einen längeren Zeitraum ermittelten Schwebstoffuntersuchungen an dieser Stelle ist leider nicht möglich, da die LfU Baden-Württemberg dort keine entsprechende Gewässergütemeßstelle unterhält. Werden die partikulären Schwermetallfrachten am Pegel Lauffen in dieser Woche jedoch mit den jährlichen partikulären Schwermetallfrachten des Neckars am Gebietsauslaß bei Mannheim/Feudenheim verglichen, so zeigt sich, daß das Hochwasserereignis in diesem staugeregelten Neckarabschnitt 21 % der partikulären Jahresfrachten des gesamten Neckars (bei Mannheim) für Cadmium, Blei und Zink sowie 26 % der partikulären Jahresfracht für Kupfer transportierte. Dies verdeutlicht die Bedeutung der Erhebung von ereignisbezogenen Stoffkonzentrationen für die Abschätzung von Immissionsfrachten.

Durch einen weiteren Effekt wird insbesondere am Neckar die Bilanzierung von partikulären Schwermetallfrachten höchst komplex: So sind die Schwermetallgehalte in den Schwebstoffen in den letzten Jahren als Erfolg der umweltpolitischen Anstrengungen stark gesunken. Bei gleicher Menge an erodierten Sedimenten können die Mengen an remobilisierten Schwermetallen somit stark unterschiedlich sein, je nachdem, ob „neuere“, und damit weniger mit Schwermetallen behaftete Sedimente erodiert werden, oder „ältere“, stark beladene. Die Bedeutung dieses Phänomens kann nur in speziell darauf ausgerichteten Untersuchungen ermittelt werden, wie sie z.B. vom Institut für Wasserbau der Uni Stuttgart geplant sind.

5.5.2.2 *Punktförmige Einträge*

Aus Gründen der Veranschaulichung und Übersichtlichkeit sind die stark unterschiedlichen absolute Werte der punktförmigen Schwermetallemissionen (siehe Tabelle 5.27) als relative Frachtanteile durch gestapelte Säulen in Abbildung 5.26 dargestellt.

Es zeigt sich, daß unter den punktuellen Emissionspfaden die Kläranlagen der dominierende Pfad sind. Die nicht aus Kläranlagen stammenden Anteile betragen bei Kupfer 26 %, bei Blei 29 %, bei Chrom 24 % und bei Nickel sogar nur 19 %. Deutlich anders stellt sich allerdings die Situation bei Cadmium und Zink dar, die durch ein geringeres Adsorptionsvermögen an partikuläre Stoffe charakterisiert sind. Alleine die Emissionen aus Mischwasserentlastungen haben bei diesen beiden Stoffen einen Anteil von rund 45 % an den gesamten punktuellen Einträgen.

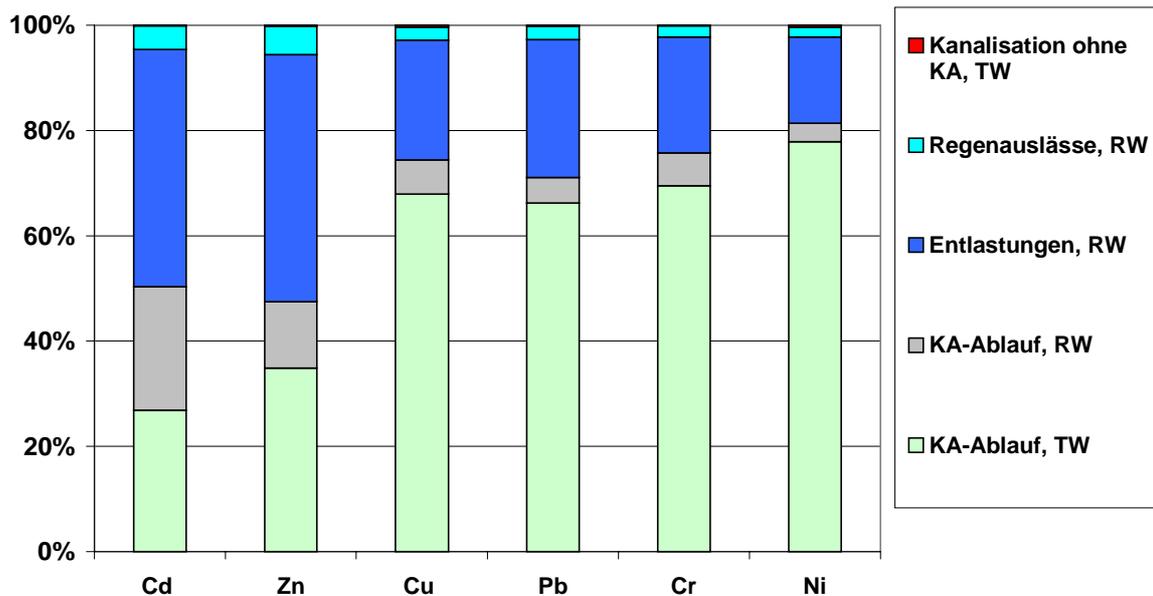


Abbildung 5.26: Anteile der verschiedenen Emissionspfade an den gesamten Punktemissionen der Schwermetalle getrennt nach Trockenwetter (TW) und Regenwetter (RW) für 1995, Neckar

5.5.2.3 Diffuse Einträge und Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen

In der nachfolgenden Tabelle 5.27 werden neben den detailliert aufgeschlüsselten Punktemissionen, die diffusen Emissionen sowie die Immissionsfrachten zusammengefasst, und in den Abbildung 5.27 bis Abbildung 5.29 sind beispielhaft die Ergebnisse der Berechnungsansätze der Schwermetalle Cd, Cu und Pb dargestellt.

Werden die Anteile der Punktemission an der Gesamtemission verglichen, bilden die punktförmigen, urbanen Emissionen im Neckareinzugsgebiet die maßgeblichen Eintragspfade für die einzelnen Schwermetallfrachten (67 % bis 92 %), mit Ausnahme des Cr für das die Anteile der punktuellen und diffusen Emissionen in etwa gleich groß sind (45 % zu 55 %). Der hohe Anteil der Mischwasserkanalisation (96 %) an der Stadtentwässerung im Neckareinzugsgebiet findet sich wieder in den Entlastungen der Mischwasserkanalisation bei Regenwetter (RW), deren Frachten für alle 6 Schwermetalle über den durch Niederschlag bedingten Frachtanteil der Kläranlagen (KA-Ablauf RW). Die Mischwasserentlastungen sind von hervorzuhebender Bedeutung für die in die Gewässer eingetragenen Schwermetallfrachten, besonders bei Cd und Zn betragen die Frachten der Entlastungen der Mischkanalisation in etwa den gesamten über die Kläranlagen ausgetragenen Frachten.

Mit Ausnahme von Zn fallen die im Gewässersystem transportierten Immissionsfrachten größer aus als die eingetragenen Gesamtemissionsfrachten. Dies kann zum einen auf eine Überschätzung der Immission bzw. auf eine Unterschätzung der Gesamtemission zurückgeführt werden. Die mittlere Abflußspende lag im Bilanzjahr 1995 ca. 30% über dem langjährigen Mittel (vgl. Kapitel 3.2). Somit kann im das Bilanzjahr als ein erosives betrachtet werden, in dem durch die Remobilisierung von Sedimenten die Immissionen die Emissionen

tatsächlich überschreiten. Es ist anzunehmen, daß der Effekt durch stärker kontaminierte Altsedimente zusätzlich verstärkt ist (s. Kapitel 5.5.2.1).

Tabelle 5.27: Gegenüberstellung von Schwermetall-Immissionen und -Emissionen für 1995 in [kg/a] bzw. [%] der Gesamtemissionen, Neckar

	Cd		Zn		Cu	
	[kg/a]	[%]	[kg/a]	[%]	[kg/a]	[%]
Immission	862	103,1	154399	91,6	48639	168,8
Gesamtemission	836	100,0	168569	100,0	28818	100,0
Diffuse Emissionen	161	19,3	13491	8,0	4198	14,6
Punktemissionen	675	80,7	155078	92,0	24621	85,4
KA-Ablauf TW	182	21,7	54075	32,1	16722	58,0
KA-Ablauf RW	158	18,8	19569	11,6	1593	5,5
Mischentlastungen, RW	305	36,5	72787	43,2	5595	19,4
Regenauslässe, RW	30	3,6	8274	4,9	622	2,2
Kanalisation ohne KA, TW	1	0,1	374	0,2	89	0,3

	Pb		Cr		Ni	
	[kg/a]	[%]	[kg/a]	[%]	[kg/a]	[%]
Immission	23964	150,8	27847	220,7	33367	234,2
Gesamtemission	15894	100,0	12619	100,0	14247	100,0
Diffuse Emissionen	5248	33,0	6946	55,0	4696	33,0
Punktemissionen	10646	67,0	5673	45,0	9551	67,0
KA-Ablauf TW	7049	44,4	3940	31,2	7436	52,2
KA-Ablauf RW	519	3,3	359	2,8	331	2,3
Entlastungen, RW	2792	17,6	1247	9,9	1567	11,0
Regenauslässe, RW	258	1,6	116	0,9	180	1,3
Kanalisation ohne KA, TW	28	0,2	11	0,1	36	0,3

So zeigen die Schwebstofffrachten des Neckars im Jahr 1995 im Vergleich zum Vorjahr und zum Folgejahr eine zweifach bzw. dreifach höhere Fracht (FUCHS et al., 1999). Unterstützt wird dies durch ereignisbezogene Untersuchungen. KERN (1997) zeigt für das außergewöhnliche Hochwasser des Neckars zu Beginn des Bilanzjahres 1995, daß für partikulär gebundene Schwermetalle in wenigen Tagen ca. 25 % der gesamten Jahresfracht transportiert wird.

Zudem sind die Immissionsdaten für das Bilanzjahr 1995 mit einem engen Zeitbezug versehen, wohingegen sich die Eingangsdaten für die Emissionsberechnungen aus Beobachtungen ableiten, die sich auf einen größeren Zeitraum und zudem unterschiedliche Beobachtungsräume beziehen. Sie können somit keinen direkten zeitlichen Bezug widerspiegeln. Die mittleren, längjährigen Einträge können daher die Gewässerfrachten einzelner Jahre immer unter- oder überschreiten.

Ferner waren entsprechend der Projektkonzeption die erforderlichen Ausgangsdaten allgemein verfügbaren Informationsquellen zu entnehmen. Dies konnte im Falle der Emissionsdaten für Schwermetalle im Ablauf von Direkteinleitern nicht verwirklicht werden (vgl. Kapitel 4.1.3.2). Es ist damit offensichtlich, daß die Gesamtemissionen folglich unterschätzt werden (FUCHS et al., 1999). Auch der Pfad „diffuse Emission“ spiegelt bei der Berechnung der Schwermetalle nur einen Teil der real vorhandenen diffusen Emissionen wieder (nur Erosion).

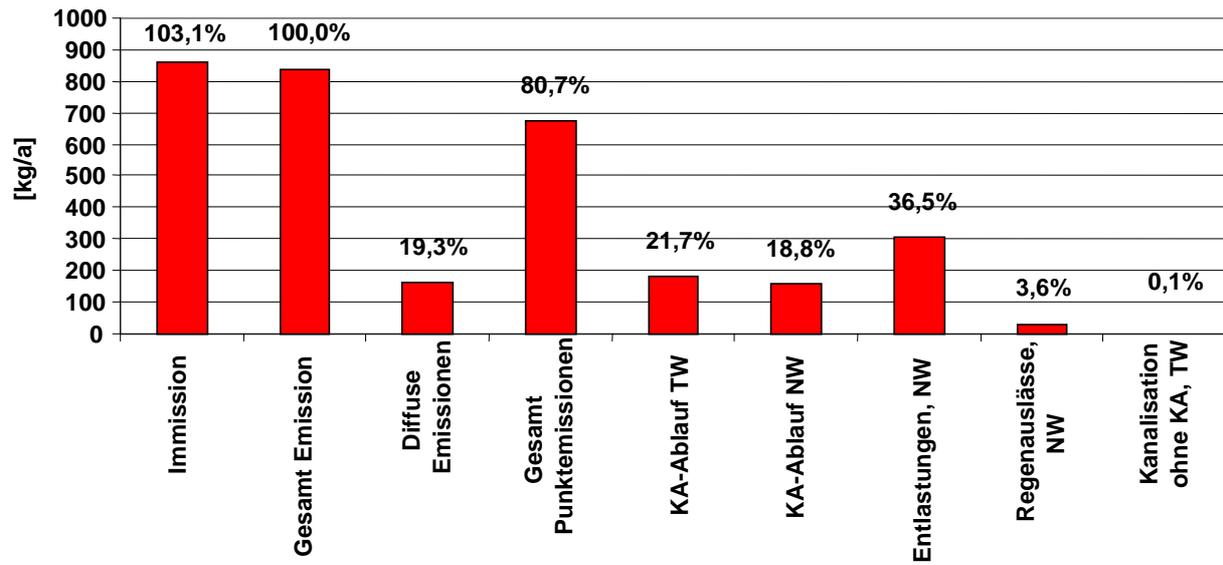


Abbildung 5.27: Gegenüberstellung der Immissions- und Emissionsfrachten für Cadmium 1995 (TW=Trockenwetter; NW=Niederschlagswetter; KA=Kläranlage), Neckar

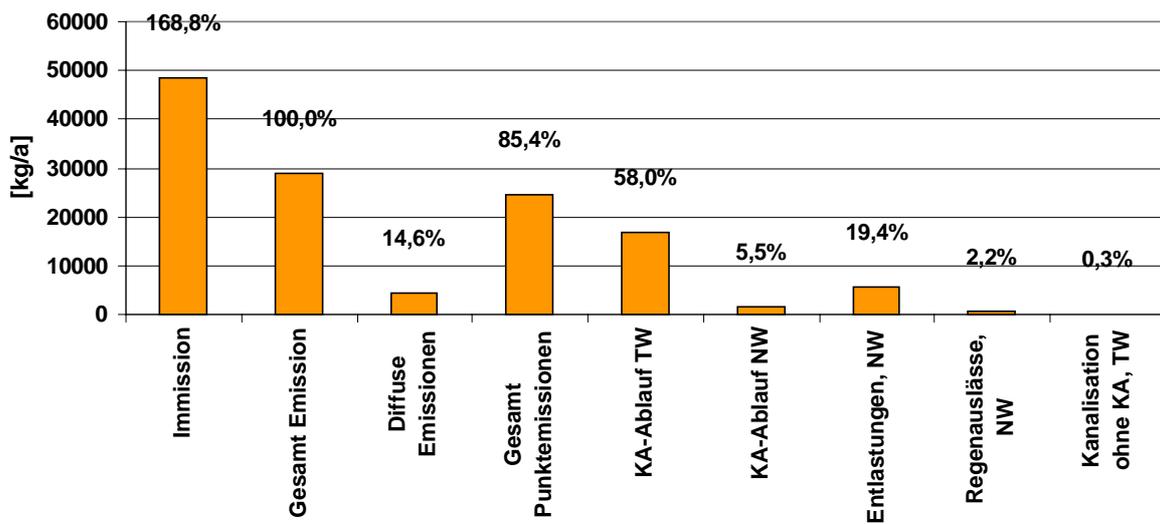


Abbildung 5.28: Gegenüberstellung der Immissions- und Emissionsfrachten für Kupfer 1995 (TW=Trockenwetter; NW=Niederschlagswetter; KA=Kläranlage), Neckar

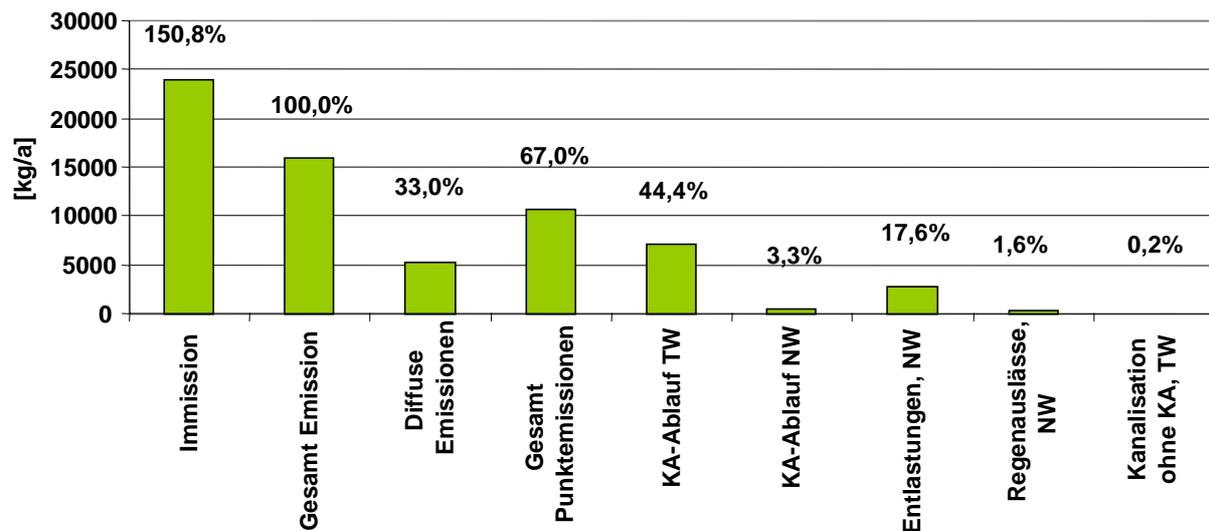


Abbildung 5.29: Gegenüberstellung der Immissions- und Emissionsfrachten für Blei 1995 (TW=Trockenwetter; NW=Niederschlagswetter; KA=Kläranlage), Neckar

Um die urbanen Emissionen des Neckars mit anderen Flußeinzugsgebieten zu vergleichen, werden einwohnerspezifische Eintragsfrachten herangezogen, zum einen für die Lahn (aus diesem Forschungsvorhaben), zum anderen für die Elbe aus der Studie von VINK et al. (1997), bei der ebenfalls Schwermetallemissionen für verschiedene punktuelle und diffuse Eintragspfade ermittelt wurden.

Tabelle 5.28: Einwohnerspezifische Eintragsfrachten für die Flußgebiete Neckar, Lahn und Elbe (Daten aus VINK et al., 1997) berechnet aus den gesamten punktförmigen Emissionen

Einwohnerspezifische Frachten [g/E*a]	Cd	Cu	Pb
Neckar	0,13	4,68	2,02
Lahn	0,36	9,86	4,37
Elbe	0,45	7,74	13,34

Trotz der abnehmenden Einwohnerdichten der Flußeinzugsgebiete von Neckar, Lahn und Elbe, nehmen die einwohnerbezogenen Schwermetallfrachten von Neckar über Lahn zur Elbe deutlich zu und spiegeln die unterschiedlichen Ausbaugrade der Abwasser- und Regenwasserbehandlung wider.

5.6 STAND DER TECHNIK (SdT)

5.6.1 Ergebnisse Lahn - Hessen

Zur Definition des Szenarios Stand der Technik und den damit verbundenen Modifikationen gegenüber dem Ist-Zustand sei an dieser Stelle auf Kapitel 4.5 verwiesen. Die Ergebnisse lassen definitionsgemäß verminderte Einträge über den Pfad Entlastungen erwarten. Für die Lahn in Hessen ergab sich lediglich für ein Teileinzugsgebiet zusätzlicher Bedarf an Beckenvolumen. Das bedeutet, es wurde in einem von sieben Teileinzugsgebieten mit der

Entlastungsabflußrate nach ATV bilanziert und in den übrigen sechs mit den im Ist-Zustand berechneten Raten. Verminderungen der eingetragenen Frachten im Szenario SdT werden daher voraussichtlich gering ausfallen.

Ursache für festzustellende Frachtreduktionen aus der Summe aller punktuellen Quellen werden vorwiegend die unter Punkt 1 beschriebenen Modifikationen mit der Folge erhöhter Wassermengen auf Kläranlagen sein. Eine Berechnung nach ATV- A 128 (1992) für die einzelnen Kanalnetze würde sicherlich andere, vermutlich stimmigere Daten zu erforderlichen Beckenvolumen liefern als die hier durchgeführte Grobbilanz auf Teileinzugsgebietsebene. Die gewählte Vorgehensweise ergibt sich durch fehlende Daten zur Regenwasserbehandlung in Hessen und durch die vorgegebene Aufgabenstellung einer Bilanzierung/Hochrechnung für Flußgebiete.

Die Ergebnisse der Bilanzierung sind im Anhang C.9 dargestellt. Tabelle 5.29 zeigt für die Nähr- und Zehrstoffe die Abweichungen des Szenarios SdTs vom Ist-Zustand.

Tabelle 5.29: Nähr- und Zehrstoffeinträge aus punktförmigen Quellen im Szenario SdT, dargestellt als Abweichungen vom Ist-Zustand in [t/a] (oben) und für ausgewählte Pfade in [%] der Fracht im Ist-Zustand (unten)

<i>Abweichungen von Ist-Zustand in [t/a]</i>			
Emissionen aus	P_{ges}	N_{ges}	CSB
Kläranlagenabläufen, TW-Abfluß	1	17	-1
Kläranlagenabläufen, NW-Abfluß	1	13	37
Summe Kläranlagenabläufe:	2	30	36
Regenentlastungen (Mischsystem)	0	-1	12
Regenauslässen (Trennsystem)	0	0	0
Kanäle ohne KA-Anschluß (NW)	-1	-10	-250
Kanäle ohne KA-Anschluß (TW)	-19	-104	-820
Summe Kanalnetz:	-21	-115	-1.058
Summe Kläranlage + Kanal:	-19	-85	-1.022
Industrielle Direkteinleiter:	0	0	0
Summe punktförmiger Einträge:	-19	-85	-1.022
<i>[%]-Anteile ggb. d. Ist-Zustand</i>			
Summe Kläranlagenabläufe:	101	101	100
Regenentlastungen (Mischsystem)	99	100	100
Summe Kanalnetz:	70	73	84
Summe Kläranlage + Kanal:	94	97	93

Gemäß den beschriebenen Modifikationen bei der Bilanzierung des Szenarios SdT gegenüber dem Ist-Zustand ergibt sich für die Nährstoffe ein leichter Anstieg der eingetragenen Frachten aus Kläranlagen. Prozentual liegen sie um rund 1% über denen im Ist-Zustand. Über den Pfad Kläranlagen bei Niederschlagsabfluß (NW) gelangen im Szenario SdT höhere CSB-Emissionen in die Lahn; über Kläranlagen bei Trockenwetter (TW) vermindern sich die eingetragenen Frachten. Dieses Absinken tritt lediglich im Teileinzugsgebiet des Elbbaches auf, daß zum Großteil zu Rheinland-Pfalz gehört. In Rheinland-Pfalz wurden im Szenario SdT fiktive Kläranlagen geschaffen, die eine verbesserte Reinigungsleistung gegenüber dem Ist-Zustand aufweisen. Dadurch vermindern sich die eingetragenen Frachten aus Kläranlagen bei Trockenwetter. Im hessischen Teil des Lahneinzugsgebietes hingegen kommt es im Szenario SdT durchgehend zu einem Anstieg der Emissionen aus Kläranlagen, da eine fiktive Anbindung der Kanäle ohne

Kläranlagenanschluß an bestehende Anlagen erfolgt ist, in denen nun größere Abwassermengen gereinigt werden müssen.

Die über das Kanalnetz eingetragenen Frachten vermindern sich im Fall von P_{ges} und N_{ges} um ca. 30 %, bei CSB rd. 15 %. Wie bereits erwähnt, sind die reduzierten Einträge aus dem Kanalnetz vorwiegend auf das Wegfallen der Einträge aus Kanälen ohne Kläranlagenanschluß bei Trockenwetter und Niederschlagsabfluß zurückzuführen. Die Emissionen aus Entlastungen bleiben gegenüber dem Ist-Zustand nahezu unverändert.

Insgesamt kann unter den Bedingungen des Szenarios SdT eine Verminderung der Einträge aus punktuellen Quellen gegenüber dem Ist-Zustand erzielt werden. Bedingt durch die relativ geringfügigen Änderungen der Berechnungsansätze im Vergleich zum Ist-Zustand ergeben sich für die Hessische Lahn allerdings auch nur verhältnismäßig kleine Frachtreduktionen. In der letzten Zeile der Tabelle 5.29 sind die verminderten Einträge in %-Anteilen vom Ist-Zustand angegeben. Danach ergeben sich Frachtreduktionen zwischen 3% und 7%.

Die für die Nähr- und Zehrstoffe festgestellten Tendenzen beim Vergleich Ist-Zustand/Szenario SdT gelten bedingt durch die Berechnungsmethode auch für die Schwermetalle. Die Schwermetallfrachten aus den Kläranlagen erhöhen sich für alle betrachteten Parameter einheitlich um 2-3%, was mit der zunehmenden Anzahl der angeschlossenen Einwohner begründet werden kann. Im Gegensatz zu den Nähr- und Zehrstofffrachten, die über Wassermengen und Ablaufkonzentrationen berechnet werden, erfolgt die Bilanzierung der Schwermetallfrachten aus Kläranlagen bei Trockenwetter über einwohnerspezifische Frachten und Wirkungsgrade (vgl. Kapitel 4.4).

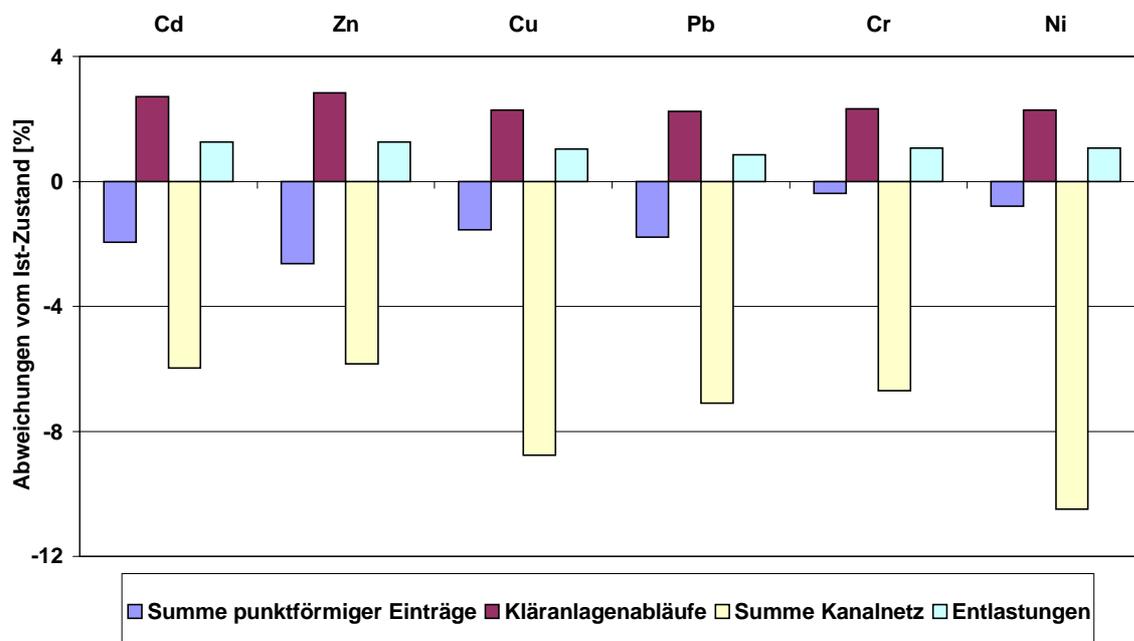


Abbildung 5.30: Schwermetalleinträge aus punktförmigen Quellen für ausgewählte Pfade im Szenario SdT, dargestellt als positive und negative Abweichungen vom Ist-Zustand in [%] der Fracht im Ist-Zustand, hessische Lahn

Die in der Summe über das Kanalnetz eingetragenen Schwermetallfrachten vermindern sich um 6% bis 10% gegenüber dem Ist-Zustand. Diese Verringerung ergibt durch den Anschluß aller Kanäle an Kläranlagen. Bei den Schwermetalleinträgen über den Pfad „Entlastungen“ ist im Szenario SdT bei allen Parametern sogar ein leichter Anstieg von rd. 1% zu verzeichnen, was auf die Zunahme der zu behandelnden Mischwassermenge bei nahezu unveränderter Entlastungsabflußrate bzw. gleichbleibenden Beckenvolumen (mit Ausnahme eines Teileinzugsgebietes) zurückzuführen ist.

Die Bilanzergebnisse für Schwermetalle können der Abbildung 5.30 und den Anhängen C.7 bzw. C.12 entnommen werden. Dort ist ersichtlich, daß sich die größten Frachtreduktionen im Szenario SdT gegenüber dem Ist-Zustand mit rd. 3% beim Zn ergeben. Die Reduktion der Chrom- und Nickelfrachten aus punktförmigen Quellen liegt bei kleiner 1%.

5.6.2 Ergebnisse Lahn - Rheinland-Pfalz

Nähr- und Zehrstoffe

Durch die fiktive Anbindung der Kanäle, die bisher noch nicht an eine Abwasserreinigungsanlage angeschlossen waren, an ein den heutigen Anforderungen entsprechendes Klärwerk, müßte zukünftig das Abwasser von ca. 200.000 Einwohner bzw. ca. 43.000 Einwohnergleichwerten auf den Anlagen des Gebietes behandelt werden. Bei einem im Vergleich zum Ist-Zustand weitestgehend analogen Berechnungsgang resultieren daraus die in Tabelle 5.30 dargestellten Werte.

Tabelle 5.30: Emissionen aus Kläranlagenabläufen im Szenario SdT in [t/a] bzw. in [%] der Gesamtemissionen aus Kläranlagen, unteres Lahnggebiet

1. Emissionen aus KA	P _{ges}		N _{ges}		CSB	
	t/a	%	t/a	%	t/a	%
1.1 infolge TW-Abfluß	29,0	75,5	324,9	79,6	671	76,1
1.2 infolge NW-Abfluß	9,4	24,5	83,5	20,4	210	23,9
Summe 1.1 und 1.2	38,4	100,0	408,4	100,0	881	100,0

Das Ergebnis verdeutlicht, daß trotz des Anschlusses von über 26.000 neuen Einwohnern die Fracht aus Kläranlagenabläufen infolge des Trockenwetterabflusses für Phosphor und CSB zurückgeht. Einzige Ausnahme bilden hier die Stickstoffeinträge, die nahezu unverändert bleiben. Dieser Umstand ist in der Kläranlagensituation im betrachteten Gebiet im Jahre 1995 begründet. Es gab noch eine Vielzahl veralteter Anlagen, teilweise sogar nur mit einer mechanischen Klärstufe versehen. Diese veralteten Anlagen, die heutigen Anforderungen nicht mehr genügen, wurden im Szenario SdT gemäß Kapitel 4.5 durch neuere Klärwerke ersetzt. Die Ablaufwerte dieser Abwasserreinigungsanlagen wurden über die Betriebsergebnisse der neueren im Flußgebiet liegenden Anlagen abgeschätzt, wobei versucht wurde, den Einfluß der Siedlungsstruktur des Gebietes zu berücksichtigen. D.h. bei veralteten Anlagen, die in sehr ländlichen und dünn besiedelten Gebieten lagen, erfolgte die Abschätzung über die Reinigungsleistung benachbarter, zumeist ähnlich ländlicher, aber moderner Anlagen und nicht etwa über die Ablaufwerte von Klärwerken mit überwiegend städtischen Einzugsgebieten, die zumeist allein schon aufgrund höherer rechtlicher Anforderungen eine bessere Reinigungsleistung erreichen müssen. Darüber hinaus werden dadurch auch die lokalen Gegebenheiten bzw. Besonderheiten berücksichtigt, die in einem

Fluß Einzugsgebiet vorliegen. So wurden z.B. in den Gemeinden des Gelbachgebietes in den letzten Jahren im Verhältnis zum übrigen unteren Lahnggebiet überproportional viele Abwasserteiche, die meisten davon belüftet, gebaut.

Im Szenario SdT wurden bei wenigen Kläranlagen, bei denen unrealistische Regenwassermengen angegeben wurden, sinnvolle Werte angesetzt. Diese Vorgehensweise kann wie folgt begründet werden:

Handelt es sich bei der Differenz tatsächlich um mitbehandeltes Fremdwasser, so hätten sich bei den betroffenen Kläranlagen sehr hohe Fremdwasseranteile ergeben, die nicht mehr den heutigen Vorgaben entsprechen, d.h. es müßten ohnehin entsprechende Maßnahmen zur Fremdwasserverringerung vorgenommen werden. Dies hätte zur Folge, daß in diesem Fall diese Volumen im Szenario SdT zum größten Teil nicht mehr behandelt werden würden. Für die andere Möglichkeit, daß die Zulaufmessungen ungenau gearbeitet haben, ist erst recht kein Sinn darin zu sehen, diesen Fehler weiter mitzuschleppen.

Im Szenario SdT steigt die auf den Kläranlagen mitbehandelte Regenwassermenge von den (bereinigten) ca. 6,0 Mio. m³ auf nunmehr 7,5 Mio. m³ an. Dies ist zum einen auf einen Abbau von Vollzugsdefiziten in der Regenwasserbehandlung, zum anderen auch auf den Anschluß der Gebiete, deren Kanalisation bisher nicht an eine Kläranlage angeschlossen waren, zurückzuführen.

Vergleicht man nun die Ergebnisse des Szenarios SdT mit den Daten aus dem Ist-Zustand, so stellt man fest, daß bei den Emissionen aus Kläranlagen infolge Trockenwetterabfluß die Phosphorfrachten um ca. 13 % zurückgehen, während sie beim Stickstoff nahezu unverändert bleiben. Bei den Zehrstoffen lassen sich ebenfalls erhebliche Verbesserungen erzielen, die beim CSB ca. 25 % betragen.

Bei den Einträgen aus Kläranlagen infolge Niederschlagsabfluß ergibt sich im Vergleich zu den um ca. 10 % korrigierten Werten aus dem Ist-Zustand ein Anstieg der Frachten um ca. 20 bis 25 %. Verglichen mit dem Anstieg der mitbehandelten Regenwassermenge von ca. 31 % ist der Anstieg bei den Frachteinträgen aber niedriger. Dies liegt ebenfalls daran, daß durch die Modernisierung veralteter Anlagen die Reinigungsleistung deutlich angestiegen ist.

Die mittlere Entlastungsvolumenkomponente für das untere Lahnggebiet geht durch die Beseitigung der Vollzugsdefizite deutlich, um ca. 10 %, auf nunmehr etwa 27 % zurück. Daß die Emissionen aus diesem Eintragspfad noch wesentlich deutlicher absinken, hängt vor allem mit dem Stoffrückhalt durch Regenwasserbehandlungsmaßnahmen zusammen. Vor allem in ländlichen Gebieten, die zuvor keine oder kaum Speichervolumen besaßen, gingen die Einträge aus diesem Pfad durch die im Szenario SdT vorgenommenen Maßnahmen besonders stark zurück. Dies erklärt auch, warum die Emissionen aus Regenentlastungen trotz des Anschlusses neuer Gebiete um ca. 10 bis 20 % niedriger sind als im Ausgangszustand.

Eine Reduzierung der Frachten aus industriellen Direkteinleitungen wurde im SdT-Szenario nicht weiter verfolgt, da die Berechnungen des IST-Zustandes zeigten, daß sie im unteren Lahnggebiet nahezu vernachlässigbar gering sind. Darüber hinaus hätten entsprechende Veränderungsmaßnahmen einerseits Informationen erfordert (z.B. über die jeweiligen Produk-

tionsprozesse und mögliche Verbesserungsmaßnahmen), die nicht zur Verfügung standen und andererseits einen Aufwand verursacht, der im Rahmen eines solches Projektes nicht leistbar gewesen wäre.

Tabelle 5.31: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus punktförmigen Quellen im SdT in [t/a] bzw. in [%] der gesamten punktuellen Emissionen, unteres Lahnggebiet

Emissionen aus 1. Kläranlagen	P_{ges}		N_{ges}		CSB	
	t/a	%	t/a	%	t/a	%
1.1 infolge TW-Abfluß	29,0	68,7	324,9	73,3	671	50,8
1.2 infolge NW-Abfluß	9,4	22,3	83,4	18,8	210	15,9
Summe 1.1 und 1.2	38,4	91,0	408,3	92,1	881	66,7
3. Industr. Direkteinl.	0,1	0,2	10,8	2,4	7	0,5
4. Regenauslässe	0,4	0,9	2,8	0,6	70	5,3
5. Regenentlastungen	3,3	7,8	21,2	4,8	362	27,4
Summe 1 bis 5	42,2	100,0	443,1	100,0	1.320	100,0
davon aufg. TW-Abfluß	29,1	69,0	335,7	75,8	678	51,4
davon aufg. NW-Abfluß	13,1	31,0	107,4	24,2	642	48,6

Ein Vergleich der Tabelle 5.31 und Tabelle 5.12 zeigt, daß sich bei Umsetzung des Szenarios SdT die Emissionen aus punktförmigen Quellen infolge Trockenwetterabfluß bei den Nährstoffen um ca. 45 % (P_{ges}) bzw. 24 % (N_{ges}) und bei den Zehrstoffen um ca. 61 % (CSB) reduzieren lassen. Bei den Stoffeinträgen aus punktförmigen Quellen infolge Niederschlagsabfluß sieht das Bild etwas anders aus. Zwar lassen sich die Zehrstoffeinträge beim CSB um immerhin 20 % verringern, bei Stickstoff und Phosphor ist allerdings kaum eine Veränderung gegenüber dem Ist-Zustand festzustellen.

Dieses Phänomen kann damit begründet werden, daß die Konzentrationen an Nähr- und Zehrstoffen im fallenden bzw. abfließenden Niederschlag deutlich geringer sind als beim Schmutzwasser. Daraus resultiert für die Gegebenheiten im Bilanzjahr in Rheinland-Pfalz, daß die Nährstoffkonzentrationen im Ablauf der Kläranlagen meistens höher sind als im Niederschlagsabfluß und sogar häufig noch über denn Konzentrationen im Mischwasserabfluß liegen. Der Grund dafür, daß die Nährstoffeinträge infolge Niederschlagsabfluß im Szenario SdT etwas niedriger bzw. unverändert sind gegenüber dem Ist-Zustand ist darin zu sehen, daß dieser Effekt durch die Verbesserung der Reinigungsleistung auf den Kläranlagen teilweise kompensiert werden konnte. Ohne diesen Kompensationseffekt wäre somit bei den Nährstoffen im Szenario SdT eine Steigerung der niederschlagsbedingten Emissionen feststellbar gewesen. Da der größte Teil der punktförmigen Emissionen trockenwetterbedingt ist, ergeben sich ebenso im Vergleich zu dem Ist-Zustand bezogen auf die Gesamtfrachten Verbesserungen von 36 % bei P_{ges} , 19 % bei N_{ges} und ca. 48 % beim CSB.

Schwermetalle

Sowohl die Emissionen aus Kläranlagenabläufen infolge Trockenwetter- als auch Niederschlagsabfluß sind im Szenario SdT höher als im Ist-Zustand. Dies liegt vor allem daran, daß durch den Anschluß neuer Gebiete die Belastung der Kläranlagen ansteigt. Trotzdem liegen die Werte, v.a. infolge Niederschlagsabfluß, doch deutlich unterhalb der jeweiligen kumulierten Werte von Kläranlagenabläufen und Gebieten mit Sammelkanalisation ohne Kläranlagenanschluß. Dies ist bei den Emissionen infolge Trockenwetterabfluß darauf zurückzuführen, daß in Zukunft ein großer Anteil Abwasser, der bisher nur größtenteils

mechanisch in veralteten Klärwerken bzw. Mehrkammerausfallgruben behandelt wurde, nun moderneren Anlagen, zumeist Belebungsanlagen, zugeführt wird, bei denen zusätzlich zur Sedimentationswirkung noch ein Teil der Schwermetalle an Feststoffe adsorbieren bzw. vorübergehend „biologisch fixiert“ werden und mit dem Überschußschlamm aus dem System entfernt wird. Diese Erhöhung der Reinigungsleistung ist allerdings, im Gegensatz zu den Zehrstoffen bzw. zum Stickstoff, nicht ausreichend hoch, um die zusätzlich Fracht, die aus den neu angeschlossenen Gebieten kommt, zu kompensieren.

Bei den Emissionen infolge Niederschlagsabfluß liegt die deutliche Verringerung der Emissionen infolge Niederschlagsabfluß vor allem darin begründet, daß bisher die abflußwirksam gewordenen Frachten aus Gebieten ohne Kläranlagenanschluß, die bisher direkt in das Gewässer gelangten, nun zumindest teilweise im Kanal zurückgehalten werden und einer weiteren Behandlung auf einer Kläranlage zugeführt werden. Die Beseitigung der Defizite bei der Regenwasserbehandlung lassen sich bei den Frachteinträgen aus Regenentlastungen ablesen, die stark rückläufig sind und dies, obwohl neue Gebiete zusätzlich angeschlossen werden. Dieses Phänomen ist damit zu erklären, daß der Rückgang der Entlastungsvolumenkomponente von bisher ca. 36 % auf nunmehr ca. 27 % sich sehr viel stärker bemerkbar macht als der Kläranlagenanschluß von weiteren 26.000 Menschen und den dazugehörigen Siedlungsgebieten.

Der Anstieg bei den Einträgen aus Trennkanalisation ist darauf zurückzuführen, daß im Szenario angenommen wurde, daß ein Teil der Gebiete, die an eine öffentliche Kanalisation bislang aber an keine Kläranlage angeschlossen waren, zukünftig im Trennsystem entwässert werden dürften. Viele dieser alten Sammelkanalisationen sind völlig überaltert und müssen im Zuge eines Kläranlagenanschlusses komplett erneuert werden. Bei dieser Maßnahme ist es aber wahrscheinlich, daß zumindest in den Gemeinden, die bisher schon ganz oder teilweise im Trennsystem entwässert werden, dieses Verfahren auch weiterhin Anwendung finden wird.

Tabelle 5.32: Emissionen (Cd, Zn, Cu) aus punktförmigen Quellen im SdT in [kg/a] bzw. in [%] der gesamten punktuellen Emissionen, unteres Lahnggebiet

Emissionen aus	Cd		Zn		Cu	
	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%
1. Kläranlagen						
1.1 infolge TW-Abfluß	8,9	28,0	2.417	34,2	748,1	66,8
1.2 infolge NW-Abfluß	7,6	23,9	947	13,4	77,1	6,9
Summe 1.1 und 1.2	16,5	51,9	3.364	47,6	825,2	73,7
3. Industr. Direkteinl.	0,0	0,0	34	0,5	13,8	1,2
4. Regenauslässe	3,2	10,1	770	10,9	55,8	5,0
5. Regenentlastungen	12,1	38,1	2.895	41,0	224,3	20,0
Summe 1 bis 5	31,8	100,0	7.063	100,0	1.119,1	100,0
davon aufg. TW-Abfluß	8,9	28,0	2.451	34,7	761,9	68,1
davon aufg. NW-Abfluß	22,9	72,0	4.612	65,3	357,2	31,9

Ein Vergleich der Tabelle 5.32 bzw. Tabelle 5.33 und Tabelle 5.15 bzw. Tabelle 5.16 zeigt, daß durch die Umsetzung des Szenarios SdT die Gesamtemissionen aus punktförmigen Quellen sich zwischen 9 % (Cr) und 20 % (Zn) reduzieren lassen. Die Emissionen infolge Trockenwetterabfluß könnten zwischen 1 % (Cr) und 15 % (Zn) verringert werden, infolge Niederschlagsabfluß wäre sogar eine Reduzierung um 18 % (Cd) und 25 % (Pb) möglich. Diese im Vergleich zum Trockenwetterabfluß höhere Reduktion führt auch dazu, daß sich das Verhältnis zwischen trockenwetter- bzw. niederschlagsbedingten Emissionen zu

Gunsten letzterer verschiebt, d.h. der prozentuale Anteil der Frachteinträge infolge Trockenwetterabfluß für die meisten Schwermetalle steigt.

Tabelle 5.33: Emissionen (Pb, Cr, Ni) aus punktförmigen Quellen im SdT in [kg/a] bzw. in [%] der gesamten punktuellen Emissionen, unteres Lahnggebiet

Emissionen aus 1. Kläranlagen	Pb		Cr		Ni	
	kg/a	%	kg/a	%	kg/a	%
1.1 infolge TW-Abfluß	322,4	65,9	172,7	68,3	315,5	76,7
1.2 infolge NW-Abfluß	25,2	5,2	17,4	6,9	16,0	3,9
Summe 1.1 und 1.2	347,6	71,1	190,1	75,1	331,5	80,5
3. Industr. Direkteinl.	1,3	0,3	0,6	0,2	1,7	0,4
4. Regenauslässe	27,6	5,6	12,5	4,9	15,8	3,8
5. Regenentlastungen	112,6	23,0	49,8	19,7	62,6	15,2
Summe 1 bis 5	489,1	100,0	253,0	100,0	411,6	100,0
davon aufg. TW-Abfluß	323,7	66,2	173,3	68,5	317,2	77,1
davon aufg. NW-Abfluß	165,4	33,8	79,7	31,5	94,4	22,9

5.6.3 Flußeinzugsgebiet Lahn Gesamt

Für das gesamte Flußgebiet der Lahn ergeben sich im Szenario SdT folgende Abweichungen von den berechneten Frachten im Ist-Zustand: Für die Nähr- und Zehrstoffe sind die Unterschiede ausgewählter Eintragspfade in Abbildung 5.10 dargestellt; die prozentualen Abweichungen der Schwermetallfrachten vom Ist-Zustand zeigt Abbildung 5.31.

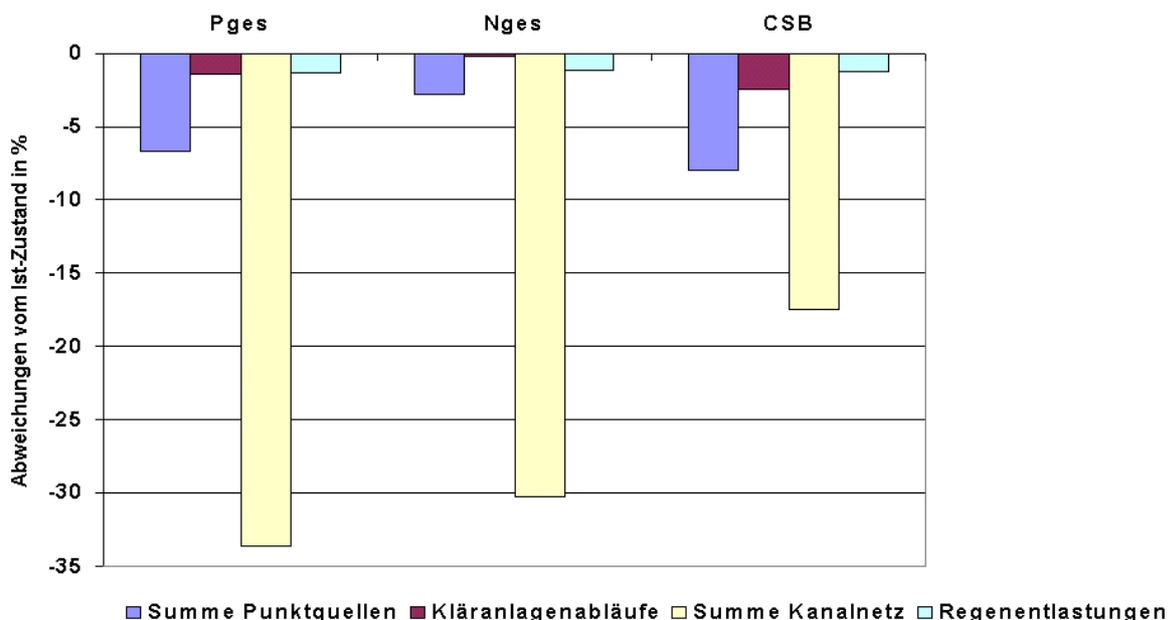


Abbildung 5.31: Nähr- und Zehrstoffeinträge aus punktförmigen Quellen im Szenario SdT, dargestellt als prozentuale Abweichungen vom Ist-Zustand für ausgewählte Pfade, gesamte Lahn.

Insgesamt kann erwartungsgemäß unter den Bedingungen des Szenarios SdT eine Verminderung der Nähr- und Zehrstoffeinträge aus punktuellen Quellen (ohne Industrie)

gegenüber dem Ist-Zustand erzielt werden. Dabei ergeben sich bei allen aufgezeigten Eintragspfaden reduzierte Emissionen. Im hessischen Einzugsgebiet hingegen konnten bei den Kläranlageneinträgen erhöhte P_{ges} -, N_{ges} - und CSB-Frachten im Szenario SdT festgestellt werden. Wie eingangs beschrieben, ist dies durch die Anbindung aller Kanäle an bestehende Kläranlagen zu begründen, auf denen nun größere Wassermengen behandelt werden müssen. In der Bilanz für das gesamte Lahnggebiet finden sich gemäß Abbildung 5.31 die Tendenzen aus dem rheinland-pfälzischen Teilgebiet wieder. In Rheinland-Pfalz sinken die Nähr- und Zehrstoffeinträge aus Kläranlagen im Szenario SdT ab, da für die Berechnungen fiktive Kläranlagen mit verbesserter Reinigungsleistung konstruiert werden.

Für die anderen Eintragspfade und Parameter spiegeln sich in den Ergebnissen für das Flußgebiet bis zur Mündung in den Rhein die für den hessischen Teil ermittelten Verhältnisse wieder. So können durch die Bedingungen im Szenario SdT auch im Gesamtgebiet die Nähr- und Zehrstoffeinträge aus Mischwasserentlastungen nur bis zu 1,3% vermindert werden. Die Jahresfrachten der betrachteten Parameter aus Punktquellen verringern sich um höchstens 8%.

Bei den Schwermetallen zeichnet sich durchgehend für alle Parameter und Pfade das für Hessen ermittelte Bild ab (vgl. Abbildung 5.30). Leichte Unterschiede ergeben sich beim gesamten Flußgebiet in der Größenordnung der Frachtverminderungen gegenüber dem Ist-Zustand. So sinken die Einträge für die Gesamt-Lahn unter den Bedingungen des Szenarios SdTs weniger stark ab als in Hessen (vgl. Abbildung 5.32).

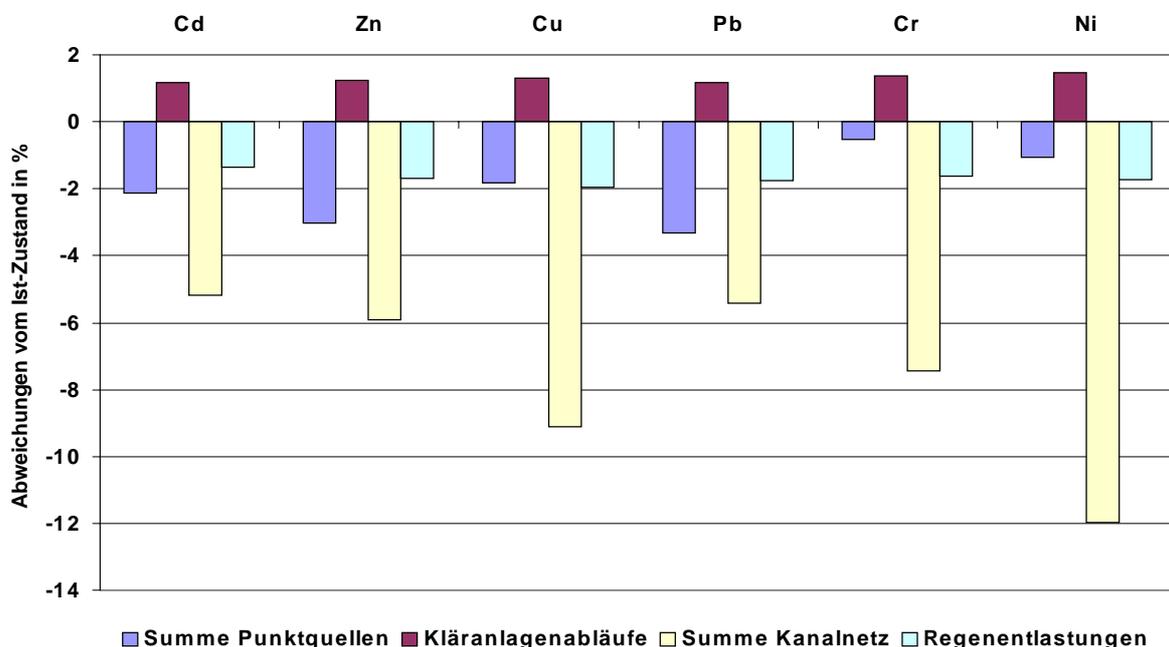


Abbildung 5.32: Schwermetalleinträge aus punktförmigen Quellen im Szenario SdT, dargestellt als prozentuale Abweichungen vom Ist-Zustand für ausgewählte Pfade, gesamte Lahn.

5.6.4 Ergebnisse Neckar

Durch die Anwendung der im Kapitel 4.5 genannten geänderten/erweiterten Berechnungsansätze für das Szenario „Stand der Technik“ ergaben sich im Neckareinzugsgebiet folgende wesentliche Änderungen:

Der abgeschätzte Ausbau der Regenwasserbehandlung bewirkte auf den gesamten Neckar bezogen eine Senkung der Entlastungsabflußkomponente e_v von 0,36 um ca. 3,5 % auf 0,34. Dabei ist anzumerken, daß der Ausbau lediglich in vier der 21 WEGs notwendig war. Dies sind die im Nordosten gelegenen Wassereinzugsgebiete der Jagst, der unteren Kocher und des Neckars von Jagst bis Elsenz. Entsprechend fällt die Minderung der Entlastungsabflußkomponente rein auf diese Gebiete bezogen größer aus, sie beträgt 12 %.

Auch durch den Anschluß der Einwohner mit Sammelkanal ohne Kläranlage an eine Kläranlage konnten naturgemäß auf den ganzen Neckar bezogen lediglich wenig Veränderungen bewirkt werden, da nur 0,3 % der Einwohner dieser Kategorie zuzurechnen sind. Die regionalen Differenzen müssen jedoch auch bei dieser Maßnahme hervorgehoben werden, da in einigen Gemeinden, vor allem aus den Einzugsgebieten von Kocher und Jagst, der Anteil dieser Einwohner über 25 % liegt. Für diese wirkt sich der Anschluß an eine biologische Kläranlage extrem emissionsvermindernd aus. Vor allem in bezug auf den Nährstoffen konnten für eine Kläranlage wesentlich bessere Wirkungsgrade angenommen werden, als für eine Mehrkammerausfallgrube.

Die angenommene Verbesserung der Ablaufwerte von ausgewählten Kläranlagen betraf zwar nicht jedes WEG, es konnten aber keine ausgeprägten räumlichen Schwerpunkte ausgemacht werden. Korrigiert wurde mit einer Ausnahme nur die mittlere Konzentration des Gesamtstickstoff, was sich auch deutlich in den im folgenden präsentierten Ergebnissen widerspiegelt.

Tabelle 5.34 zeigt für die Nähr- und Zehrstoffe zum einen die für das Szenario „Stand der Technik“ berechneten Emissionen aus Punktquellen (in [t/a]), zum anderen die Differenz, die sich im jeweiligen Pfad aus den Emissionen im „Stand der Technik“ und dem „Ist-Zustand“ ergibt (ebenfalls in [t/a]).

Tabelle 5.34: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus punktförmigen Quellen im SdT und Differenz zum Ist-Zustand, jeweils in [t/a], Neckar

Emissionspfad	Pges [t/a]		Nges [t/a]		CSB [t/a]	
	SdT	$\Delta(\text{SdT-Ist})$	SdT	$\Delta(\text{SdT-Ist})$	SdT	$\Delta(\text{SdT-Ist})$
KA_Ablauf_TW	687	3	8779	-805	18162	91
KA_Ablauf_NW	239	5	3056	-232	6297	95
Entlastungen, NW	77	-4	491	-21	8565	-321
Regenauslässe, NW	4	0	32	0	656	0
Sk_oKA_TW	0	-12	0	-65	0	-512
Summe Punkt SdT	1007	-8	12358	-1124	33680	-647

Es ist zu erkennen, daß es bei den Abläufen der Kläranlagen bezüglich Pges und CSB, wie schon im Lahn Einzugsgebiet zu sehen, zu einem Anstieg der Emissionen kommt, der auf den zusätzlichen Anschluß der Einwohner mit Sammelkanalisation ohne Kläranlage zurückzuführen ist (SK_oKA_TW). In letztgenanntem Pfad sinken logischerweise die Emis-

sionen auch auf Null ab. Beim Stickstoff kann durch den Ausbau der Kläranlagen trotz dem Anschluß zusätzlicher Einwohner eine Verringerung erreicht werden. Auch der Ausbau der Regenwasserbehandlung führt bei allen Stoffen zu einer Emissionsminderung (Entlastungen, NW).

Die prozentualen Änderungen ausgewählter Emissionspfade sind in Abbildung 5.33 zu sehen, wobei die Emissionen der Einwohner mit Sammelkanalisation ohne Kläranlage hier zum besseren Vergleich für den „Ist-Zustand“ zu den Kläranlagenabläufen zugerechnet wurden. Die dadurch den Kläranlagen gutgeschriebene Emissionsreduzierung zeigt sich für Pges und CSB, für Stickstoff kann die (erhebliche) Verminderung vor allem auf den Ausbau der Kläranlagen zurückgeführt werden.

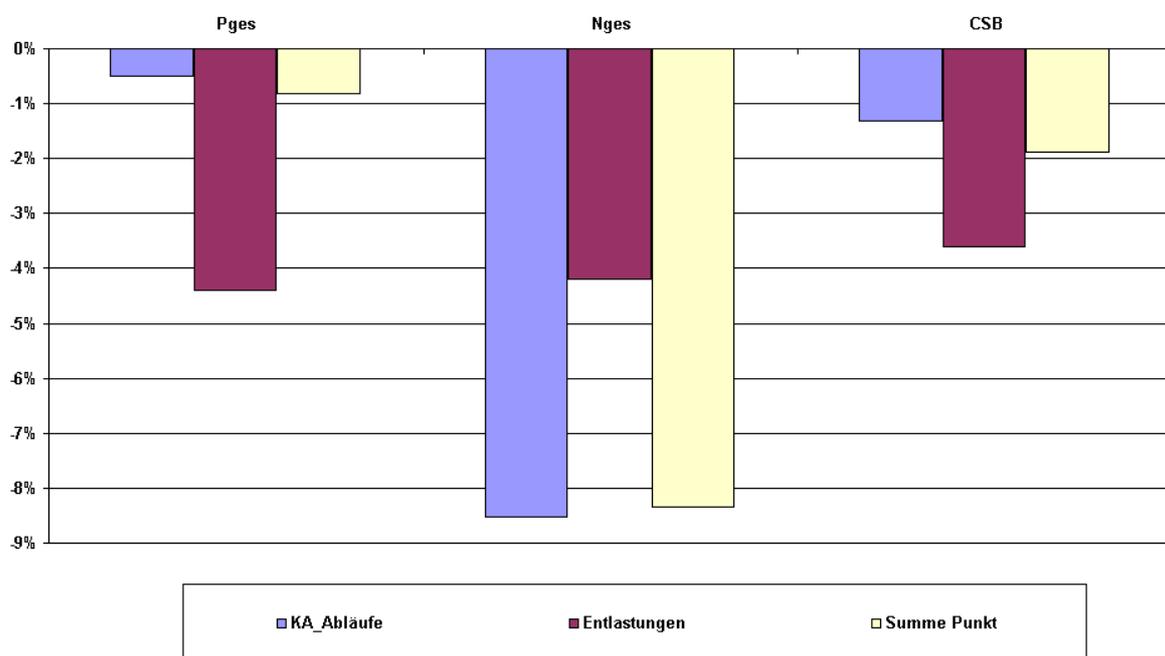


Abbildung 5.33: Änderungen der Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus ausgewählten Punktquellen vom SdT gegenüber dem Ist-Zustand in [%], Neckar

Tabelle 5.35: Emissionen (Cd, Zn, Cu) aus punktförmigen Quellen im SdT und Differenz zum Ist-Zustand, jeweils in [t/a], Neckar

Emissionspfad	Schwermetall					
	Cd [kg/a]		Zn [kg/a]		Cu [kg/a]	
	SdT	$\Delta(\text{SdT-Ist})$	SdT	$\Delta(\text{SdT-Ist})$	SdT	$\Delta(\text{SdT-Ist})$
KA_Ablauf_TW	182	1	54242	167	16774	52
KA_Ablauf_NW	160	2	19822	253	1617	24
Entlastungen, NW	297	-8	70841	-1946	5435	-160
Regenauslässe, NW	30	0	8274	0	622	0
Sk_oKA_TW	0	-1	0	-374	0	-89
Summe Punkt	669	-7	153179	-1899	24448	-173

Tabelle 5.36: Emissionen (Pb, Cr, Ni) aus punktförmigen Quellen im SdT und Differenz zum Ist-Zustand, jeweils in [t/a], Neckar

Emissionspfad	Schwermetall					
	Pb [kg/a]		Cr [kg/a]		Ni [kg/a]	
	SdT	$\Delta(\text{SdT-Ist})$	SdT	$\Delta(\text{SdT-Ist})$	SdT	$\Delta(\text{SdT-Ist})$
KA_Ablauf_TW	7071	22	3951	11	7459	23
KA_Ablauf_NW	528	9	364	5	336	5
Entlastungen, NW	2707	-85	1211	-35	1523	-45
Regenauslässe, NW	258	0	116	0	180	0
Sk_oKA_TW	0	-28	0	-11	0	-36
Summe Punkt	10564	-82	5642	-30	9498	-53

Die Reduzierung der Emissionen aus Entlastungen sind bei den betrachteten Nähr- und Zehrstoffen sehr ähnlich, sie sind etwas stärker als die Reduktion der entlasteten Wasservolumina, was sich auf den verbesserten Rückhalt der Regenbauwerke bei geringerer Beaufschlagung erklären läßt. Mathematisch bzw. modelltechnisch wird dies durch die Steigung der Kurven der funktionalen Zusammenhänge zwischen der Entlastungsabflußkomponente und Entlastungsfrachtkomponente erklärt, welche in dem vorliegenden Bereich größer als eins ist (siehe Kapitel 4.4).

Analog zu der Darstellung für die Nähr- und Zehrstoffe sind in den Tabelle 5.35 und Tabelle 5.36 die Emissionen aus Punktquellen im Szenario „Stand der Technik“ sowie die Änderungen gegenüber dem Ist-Zustand (je in [t/a]) für die Schwermetalle aufgelistet. Die bei den Nähr- und Zehrstoffen gemachten generellen Aussagen treffen auch auf die Schwermetalle zu, der graphische Vergleich der prozentualen Emissionsänderungen ausgewählter Pfade zeigt aber auch zunächst Überraschendes (Abbildung 5.33).

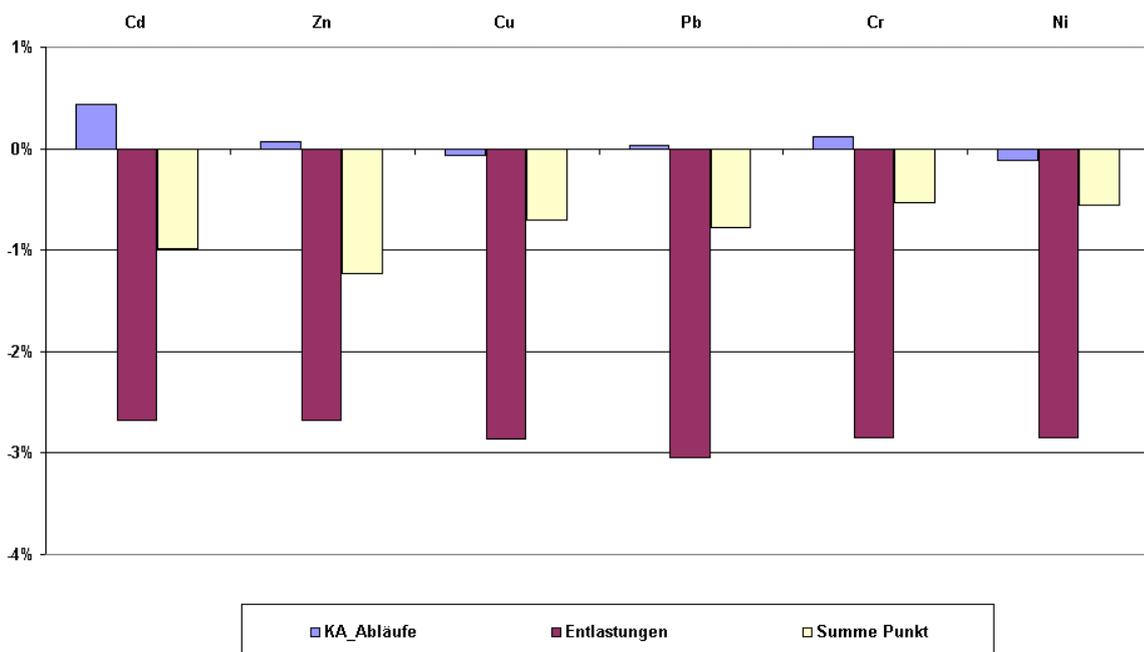


Abbildung 5.34: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) aus ausgewählten Punktquellen vom SdT gegenüber dem Ist-Zustand in [%], Neckar

So nehmen die Emissionen über Kläranlagen bei einigen Schwermetallen zu. Dies liegt an der insgesamt auch höheren auf den Kläranlagen zu behandelnde Abwassermenge, da durch den Ausbau der Regenwasserbehandlung mehr Mischwasser zwischengespeichert und nachfolgend zur Kläranlage geleitet wird. Der Anstieg des Wirkungsgrades von biologischen Kläranlagen gegenüber dem von Mehrkammerausfallgruben oder bei Entlastungen ist hier nicht so ausgeprägt wie bei den Nähr- und Zehrstoffen.

Trotzdem ergibt sich bei allen Schwermetallen im Szenario „Stand der Technik“ eine eindeutig positive Bilanz. Wie auch in Abbildung 5.33 gesehen werden kann, fallen die Emissionsminderungen im Bereich der Entlastungen, obwohl sie bei den Schwermetallen prozentual weniger groß geraten als bei den Nähr- und Zehrstoffen, sehr stark ins Gewicht, was an der weitaus höheren Bedeutung dieses Pfades bei der hier betrachteten Stoffgruppe liegt.

5.7 ANWENDUNG STÄDTEBAULICHER MASSNAHMEN

5.7.1 Einleitung

Neuere Konzepte der Siedlungswasserwirtschaft beinhalten die Vermeidung bzw. Reduzierung des Niederschlagsabflusses im Rahmen städtebaulicher Maßnahmen. Kapitel 4.6 beschreibt die im Forschungsprojektes entwickelten städtebauliche Maßnahmen anhand von drei potentiellen Szenarien und zugrundeliegende Berechnungsansätze, deren Ergebnisse für die betrachteten Flußeinzugsgebiete nachfolgend dargestellt werden.

Die Partner im Verbundprojekt legten als Ausgangsbasis für die Ermittlung der potentiellen Emissionsverminderung ein geringfügig modifiziertes Szenario SdT (Stand der Technik, vgl. Kapitel 4.5) fest, welches die Umsetzung von Defiziten beim Anschluß bestehender Sammelkanäle ohne Anschluß an eine Kläranlage und beim Ausbau bestehenden Kläranlagen berücksichtigt, jedoch Defizite bei der Umsetzung nach den technischen Anforderungen des ATV-Arbeitsblattes A 128 (1992) unberücksichtigt läßt.

5.7.2 Ergebnisse Lahn - Hessen

Die Einwohnerdichte bezogen auf die kanalisierte Fläche liegt in nahezu allen Teileinzugsgebieten der Lahn in Hessen unter oder um 25 Einwohner pro Hektar. Gemäß der beschriebenen Berechnungsansätze ergibt sich somit im Mittel eine abkoppelbare Fläche von 55% gegenüber dem Szenario SdT. Lediglich im Teileinzugsgebiet der Weil (Nummer 2586) wird eine Einwohnerdichte von über 33 E/ha ermittelt. Das Potential an abkoppelbaren Flächen vermindert sich hier auf 44%.

Durch die Reduktion der an die Kanalisation angeschlossenen Flächen vermindert sich das im Kanalnetz befindliche Niederschlagswasser. Folglich sinkt das auf den Kläranlagen mitzubehandelnde Niederschlags- bzw. Mischwasser, und die Entlastungsmengen gehen gegen Null. Im Hessischen Lahneinzugsgebiet waren nach der angenommenen Flächenabkoppelung, mit Ausnahme eines Teileinzugsgebiets, keine Niederschlags-

wasserentlastungen aus dem Kanalnetz mehr festzustellen. Im Teilgebiet der Ohm (Nr. 2582) konnte die entlastete Wassermenge von über 60% des Jahresniederschlagsabfluß auf unter 20% gesenkt werden.

Die Bilanzergebnisse im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ sind im Anhang C.10 aufgeführt. In Abbildung 5.35 sind für ausgewählte Eintragspfade die veränderten Frachten gegenüber dem Szenario SdT dargestellt.

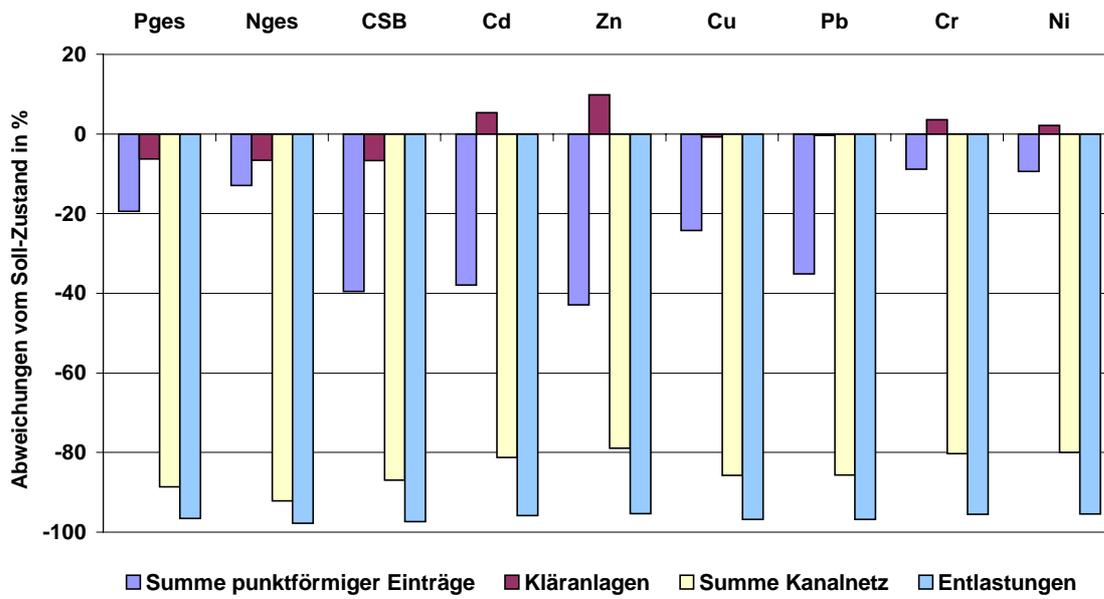


Abbildung 5.35: Emissionen aus punktförmigen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“, dargestellt als prozentuale Abweichungen vom Szenario SdT für ausgewählte Pfade, hessische Lahn

Abbildung 5.35 zeigt, daß durch die Reduktion der an die Kanalisation angeschlossenen undurchlässigen Flächen die Einträge aus punktförmigen Quellen vermindert werden können. Dies gilt für die „Summe der punktförmigen Einträge“ und alle betrachteten Stoffe. Lediglich über den Eintragspfad „Kläranlagen“ treten bei den Schwermetallen Cd, Zn, Cr und Ni höhere Frachten als im Szenario SdT auf. Begründungen hierfür bietet die Methode zur Berechnung der Schwermetallfrachten aus Kläranlagen bei Niederschlagsabfluß. Eingangsgröße ist u.a. die Zulaufkonzentration, die über den flächenspezifischen Stoffabtrag und den jeweiligen Rückhaltegrad im Kanal ermittelt wird. Für die Eingangsgröße „flächenspezifischer Stoffabtrag“ wurden unter Szenariobedingungen höhere Werte eingesetzt als im Szenario SdT. Die Angaben im Szenario SdT sind in Anhang A.2 aufgelistet; die Werte im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ wurden gemäß der oben beschriebenen Vorgehensweise für jeden Parameter neu bestimmt (vgl. Kapitel 4.6). Für die genannten Parameter ergab sich demnach trotz verminderter Wassermengen im Kläranlagenzulauf eine Frachtzunahme, die durch die erhöhten Abtragspotentiale erklärt werden kann.

Im Gegensatz zur Berechnung der Schwermetallfrachten erfolgt die Ermittlung der Nährstofffrachten aus Kläranlagen über Wassermengen und Ablaufkonzentrationen. Die

erhöhten flächenspezifischen Stoffabträge im Szenario bleiben bei der Nährstoffbilanzierung aus Kläranlagen daher ohne Einfluß.

Der beobachtete Anstieg der genannten Schwermetallfrachten aus Kläranlagen wird durch die sehr stark verminderten Einträge über die Pfade „Entlastungen im Mischsystem“ und „Regenauslässe im Trennsystem“ ausgeglichen. Dabei liegen die Reduktionen aus den Entlastungen deutlich über den Verminderungen aus Regenauslässen im Trennsystem. Wie bereits erwähnt, werden nach den Flächenabkoppelungen an der hessischen Lahn nur noch in einem Teileinzugsgebiet Mischwasserentlastungen festgestellt. Die eingetragenen Frachten über den Entlastungspfad gehen daher bezogen auf das Gesamtgebiet gegen Null bzw. betragen für alle Parameter weniger als 5% der im Szenario SdT ermittelten Entlastungsfrachten.

Die größten Frachtminderungen aus allen betrachteten Punktquellen können bei Zn mit 43% gegenüber dem Szenario SdT erzielt werden. Die geringsten Unterschiede im Vergleich zum Szenario SdT zeigen Cr und Ni mit jeweils 9%. Die ermittelten Nährstoffreduktionen nach Flächenabkoppelungen sind kleiner als 20%, während bei den Zehrstofffrachten eine Verminderung um 40% gegenüber dem Szenario SdT zu beobachten ist.

5.7.3 Ergebnisse Lahn - Rheinland-Pfalz

5.7.3.1 *Abkoppelungsvariante Minimum*

Nähr- und Zehrstoffe

Da die Berechnungen für dieses Szenario auf dem bereits beschriebenen modifizierten Szenario SdT beruhen, ändert sich an den Emissionen aus Kläranlagenabläufen infolge Trockenwetterabfluß und an den industriellen Direkteinleitungen nichts. Auf eine erneute Interpretation dieser Emissionen infolge Trockenwetterabfluß kann somit im Rahmen dieser und den beiden folgenden Varianten verzichtet werden.

Die auf den Kläranlagen mitbehandelte Regenwassermenge reduziert sich um ca. 13 % und beträgt noch ca. 6,5 Mio. m³. Der Rückgang der Frachteinträge in das Gewässer ist etwas niedriger und beläuft sich sowohl bei den Nährstoffen als auch bei den Zehrstoffen auf 10 bis 12 %. Der Grund dafür, daß die Frachtreduktion nicht ganz proportional zum Rückgang der behandelten Volumina erfolgt, läßt sich in diesem Fall nicht mit der Erhöhung der Stoffpotentiale auf den Restflächen erklären, denn die Ablaufkonzentrationen der Kläranlagen wurden vom Szenario SdT übernommen. Dieses Phänomen ist vielmehr auf den folgenden Zusammenhang zurückzuführen:

Die Kläranlageneinzugsgebiete im unteren Lahnbereich, die bereits über ausreichende Regenwasserbehandlungsmaßnahmen verfügen, haben meist niedrige Entlastungsvolumenkomponenten. Reduziert man nun in diesen Gebieten die versiegelte Fläche, so kann es vorkommen, daß sich im Jahresmittel bezogen auf die mitbehandelte Regenwassermenge im Ist-Zustand eine negative Entlastungsvolumenkomponente ergibt. D.h. der abflußwirksame Niederschlag müßte demnach vollständig auf der Kläranlage mitbehandelt werden können. Die Folge aus diesen Zusammenhängen ist, daß wenn rechnerisch im Jahresmittel

der gesamte Niederschlagsabfluß zur Kläranlage weitergeleitet wird, auch nur maximal dieser auf der Kläranlage behandelt werden kann. Die mitbehandelte Regenwassermenge muß folglich zurückgehen. Diese Gebiete, bei denen dieses Verhalten zu beobachten war, sind häufig auch mit gut funktionierenden Abwasserreinigungsanlagen ausgerüstet, deren Reinigungsleistung meist über den Durchschnitt der anderen Anlagen liegt. Bezogen auf den Mittelwert des Gesamtgebietes bedeutet dies, daß die Frachtreduktion aus Kläranlagenabläufen infolge Niederschlagsabfluß weniger stark erfolgen wird als der Volumentrückgang der mitbehandelten Regenwassermenge, da prozentual gesehen nun mehr Niederschlagsabfluß auf Kläranlagen mit schlechterer Reinigungsleistung behandelt wird als zuvor. Es muß allerdings darauf hingewiesen werden, daß sich dieser Effekt weitaus stärker bemerkbar machen würde, wenn das Städtebauliche Szenario nicht auf einem modifizierten Szenario SdT, sondern auf dem Ist-Zustand aufbauen würde.

Mit der Reduzierung des Mischwasserzuflusses auf einer Kläranlage wird deren Prozeßstabilität und damit auch die Reinigungsleistung vermutlich deutlich verbessert und die in Tabelle 5.37 dargestellten Frachten aus Kläranlagenabläufen infolge Niederschlagsabfluß dürften in der Realität noch etwas niedriger liegen.

Emissionen (Pb, Cr, Ni) aus punktförmigen Quellen im SdT in [kg/a] bzw. in [%] der gesamten punktuellen Emissionen, unteres Lahnggebiet

Tabelle 5.37: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus Kläranlagenabläufen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Min-Variante) in [t/a] bzw. in [%] der gesamten Emissionen aus Kläranlagen, untere Lahn

1. Emissionen aus KA	P_{ges}		N_{ges}		CSB	
	t/a	%	t/a	%	t/a	%
1.1 infolge TW-Abfluß	29,0	77,7	324,9	81,2	671,0	78,4
1.2 infolge NW-Abfluß	8,3	22,3	75,0	18,8	184,5	21,6
Summe 1.1 und 1.2	37,3	100,0	399,9	100,0	855,5	100,0

Tabelle 5.38: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Min-Variante) in [t/a], untere Lahn

Emissionen aus	P_{ges}	N_{ges}	CSB
1.1 Kläranlagen infolge TW-Abfluß	29,0	324,9	671,0
1.2 Kläranlagen infolge NW-Abfluß	8,3	75,0	184,5
Summe 1.1 und 1.2	37,3	399,9	855,5
3. Industr. Direkteinl.	0,1	10,8	7,0
4. Regenauslässe	0,4	2,3	59,9
5. Regenentlastungen	1,6	8,5	158,4
6. max. Fracht aus abgek. Gebieten	0,8	11,2	202,6
Summe Min 1 bis 5	39,4	421,5	1.080,8
Summe Max 1 bis 6	40,2	432,7	1.283,4

Der Rückgang der Emissionen aus Regenauslässen erfolgt, mit Ausnahme des Stickstoffs, nicht proportional zur Verringerung der versiegelten Fläche in den Gebieten mit Trennkanalesation, die im Vergleich zum Szenario SdT ca. 18 % beträgt. Der Grund dafür ist in dem Anstieg des Frachtpotentials auf der verbliebenen undurchlässigen Restfläche zu suchen, der darauf zurückzuführen ist, daß überwiegend unverschmutzte Flächen abgekoppelt werden.

Im Mischsystem reduziert sich die undurchlässige Fläche durch die Abkoppelungsmaßnahmen im Vergleich zum Szenario SdT um ca. 28 %. Dieser Rückgang ist sehr viel höher als in Gebieten mit Trennsystem, was daran liegt, daß die Gebiete mit Trennsystem (z.B.

Bad Ems) in der Regel sehr viel dichter besiedelt sind als die meisten im Mischsystem entwässerten Gemeinden. Folglich ist also auch das Abkoppelungspotential in diesen Gebieten deutlich geringer. Die Entlastungsvolumenkomponente geht weiter zurück und beträgt nur noch ca. 18 %, bezogen auf das entlastete Volumen ergibt sich sogar ein Rückgang von ca. 57 %. Die Frachtreduktion aus Regenentlastungen erfolgt etwa proportional dazu und beträgt bei den Nähr- bzw. Zehrstoffen zwischen 52 und 60 %.

Vergleicht man nun die Gesamtbilanzen der punktförmigen Quellen des SdT- und des Städtebaulichen Szenarios, so stellt man fest, daß das städtebauliche Szenario in der Minimum-Variante bezüglich der Nährstoffe und Zehrstoffe immer zu einer Frachtverminderung führt. Jeder Kubikmeter Niederschlagsabfluß, der nicht auf einer Kläranlage behandelt wird, verringert somit die eingetragene Gesamtfracht. Der Rückgang bei den Zehrstoffen ist darauf zurückzuführen, daß infolge der Abkoppelung von Flächen und damit dem starken Rückgang des entlasteten Volumens, die über die Regenentlastungen emittierte Fracht um mehr als die Hälfte zurückgegangen ist.

Schwermetalle

Die Schwermetallemissionen aus Kläranlagenabläufen infolge Niederschlagsabfluß verringern sich ebenfalls nicht entsprechend proportional zum Rückgang der mitbehandelten Regenwassermengen. Die Emissionen bezüglich Zink, Chrom und Nickel bleiben nahezu unverändert, bei Cadmium ist ein Rückgang um ca. 7 %, bei Blei und Kupfer sogar um ca. 13 % festzustellen. Der Grund für diesen zumeist nicht proportionalen Rückgang ist wiederum darin zu sehen, daß durch die Abkoppelung weitestgehend unbelasteter Flächen die Frachtpotentiale auf den restlichen undurchlässigen Flächen entsprechend ansteigen. Auch aufgrund des erhöhten Feststoffrückhaltes im Kanal geht deshalb die Fracht im Zulauf zur Kläranlage und damit, bei einem angenommenen gleichbleibenden Wirkungsgrad, auch die über den Ablauf emittierte Fracht nicht proportional zum behandelten Niederschlagsabfluß zurück. Bei Zink, Chrom und Nickel, bei denen das flächenspezifische Frachtpotential am stärksten angestiegen ist, ist deshalb kein bzw. nur ein geringer Rückgang feststellbar. Vergleicht man allerdings die kumulierten Werte der Emissionen aus Kläranlagenabläufen infolge Niederschlagsabfluß und aus Regenentlastungen, so stellt man fest, daß diese mit ca. 40 % bis 50 % für alle Schwermetalle deutlich niedriger sind als im Szenario SdT.

Die Frachtausträge aus Gebieten mit Trennsystem gehen zwischen 10 und 16 % zurück. Der nicht-proportionale Rückgang der Frachten im Vergleich zur Entsiegelung undurchlässiger Flächen liegt wiederum in der Erhöhung des Frachtpotentials auf den Restflächen begründet.

Die Emissionen aus den Regenentlastungsbauwerken sind ebenfalls stark rückläufig und betragen ca. 50 bis 60 %, was auch etwa dem Rückgang des entlasteten Volumens entspricht.

Tabelle 5.39: Emissionen (Schwermetalle) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Min-Variante) in [kg/a], untere Lahn

Emissionen aus	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
1.1 Kläranlagen infolge TW-Abfluß	8,9	2.417	748	322	173	316
1.2 Kläranlagen infolge NW-Abfluß	7,1	929	67	22	17	16
Summe 1.1 und 1.2	16,0	3.346	815	344	190	332
3. Industr. Direkteinl.	0,0	34	14	1	1	2
4. Regenauslässe	2,8	695	47	23	11	14
5. Regenentlastungen	5,3	1.338	91	46	23	29
6. max. Fracht aus abgek. Gebieten	7,8	1.411	188	91	24	30
Summe Min 1 bis 5	24,1	5.413	967	414	225	377
Summe Max 1 bis 6	31,9	6.824	1.155	505	249	407

Ein Vergleich der Gesamtemissionen zeigt, daß das Städtebauliche Szenario nahezu immer dann Vorteile gegenüber dem SdT-Zustandes bietet, wenn es gelingt, einen Teil des Frachtpotentials der abgekoppelten Flächen durch Versickerung oder ähnliche Maßnahmen im Gebiet zurückzuhalten. Bei einem vollständigem Rückhalt ist eine Verringerung der emittierten Fracht um etwa 10 bis 20 % möglich. Zu einer geringfügigen Verschlechterung, d.h. zu einem Anstieg (max. 3 %) der emittierten Frachten gegenüber dem Szenario SdT kann es nur bei Blei, Kupfer und Cadmium kommen.

5.7.3.2 Abkoppelungsvariante Mittel

Nähr- und Zehrstoffe

Die auf den Kläranlagen mitbehandelte Regenwassermenge reduziert sich im Vergleich zum Szenario SdT um ca. 39 % und beträgt nur noch ca. 4,6 Mio. m³. Wie schon beim Min-Szenario ist der Rückgang der damit verbundenen Frachteinträge prozentual gesehen niedriger. Er beträgt ca. 22 bis 27 %. Der Grund für diesen Effekt, der bereits im Min-Szenario beschrieben wurde, verstärkt sich sogar noch. Analog dazu gilt auch hier der Hinweis, daß aufgrund der niedrigeren Mischwasserbeschickung der Anlage eine höhere Prozeßstabilität zu erwarten ist und die deshalb berechneten Einträge aus Kläranlagenabläufen infolge Niederschlagsabfluß tendenziell eher zu hoch sein dürften.

Tabelle 5.40: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus Kläranlagenabläufen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Mittel-Variante) in [t/a] bzw. in [%] der gesamten Emissionen aus Kläranlagen, untere Lahn

1. Emissionen aus KA	P_{ges}		N_{ges}		CSB	
	t/a	%	t/a	%	t/a	%
1.1 infolge TW-Abfluß	29,0	80,8	324,9	83,4	671,0	81,3
1.2 infolge NW-Abfluß	6,9	19,2	64,7	16,6	154,2	18,7
Summe 1.1 und 1.2	35,9	100,0	389,6	100,0	825,2	100,0

Tabelle 5.41: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Mittel-Variante) in [t/a], untere Lahn

Emissionen aus	P_{ges}	N_{ges}	CSB
1.1 Kläranlagen infolge TW-Abfluß	29,0	324,9	671,0
1.2 Kläranlagen infolge NW-Abfluß	6,9	64,7	154,2
Summe 1.1 und 1.2	35,9	389,6	825,2
3. Industr. Direkteinl.	0,1	10,8	7,0
4. Regenauslässe	0,3	1,8	51,5
5. Regenentlastungen	1,0	4,0	91,4
6. max. Fracht aus abgek. Gebieten	1,4	20,9	357,4
Summe Min 1 bis 5	37,3	406,2	975,1
Summe Max 1 bis 6	38,7	427,1	1.332,5

Der Rückgang der Emissionen aus Regenauslässen erfolgt, wie bereits in der Min-Variante, mit (Ausnahme des Stickstoffs), nicht proportional zur Verringerung der versiegelten Fläche um 37 %. Die Emissionen gehen für Phosphor nur um 19 %, für die Zehrstoffe um ca. 27 % zurück.

Im Mischsystem reduziert sich die undurchlässige Fläche durch die Abkoppelungsmaßnahmen im Vergleich zum Szenario SdT um ca. 51 %, was sehr viel mehr ist als in den Gebieten mit Trennkanalisation. Dies ist wiederum darauf zurückzuführen, daß dieser Mittelwert aufgrund der Dominanz des Mischsystems in diesem Gebiet sehr stark vom ländlichen Raum geprägt wird, während Trennsysteme überwiegend nur in den dichter besiedelten Gebieten der unteren Lahn zu finden sind. Die Entlastungsvolumenkomponente geht weiter deutlich zurück und beträgt nur noch ca. 13 %, bezogen auf das entlastete Volumen ergibt sich sogar ein Rückgang von ca. 79 %; d.h. im Mittel-Szenario wird demnach nur noch etwa ein Fünftel des im Szenario SdT entlasteten Volumens in die Gewässer abgeschlagen. Im Vergleich zum Min-Szenario ist allerdings der Rückgang der über Entlastungen in die Gewässer eingeleiteten Frachten, mit Ausnahme des Stickstoffs, der um etwa diesen Prozentsatz zurückgeht, niedriger als der volumenmäßige Rückgang. Er beträgt für Phosphor ca. 69 %, und für die Zehrstoffe ca. 75 %. Dies ist darauf zurückzuführen, daß das Mischwasser, das noch entlastet wird, eine höhere Konzentration besitzt als das entlastete Mischwasser im Szenario SdT. Eine Studie von SCHMITT et al. (1999) zeigt, daß aus diesen Konzentrationen unter ungünstigen Umständen sogar Situationen entstehen können, die für ein Gewässer nicht unbedingt vorteilhaft sind.

Vergleicht man nun die Gesamtbilanzen des SdT- und des Mittel-Szenarios, so stellt man fest, daß das städtebauliche Szenario bezüglich der Nährstoffe wiederum immer zu einer Frachtverminderung führt. Im Prinzip gilt das Gleiche auch für die Zehrstoffe, da es hier nur unter der unrealistischen Randbedingung, daß das abgekoppelte Potential überhaupt nicht im Teilgebiet zurückgehalten werden kann, zu einer Verschlechterung (aber selbst dann nur 1 %) gegenüber den Szenario SdT kommt.

Im Vergleich zu der Min-Variante führt die Mittel-Variante des Städtebaulichen Szenarios günstigstenfalls nochmals zu einer Reduzierung der Einträge aus punktförmigen Quellen um ca. 4 bis 5 % bei den Nährstoffen und bis zu 10 % bei Zehrstoffen. Der Grund für diesen nur noch geringen Rückgang ist darin zu sehen, daß durch die in den Szenarien vorgenommenen Maßnahmen der Anteil der Emissionen infolge Niederschlagsabfluß immer geringer wird, so daß sich die Verbesserungsmaßnahmen bei den Gesamtemissionen aus punktförmigen Quellen kaum noch bemerkbar machen.

Schwermetalle

Die Schwermetallemissionen aus Kläranlagenabläufen infolge Niederschlagsabfluß verringern sich bei Kupfer und Blei im Vergleich zu der Min-Variante des Städtebaulichen Szenarios mit ca. 15 % deutlich. Bei Cadmium beträgt der Rückgang allerdings nur ca. 3 %, bei den restlichen Schwermetallen kommt es aufgrund des bereits bei der Min-Variante beschriebenen Phänomens hingegen zu einem leichten Anstieg von 2 bis 3 %. Im Vergleich zum Szenario SdT ergibt sich daraus, daß die Werte für Zink, Nickel und Chrom nahezu unverändert bleiben bzw. sich für Blei bzw. Kupfer eine Verbesserung von bis zu 27 %, bei Cadmium noch um 9 % ergibt.

Betrachtet man das Gesamtsystem Kanalnetz und Kläranlage und die sich daraus ergebenden kumulierten Werte aus Kläranlage und Regenentlastungen, so sieht man, wie deutlich die Frachtreduzierung in der Mittel-Variante im Vergleich zum SdT-Szenario ausfällt. Bei Kupfer und Blei beträgt sie nur ca. 35 %, für alle anderen betrachteten Schwermetalle ca. 45 bis 50 % der vergleichbaren Werte des Szenarios SdT.

Die Frachtausträge aus Gebieten mit Trennsystem gehen zwischen 16 und 32 % zurück, dies ist ebenfalls weniger als der prozentuale Rückgang der versiegelten Fläche.

Die Emissionen aus den Regenentlastungsbauwerken sind ebenfalls stark rückläufig und belaufen sich auf ca. 70 bis 80 %, was etwas weniger ist als der Rückgang des entlasteten Volumen.

Tabelle 5.42: Emissionen (Schwermetalle) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Mittel-Variante) in [kg/a], untere Lahn

Emissionen aus	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
1.1 Kläranlagen infolge TW-Abfluß	8,9	2.417	748,1	322,4	172,7	315,5
1.2 Kläranlagen infolge NW-Abfluß	6,9	959	56,2	18,8	17,4	16,3
Summe 1.1 und 1.2	15,8	3.376	804,3	341,2	190,1	331,8
3. Industr. Direkteinl.	0,0	34	13,8	1,3	0,6	1,7
4. Regenauslässe	2,5	650	38,2	19,0	10,4	13,2
5. Regenentlastungen	3,2	870	47,5	24,6	14,7	18,8
6. max. Fracht aus abgek. Gebieten	13,3	2.283	343,8	165,6	40,5	48,8
Summe Min 1 bis 5	21,5	4.930	903,8	386,1	215,8	365,5
Summe Max 1 bis 6	34,8	7.213	1.247,6	551,7	256,3	414,3

Ein Vergleich der Gesamtemissionen zeigt, daß diese Variante des Städtebauliche Szenario immer dann Vorteile gegenüber dem SdT-Zustand bietet, wenn es gelingt, mehr als 40 % des Frachtpotentials der abgekoppelten Flächen durch Versickerung oder ähnliche Maßnahmen im Gebiet zurückzuhalten. Es wird jedoch auch immer deutlicher, daß wenn dies nicht gelingt, die Städtebaulichen Szenarien aus der Sicht der Schwermetalleinträge immer ungünstiger abschneiden, je höher der Anteil der abgekoppelten Fläche ist. Lag diese Verschlechterung im Min-Szenario noch im Bereich von maximal ca. 3 %, so kann sie im Mittel-Szenario bei Kupfer und Blei bereits bis zu 13 % betragen.

Die Verbesserungen, die sich noch durch die Mittel-Variante ergeben, betragen im Vergleich zum Min-Szenario im günstigsten Fall noch bis zu 11 %. Im ungünstigsten Fall, d.h. wenn der Niederschlagsabfluß der abgekoppelten Flächen nicht im Gebiet zurückgehalten werden kann, kommt es hingegen zu einer Verschlechterung um bis zu 9 %.

5.7.3.3 Abkoppelungsvariante Maximum

Nähr- und Zehrstoffe

Die auf den Kläranlagen mitbehandelte Regenwassermenge reduziert sich im Vergleich zum Szenario SdT um ca. 68 % auf nunmehr ca. 2,4 Mio. m³. Der Rückgang der damit verbundenen Frachtauträge ist aufgrund der bereits beschriebenen Zusammenhänge weniger deutlich und beträgt bei den Nährstoffen ca. 40 % und bei den Zehrstoffen etwa 45 %.

Tabelle 5.43: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus Kläranlagenabläufen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Max-Variante) in [t/a] bzw. in [%] der gesamten Emissionen aus Kläranlagen, untere Lahn

1. Emissionen aus KA	P _{ges}		N _{ges}		CSB	
	t/a	%	t/a	%	t/a	%
1.1 infolge TW-Abfluß	29,0	84,5	324,9	86,2	671,0	85,2
1.2 infolge NW-Abfluß	5,3	15,5	51,9	13,8	116,1	14,8
Summe 1.1 und 1.2	34,3	100,0	376,8	100,0	787,1	100,0

Tabelle 5.44: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus punktuellen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Max-Variante) in [t/a], untere Lahn

Emissionen aus	P _{ges}	N _{ges}	CSB
1.1 Kläranlagen infolge TW-Abfluß	29,0	324,9	671,0
1.2 Kläranlagen infolge NW-Abfluß	5,3	51,9	116,1
Summe 1.1 und 1.2	34,3	376,8	787,1
3. Industr. Direkteinl.	0,1	10,8	7,0
4. Regenauslässe	0,3	1,1	39,0
5. Regentlastungen	0,4	1,1	31,6
6. max. Fracht aus abgek. Gebieten	2,9	31,5	619,7
Summe Min 1 bis 5	35,1	389,8	864,7
Summe Max 1 bis 6	38,0	421,3	1484,4

Der Rückgang der Emissionen aus Regenauslässen erfolgt aufgrund des Anstiegs des Frachtpotentials auf den Restflächen ebenfalls nicht proportional zur Verringerung der versiegelten Fläche um 58 %. Die Emissionen gehen für Phosphor nur um 34 %, für die Zehrstoffe um ca. 45 % zurück. Eine Ausnahme bildet wiederum der Stickstoff. Hier nehmen die Einträge aus dem Trennsystem proportional zum Rückgang der versiegelten Fläche ab.

Im Mischsystem reduziert sich die undurchlässige Fläche durch die Abkoppelungsmaßnahmen im Vergleich zum Szenario SdT um ca. 75 %. Sehr viel deutlicher ist der prozentuale Rückgang des entlasteten Volumens um ca. 95 %, d.h. es wird nur noch ein Zwanzigstel des Niederschlagsabflusses entlastet, der noch im Szenario SdT in die Gewässer gelangte. Der Rückgang der mit den Entlastungstätigkeiten verbundenen Nähr- und Zehrstoffeinträgen beläuft sich auf ca. 88 bis 95 %.

Ein Vergleich der Bilanzen der punktförmigen Quellen aus Szenario SdT und Max-Variante bestätigt wieder die Ergebnisse der Min- und Mittel-Variante. Bezüglich der Reduktion der Nährstoffeinträge ist immer das Städtebauliche Szenario vorteilhaft, bestenfalls ergeben sich Verringerungen von bis zu 17 %. Bezüglich der Zehrstoffe ergibt sich dann ein Vorteil, wenn es gelingt, etwa 30 % des Frachtpotentials der abgekoppelten Fläche im Gebiet zurückzuhalten, andernfalls ist wiederum das Szenario SdT im Bezug auf die Zehrstoffeinträge vorteilhafter. Aus den Berechnungen resultiert, daß die Max-Variante des Städtebaulichen Szenarios bestenfalls zu einer Verringerung der Zehrstoffeinträge aus punktförmigen

Quellen in Höhe von ca. 34 % führt, im ungünstigsten Fall jedoch auch eine Erhöhung der eingeleiteten CSB-Frachten um bis zu 13 % bewirken kann.

Schwermetalle

Die Schwermetallemissionen aus Kläranlagenabläufen infolge Niederschlagsabfluß verringern sich im Vergleich zu der Min-Variante des Städtebaulichen Szenarios deutlich. Bei Kupfer und Blei beträgt der Rückgang ca. 50 % und bei den restlichen Schwermetallen 24 % bis 32 %. Im Vergleich zum Szenario SdT ergeben sich ähnliche Größenordnungen.

Betrachtet man das Gesamtsystem Kanalnetz und Kläranlage bzw. die kumulierten Werte aus Kläranlage und Regenentlastungen, so ergibt sich im Vergleich zur SdT-Variante eine Reduzierung der auf diesen Pfaden eingetragenen Frachten um 70 % bis 85 %.

Die Frachtausträge aus Gebieten mit Trennsystem gehen zwischen 30 und 50 % zurück.

Die Emissionen aus den Regenentlastungsbauwerken sind stark rückläufig und belaufen sich auf nur noch ca. 10 % des Szenarios SdT.

Tabelle 5.45: Emissionen (Schwermetalle) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ (Max-Variante) in [kg/a], untere Lahn

Emissionen aus	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
1.1 Kläranlagen infolge TW-Abfluß	8,9	2.417	748,1	322,4	172,7	315,5
1.2 Kläranlagen infolge NW-Abfluß	4,8	708	34,1	11,6	12,7	12,0
Summe 1.1 und 1.2	13,7	3.125	782,2	334,0	185,4	327,5
3. Industr. Direkteinl.	0,0	34	13,8	1,3	0,6	1,7
4. Regenauslässe	2,0	541	27,1	13,7	8,6	10,9
5. Regenentlastungen	1,2	338	14,9	7,9	5,6	7,2
6. max. Fracht aus abgek. Gebieten	25,4	5.221	553,8	268,7	88,8	109,2
Summe Min 1 bis 5	16,9	4.038	838,0	356,9	200,2	347,3
Summe Max 1 bis 6	42,3	9.259	1.391,8	625,6	289,0	456,5

Ein Vergleich der Gesamtemissionen aus punktförmigen Quellen zeigt, daß diese Variante des Städtebaulichen Szenarios gegenüber dem Zustand im SdT bestenfalls Verbesserungen zwischen 16% (Ni) und 47 % (Cd) bringen kann, sofern es gelingt, den gesamten Niederschlagsabfluß der abgekoppelten Flächen im Gebiet durch Versickerung o.ä. zurückzuhalten. Hingegen wird ebenfalls deutlich, daß im ungünstigsten Fall, wenn es nicht möglich ist das Frachtpotential der abgekoppelten Flächen zurückzuhalten, diese Variante zu einer Verschlechterung um bis zu 33 % bezüglich des Szenarios SdT führen könnte.

5.7.4 Ergebnisse Neckar

5.7.4.1 Abkoppelungsvariante Minimum

Das Szenarium-Minimum repräsentiert eine Abkoppelungsvariante, welche unter den gegebenen Umständen als realisierbar eingestuft wird. Bei der Umsetzung auf das Neckareinzugsgebiet ergibt sich ein durchschnittliches minimales Abkoppelungspotential von 21 % der städtisch befestigten Flächen. Die daraus resultierende Änderung der undurchlässigen Flächen führte zu einer Verringerung des mittleren jährlichen Mischwasserentlastung

um 50 % im Vergleich zum entlasteten Volumina des Szenarios SdT. Die Reduktion der Entlastungsvolumenkomponente als Verhältnis des jährlich entlasteten Volumens zum jährlichen Niederschlagsabfluß fällt dagegen mit 36 % geringer aus, da durch die Abkoppelung befestigter Flächen von der Sammelkanalisation sich nicht nur das entlastete Volumen, sondern auch der gesamte Niederschlagsabfluß von städtischen befestigten Flächen verringert.

Die Änderungen der stofflichen Emissionen sind für die Nähr- und Zehrstoffe sowie für die Schadstoffe anhand der Schwermetalle grafisch in den nachfolgenden Abbildung 5.36 und Abbildung 5.43 aufgearbeitet. Sie zeigen sowohl die prozentuale Veränderung der Emissionsfrachten der einzelnen Punktquellen als auch für die Gesamtemission aus punktuellen Eintragspfaden im Vergleich zu den jeweiligen Emissionsfrachten des Szenarios SdT.

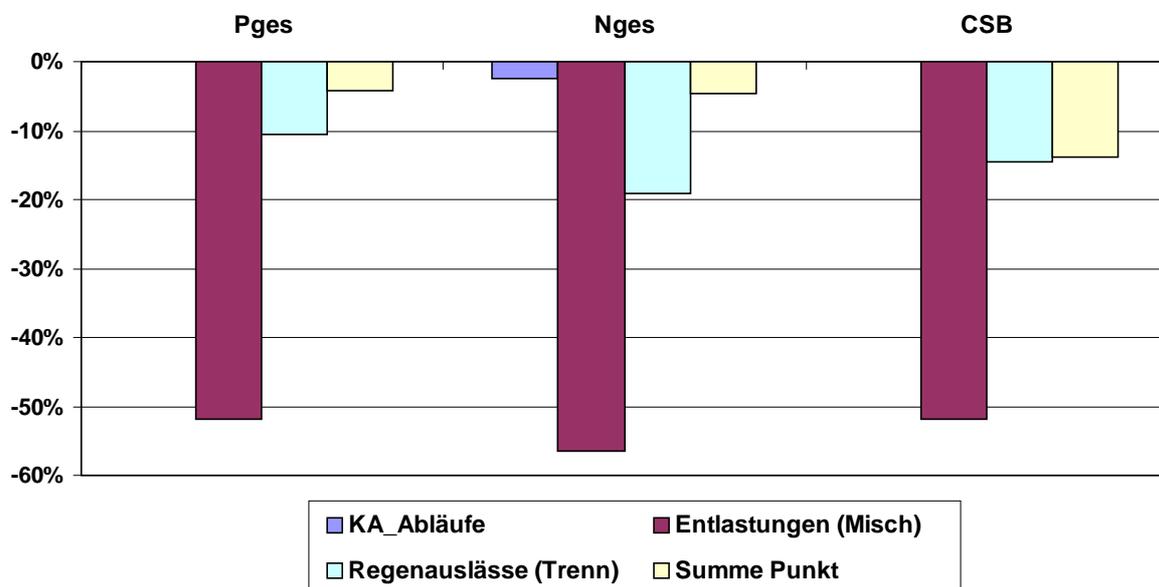


Abbildung 5.36: Änderungen der Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) ausgewählter Punktquellen des Szenarios „Städtebauliche Maßnahmen“ (Min-Variante) gegenüber dem SdT in [%], Neckar

Für die Mischentlastungen der untersuchten Stoffgruppen zeigt sich eine deutliche Reduktion der Stofffrachten sowohl der klassischen Stoffgruppen N_{ges} , P_{ges} und CSB als auch für die betrachteten 6 Schwermetalle, die im Bereich von 40 % zu 50 % liegt. Dieses Ergebnis ist enorm, wenn man sich vor Augen führt, daß zwar durch die Reduktion der undurchlässigen Flächen auch die insgesamt abgetragenen Stofffracht zurückging und zudem mit einer Verringerung des entlasteten Mischwassers ebenfalls der Anteil der mit dem Mischwasser abgeschlagenen Stofffracht verringert wird, diese Effekte aber auch durch das gegenläufige Phänomen gedämpft werden, das der mittlere jährliche Schmutzstoffabtrag der restlichen undurchlässigen Flächen ansteigt, da nur gering belastete Flächen abgekoppelt werden.

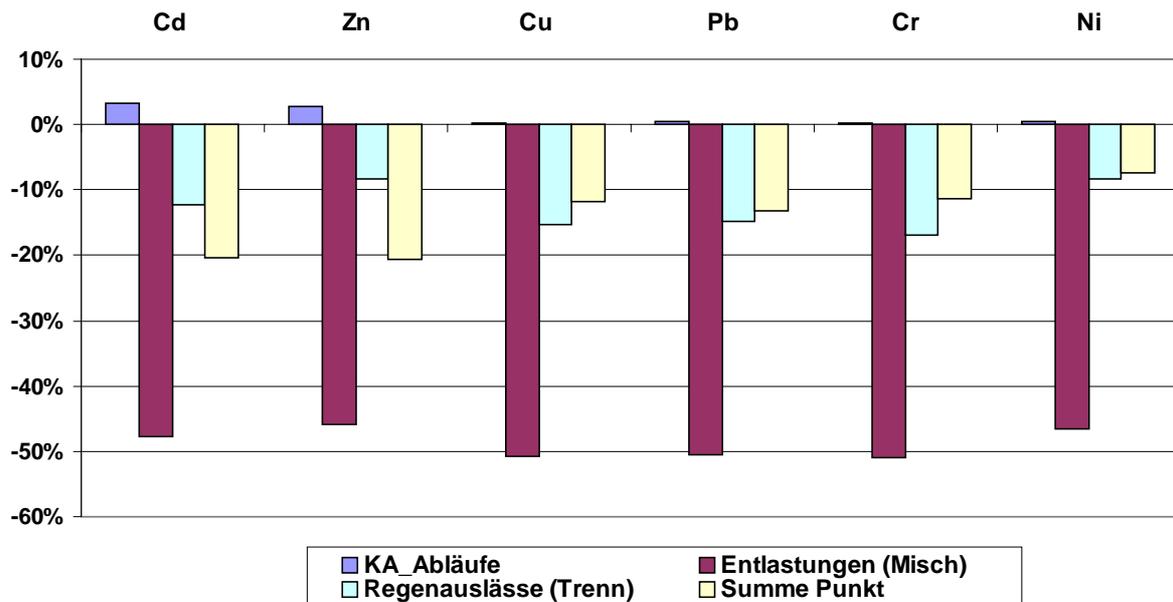


Abbildung 5.37: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) ausgewählter Punktquellen des Szenarios „Städtebauliche Maßnahmen“ (Min-Variante) gegenüber dem SdT in [%], Neckar

Emissionen über die Regenauslässe der Trennkanalisation zeigen eine Reduktion von ca. 10 % bis 20 %, die in etwa mit dem Abkoppelungspotential korreliert, jedoch unter diesem liegt, da definitionsgemäß und nach Verwaltungsvorgaben nur als gering belastet eingestufte Flächen von der Sammelkanalisation getrennt und einer Versickerung zugeführt werden dürfen. Der Anstieg des flächenspezifischen Stoffabtragpotentials der restlichen undurchlässigen Flächen erhöht die den Kläranlagen zugeführten Stofffrachten, die im Falle der Schwermetalle im Vergleich zum Szenario SdT eine erhöhte Kläranlagenemission verursachen, die für Cadmium und Zink ca. 3 % beträgt.

In der Gesamtbetrachtung (bezogen auf die Summe der punktuellen Eintragspfade städtischer Gebiete) ergibt die Modellanwendung für das Abkoppelungs-Szenario Minimum eine Frachtreduktion von ca. 5% für die Nährstoffe und ca. 10 % für die Schwermetalle, für Cadmium und Zink bis zu 20 %.

5.7.4.2 Abkoppelungsvariante Mittel

Auf Basis der Satellitenbildauswertung ergibt das Szenario-Mittel für die 21 Wassereinzugsgebiete des Neckareinzugsgebietes flächengewichtete Abkoppelungspotentiale von 26 % bis 48 % mit einem Mittelwert von 38 %. Die daraus resultierende Verringerung des jährlichen mittleren Entlastungsvolumens beträgt 84% und der jährlichen mittleren Entlastungsvolumenkomponente 73 % im Vergleich zum Szenario SdT. Dabei erfolgte, wie für alle Emissionsberechnungen, in einer detaillierten Wasserbilanz ein flächenproportionaler Volumenausgleich der auf den Kläranlagen mitbehandelten Regenwassermenge für Kläranlagen die befestigte Flächen aus verschiedenen WEGs entwässern. Diese Umlagerungen treten vor allem dort auf, wo die Grenzen der WEGs von den natürlichen Wasserscheiden abweichen, wie im Falle im Oberlauf des Neckars bei Tübingen oder im Enz-Einzugsgebiet bei Pforzheim.

Die im Szenario-Minimum bereits aufgezeigten Trends der Veränderung der Emissionen der verschiedenen punktuellen Eintragspfade verstärken sich, wie die Abbildung 5.38 für die Nähr- und Zehrstoffe sowie die Abbildung 5.39 für die Schwermetalle aufzeigen.

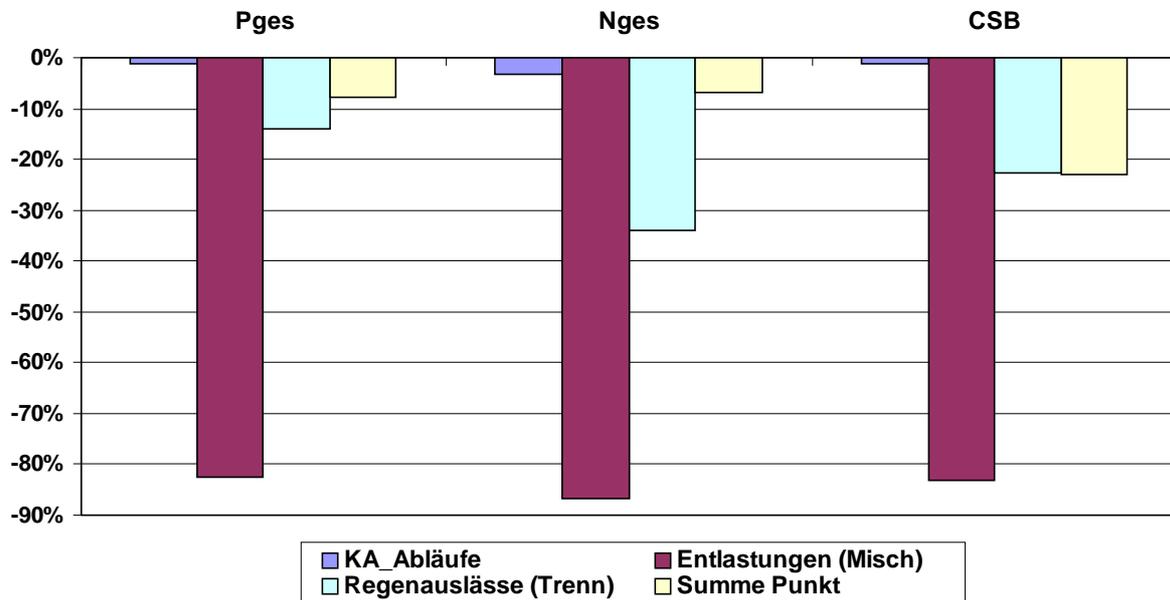


Abbildung 5.38: Änderungen der Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) ausgewählter Punktquellen des Szenarios „Städtebauliche Maßnahmen“ (Mittel-Variante) gegenüber dem SdT in [%], Neckar

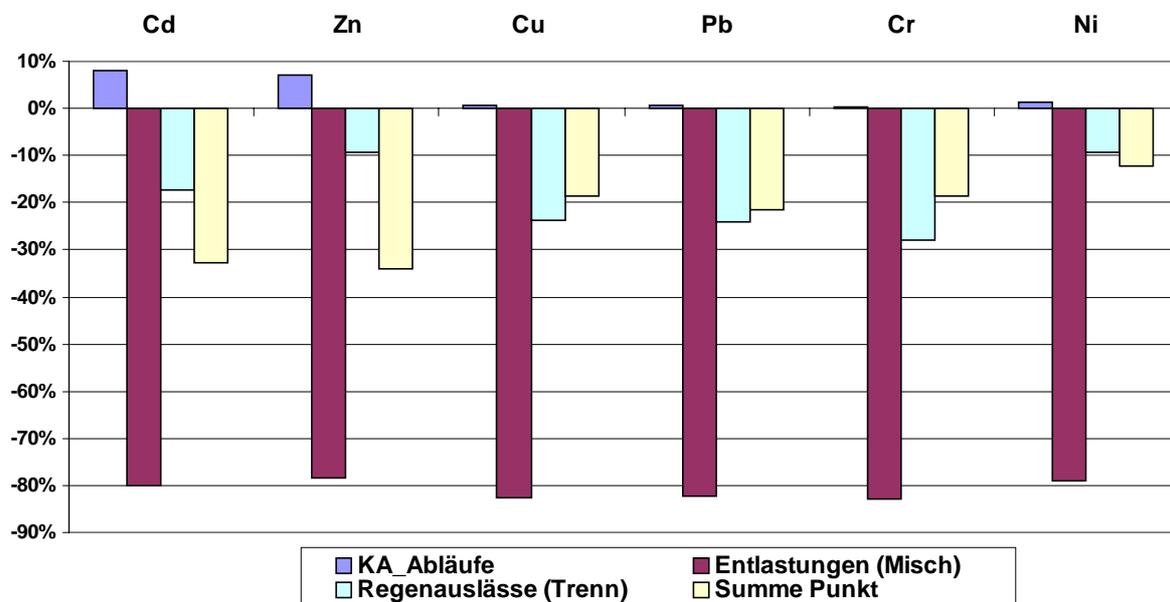


Abbildung 5.39: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) ausgewählter Punktquellen des Szenarios „Städtebauliche Maßnahmen“ (Mittel-Variante) gegenüber dem SdT in [%], Neckar

Die deutlichste Reduktion der Emission erreichen die Mischwasserentlastungen mit über 80 % für die verschiedenen Stoffklassen von Nähr- über Zehr- zu den Schadstoffen der prioritären Schwermetallen. Der Eintragspfad Kläranlage zeigt dabei für die Nähr-, Zehrstoffe und Schwermetalle unterschiedliche Trends, mit einer Reduktion der Nähr- und Zehrstoffe von 1 % bis 3 % und für die Schwermetalle Cadmium und Zink auf ca. 8 %, die sich auf die differierenden Ansätze für die Emissionsbilanzierung zurückführen lassen (siehe Kapitel 4.4.1).

Die Gesamtemission der punktuellen Emissionen für diese Modellanwendung ist im Vergleich zur Ausgangssituation des Szenarios SdT für die Nährstoffe um etwa 7 % und für die Zehrstoffe und Schwermetalle um etwa 20 % für Cd und Zn bis zu über 30 % reduziert. Dabei wird bei den Schwermetallen die oben genannte Zunahme der Kläranlagenemission über die gegenläufige Verringerung der Entlastungen kompensiert.

5.7.4.3 *Abkoppelungsvariante Maximum und Gegenüberstellung der drei städtebaulichen Szenarien*

Das Szenario-Maximum der städtebaulichen Maßnahmen zur Emissionsvermeidung stellt die Obergrenze der Modellanwendung zur Umsetzung der Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen dar. Für das Neckareinzugsgebiet ergibt sich hier ein maximales Abkoppelungspotential von 58 %. Das Entlastungsvolumen beträgt nunmehr mit 0,9 mio. m³ nur noch ca. 1 % des entlasteten Niederschlagsvolumens des Szenarios SdT, wobei es nur noch in einem WEG zu einer Entlastung kommt, folglich die Entlastungsvolumenkomponente 0,01 beträgt. Für die Betrachtung werden zwar nur die maximal abkoppelbaren potentiellen Flächen geringer Belastung berücksichtigt, bspw. Industrieflächen und Ortskerne mit hohem Schmutzstoffabtrag werden nicht miteinbezogen, andererseits müssen für diese makroskalige Betrachtung die topologischen und geologischen Gebietsgegebenheiten für eine maximale Regenwasserableitung und Versickerung unberücksichtigt bleiben, und somit ist die Machbarkeit der Maßnahmenumsetzung nicht in allen Teileinzugsgebieten gewährleistet.

Die gesamte punktförmige Emissionsverminderung liegt für die Nährstoffe P_{ges} und N_{ges} liegt etwas über 10 % und für den Summenparameter CSB für Zehrstoffe etwas über 30 % im Vergleich ohne Umsetzung des Szenarios der maximalen Flächenabkoppelung.

Die Ergebnisse der Emissionsverminderung für die 6 betrachteten prioritären Schwermetalle zeigt Abbildung 5.40. Erwartungsgemäß liegt die Verminderung des Emissionspfades Mischentlastung bei ca. 100 % das es nur noch in einem WEG Niederschlagswasser abgeschlagen wird. Die Kläranlagenemissionen zeigen wie für beiden anderen Szenarios eine Erhöhung mit Ausnahme des Chroms, für das mit der maximalen Flächenabkoppelung die ermittelte Emission geringer ist als ohne Szenarienumsetzung.

Abbildung 5.41 faßt die Ergebnisse der Modellanwendung zur Emissionsverminderung bei der Umsetzung der Abkoppelungsszenarien im Neckareinzugsgebiet für die drei untersuchten Stoffgruppen zusammen. Dabei werden für die Schwermetalle für das Szenario-Minimum bereits ca. 50 % der Emissionsverminderung des als Obergrenze erreichbaren Szenario-Maximum erreicht. Im Neckareinzugsgebiet kommt es für alle drei Abkoppelungsszenarien zu einer Verminderung der Gesamtemission aller Punktquellen, nur

für den Einzelpfad Kläranlagenablauf liegen die Emission für die Szenarien über dem betrachteten Ausgangszustand ohne Maßnahmenumsetzung. Wird die Entlastungsvolumenkomponente als Maß für die mittlere jährliche Niederschlagsentlastung betrachtet, so zeigt die minimale Flächenabkoppelung noch in allen 21 WEGs des Neckargebietes eine Mischwasserentlastung, bei der mittleren Variante kommt es bereits in 8 WEGs zu keiner Entlastung mehr und für die maximale Flächenabkoppelung werden nur noch in einem WEG Mischwasserentlastungen verzeichnet.

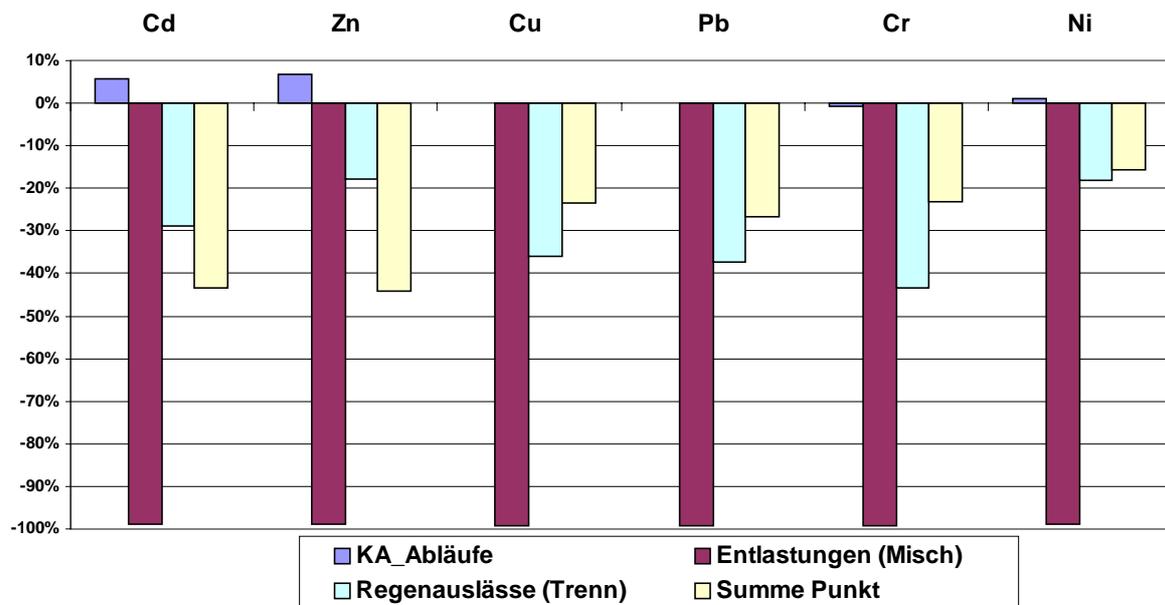


Abbildung 5.40: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) ausgewählter Punktquellen des Szenarios „Städtebauliche Maßnahmen“ (Max-Variante) gegenüber dem SdT in [%], Neckar

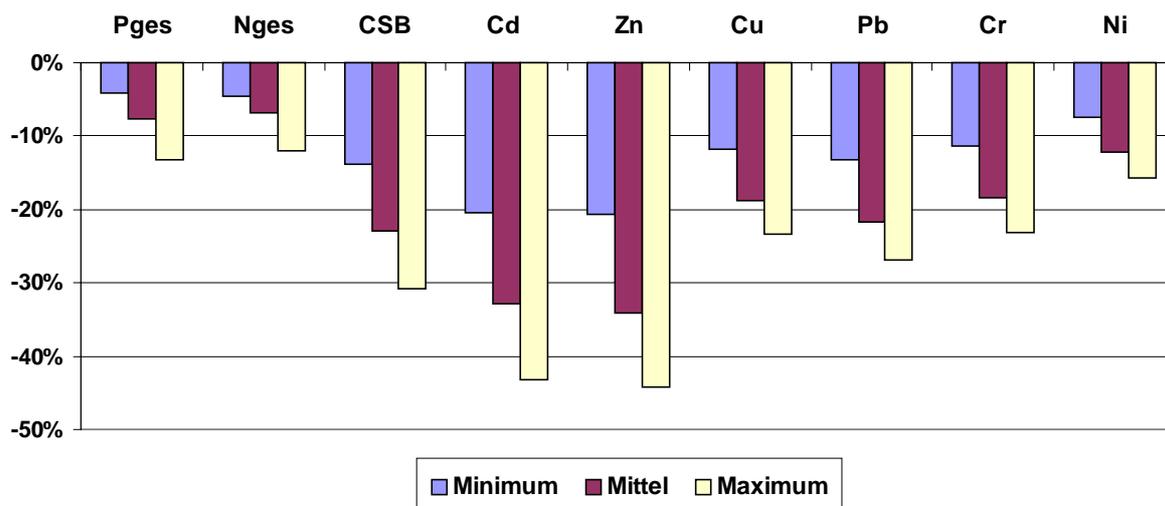


Abbildung 5.41: Änderungen der gesamten punktuellen Emissionen des Szenarios „Städtebauliche Maßnahmen“ (alle drei Varianten) gegenüber dem SdT in [%], Neckar

Die im Neckareinzugsgebiet ermittelten Abkopplungspotentiale sind im Vergleich zum Lahneinzugsgebiet geringer, da die mittlere Einwohnerdichte mit 39 E/ha höher liegen, so ist nur im Bereich der Schwarzwaldes die mittleren Dichte von 25 E/ha vergleichbar mit von LEINWEBER und SCHMITT (1998) betrachteten ländlichen Flächen in Rheinland-Pfalz. Diese Gebiete mit einem hohen Potential an Flächen können als gering belastet eingestuft werden und somit potentiell von einer Sammelkanalisation abgekoppelt werden. Weiterhin konnte aufgrund der detaillierteren Flächennutzung über Satellitenbildauswertung, die Abkopplungspotentiale für die einzelnen Flächennutzungstypen Dorf, Stadt und Industrie für jedes WEG ermittelt werden.

5.8 ANWENDUNG VERFAHRENSTECHNISCHER MASSNAHMEN

5.8.1 Ergebnisse Lahn - Hessen

Das Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ wird für die Hessische Lahn durch den Einsatz von Verfahren zur Regenwasserbehandlung im Mischsystem ausgefüllt. Für das Trennsystem können keine Berechnungen vorgenommen werden, da gemäß der Statistik der öffentlichen Abwasserbeseitigung in Hessen (HSL, 1998) in den Landkreisen des Einzugsgebietes keine Regenklärbecken existieren.

Die im Szenario berücksichtigten Verfahren zur weitergehenden Regenwasserbehandlung basieren auf einer Erhöhung des Wirkungsgrades zum Stoffrückhalt. Angewendet werden die Prozesse Fällung/Flockung und Bodenfilter. Da in Hessen keine Angaben über den Ausbaugrad und die Lage einzelner Entlastungsbauwerke veröffentlicht sind, erfolgen die Frachtberechnungen unter Szenariobedingungen jeweils mit dem Maximalziel einer flächendeckenden Umsetzung. Auch wenn dies - wie im Kapitel Einzelereignisbetrachtung beschrieben - aus verfahrenstechnischen und wirtschaftlichen Gründen nicht realistisch erscheint, kann das Ergebnis Aufschluß über theoretisch mögliche Frachtminderungen durch Verfahrenstechnische Maßnahmen der Regenwasserbehandlung geben. Realistische Umsetzungsmöglichkeiten von Fällung/Flockung oder/und Bodenfiltern müssen durch detaillierte Untersuchungen im Einzugsgebiet ermittelt werden.

Die Bilanzergebnisse im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ sind im Anhang C.11 aufgeführt. In Abbildung 5.42 sind die veränderten Frachten aus Regenentlastungen gegenüber dem Szenario SdT dargestellt.

Abbildung 5.42 zeigt für alle Stoffe und für beide Verfahren der Regenwasserbehandlung eine Reduktion der Frachten gegenüber dem Szenario SdT. Bei flächendeckender Umsetzung der betrachteten Maßnahmen liegen die Einträge aus Regenentlastungen im Mischsystem zwischen ca. 30% und 90% unter denen im Szenario SdT. Dabei können durch den Einsatz von Bodenfiltern höhere Rückhalte erzielt werden als mit Hilfe von Fällung und Flockung. Der größte Rückhalt ergibt sich beim CSB mit rd. 90%. Bei Zn, Cr und Ni können bei flächendeckender Schaltung von Bodenfiltern rd. 80% der Emissionen zurückgehalten werden. Der geringste Rückhalt ist bei Stickstoff mit einer Abnahme von ca. 30% gegenüber dem Szenario SdT zu verzeichnen.

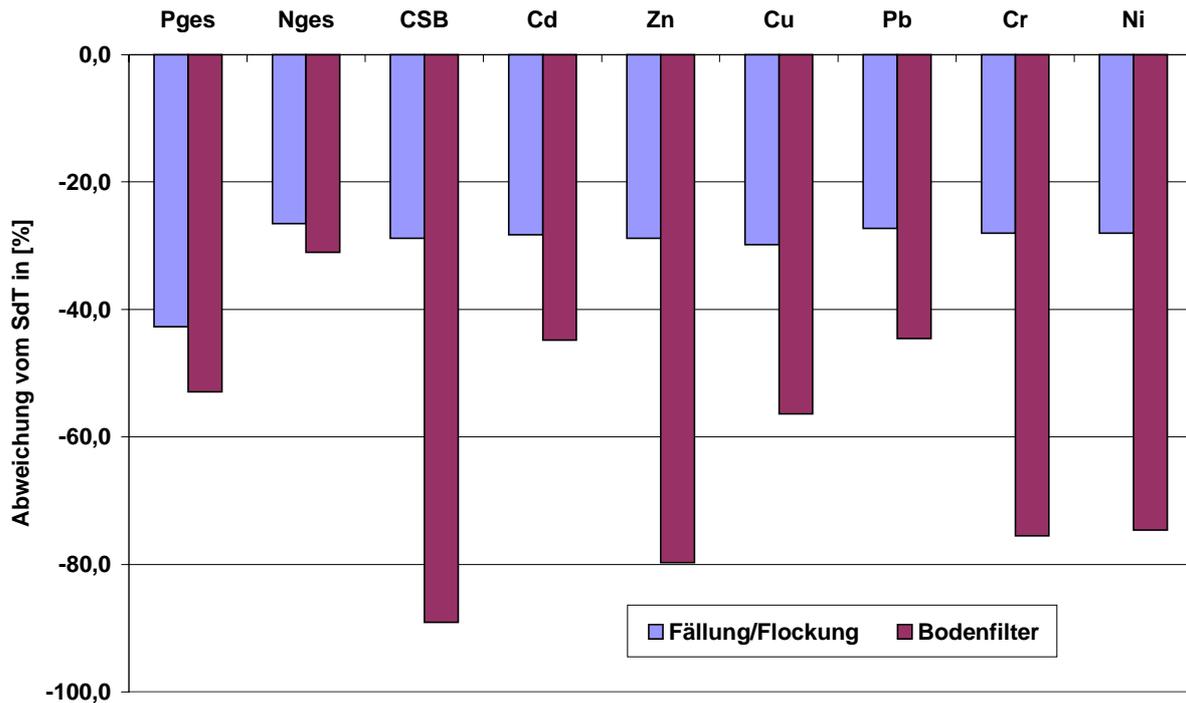


Abbildung 5.42: Einträge über Regenentlastungen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“, dargestellt als prozentuale Abweichungen vom Szenario SdT, obere Lahn

Durch Fällung/Flockung vermindern sich die Emissionen über Mischwasserentlastungen bei allen Stoffen mit Ausnahme von Phosphor um ca. 30% gegenüber den im Szenario SdT; bei Phosphor können Reduktionen um 43% festgestellt werden.

5.8.2 Ergebnisse Lahn - Rheinland-Pfalz

In der **Variante Fällung und Flockung** wurden im Vergleich zum Szenario SdT die folgenden Veränderungen vorgenommen:

- Bau von Regenklärbecken mit Fällungs- und Flockungsstufe. Um das Potential abzuschätzen wurde dabei davon ausgegangen, daß alle Gebiete mit Trennkanalisation an eines dieser Becken angeschlossen sind. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 5.46, Position 4b dargestellt.
- Ausrüstung der großen, an Kläranlagen gelegenen Regenüberlaufbecken mit einer Fällungs- und Flockungsstufe. Die anderen Becken werden somit nicht verändert (Tabelle 5.46, Position 5a).

In der **Variante Bodenfilter** wurden gemäß den Vorgaben sämtlichen Regenentlastungen und Regenauslässen Bodenfilter nachgeschaltet. Diese Vorgehensweise dient ebenfalls im wesentlichen dazu, das Gesamtpotential dieser möglichen Maßnahme abzuschätzen. In Tabelle 5.46 tauchen diese Ergebnisse als Positionen 4c bzw. 5b auf.

Zusätzlich wurde für das untere Lahnggebiet noch die **Variante Regenklärbecken** gerechnet (Position 4a), weil bisher im unteren Lahnggebiet keine Regenklärbecken vorhanden waren.

Dieses Teilszenario dient somit als eine Art Vergleichsgröße, um die Verbesserungsmaßnahmen der Variante Fällung und Flockung besser beurteilen zu können. In der Berechnung wurde ebenfalls davon ausgegangen, daß sämtliche Gebiete mit Trennkanalisation auch an ein Regenklärbecken angeschlossen werden.

Tabelle 5.46: Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ in [t/a], untere Lahn

Emissionen aus	P_{ges}	N_{ges}	CSB
1.1 Kläranlagen infolge TW-Abfluß	29,0	324,9	671,0
1.2 Kläranlagen infolge NW-Abfluß	9,4	83,5	210,7
Summe 1.1 und 1.2	38,4	408,4	881,7
3. Industr. Direkteinl.	0,1	10,8	7,0
4a. Regenauslässe mit RKB	0,3	2,7	44,8
4b. Regenauslässe mit RKB und F/F	0,1	2,5	9,8
4c. Regenauslässe mit Bodenfilter	0,2	2,0	7,7
5a. Regenentlastungen mit F/F	3,3	21,0	358,5
5b. Regenentlastungen mit Bodenfilter	1,6	14,6	39,9
Summe 1, 3, 4b und 5 a	41,9	442,7	1.257,0
Summe 1, 3, 4c und 5 b	40,3	435,8	936,3

Ein Vergleich der Emissionen aus Regenauslässen im Szenario SdT und den verschiedenen Varianten des „Verfahrenstechnischen Szenarios“ zeigen, daß die Werte direkt proportional zum Wirkungsgrad der jeweiligen Maßnahme zurückgehen, d.h. die verfahrenstechnischen Varianten führen zu einer Verbesserung gegenüber dem Szenario SdT. Der proportionale Rückgang ist darauf zurückzuführen, daß bisher im unteren Lahnggebiet keine Maßnahmen bezüglich Regenwasserbehandlung im Trennsystem durchgeführt wurden, während nun in den verfahrenstechnischen Szenario eine flächendeckende Ausstattung mit Regenklärbecken angenommen wird. Bezüglich der Nähr- und Zehrstoffe lassen sich die besten Ergebnisse durch den Einsatz von Bodenfiltern erzielen.

Ein Vergleich der Position 5a (vgl. Tabelle 5.46 und Tabelle 5.47) mit dem Sollzustand zeigt, daß durch den Einsatz von Fällungs- und Flockungsstufen an großen, zentralen Becken nur eine geringe Verbesserung von ca. 1 % erzielt werden kann. Dies ist darauf zurückzuführen, daß in den ländlichen Gebieten der unteren Lahn überwiegend dezentrale Regenüberlaufbecken gebaut wurden. Die wenigen zentralen Becken sind außerdem zumeist nur von kleiner bis mittlerer Größe, weshalb aufgrund der Szenario-Vorgaben eine Ausrüstung dieser Bauwerke mit einer Fällungs- und Flockungsstufe einen geringen Nutzen ergeben würde. Im gesamten Gebiet der unteren Lahn war im Jahre 1995 nur eine Kläranlagen vorhanden, die über ein zentrales Regenüberlaufbecken mit einem Volumen von mehr als 600 m³ verfügte.

Im Gegensatz dazu kann durch den Einsatz von Bodenfiltern im Mischsystem eine deutliche Reduzierung der Emissionen aus Regenentlastungen erfolgen. Aufgrund der dem Szenario zugrunde liegenden Annahme einer flächendeckenden Realisierung dieser Maßnahme erfolgt auch hier der Rückgang der Einträge direkt proportional zum Wirkungsgrad des Bodenfilters.

Vergleicht man allerdings die Werte der Gesamtemissionen aus punktförmigen Quellen, so stellt man fest, daß sich aufgrund des geringen Anteils dieser Eintragspfade nur eine Verbesserung gegenüber dem Szenario SdT von max. 4 % bei den Nährstoffen bzw. 29 %

bei den Zehrstoffen für das Szenario „Bodenfilter“ bzw. 0 bis 5 % im Falle des Szenarios „Fällung und Flockung“ erzielen läßt.

Tabelle 5.47: Emissionen (Schwermetalle) aus punktförmigen Quellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ in [kg/a], untere Lahn

Emissionen aus	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
1.1 Kläranlagen infolge TW-Abfluß	8,9	2.417	748,1	322,4	172,7	315,5
1.2 Kläranlagen infolge NW-Abfluß	7,6	947	77,1	25,2	17,4	16,0
Summe 1.1 und 1.2	16,5	3.364	825,2	347,6	190,1	331,5
3. Industrielle Direkteinleiter	0,0	34	13,8	1,3	0,6	1,7
4a. Regenauslässe mit RKB	2,0	677	53,1	17,6	7,8	13,1
4b. Regenauslässe mit RKB und F/F	1,1	385	14,5	6,9	4,3	12,9
4c. Regenauslässe mit Bodenfilter	1,5	162	25,1	15,7	3,1	4,1
5a. Regenentlastungen mit F/F	12,0	2.863	221,8	111,4	49,2	64,5
5b. Regenentlastungen mit Bodenfilter	5,7	608	100,9	64,2	12,4	16,3
Summe 1, 3, 4b und 5 a	29,6	6.646	1.075,3	467,2	244,2	410,6
Summe 1, 3, 4c und 5 b	23,7	4.168	965,0	428,8	206,2	353,6

Bezüglich der Verringerung der Schwermetallemissionen ergibt sich im Prinzip das Gleiche wie bei den Nähr- und Zehrstoffen. Die Maßnahmen führen immer zu einer deutlichen Verbesserung des Szenarios SdT bzw. der Rückgang der emittierten Fracht erfolgt fast immer direkt proportional zu den entsprechenden Wirkungsgraden.

5.8.3 Ergebnisse Neckar

Der Szenario SdT als Ausgangspunkt für die verfahrenstechnische Maßnahmen stellt für das Szenario Bodenfilter eine notwendige Voraussetzung dar, da ein Bodenfilter zur Verhinderung einer Kolmination eine sedimentative Vorreinigung des Niederschlagswassers benötigt, bspw. in Form eines Regenüberlauf- oder Regenklärbeckens.

Die Differenz aus der Bilanzierung der urbanen Punktemissionen für die definierten verfahrenstechnischen Maßnahmen mit den jeweiligen Punktemissionen des Szenarios SdT zeigen die potentielle Emissionsreduktion und -vermeidung für eine praxisorientierte Einschätzung der Maßnahmen auf.

5.8.3.1 Fällung/Flockung

Die Ergebnisse aus den entwickelten Berechnungsansätzen zeigen, wie aus den nachfolgenden Abbildung 5.43 und Abbildung 5.44 ersichtlich ist, sowohl für die Gruppe der Nähr- und Zehrstoffe als auch für die Schwermetalle eine deutliche Verminderung der Emissionen aus den Regenauslässen der Trennkanalisation von ca. 15 % bis 35 % (mit Ausnahme des Gesamtposphors und des Nickels). Im Vergleich zum Emissionspfad Regenauslässe fällt die insgesamt geringe Emissionsverminderung über den Pfad Mischwasserentlastungen bei der modellhaften Umsetzung des verfahrenstechnischen Szenarios Fällung/Flockung auf. Diese führt wiederum zu einer geringen Verminderung der punktuellen Eintragspfade in der Summe, da im Neckareinzugsgebiet über die Trennkanalisation nur 4,5 % der gesamten befestigten Flächen entwässert wird.

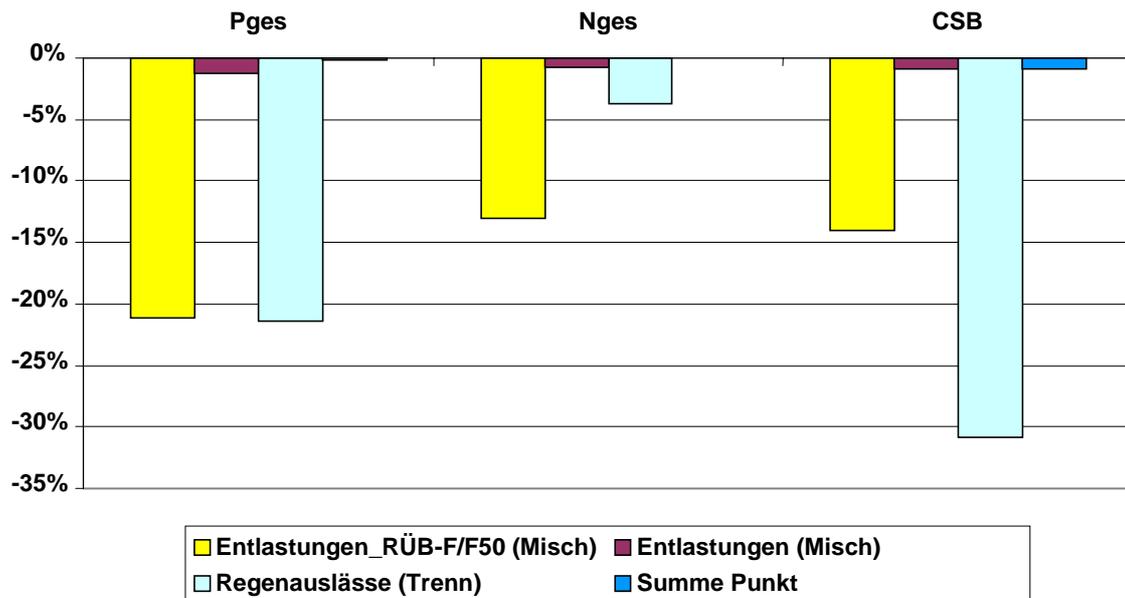


Abbildung 5.43: Änderungen der Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) ausgewählter Punktquellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ (Fällung/Flockung) gegenüber dem SdT in [%], Neckar

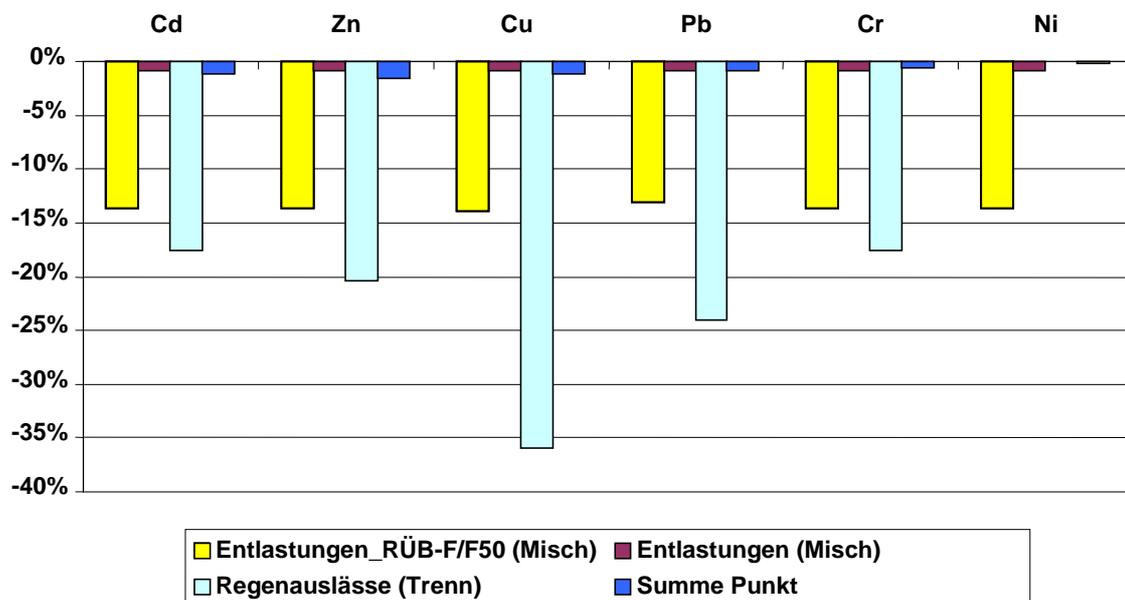


Abbildung 5.44: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) ausgewählter Punktquellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ (Fällung/Flockung) gegenüber dem SdT in [%], Neckar

Nach Definition des Szenarios wurde nur für große, zentrale Regenüberlaufbecken Fällung/Flockung angeordnet. Nach den im Rahmen des Projektes erhobenen Daten werden über diese jedoch nur 4 % der Flächen im Mischsystem entwässert. Aus diesem Grund wurden, um das Potential einer Behandlung von Mischwasser mit Fällung/Flockung aufzuzeigen, zusätzlich noch Varianten mit erhöhtem Anteil an Regenüberlaufbecken mit weitergehender Behandlung gerechnet, nämlich für einen Anteil von 25 %, 50 % und 100 %.

Die Emissionen durch Mischwasserentlastungen für diese Variantenrechnungen werden im Folgenden mit einem entsprechenden Zusatz bezeichnet (z.B. Entlastung_RÜB-F/F25 für die 25 %-Variante).

In der nachfolgenden Tabelle 5.10 werden die Änderungen der punktförmigen Emissionen des Szenario Fällung/Flockung gegenüber dem Stand der Technik für Schwermetalle dargestellt.

Tabelle 5.48: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) ausgewählter Punktquellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ (Fällung/Flockung) gegenüber dem SdT in [%], Neckar

Emissionspfad	Cd	Zn	Cu
KA_Abläufe	0,00	0,00	0,00
Regenauslässe (Trenn)	-17,49	-20,42	-36,00
Entlastungen (Misch)	-0,89	-0,89	-0,91
Entlastungen_RÜB-F/F25 (Misch)	-6,77	-6,77	-6,96
Entlastungen_RÜB-F/F50 (Misch)	-13,54	-13,54	-13,92
Entlastungen_RÜB-F/F100 (Misch)	-27,09	-27,09	-27,84
Summe Punkt	-1,18	-1,52	-1,12
Summe Punkt_RÜB-F/F25 (Misch)	-3,79	-4,23	-2,46
Summe Punkt_RÜB-F/F50 (Misch)	-6,79	-7,37	-4,01
Summe Punkt_RÜB-F/F100 (Misch)	-12,80	-13,63	-7,11

Emissionspfad	Pb	Cr	Ni
KA_Abläufe	0,00	0,00	0,00
Regenauslässe (Trenn)	-23,99	-17,49	-0,01
Entlastungen (Misch)	-0,84	-0,88	-0,88
Entlastungen_RÜB-F/F25 (Misch)	-6,55	-6,79	-6,79
Entlastungen_RÜB-F/F50 (Misch)	-13,11	-13,59	-13,59
Entlastungen_RÜB-F/F100 (Misch)	-26,22	-27,17	-27,17
Summe Punkt	-0,80	-0,55	-0,14
Summe Punkt_RÜB-F/F25 (Misch)	-2,27	-1,82	-1,09
Summe Punkt_RÜB-F/F50 (Misch)	-3,95	-3,28	-2,18
Summe Punkt_RÜB-F/F100 (Misch)	-7,30	-6,19	-4,36

Eine maximale Umsetzung dieser verfahrenstechnischen Maßnahme erbringt für den Emissionspfad Mischentlastungen gegenüber dem angesetzten Stand der Technik ein Emissionsverminderung für die betrachteten Schwermetalle von ca. 27 %. Bezogen auf die Summe der Punktquellen liegt die Verminderung im Bereich von 4 % bis 14 %. Für die nicht in der Tabelle aufgeführte Nährstoffe liegt die gesamte Reduktion der Punktemission bei 1 % bis 3 % bei maximaler Maßnahmenumsetzung.

5.8.3.2 Bodenfilter

Hinsichtlich Niederschlagswasserbehandlung sind Bodenfilter im Vergleich zur Fällung/Flockung eine dezentrale verfahrenstechnische Maßnahme, die sowohl in Mischsystemen als auch in Trennsystemen zum Einsatz kommt. Das daraus resultierende mögliche Reduktionspotential sind für P_{ges} , N_{ges} und CSB in Abbildung 5.46 und für die Gruppe der 6 betrachteten Schwermetalle in Abbildung 5.45 graphisch festgehalten.

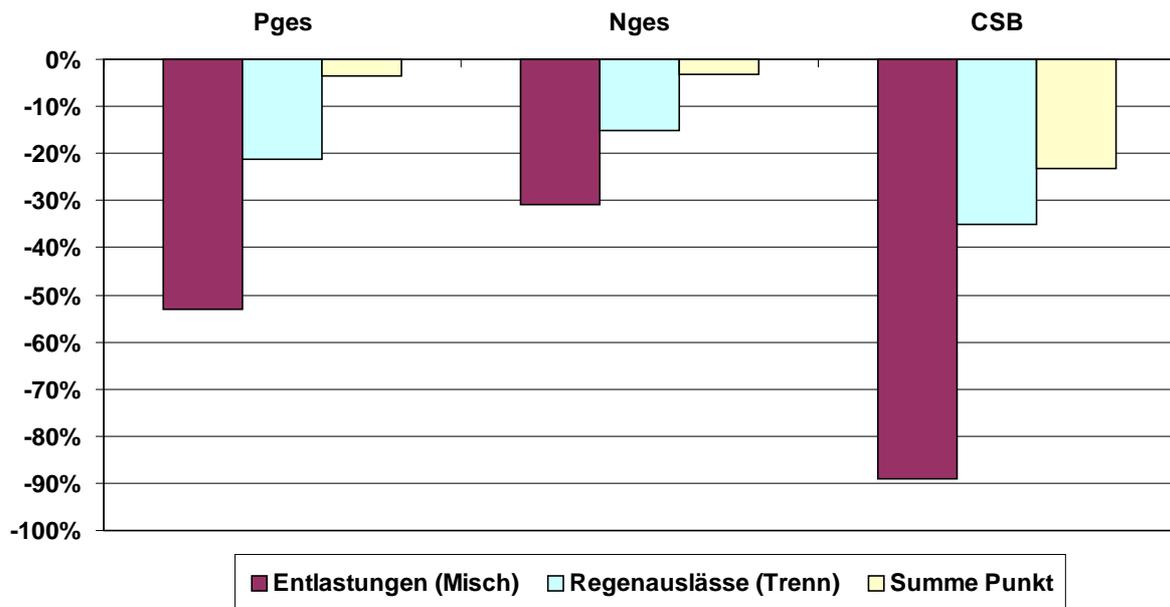


Abbildung 5.45: Änderungen der Emissionen (Nähr- und Zehrstoffe) ausgewählter Punktquellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ (Bodenfilter) gegenüber dem SdT in [%], Neckar

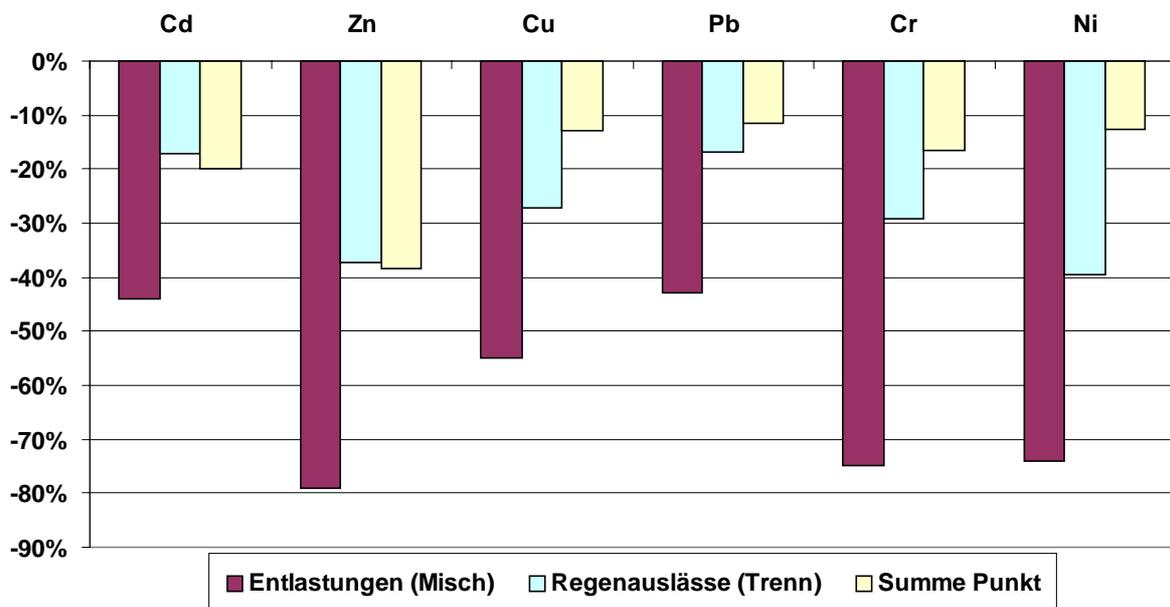


Abbildung 5.46: Änderungen der Emissionen (Schwermetalle) ausgewählter Punktquellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ (Bodenfilter) gegenüber dem SdT in [%], Neckar

Für den relevanten Eintragspfad der Mischentlastungen liegt die Verminderung der Emissionen über Bodenfilter, als Differenz zum Szenario SdT, für den meist partikulär vorliegen Nährstoff Phosphor bei ca. 50 %, für Stickstoff bei ca. 30 % und den Summenparameter CSB bei über 80 %. Die Werte der Schwermetalle variieren ebenfalls zwischen 40 % und 80 %. Die Emissionsverminderung des Eintragspfades Regenauslässe zeigt dazu im Vergleich ein halb so großes Potential. Dies liegt zum einen an den um den

Schmutzwasseranteil geringeren Frachtausträgen aus der Trennkanalisation und ist zum anderen durch den geringeren Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung im Trennsystem bedingt. Für diese gibt es noch keine einheitlichen Vorgaben, z.B. in Form eines ATV Arbeitblattes.

Dagegen liegt das Reduktionspotential für die Summe der punktuellen Eintragspfade entsprechend der Dominanz der durch diese Maßnahme nicht betroffenen Kläranlagenabläufe für die Nährstoffe bei etwa 3 %, dagegen für die Zehrstoffe bei über 20 %, sowie für die Schwermetalle zwischen 10 % und 20 %, mit Ausnahme des Zinks mit ca. 40 %.

5.8.3.3 Gegenüberstellung der beiden verfahrenstechnischen Szenarien

Bei einer Gegenüberstellung der beiden verfahrenstechnischen Szenarien sollte stets berücksichtigt werden, daß die Umsetzung der Fällung/Flockung nur als zentrale Maßnahme sinnvoll empfohlen werden kann, und damit in den Rechnungen nur eine geringe Breitenwirkung entfaltet, wohingegen Bodenfilter im System Kanal/Kläranlage dezentral einsetzbar sind, und dadurch einen höheren Anteil der über die Mischkanalisation entwässerten Fläche erfassen.

Um die beiden verfahrenstechnischen Maßnahmen einander gegenüber zu stellen, werden beispielhaft die Schwermetalle als Vertreter der Schadstoffe herausgegriffen. Für einen Vergleich der Punktemissionen der beiden Maßnahmen Bodenfilter und Fällung/Flockung werden für letztere im Sinne des vorigen Abschnittes zusätzlich höhere Anteile der befestigten Flächen, die über die Maßnahme entwässert und behandelt werden, angesetzt, wie es auch schon im Kapitel 5.8.3.1 vollzogen wurde (siehe Tabelle 5.49).

Tabelle 5.49: Änderung der Emissionen (Schwermetalle) der gesamten punktförmigen Quellen im Szenario „Verfahrenstechnische Maßnahmen“ im Vergleich zum SdT in [%], Neckar

Verfahrenstechnische Maßnahme	Änderungen					
	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
Fällung/Flockung_real	-1,18	-1,52	-1,12	-0,80	-0,55	-0,14
Fällung/Flockung_25%	-3,79	-4,23	-2,46	-2,27	-1,82	-1,09
Fällung/Flockung_50%	-6,79	-7,37	-4,01	-3,95	-3,28	-2,18
Fällung/Flockung_100%	-12,80	-13,63	-7,11	-7,30	-6,19	-4,36
Bodenfilter	-20,05	-38,45	-12,84	-11,36	-16,62	-12,57

6 IMMISSIONSORIENTIERTES BEWERTUNGSSCHEMA

6.1 BEWERTUNGSKONZEPT UND ZIELVORGABEN

Um die stoffliche Belastung von Gewässern zu begrenzen und im Sinne von § 1a Wasserhaushaltsgesetz Beeinträchtigungen ihrer ökologischen Funktionen zu vermeiden, ist über die gesetzlich vorgeschriebene Emissionsbegrenzung aus diffusen und punktuellen Quellen hinaus die immissionsorientierte Reduktion von Stoffeinträgen erforderlich. Immissionsorientierte Anforderungen basieren auf gewässerbezogenen Zielvorgaben z.B. für den Stoffhaushalt. Hierbei werden Konzentrationen und Frachten ökologisch relevanter Wasserinhaltsstoffe unterschieden und entsprechend ihrer ökologischen Wirksamkeit Qualitätsziele formuliert (LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ, 1998).

Das hier angewendete immissionsorientierte Bewertungsschema beruht auf dem im Hessischen Lahnprojekt entwickelten Konzept (RP GIEßEN, 1994). Danach werden Einflußgrößen des Stoffhaushalts in fünf Stufen unterteilt und Belastungsgraden zugeordnet. Mit Bezug auf die vorliegenden Bilanzergebnisse werden an dieser Stelle die Jahresfrachten der Nährstoffe P_{ges} und N_{ges} als Einflußgrößen des Stoffhaushalts betrachtet.

Die Jahresstofffracht, die über ein Fließgewässer ein Einzugsgebiet verläßt, ist für die Ökologie des transportierenden Gewässers und sein Einzugsgebiet von untergeordneter Bedeutung. Die ökologische Wirksamkeit von Stofffrachten kann für die nachgeschalteten Ökosysteme, z.B. Seen oder Küstenmeere, bedeutend sein. So führ(t)en Nährstoffe, die aus den Flußeinzugsgebieten ausgetragen werden, in Nord- und Ostsee zu Eutrophierungserscheinungen wie Algenblüten und Sauerstoffmangel mit zum Teil dramatischen Folgen für die Fischfauna und andere Organismen.

Die Entwicklung des Bewertungsschemas beruht auf einer „potentiell natürlichen“ Fracht als Zielvorgabe. Diese Fracht entspräche dem Austrag aus einem nahezu vollständig bewaldetem und unbesiedeltem Einzugsgebiet. Sie würde ausschließlich durch die geogene Hintergrundkonzentration des jeweiligen Wasserinhaltsstoffes bestimmt. Die fünf Belastungsstufen wurden in Anlehnung an dieses Ziel ermittelt. Sie wurden für Frachten aus Siedlungseinleitungen (punktuelle Quellen) und Frachten aus der Fläche (diffuse Quellen) getrennt bestimmt. Für flächenhafte Stoffausträge beruht die Abstufung auf den Anteilen der verschiedenen Flächennutzungen im Einzugsgebiet und nutzungsspezifischen Austrägen. Die Einteilung für Frachten aus Siedlungseinleitungen erfolgte in Abhängigkeit vom Reinigungsgrad der einwohnerspezifisch anfallenden Stofffrachten. Für Stickstoff beispielsweise bedeutet eine Eliminationsrate von mehr als 95% einen Belastungsgrad von 1; einem Rückhalt von weniger als 30% ist der Belastungsgrad 5 zugeordnet (RP GIEßEN, 1994).

Insgesamt werden bei einer Wasserqualität der Belastungsstufe 2 Werte erreicht, die gegenüber dem potentiell natürlichem Hintergrund zwar erhöht sind, nach heutigem

Kenntnisstand aber noch keine Bedrohung der standorttypischen Lebensgemeinschaften darstellen. Auch der Nährstofftransport in weiter entfernt liegende Gewässer wäre so begrenzt, daß die heutzutage als notwendig erachtete Reduktion der Nährstofffrachten zum Schutz der Küstenmeere erreicht würde (Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, 1998).

Tabelle 6.1: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für Stickstoff- und Phosphorfrachten, unterschieden nach flächenhaften und punktförmigen Stoffeinträgen

		Stickstoff-Jahresfracht [kg N _{ges} /(ha*a)] ¹		
	Belastungsgrade	Flächennutzung	Siedlungseinleitungen	Gesamt
1	nicht-gering belastet	< 5	< 0,3	< 5,3
2	mäßig belastet	5 - 10	0,3 - 1,4	5,3 - 11,4
3	kritisch belastet	10 - 20	1,4 - 2,8	11,4 - 22,8
4	stark belastet	20 - 50	2,8 - 4	22,8 - 54
5	übermäßig belastet	> 50	> 4	> 54

		Phosphor-Jahresfracht [kg P _{ges} /(ha*a)] ²		
	Belastungsgrade	Flächennutzung	Siedlungseinleitungen	Jahresfracht
1	nicht-gering belastet	nahe 0	< 0,07	< 0,07
2	mäßig belastet	< 0,01	0,07 - 0,36	0,07 - 0,37
3	kritisch belastet	0,01 - 0,1	0,36 - 0,71	0,37 - 0,81
4	stark belastet	0,1 - 1,0	0,71 - 1,0	0,81 - 2,0
5	übermäßig belastet	> 1	> 1	> 2

1 Die Stickstofffracht im Gewässer wird mit der Nitratfracht gleichgesetzt, da NH_x-Einträge in relativ kurzer Zeit oxidiert werden, und andere Stickstoffverbindungen quantitativ unbedeutend sind. Bei der Bewertung der Jahresfracht wird ein Nitratabbau durch Denitrifikation und andere Prozesse, die zu einer deutliche Verringerung der Stofffracht führen können, nicht berücksichtigt.

2 Die gesamte Phosphor-Jahresfracht entspricht der Summe aus gelöstem und partikulär gebundenem P (Messung in der fließenden Welle). Bei der Bewertung der P-Einträge in nachgeschaltete Ökosysteme gilt zu beachten, daß das Eutrophierungsrisiko durch gelöstes P aufgrund seiner besseren Verfügbarkeit für Stoffwechselfvorgänge höher einzustufen ist.

In Tabelle 6.1 sind die Belastungsstufen für die Jahresfrachten von Stickstoff und Phosphor dargestellt. Die dort aufgeführten Kategorien basieren auf den Flächennutzungsverhältnissen und der Siedlungswasserwirtschaft im Hessischen Lahneinzugsgebiet im Jahr 1991. Die dort ermittelten diffusen Einträge von 12 kg N_{ges}/(ha*a) und 0,63 kg P_{ges}/(ha*a) entsprechen der Belastungsstufe 3; die Betrachtungen beruhen auf 950.000 angeschlossenen Einwohnern (EW) (RP GIEßEN, 1994).

Generell erlaubt die Einordnung von Stofffrachten in das Bewertungsschema Rückschlüsse auf den Natürlichkeitsgrad der Flächennutzungen sowie Aussagen über den Grad der Stoffretention durch Abwasserbehandlungsanlagen in dem untersuchten Einzugsgebiet. Durch die bestehenden Kategorien ermöglicht das Bewertungsschema ferner einen Vergleich mit anderen Einzugsgebieten und mit Prognoserechnungen über Szenarien.

Konkret liefert ein Vergleich der Belastungsstufen im Ist-Zustand mit den für die Szenarien ermittelten Belastungsstufen Hinweise über die Wirkung der städtebaulichen bzw. verfahrenstechnischen Maßnahmen auf die Nährstoffbelastung im Gewässer. Es können immissionsorientierte Aussagen zur Bedeutung der gewählten Verfahren zur Verminderung der Nährstoffeinträge abgeleitet werden: Die Frage nach der Verminderung der Gesamtbelastung unter Szenariobedingungen gegenüber dem Ist-Zustand kann beantwortet werden.

6.2 ERGEBNISSE LAHN - HESSEN

Die immissionsorientierte Bewertung der bilanzierten Frachten am Gebietsauslaß der hessischen Lahn (Referenzstation Limburg) ergibt basierend auf Tabelle 6.1 folgende Einstufung:

Die ermittelte Stickstoff-Jahresfracht von 15,6 kg/(ha*a) fällt in die Belastungsstufe 3, was aus immissionsorientierter Sicht der Lahn „kritisch“ zu beurteilen ist. Eine verursacherbezogene Aufteilung dieser Gesamt-Gewässerfracht auf die Pfade „Flächennutzung“ (diffuse Einträge) und „Siedlungseinleitungen“ (Summe Kläranlagen + Kanalnetz ohne Industrie) ergibt ein differenzierteres Bild: Der Anteil der diffus eingetragenen Fracht ist als „mäßig belastet“ zu bewerten. Das entspricht der Belastungsstufe 2, in der nach heutigem Kenntnisstand keine Bedrohung der standorttypischen Lebensgemeinschaften erwartet wird. Die siedlungsbedingten Emissionen hingegen fallen in die Stufe 5 „übermäßig belastet“, die dringenden Handlungsbedarf anzeigt.

Tabelle 6.2: Immissionsorientierte Bewertung der Nährstoffeinträge 1995, obere Lahn ($A_{E0} = 488.785$ ha)

Emissionen	Einheit	N_{ges}	P_{ges}
aus Flächennutzung	t/a	4.389	188
	kg/(ha*a)	9,0	0,38
	Belastungsgrad	2	4
aus Siedlungseinleitungen ¹	t/a	3.217	322
	kg/(ha*a)	6,6	0,66
	Belastungsgrad	5	3
Gesamt ¹	t/a	7.606	510
	kg/(ha*a)	15,6	0,98
	Belastungsgrad	3	4

¹ ohne Industrielle Direkteinleiter

Die Phosphor-Jahresfrachten von 0,98 kg/(ha*a) deuten auf eine „starke“ Belastung der Lahn hin (Belastungsgrad 4). Dabei liegen die aus diffusen Quellen eingetragenen Frachten ebenfalls in dieser Belastungsstufe, während die aus Siedlungsgebieten stammenden Emissionen mit „kritisch belastet“ eine Stufe besser beurteilt werden. Danach sind die eingetragenen Phosphorfrachten nach dem vorliegenden Bewertungskonzept um 1-2 Stufen zu hoch. Es besteht in beiden Verursacherbereichen Handlungsbedarf, die Stofffrachten im transportierenden Gewässer und schließlich in der Nordsee zu vermindern. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Beurteilung der Trophie anhand des Sauerstoffhaushaltes und der Algenbiomasse, nach der die Lahn als hochgradig eutroph einzustufen ist (RP GIEßEN, 1994).

Die Einordnung der Bilanzierungsergebnisse aus dem Szenario SdT und den Szenarien in das Bewertungsschema bietet Hinweise zu den Auswirkungen der verschiedenen Maßnahmen auf die Gewässerqualität. Da sich die Maßnahmen ausschließlich auf den Bereich der Siedlungseinleitungen beziehen ist in Tabelle 6.2 auch lediglich dieser Pfad aufgeführt.

Es wird deutlich, daß die gewählten Verfahren zur Verminderung der Einträge aus punktuellen Quellen nicht zu einer verbesserten Einstufung führen. Die Beurteilung der

Stickstoffeinträge mit „übermäßig belastet“ und die der Phosphoreinträge mit „kritisch belastet“ ändert sich unter Szenariobedingungen nicht. Damit ergibt sich auch für die Bewertung der Gesamt-Jahresfracht keine Änderung.

Tabelle 6.3: Immissionsorientierte Bewertung der Nährstoffeinträge aus Siedlungsgebieten in unterschiedlichen Szenarien), obere Lahn ($A_{E0} = 488.785$ ha)

	N_{ges}			P_{ges}		
	t/a	kg/(ha*a)	Belast.grad	t/a	kg/(ha*a)	Belast.grad
Ist-Zustand	3.217	6,6	5	322	0,66	3
Szenario SdT	3.132	6,4	5	303	0,62	3
Sz. Flächenabkoppelung	2.653	5,4	5	243	0,50	3
Szenario Fällung/Flockung	3.058	6,3	5	284	0,58	3
Szenario Bodenfilter	3.045	6,2	5	280	0,57	3

Die Gegenüberstellung der ermittelten Stickstofffrachten in den Szenarien zeigt Verminderungen der punktuellen Einträge von ca. 3% bis 18% gegenüber dem Ist-Zustand. Dabei ergibt sich durch Flächenabkoppelungen im Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“ der größte Stoffrückhalt im Einzugsgebiet. Dies gilt auch für Phosphor. Hier verringern sich die Einträge über die Abkoppelung von kanalisierten Flächen um rd. 24%.

Die durchgeführte Beurteilung der eingetragenen Nährstofffrachten aus Sicht des Gewässers zeigt trotz festgestellter Verminderungen der Emissionen aus Siedlungseinleitungen für die Szenarien noch keine signifikante Verbesserung der Belastungssituation.

Zusätzlich zu der Bewertung der Nährstofffrachten sollen im Folgenden die Schwermetallgehalte in der Lahn beurteilt werden. Als zu beurteilende Größe werden die Metallgehalte des suspendierten partikuläre Materials (Schwebstoffe) herangezogen, da die in der Wasserphase auftretende Schwermetallgesamtkonzentration in erheblichem Maße vom Schwebstoffgehalt beeinflusst wird und sich die Schwermetalle in Schwebstoffen anreichern (vgl. LAWA, 1998b). Ferner basiert die den Bilanzierungen zugrundeliegende Frachtschätzung u.a. auf Meßwerten zu Schwermetallgehalten im Schwebstoff [mg/kg]. Die Berechnungen stützen sich dabei auf 19 Werte, die als wesentlich zuverlässiger angesehen werden können als die Ergebnisse der Schwermetallmessungen in der Wasserphase. Mit Ausnahme von Zn ergab die Schwermetallanalytik der Wasserproben nur eine sehr geringe Anzahl an Messungen über der Bestimmungsgrenze (vgl. Kapitel 4.1.1.2). Die Berechnung der Schwermetallfrachten in der Wasserphase erfolgte daher auf Basis der halben Bestimmungsgrenze und ist somit nur als grobe Einschätzung anzusehen.

Die Schwermetalleinträge in Fließgewässer können natürlichen und anthropogenen Ursprungs sein. Um den Anteil der anthropogenen Belastung zu bewerten, müssen daher zunächst die geogenen Hintergrundwerte bestimmt werden. Für das Einzugsgebiet der Lahn in Hessen kann auf den sogenannten Oberlahnstandard (OLS) zurückgegriffen werden. Der OLS beruht auf der Analyse von Sedimentproben aus einem Lahntarm des Oberlaufs in 50 cm Bohrtiefe.

Abbildung 6.1 zeigt die den Bilanzierungen zugrundeliegenden Schwermetallgehalte in Schwebstoffen im Vergleich zu den jeweiligen geogenen Hintergrundwerten nach OLS. Die Meßwerte sind gemäß Empfehlungen der LAWA (1998b) als 50-Perzentil angegeben.

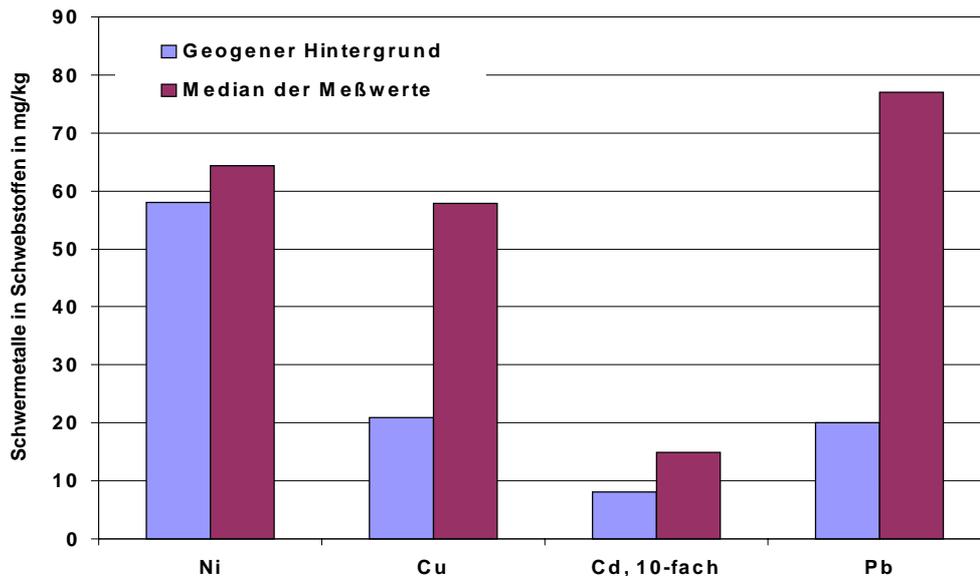


Abbildung 6.1: Schwermetalle in Schwebstoffen: Vergleich der Meßwerte (1991-1996) mit dem geogenen Hintergrundwert nach Oberlahnstandard (OLS)

Auf der Basis der gebietsspezifischen Hintergrundwerte für Schwermetalle, dem Oberlahnstandard (OLS), wurde im Lahnprojekt ein fünf-stufiges Bewertungsschema für die anthropogene Belastung vorgeschlagen. Zielgröße ist ein nicht bis gering belastetes Gewässer mit Schwermetallgehalten an Schwebstoffen, die maximal die 1,5-fache Menge des Hintergrundwertes betragen. Dieser Faktor soll die natürlichen lithographischen Abweichungen berücksichtigen (vgl. RP GIEßEN, 1994 und MÜLLER, 1979). Gemäß Abbildung 6.1 ist für Ni diese Forderung erfüllt.

Verdoppelt man die sich aus der Multiplikation mit dem jeweiligen geogenen Hintergrundwert und dem Faktor 1,5 ergebende Zahl, ergibt sich die Klassengrenze für die nächst höhere Belastungsstufe. Die Grenze der höchsten Klasse 6 („sehr stark belastet“) ist nach oben offen. Für die Parameter Cu und Cd ergibt die Einordnung der Meßwerte in das Bewertungsschema die Belastungsstufe 2 „mäßig belastet“. Die Pb-Gehalte in der Lahn bei Limburg sind als „kritisch belastet“ einzustufen (Stufe 3). Maßgeblich für die Bewertung der Schwermetallgehalte in Sedimenten bzw. Schwebstoffen ist der jeweils schlechteste, festgestellte Belastungsgrad. Orientiert an der Beurteilung der Pb-Gehalte, ergibt sich demnach für der Lahn bei Limburg eine „kritische Belastung“ der Schwebstoffe mit Schwermetallen.

Bestandteil dieses Bewertungsschemas ist weiterhin der sog. Geoakkumulationsindex I_{geo} . Er beschreibt das Verhältnis zwischen dem Metall im Sediment/Schwebstoff zum geogenen Hintergrundwert: $I_{geo} = \log_2 (\text{Metallgehalt}/\text{Hintergrundwert})$. Dieser Index erleichtert es, die Gehalte unterschiedlicher Metalle und verschiedener Probestellen miteinander zu vergleichen und die einzelnen Standorte zu bewerten (vgl. RP GIEßEN, 1994).

Auch von der LAWA (1998b) liegt ein immissionsorientiertes Bewertungsschema der Schwermetallgehalte in Schwebstoffen vor. Die zugrundeliegenden Zielsetzungen und Bewertungskriterien unterschieden sich allerdings von dem hier vorgestellten,

gebietsspezifischen Bewertungsverfahren. So ergeben sich allein durch die Einordnung in sieben Güteklassen Unterschiede zu der hier durchgeführten Beurteilung nach fünf Belastungsgraden. Größere Unstimmigkeiten zwischen den beiden Bewertungsverfahren ergeben sich für Nickel und Blei. Nach LAWA-Klassifizierung liegt in der Lahn eine deutliche Nickelbelastung vor (Güteklasse II-III). Unter Berücksichtigung der geogenen Hintergrundgehalte nach OLS gelten die vorgefundenen Ni-Gehalte dagegen als geringe anthropogene Belastung. Bei Blei stellt sich das Bild genau gegenläufig dar. Gemäß LAWA wird die Zielvorgabe eingehalten (Güteklasse II), während ein Belastungsgrad von 3 nach gebietsspezifischen Kriterien kritisch zu beurteilen ist (s.o.). Die Meßwerte der anderen Parameter (Cr, Cu, Zn und Cd) sind in die LAWA-Güteklassen II-III und III einzuordnen.

6.3 ERGEBNISSE LAHN - RHEINLAND-PFALZ

Entsprechend den Vorgaben des immissionsorientierten Bewertungsschemas ergeben sich für den Ist-Zustand die in Tabelle 6.4 dargestellten Ergebnisse.

Tabelle 6.4: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für N_{ges} für 1995, untere Lahn

Gewässer	Flächen- nutzung kg N_{ges} / (ha·a)	Belastungs- -grad -	Siedlungs- einleitungen kg N_{ges} / (ha·a)	Belastungs- grad -	Jahres- fracht kg N_{ges} / (ha·a)	Belastungs- -grad -
untere Lahn	15,3	3	5,2	5	20,5	3
Aar	16,3	3	6,2	5	24,5	4
Dörsbach	19,5	3	3,0	4	22,5	3
Gelbach	13,1	3	5,9	5	19,0	3
Mühlbach	18,9	3	1,7	3	20,6	3

Die Ergebnisse zeigen, daß aus der Sicht der gesamten Stickstoffjahresfracht sowohl der untere Bereich der Lahn als auch die wichtigsten Nebengewässer mit der Belastungsstufe 3, also kritisch belastet, eingeordnet wird.

Betrachtet man die Belastungsgrade, die sich aufgrund der Siedlungseinleitungen ergeben, so sieht man, daß die Einstufung deutlich schlechter ausfällt. Hier wird das untere Lahngbiet und die Nebengewässer Aar und Gelbach als übermäßig belastet eingestuft (Stufe 5). Teilweise erscheint diese Einstufung auch durchaus begründet, wenn man sich die Defizite aus siedlungswasserwirtschaftlicher Sicht vor Augen hält. Auffällig ist das vergleichsweise günstige Ergebnis des Dörsbaches, denn in diesem Gebiet herrschten im Jahre 1995 die größten Defizite. So befand sich beispielsweise die erste Belebungsanlage im rheinland-pfälzischen Teil dieses Gebietes in diesem Jahr erst in der Einfahrphase, ansonsten wurde das Abwasser, wenn überhaupt, nur mechanisch gereinigt. Diese vermeintlich gute Einstufung resultiert daraus, daß die Einwohnerdichte im Dörsbachgebiet mit 80 E/km² weniger als die Hälfte des Durchschnittswertes von 190 E/km² beträgt, während beispielsweise die Einwohnerdichte des Gelbach- und Aargebietes mit ca. 210 E/km² über diesem Durchschnitt liegen. Dies bedeutet, daß die erheblichen Defizite, die häufig im ländlichen Raum nicht nur im Bereich der Nährstoffelimination vorhanden sind, durch die geringe Einwohnerdichte, die in dieses Bewertungsschema indirekt eingeht, kompensiert werden.

In diesem Zusammenhang ist somit festzustellen, daß das immissionsorientierte Bewertungsschema für Nährstoffbelastungen einen repräsentativen Wert liefert. Allerdings muß darauf geachtet werden, daß aus den ermittelten Bewertungsstufen „Siedlungseinleitungen“ nicht Rückschlüsse auf die tatsächliche siedlungswasserwirtschaftliche Situation abgeleitet werden können, vor allem nicht in Hinblick auf einzelne Substanzen bzw. andere Stoffe und Stoffgruppen (z.B. Zehrstoffe).

Tabelle 6.5: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für P_{ges} für 1995, untere Lahn

Gewässer	Flächennutzung kg P_{ges} / (ha·a)	Belastungsgrad -	Siedlungseinleitungen kg P_{ges} / (ha·a)	Belastungsgrad -	Jahresfracht kg P_{ges} / (ha·a)	Belastungsgrad -
untere Lahn	0,36	4	0,63	3	0,99	4
Aar	0,36	4	0,67	3	1,03	4
Dörsbach	0,40	4	0,55	3	0,95	4
Gelbach	0,38	4	0,87	4	1,25	4
Mühlbach	0,41	4	0,33	2	0,74	3

Aus der Sicht der Phosphor-Jahresfracht ergibt sich für das untere Lahnggebiet ein Belastungsgrad von 4, d.h. stark belastet. Etwas besser stellt sich dabei die Situation aus Sicht der „Siedlungseinleitungen“ dar (Belastungsgrad 3).

Bezieht man nun die Ergebnisse des Szenarios SdT in das immissionsorientierte Bewertungsschema ein, so ergeben sich die in Tabelle 6.6 und Tabelle 6.7 dargestellten Belastungsgrade.

Tabelle 6.6: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für N_{ges} für das Szenario SdT, untere Lahn

Gewässer	Flächennutzung kg N_{ges} / (ha·a)	Belastungsgrad -	Siedlungseinleitungen kg N_{ges} / (ha·a)	Belastungsgrad -	Jahresfracht kg N_{ges} / (ha·a)	Belastungsgrad -
untere Lahn	15,3	3	4,2	5	19,5	3
Aar	16,3	3	5,8	5	22,1	3
Dörsbach	19,5	3	1,1	2	20,6	3
Gelbach	13,1	3	3,9	4	17,0	3
Mühlbach	18,9	3	0,7	2	19,6	3

Tabelle 6.7: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für P_{ges} für das Szenario SdT, untere Lahn

Gewässer	Flächennutzung kg P_{ges} / (ha·a)	Belastungsgrad -	Siedlungseinleitungen kg P_{ges} / (ha·a)	Belastungsgrad -	Jahresfracht kg P_{ges} / (ha·a)	Belastungsgrad -
untere Lahn	0,36	4	0,40	3	0,76	3
Aar	0,36	4	0,56	3	0,92	4
Dörsbach	0,40	4	0,23	2	0,63	3
Gelbach	0,38	4	0,51	3	0,89	4
Mühlbach	0,41	4	0,15	2	0,56	3

Die Auswirkungen des Szenarios SdT auf den Stickstoff-Belastungsgrad sind außerordentlich gering, da keine Veränderungen bei der Flächennutzung vorgenommen wurden. Auf der anderen Seite führen zwar die Veränderungen im Bereich „Siedlungseinleitungen“ zu einer deutlichen Verringerung der flächenspezifischen Emissionen, teilweise sogar zu einer besseren Einstufung, aber die Dominanz der diffusen Einträge ist beim Stickstoff zu groß,

weshalb bei der Betrachtung der Jahresfrachten sich zwar geringfügige Verbesserungen, aber keine neuen Einstufungen ergeben.

Etwas anders sieht dies beim Gesamtphosphor aus, hier kommt es durch die Dominanz der Siedlungseinleitungen und den fiktiv durchgeführten Maßnahmen teilweise zu einer Verbesserung des Belastungsgrades „Jahresfracht“.

Vergleicht man nun die Auswirkungen der verschiedenen Szenarien auf die einzelnen Belastungsgrade so stellt man fest, daß die absoluten flächenspezifischen Siedlungseinleitungen zwar mehr oder weniger deutlich zurückgehen, dies allerdings in der Regel nicht zu einer Neueinstufung in einen günstigeren Belastungsgrad führt. Aufgrund der Dominanz der diffusen Stickstoffeinträge geht die flächenspezifische Jahresfracht nur geringfügig zurück. Der Belastungsgrad bezüglich der Jahresfrachten ändert sich deshalb auch bei keinem der Szenarien.

Tabelle 6.8: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für N_{ges} für 1995 und Szenarien, untere Lahn

Gesamtes unteres Lahngbiet	Siedlungseinleitungen kg N_{ges}/(ha·a)	Belastungsgrad	Jahresfracht kg N_{ges}/(ha·a)	Belastungsgrad
Ist-Zustand	5,2	5	20,5	3
Szenario „SdT“	4,2	5	19,5	3
Szenario „SM-Max“	3,7 - 4,0	4	19,0 - 19,3	3
Szenario „VM-F/F“	4,2	5	19,5	3
Szenario „VM-BF“	4,2	5	19,5	3

Tabelle 6.9: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für P_{ges} für 1995 und Szenarien, untere Lahn

Gesamtes unteres Lahngbiet	Siedlungseinleitungen kg P_{ges}/(ha·a)	Belastungsgrad	Jahresfracht kg P_{ges}/(ha·a)	Belastungsgrad
Ist-Zustand	0,63	3	0,99	4
Szenario „SdT“	0,40	3	0,76	3
Szenario „SM-Max“	0,33 - 0,36	2	0,69 - 0,72	3
Szenario „VM-FuF“	0,40	3	0,76	3
Szenario „VM-BF“	0,38	3	0,74	3

Etwas anders sieht die Situation beim Phosphor aus. Aufgrund der zumeist vorhandenen Dominanz der punktförmigen Einträge kommt es hier teilweise nicht nur zu einer Neueinstufung der Komponente „Siedlungseinleitungen“, sondern auch zu einer Verbesserung bei der Einstufung der Jahresfracht. Für das untere Lahngbiet ergibt sich beispielsweise bei der Jahresfracht eine Neueinstufung in die Kategorie 3 und bei der Komponente „Siedlungseinleitungen“ wird der Belastungsgrad 2 nur knapp verfehlt.

Aus diesen Ergebnissen wird aber auch offensichtlich, daß es für eine deutliche Verringerung der Nährstoffbelastung unabdingbar ist, daß nicht nur im Bereich der Emissionen aus punktförmigen Quellen Verbesserungen vorgenommen werden müssen, sondern auch flankierende Maßnahmen im Bereich der Landwirtschaft erforderlich sind.

6.4 ERGEBNISSE NECKAR

An Hand des Bewertungsschemas zeigen die bilanzierten Jahresemissionsfrachten für das Neckareinzugsgebiet die beiden Nährstoffe Stickstoff und Phosphor eine starke Belastung. Eine Aufteilung dieser Jahresfrachten im Bilanzjahr 1995 in diffuse Eintragspfade und punktuelle Eintragspfade ergibt eine differenziertere Beurteilung. Danach ist für den Stickstoff die Belastung des Neckars aus diffusen Quellen kritisch (BG 3) und die Belastung aus Punktquellen der Siedlungsgebiete übermäßig hoch (BG 5). Für den Phosphor ergibt die Beurteilung nach diesem Schema eine kritischen Belastung (BG 3) des Neckars aus Punktquellen und einer starken Belastung (BG 4) aus diffusen Quellen (siehe Tabelle 6.10).

Tabelle 6.10: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für P_{ges} und N_{ges} für 1995, Neckar

Emissionspfad	N _{ges}			P _{ges}		
	[t/a]	[kg/ha*a]	BG	[t/a]	[kg/ha*a]	BG
Siedlungseinleitungen	13027	9,3	5	945	0,68	3
Flächennutzung	24471	17,5	3	700	0,50	4
Gesamtemissionsfracht	37498	26,9	4	1646	1,18	4

BG: Belastungsgrad

Diese Bewertung der Emissionsfrachten liegt deutlich über dem angestrebten Belastungsgrad 2, mäßig belastet. Da sich die Einteilung der Belastungskategorien ausgehend von den „potentiell natürlichen“ Jahresfrachten mit dem Leitbild eines nahezu vollständig bewaldeten, unbesiedelten Einzugsgebiet über die aktuelle Einteilung der Flächennutzung sowie der Punktquellen der Siedlungen im oberen Lahneinzugsgebiet orientiert, ist für eine Übertragung auf andere Einzugsgebiete zu prüfen, ob deren Landnutzungsverteilung und Siedlungsstruktur vergleichbar sind (RP GIEßEN, 1994).

Ein Vergleich der Flächennutzung im Neckareinzugsgebiet mit dem Lahneinzugsgebiet zeigt bei Ackerflächen, als wesentliche diffuse Quelle, eine sehr gute Übereinstimmung (je 24 %). Abweichungen ergeben sich für Grünland (24 % zu 19 %) und Wald (36 % zu 42 %). Es kann aber davon ausgegangen werden, daß der Unterschied im Emissionsverhalten diese beiden extensiven Nutzungen so gering ist, daß die Abweichung im Anteil der Flächennutzung vernachlässigbar ist. Bedeutender dürfte der Unterschied in den urbanen Flächen (15 % und 13 %) und vor allem in der Einwohnerdichte mit 377 E/km² zu 160 E/km² sein. Somit ist für die Bewertung der Gewässerbelastungsgrade über den Emissionspfad Flächennutzung (diffuse Quellen), eine Übertragung auf das Neckareinzugsgebiet gewährleistet. Für den Emissionspfad Siedlungsgebiete (Punktquellen) ist eine direkte Übertragung der Belastungskategorien, aufgrund der unterschiedlichen Siedlungsstruktur, kritisch zu überprüfen.

So zeigt sich für die Bewertung der Neckarbelastung über die flächenspezifischen Stickstoffemissionen, daß von den diffusen Quellen zwei Drittel der Gesamtemissionsfracht ausgehen, diese jedoch „nur“ zu einer kritischen Bewertung (BG 3) führt. Die Punktquellen dagegen tragen nur zu einem Drittel der Gesamtemission bei, werden aber als übermäßig belastet (BG 5) bewertet, wobei die flächenspezifische Fracht der Punktemissionen mit 9,3 kg/ha*a den doppelten Betrag des für Belastungsgrad 5 angegebenen Wert annimmt (vgl. Tabelle 6.10).

Die Methodik des immissionsorientierten Bewertungsschemas bietet die Möglichkeit, die Maßnahmen für die im Projekt bilanzierten Szenarien und dem Szenario SdT hinsichtlich derer Auswirkung auf die Gewässerbelastung zu bewerten. Da alle Maßnahmen auf urbane Gebiete abzielen, bleiben die Emissionen diffuser Quellen für alle Szenarien gleich. Die nachfolgende Tabelle 6.11 berücksichtigt daher nur die Belastungen aus Siedlungsgebiete.

Tabelle 6.11: Immissionsorientiertes Bewertungsschema für P_{ges} und N_{ges} für die Szenarien, Neckar

Szenario SdT und Szenarien	Nges			Pges		
	[t/a]	[kg/ha*a]	[BG]	[t/a]	[kg/ha*a]	[BG]
Szenario SdT	11898	8,5	5	938	0,67	3
Städtebauliche Maßnahmen MIN	11760	8,4	5	924	0,66	3
Städtebauliche Maßnahmen MIT	11457	8,2	5	899	0,64	3
Städtebauliche Maßnahmen MAX	10906	7,8	5	855	0,61	3
Verfahrenstechnische Maßnahmen Bodenfilter	11858	8,5	5	929	0,67	3
Verfahrenstechnische Maßnahmen F/F	11895	8,5	5	937	0,67	3

Das Bewertungsschema zeigt für die verschiedenen Szenarien zur Reduktion der Punktemissionen im Vergleich zum derzeitigen Ist-Zustand keine Veränderung, d.h. das gewählte Verfahren ist für die Bewertung des Emissionspfades Punktquellen aus Siedlungsgebieten des Neckareinzugsgebietes nicht sensitiv genug um die durch die gewählten Szenarien möglichen Stoffreduktionen zu erfassen.

Dies kann erklärt werden durch die Dominanz der Emissionen über Kläranlagenabläufe, so daß eine Verringerung der jährlichen Frachten aus dem Kanalsystem durch die betrachteten Maßnahmen zur Verminderung der niederschlagsbedingten Belastungen gegenüber dem Ist-Zustand keine deutliche Stoffverminderung der gesamten punktuellen Emissionen bewirkt.

6.5 EINZELEREIGNISBETRACHTUNG

Wesentliche Aufgabe der dritten Phase des Forschungsprojektes NIEDERSCHLAG war die Bilanzierung von niederschlagsbedingten Stoffausträgen aus den Flußeinzugsgebieten Neckar und Lahn auf der Basis von Jahresfrachten. Anhand der für den jeweiligen Gebietsauslaß aufgestellten Bilanz wurden Aussagen über die relative Bedeutung der untersuchten Eintragspfade an der stofflichen Belastung der einzelnen Fließgewässer getroffen und der Nährstoffexport in die Nordsee quantifiziert.

Da jährliche Stofffrachten für die Ökologie des transportierenden Gewässers eher von untergeordneter Bedeutung sind, müssen für eine umfassende Analyse der Belastungssituation mit Nähr- und Zehrstoffen weitere zeitliche und räumliche Skalen berücksichtigt werden (Abbildung 6.2). So folgt in diesem Kapitel eine Betrachtung zu den Auswirkungen von Mischwasserentlastungen auf die Gewässerbeschaffenheit der Lahn unterhalb der Städte Wetzlar und Limburg. Akute Wirkungen von eingetragenen Schmutzstoffen aus Mischwasser auf die Biozönose gehen vor allem von den toxisch wirkenden Stickstoffverbindungen Ammoniak und Nitrit aus und können ferner mit sauerstoffzehrenden Prozessen in Zusammenhang stehen.

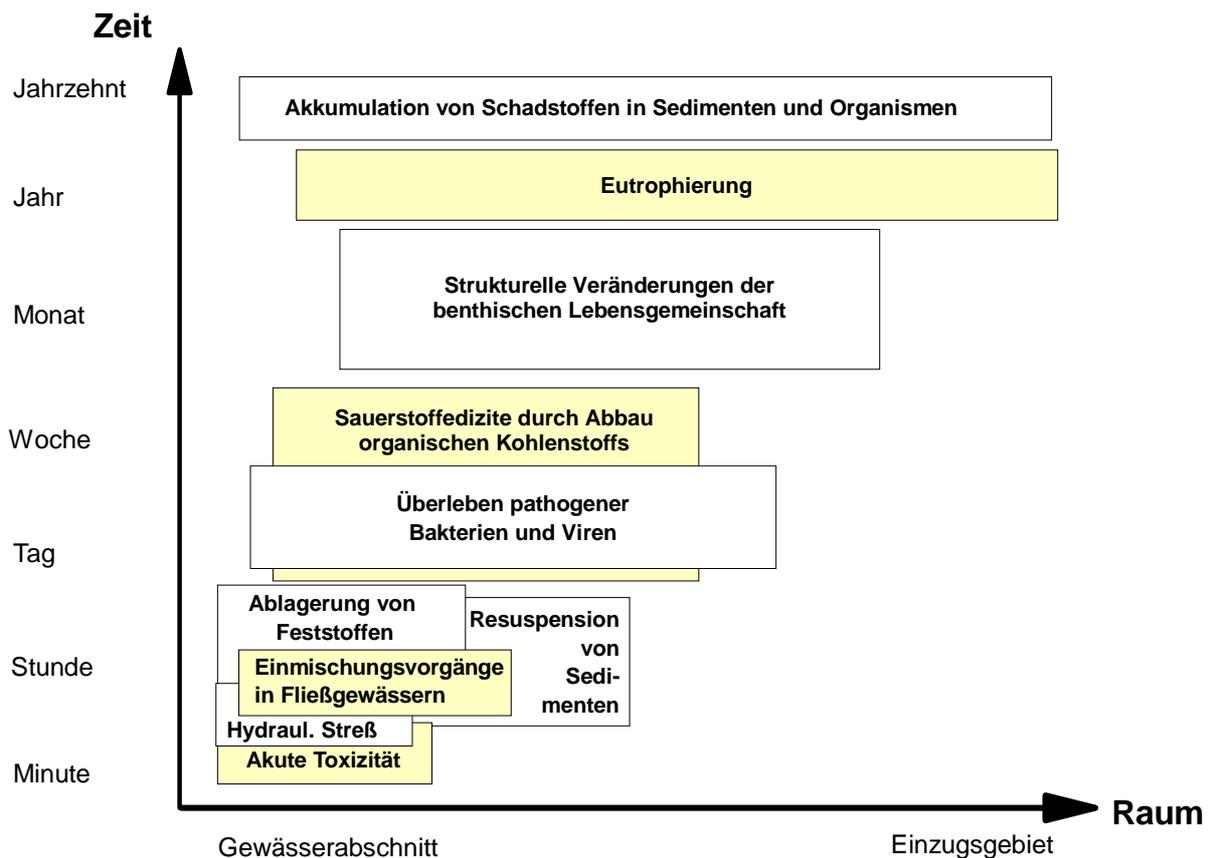


Abbildung 6.2: Beziehung zwischen der zeitlichen und räumlichen Wirkung von stofflichen Belastungen in Fließgewässern (nach Lijklema et al. 1992 verändert und ergänzt)

Lahn unterhalb von Wetzlar

In Bild Abbildung 6.3 sind Tagesgänge der Sauerstoffkonzentration im Sommer 1995 an der Gütemeßstation Oberbiel unterhalb von Wetzlar aufgetragen und den Niederschlagshöhen der Station Gießen (als Säule) gegenübergestellt (HlfU, 1996; DWD, 1996). Bedingt durch die Primärproduktion (Photosynthese und Respiration von Phytoplankton) können bei Schönwetter deutliche Tagesamplituden beobachtet werden, die an aufeinanderfolgenden Strahlungstagen Tag- und Nachtschwankungen von bis zu 7 mg/l aufweisen.

Niederschlagsereignisse bewirken eine merkliche Abminderung der Amplituden sowie ein Absinken der Sauerstoffgehalte. Dies trifft insbesondere nach Schönwetterperioden zu. In einer solchen meteorologischen Konstellation können beispielsweise am 12. Juli Sauerstoffeinbrüche bis an das kritische Niveau von 4,0 mg/l beobachtet werden (ATV-Arbeitsgruppe 2.1.1, 1993).

Das Absinken der Sauerstoffamplitude steht in Zusammenhang mit einer verminderten biogenen Sauerstoffproduktion und -zehrung (Photosynthese und Respiration) an Tagen mit geringerer Sonneneinstrahlung oder Regenwetter.

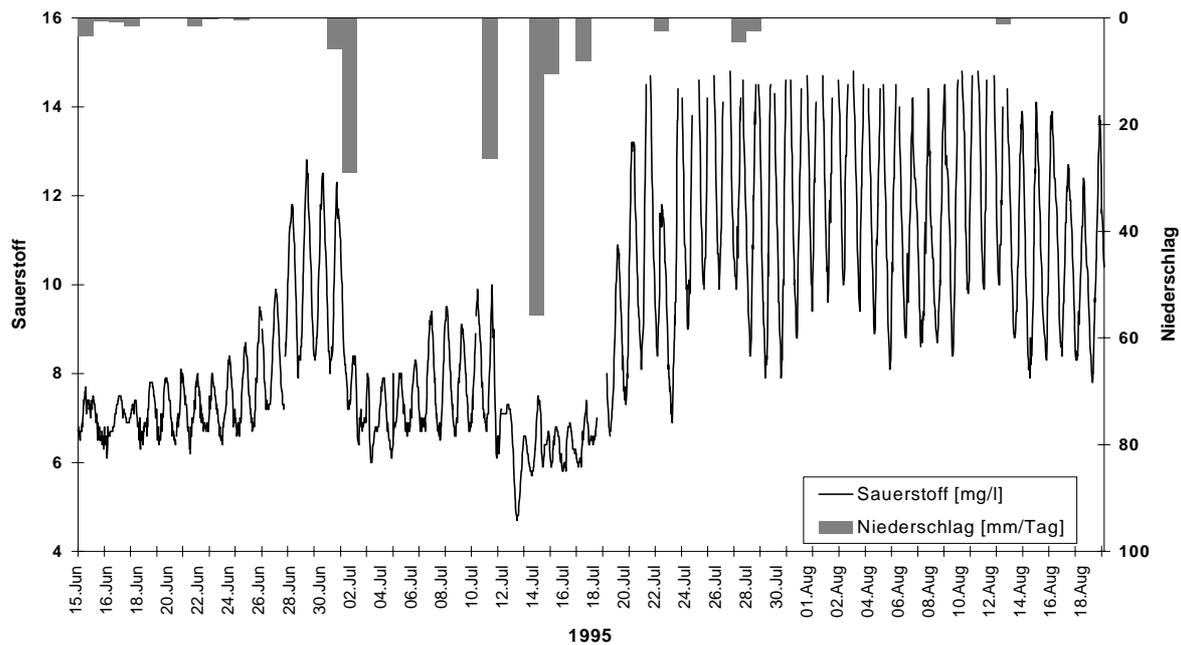


Abbildung 6.3: Sauerstoffganglinie in der Lahn unterhalb von Wetzlar bei Schönwetter und bei Niederschlag

Das Absinken der Sauerstoffgehalte kann mit zusätzlichen Zehrungsprozessen begründet werden, die möglicherweise auf den niederschlagsbedingten Eintrag von biologisch abbaubaren, organischen Substanzen zurückzuführen sind. Treffen solche stofflichen Belastungen auf das tägliche, durch die biogene Zehrung bedingte Sauerstoffminimum in den frühen Morgenstunden, können für die Organismen kritische Werte unterschritten werden.

Tabelle 6.12: Ausgewählte Kenngrößen der Kanalnetze Wetzlar und Limburg (verändert nach Mang et al., 1998)

Kenngrößen	Wetzlar	Limburg
undurchlässige Fläche A_u (ha)	569	722
spezifisches Speichervolumen VS (m^3/ha)	14,4	10,4
Mischwasserzufluß zur KA Q_m (l/s)	1050	713
angeschlossene Einwohner EW	~80.000	~40.000
MQ (m^3/s)	31	47
MNQ (m^3/s)	6,3	10
Abwasserlast ($EW/(l*s)$ bei MNQ)	~13	~4

Um eine Beziehung zwischen Mischwasserentlastungen aus dem Kanalnetz Wetzlar und den beobachteten Sauerstoffabsenkungen in der Lahn festzustellen, wurden mit Hilfe des Entlastungsgrenzlinienvorgangs nach XANTHOPOULOS (1990) die entlastungswirksamen Niederschlagsereignisse und die jeweils entlasteten Wassermengen bestimmt. Eingangsgrößen waren die Kennwerte des Entwässerungsnetzes Wetzlar (Tabelle 6.12 und MANG et al., 1998) und die Niederschlagsdaten der Station Gießen für den Untersuchungszeitraum (DWD, 1996).

Stellt man die ermittelten Mischwassermengen den gemessenen Sauerstoffabsenkungen in der Lahn gegenüber, läßt sich ein Zusammenhang zwischen den entlasteten Mischwassermengen und dem jeweiligen Betrag der Sauerstoffabsenkung in der Lahn feststellen (Abbildung 6.4). Für die ermittelten Entlastungsereignisse –exklusive eines

Ausreißers- gilt: Mit steigendem Entlastungsvolumen nimmt die Sauerstoffabsenkung annähernd linear zu. Folglich führen Mischwassereinleitungen in Fließgewässern wie der Lahn zusammen mit der Eutrophierung auch nach der Sanierung der Kläranlagen noch zu beachtlichen Belastungen des Sauerstoffhaushaltes.

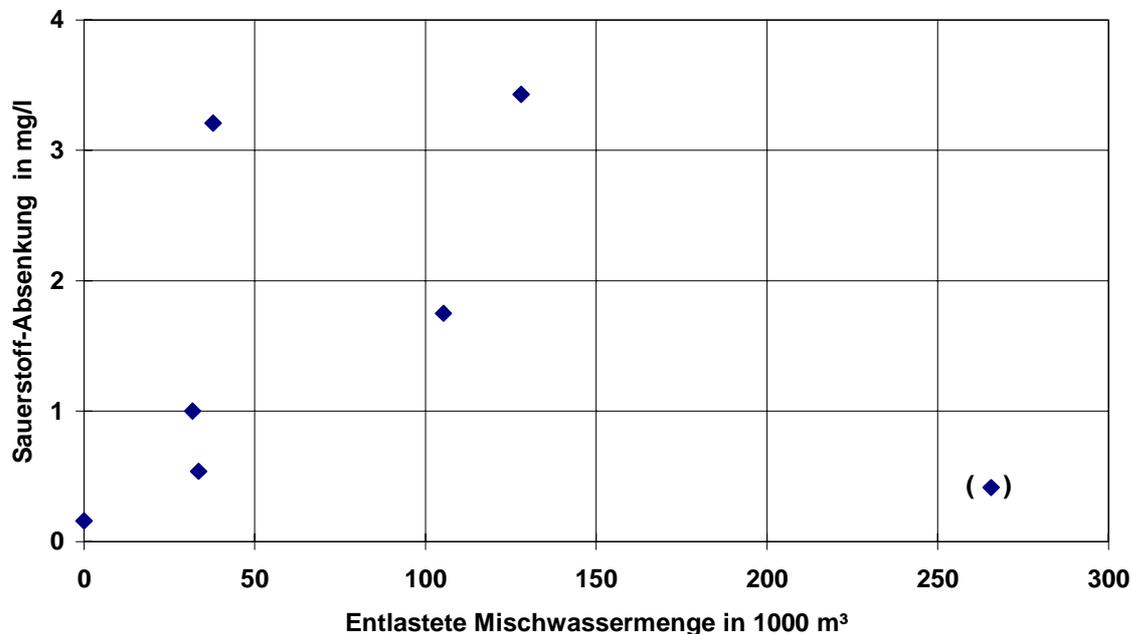


Abbildung 6.4: Sauerstoffabsenkung in der Lahn in Abhängigkeit von der entlasteten Mischwassermenge aus dem Kanalnetz Wetzlar (spezifische Belastung: 13 EW/(l*s) bei MNQ)

Lahn unterhalb von Limburg

Für den Lahnabschnitt unterhalb von Limburg wurden im Frühsommer 1996 an den maßgeblichen Entlastungsanlagen des Entwässerungssystems und ca. 5 km unterhalb in der Lahn Messungen durchgeführt (MANG, 1996; MANG et al., 1998). Im Gegensatz zur Lahn bei Wetzlar war hier kein Zusammenhang zwischen den eingeleiteten Mischwasservolumina und Sauerstoffabsenkungen im Fließgewässer zu erkennen. Wie die Meßwerte ergeben, führen in diesem Flußabschnitt Entlastungsereignisse mit vergleichsweise geringem Mischwasservolumen (mit ca. 1000m³ pro Ereignis) zu Sauerstoffabsenkungen zwischen 2,2 und 4,4 mg/l und weisen damit eine relativ hohe Variationsbreite auf.

Das könnte auf die unterschiedlich hohen, abgeschlagenen Mischwassermengen zurückzuführen sein oder durch unterschiedliche lokale Bedingungen zwischen dem freifließenden Lahnabschnitt bei Wetzlar und der staugeregelten Lahn bei Limburg begründet werden. Die für das Kanalnetz Wetzlar ermittelten, abgeschlagenen Mischwassermengen je Ereignis liegen um mindestens eine Zehnerpotenz über den Meßwerten in Limburg.

Ein ähnliches Verhältnis spiegelt auch die spezifische Belastung für die Lahn wieder: So liegt die Abwasserlast der Kläranlage Wetzlar mit ca. 13 EW bezogen auf den Gewässerabfluß bei MNQ (l/s) deutlich über der Abwasserlast der Kläranlage Limburg mit rd. 4 EW/(l*s) bei MNQ. Aus immissionsorientierter Sicht gilt eine Abwasserlast von ca. 10 EW/(l*s) bei MNQ in

Abhängigkeit von Fließgeschwindigkeit und Tiefe als Indiz für ökologisch kritische Belastungen (BORCHARDT, 1997). Insbesondere in langsam fließenden Gewässern mit hohen Gewässertiefen stellen Mischwassereinleitungen aufgrund des verminderten physikalischen Gasaustausches ein hohes Gefährdungspotential für den Sauerstoffhaushalt dar.

Den Einfluß von Mischwassereinleitungen aus dem Entwässerungssystem Limburg auf den Stoffhaushalt der Lahn belegt Abbildung 6.5: Nach einem Entlastungsereignis am 11.06.96 treten Sauerstoffdefizite zeitgleich mit Ammoniumspitzen auf. In Verbindung mit den veränderten morphologischen und hydraulischen Eigenschaften der Lahn in Bereich von Stauhaltungen sind solche Phasen besonders kritisch für die aquatische Lebensgemeinschaft. Die ökologische Bedeutung des Ammoniums beruht auf dem Dissoziationsgleichgewicht mit Ammoniak. In Abhängigkeit von pH-Wert und Temperatur entsteht fischgiftiges Ammoniak.

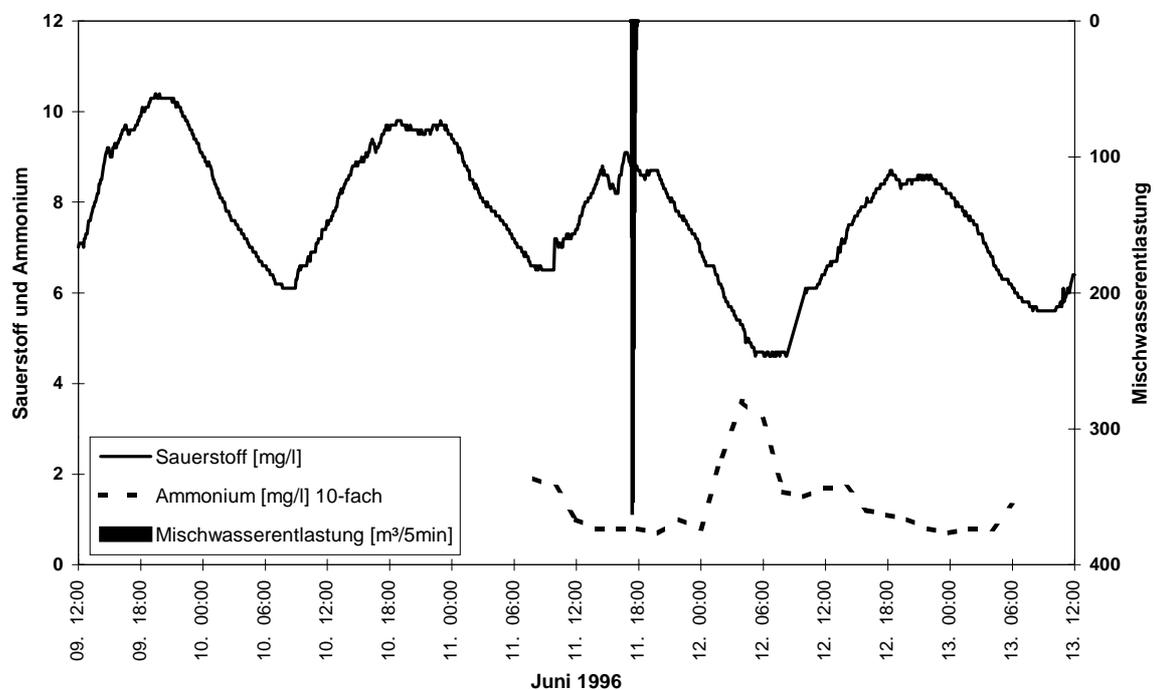


Abbildung 6.5: Ganglinien zu Ammonium- und Sauerstoffgehalten in der Lahn vor und nach einem Entlastungsereignis aus dem Kanalnetz Limburg

Betrachtungen zu den Auswirkungen einzelner Mischwasserentlastungen auf den Stoffhaushalt im Fließgewässer, wie sie hier beispielhaft vorgestellt wurden, sind ein wichtiger Bestandteil bei der Untersuchung der „niederschlagsbedingten Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen, befestigten Flächen“. Wie die Nährstoffbilanzen für die Flußgebiete zeigen, sind die Jahresfrachten aus Mischwasserentlastungen im Vergleich zu anderen Einträgen in ihrer Bedeutung zu relativieren.

7 ABSCHLIESSENDE BETRACHTUNG DER ERGEBNISSE

In diesem Kapitel sollen anhand von ausgewählten Parametern die Ergebnisse der Frachtschätzungen für die Einzugsgebiete der Lahn und des Neckars vergleichend dargestellt werden, um flächennutzungsbedingte Unterschiede zu verdeutlichen und die dadurch bedingte unterschiedliche Wirksamkeit von Maßnahmen herauszustellen. Hierzu ist es notwendig, eine pfadspezifische Betrachtung von Stoffströmen zu unternehmen. Einige charakteristische Eigenschaften der betrachteten Flußgebiete sollen zunächst kurz zusammengefaßt werden (genaue Beschreibung siehe Kapitel 3).

7.1 CHARAKTERISIERUNG DER EINZUGSGEBIETE VON LAHN UND NECKAR

Von wesentlicher Bedeutung zur Charakterisierung von Einzugsgebieten ist neben ihrer Flächenausdehnung die Art und Intensität der Flächennutzung. In Abbildung 7.1 ist die mittlere Verteilung der Flächennutzung für die beiden Testgebiete dargestellt. Als weitere relevante Informationen sind die Einwohnerdichten, die Anschlußgrade für Kanalisation und Kläranlage und die Ausbaugrade der Regenwasserbehandlung sowie das Niederschlagsgeschehen in Tabelle 7.1 zusammengefaßt.

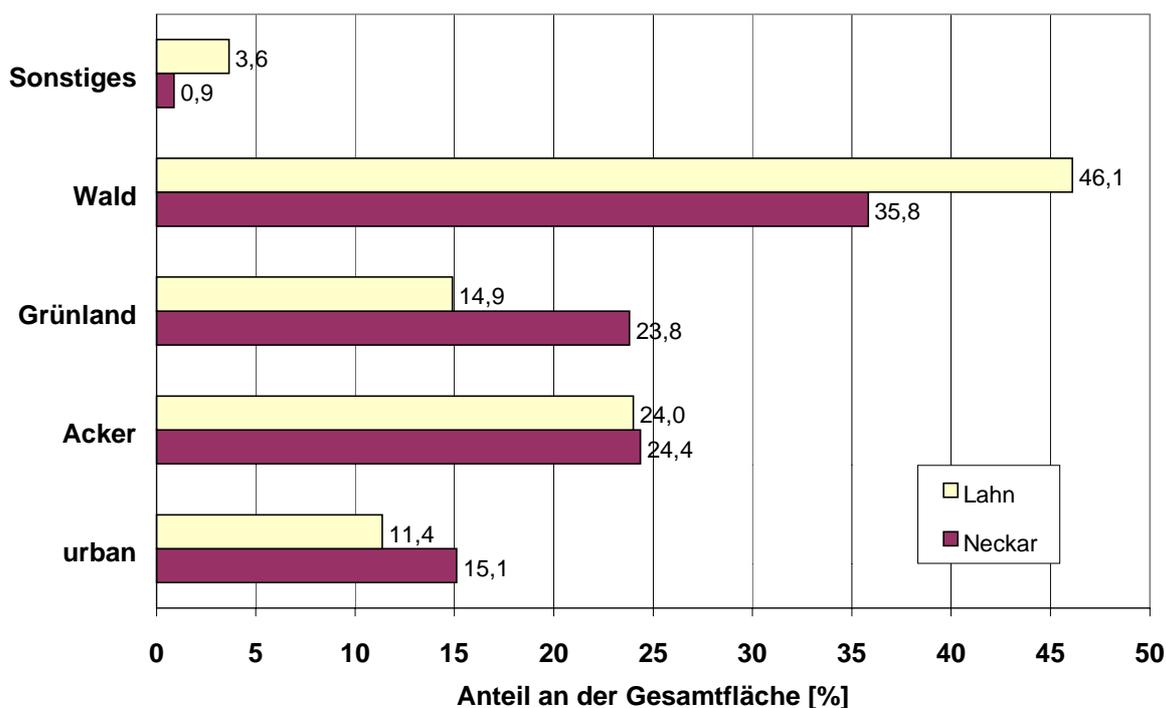


Abbildung 7.1: Flächennutzung für Lahn und Neckar

Das Neckargebiet unterscheidet sich vom Lahnggebiet gemäß Abbildung 7.1 insbesondere durch die Anteile der Grünland- und Waldflächen. Während im Lahnggebiet deutlich weniger Grünlandflächen vorhanden sind, ist der Anteil an (potentiell mit sehr geringen Emissionen verbundenen) Waldflächen um die gleiche Differenz größer. Zahlenmässig relativ klein ist der Unterschied im Anteil der Stadtfläche (3,7 %), aufgrund des hohen Austragspotentials, das urbanen Flächen zugewiesen werden kann (bzw. den dort angesiedelten Einwohnern und ihren wirtschaftlichen Aktivitäten), ist dieser Unterschied jedoch durchaus nicht zu vernachlässigen. Tabelle 7.1 unterstützt die Erkenntnis, daß das Einzugsgebiet der Lahn insgesamt als wesentlich ländlicher einzustufen ist: der Neckar hat eine (auf das gesamte Einzugsgebiet bezogene) 1,9-fache Einwohnerdichte, die Abwasserlast (s. Kapitel 6) der Lahn liegt mit 22,6 E/(l/s) deutlich unter der des Neckars (35,2 E/(l/s)).

Tabelle 7.1: Berechnungsrelevante Kenngrößen von Lahn und Neckar

Merkmale	Lahn	Neckar
Einwohnerdichte [E/km ²] ¹	197	373
Anschlußgrad Kläranlage [%]	93	99
Ausbaugrad Mischwasserbehandl. [%] ²	n. bekannt	78
Anteil Mischsystem [%]	90	96
Anteil Trennsystem [%]	10	3
Anteil Einwohner ohne KA mit SK [%] ³	6	0,3
Jahresniederschlag [mm]	580 - 970	800 - 1600
Einzugsgebietsfläche [km ²]	5.927	13.957
Fließlänge [km]	246	355
MQ am Gebietsauslaß [m ³ /s]	47	149
Mq am Gebietsauslaß [L/(s*km ²)]	8,7	10,6
Abwasserlast [E/(l/s)]	22,6	35,2

1 bezogen auf die Gesamtfläche

2 Beckenvolumen erstellt gemäß Normalanforderungen

3 SK - Sammelkanalisation

Die oben gemachten Feststellungen lassen im Neckar höhere flächenspezifische Austräge erwarten, wobei aus Tabelle 7.1 auch abzulesen ist, daß dieser Tendenz andere Trends entgegenwirken: So ist der Anschlußgrad an Kläranlagen im Neckargebiet deutlich höher, entsprechend weniger Einwohner sind dort (mit und ohne Sammelkanalisation) nicht an eine Kläranlage angeschlossen. Über den Ausbaugrad der Mischwasserbehandlung liegen zur Lahn leider keine Angaben vor. Er ist im Neckar mit 78 % jedoch als hoch einzuschätzen. Schließlich fällt auf, daß im Einzugsgebiet der Lahn mehr versiegelte Flächen im Trennsystem erschlossen sind.

Im Neckar ist neben der reinen Einzugsgebietsgröße (2,4-fach) auch der Jahresniederschlag deutlich größer, so daß es nicht verwundert, daß am Gebietsauslaß nicht nur der mittlere Abfluß wesentlich größer ausfällt, sondern auch die mittlere Abflußspende mehr als 20 % über der der Lahn liegt. Wie bereits in Kapitel 3.2 angedeutet, ist das Verhältnis von Fließlänge zu Einzugsgebietsgröße beim Neckar deutlich größer als bei der Lahn (39 vs. 24 km²/km).

Die Tabelle gibt keine Auskunft über die an sich wichtige Frage, an welcher Stelle eines Flußgebietes sich eine Emissionsquelle befindet und in welchem Lageverhältnis zum Gewässer sie anzusiedeln ist. Diese Frage wurde bei den Frachtschätzungen im Projekt generell nicht berücksichtigt.

7.2 NÄHRSTOFFE - IST-ZUSTAND

Einen interessanten Überblick über den Anteil der verschiedenen Emissionspfade an den Gesamtemissionen im Vergleich der Einzugsgebiete von Lahn und Neckar verschaffen für P_{ges} Abbildung 7.2 und für N_{ges} Abbildung 7.3. Durch die Abbildungen wird deutlich, daß Kläranlagen und diffuse Quellen in beiden Einzugsgebieten und für beide Parameter die bedeutendsten Quellen sind, es jedoch gleichzeitig signifikante stoffspezifische Unterschiede gibt.

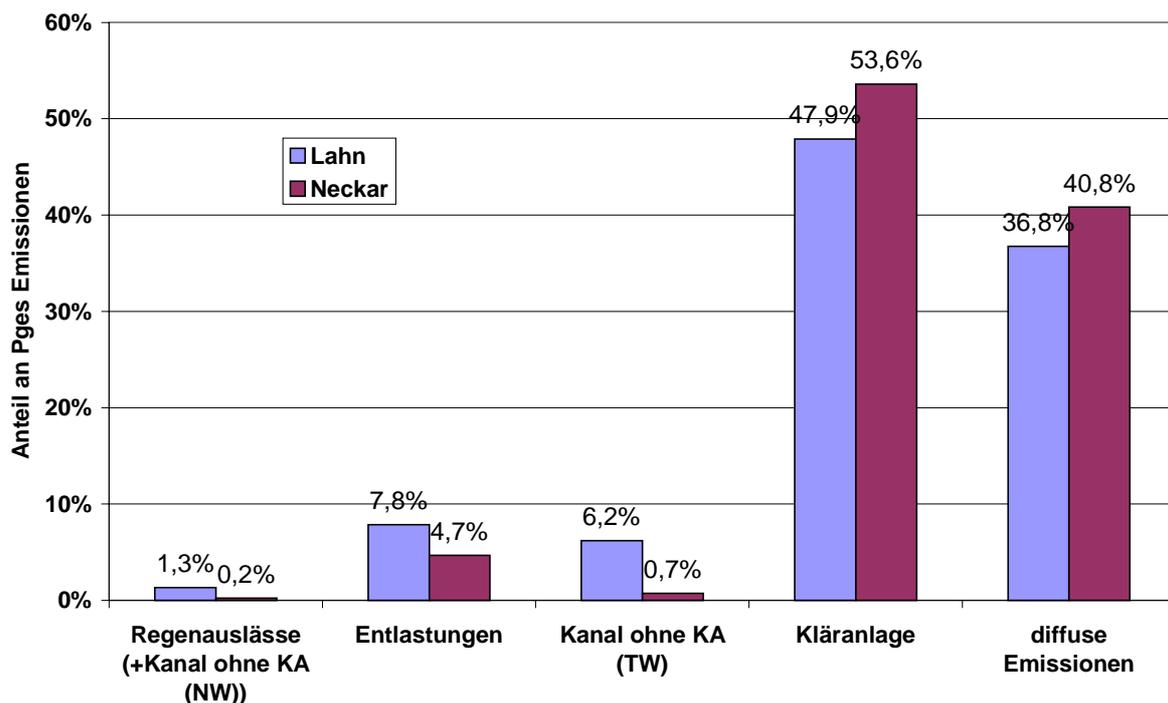


Abbildung 7.2: Anteil der einzelnen Emissionspfade an den gesamten P_{ges} Emissionen (ohne industrielle Direkt-einleiter) für Lahn und Neckar in [%], 1995

Beim Phosphor dominiert der Eintrag über Kläranlagenabläufe das Emissionsgeschehen (47,9 % - Lahn bzw. 53,6 % - Neckar), ca. ein Viertel weniger wird durch diffuse Quellen in die Gewässer Lahn und Neckar emittiert. Deutlich weniger wichtig - aber noch nennenswert - sind die Einträge durch Entlastungen und, in der Lahn, durch Kanäle, die nicht an Kläranlagen angeschlossen sind. Der große Unterschied zwischen den Flußgebieten im Anteil dieses Pfades, sowie bei den Regenauslässe und den Kanälen ohne Kläranlage bei Niederschlagswetter, läßt sich direkt zurückführen auf die unterschiedlichen Gebiets-eigenschaften, wie sie schon in Kapitel 7.1 dargestellt wurden. Es spricht für das in diesem Projekt erarbeitete Modell, daß sich die Unterschiede in den Eigenschaften der Gebiete auch in entsprechenden verschiedenen Anteilen an den Gesamtemissionen widerspiegeln.

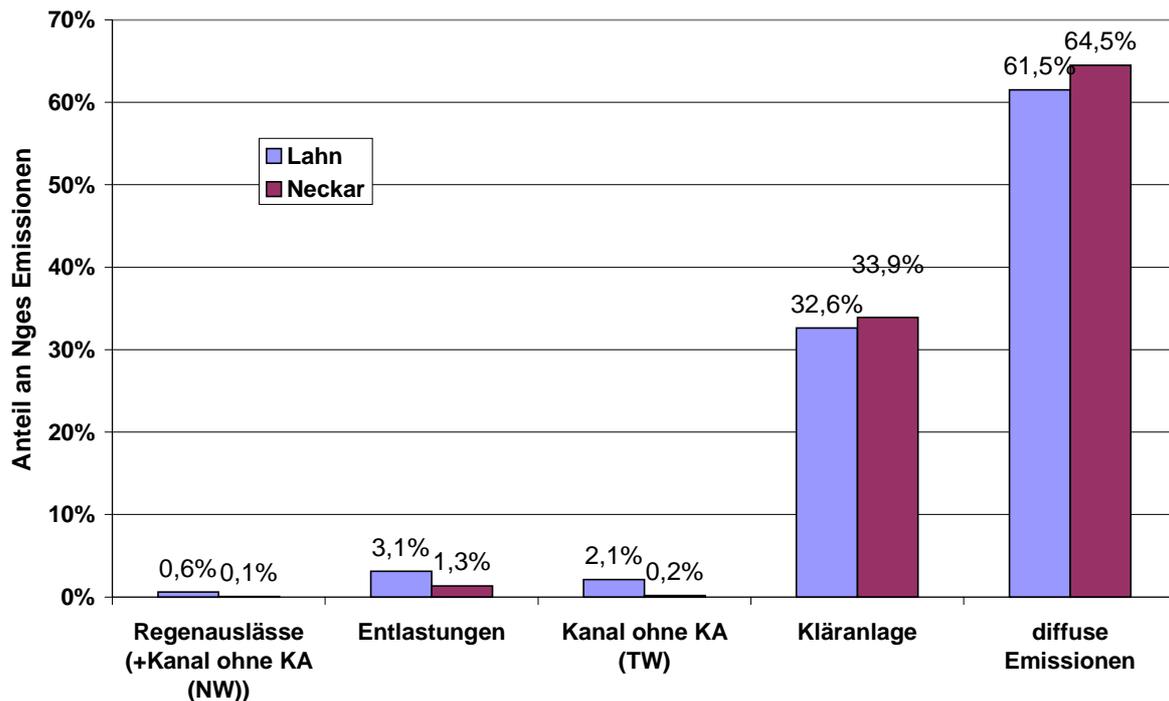


Abbildung 7.3: Anteil der einzelnen Emissionspfade an den gesamten N_{ges} -Emissionen (ohne industrielle Direkt-einleiter) für Lahn und Neckar in [%], 1995

Bei den Emissionen des Gesamtstickstoffs liefern ganz offensichtlich die diffusen Quellen den maßgeblichen Anteil der Emissionen in die Fließgewässer (61,5 % - Lahn bzw. 64,5 % - Neckar). Die Kläranlagen, als zweit wichtigste Emittenten, wurden mit knapp der Hälfte der Fracht der diffusen Quellen abgeschätzt. Schon die Mischwasserentlastungen spielen eine wesentlich geringere Rolle als beim Phosphor (3,1 % - Lahn bzw. 1,3 % - Neckar) und nur im Gebiet der Lahn sind die Emissionen aus Kanälen ohne Kläranlagenanschluß bei Trockenwetter noch nennenswert (2,1 %).

Die stärker urbane Prägung des Neckars und seine intensiver betriebene Landwirtschaft, wie sie in Kapitel 7.1 bereits erwähnt wurden, können anhand eines Vergleichs der flächenspezifischen Emissionen deutlich gemacht werden, wie er in Abbildung 7.4 beispielhaft für P_{ges} dargestellt wird. Es zeigt sich, daß pro Quadratkilometer Einzugsgebietsfläche im Neckar wesentlich mehr P_{ges} aus Kläranlagen (65,9 [g/(km²*a)] - Neckar bzw. 49,5 [g/(km²*a)] - Lahn) und aus diffusen Quellen (50,2 [g/(km²*a)] bzw. 38,0 [g/(km²*a)] - Lahn) eingetragen wird. Beim Stickstoff ist das Bild ähnlich (nicht dargestellt).

Aber nicht alle flächenspezifischen Emissionen sind im Neckargebiet größer. In Abbildung 7.4 fällt auf, daß in der Lahn die Pfade der Entlastungen, der Regenauslässe und der Kanäle ohne Kläranlagen größer sind. Diese Beobachtung stärkt die in Kapitel 7.1 geäußerte Vermutung, daß der Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung im Neckareinzugsgebiet hoch ist im Vergleich zum Lahneinzugsgebiet. Sie ist zudem korrespondierend zu den Zahlen in Tabelle 7.1, nach der im Lahneinzugsgebiet ein vergleichsweise hoher Anteil der Bevölkerung nicht an eine Kläranlage angeschlossen ist. Das Bild wird abgerundet durch Abbildung 7.5, die einen Vergleich der einwohnerspezifischen Emissionen zeigt.

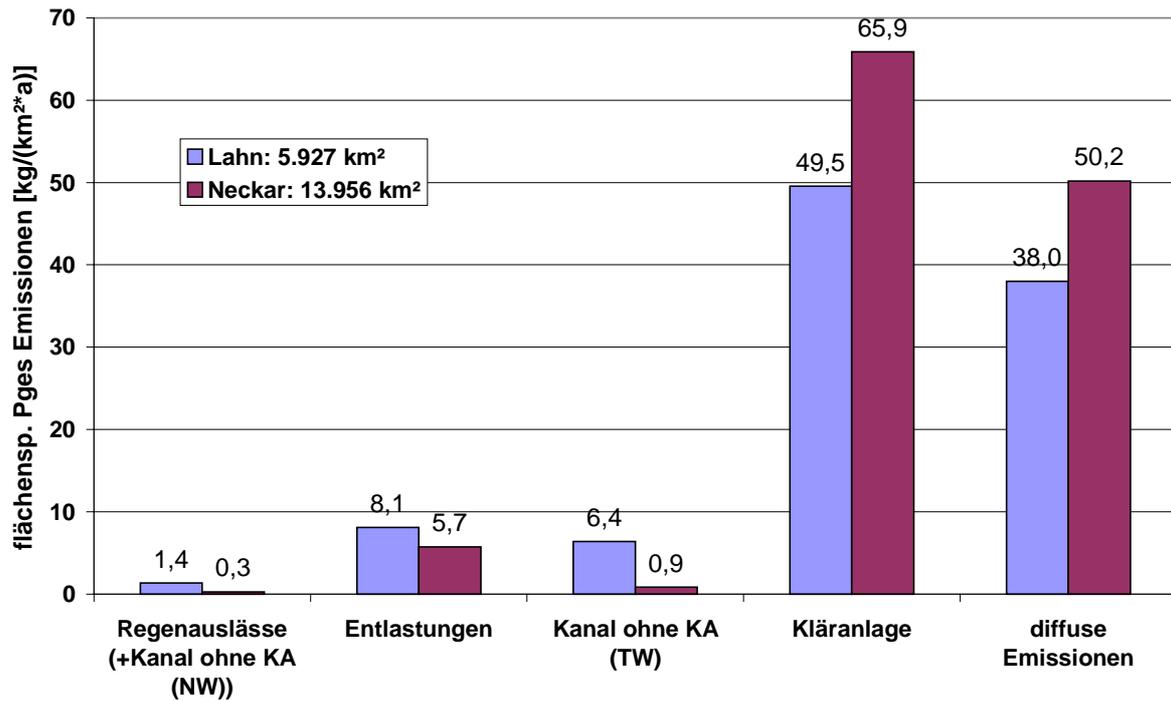


Abbildung 7.4: Flächenspezifische P_{ges} -Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter) für Lahn und Neckar in $[kg/(km^2 \cdot a)]$, 1995

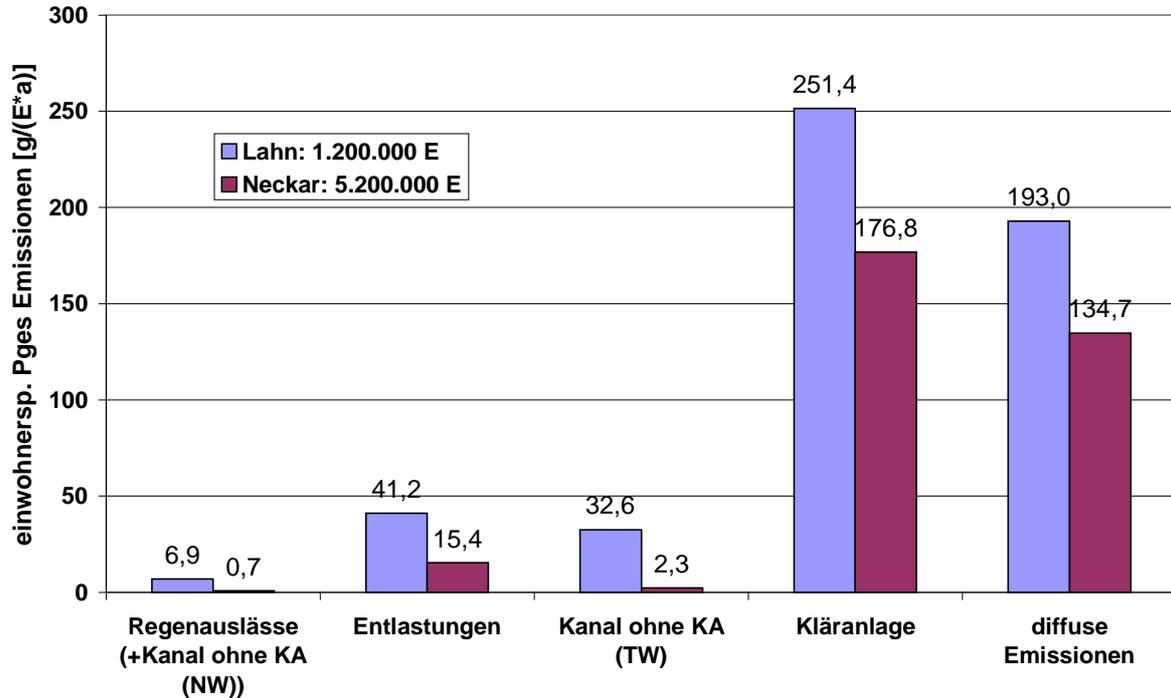


Abbildung 7.5: Einwohnerspezifische P_{ges} -Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter) für Lahn und Neckar in $[g/(E \cdot a)]$, 1995

Abbildung 7.5 zeigt sehr deutlich, daß die Regenwasserbehandlung im Einzugsgebiet des Neckars zu einem wesentlich höheren Grad ausgebaut ist als in dem der Lahn. Es zeigt sich, daß die einwohnerspezifischen Entlastungsfrachten des Neckars weniger als halb so groß sind wie bei der Lahn. Ein weiterer interessanter Punkt wird erst in dieser Abbildung deutlich: Auch die einwohnerspezifischen Frachten aus Kläranlagen sind im Neckargebiet kleiner, obwohl der Anteil der Einwohner, der an diese angeschlossen ist, größer ist als im Lahnggebiet. Die Zahlen weisen darauf hin, daß die Kläranlagen im Neckargebiet zu einem höheren Grad mit weitergehenden Stufen ausgerüstet sind. Schließlich ist es nicht verwunderlich, daß im Einzugsgebiet der Lahn angesichts des größeren Anteils an Trennsystemen und an Einwohnern, die einen Kanal ohne Kläranlagenanschluß haben, die entsprechenden Pfade einwohnerspezifisch wesentlich höhere Frachten emittieren als beim Neckar.

Die gleichen Schlüsse können auch aus den entsprechenden Ergebnissen für den Gesamtstickstoff gezogen werden (nicht dargestellt).

7.3 SCHWERMETALLE - IST-ZUSTAND

In Abbildung 7.6 sind für die sechs im Projekt betrachteten Schwermetalle die Anteile der Emissionspfade an den gesamten Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter) dargestellt, wobei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen werden muß, daß die Zahlen der „diffusen Emissionen“ nur den Eintrag über Wassererosion berücksichtigen.

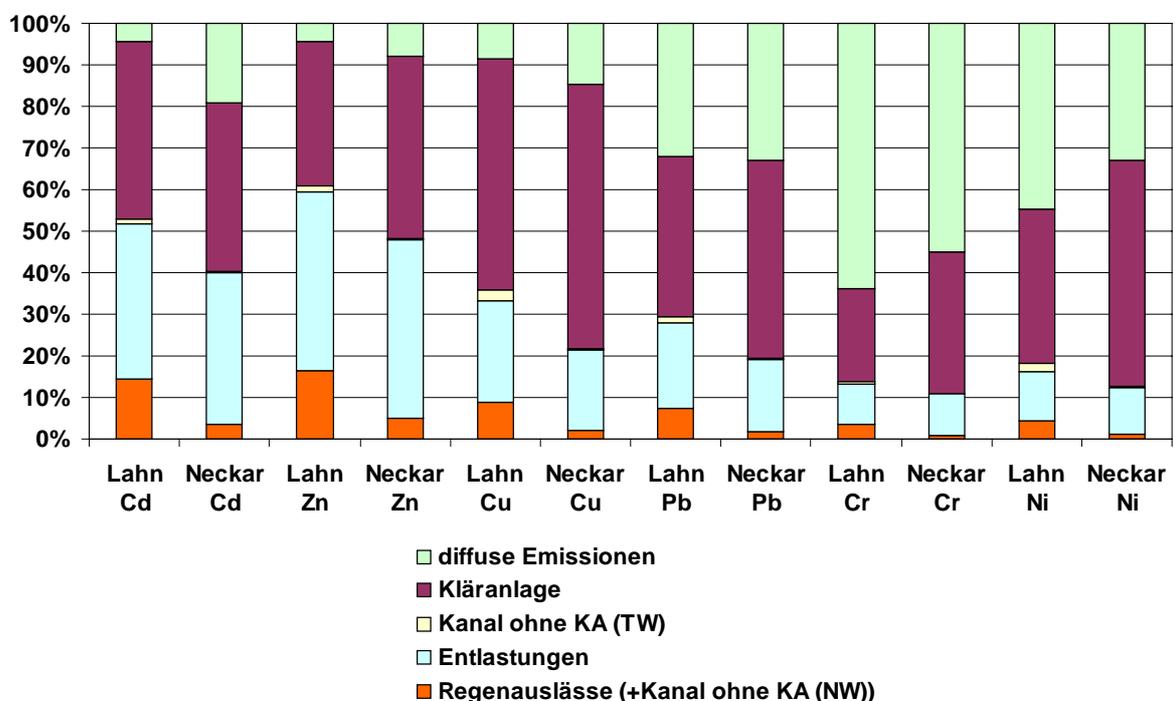


Abbildung 7.6: Anteile der Emissionspfade an den gesamten Schwermetall Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter) für Lahn und Neckar in [%], 1995

Es zeigt sich, daß die Schwermetalle bezüglich der Anteile der Eintragspfade in 3 Gruppen unterteilt werden können: Für Cadmium und Zink liegen die Beiträge durch Kläranlagenabläufe und Mischwasserentlastungen quasi in gleicher Höhe, die Chrom und Nickel Emissionen sind durch Kläranlagenabläufe und diffuse Einträge (von einer Größenordnung wie bei den Nährstoffen) geprägt und für Kupfer und Blei haben Mischwasserentlastungen und diffuse Quellen nach Kläranlagenabläufen eine ähnlich große Bedeutung.

Die enorm hohen Cadmium und Zink Einträge durch Entlastungen sind auf die (vergleichsweise) hohen Oberflächenabtragspotentiale zurückzuführen, welche sowohl im Lahn-, als auch im Neckar-Einzugsgebiet im Vergleich zu den anderen Schwermetallen zu dem jeweils größten Anteil des Pfades „Regenauslässe und Kanäle ohne Kläranlage bei Niederschlagsabfluß“ führen. Entsprechend dem höheren Anteil an Gebieten im Trennsystem und an Kanälen ohne Kläranlage im Einzugsgebiet der Lahn sind die Frachtanteile dort auch deutlich größer als im Neckargebiet.

Ein großer Beitrag der diffusen Quellen wurde für beide Flußgebiete einheitlich für Chrom, Nickel und - mit Einschränkungen - Blei ausgewiesen. Dies spricht ebenfalls für die hier präsentierten Methoden: Die in den einzelnen Bilanzgebieten verwendeten Eingangsdaten stammen aus z.T. sehr unterschiedlichen Quellen und obwohl kleinere Unterschiede durchaus plausibel sind (sie kommen über unterschiedliche Bodenabträge bzw. Oberbodengehalte im Modell zum Tragen), ist es doch zu erwarten, daß generelle Tendenzen in Lahn und Neckar ähnlich ausfallen. Die Erfahrungen im Gebiet der Lahn zeigen allerdings, daß insbesondere für Chrom und Nickel durch eine Hinzunahme industrieller Direkteinleiter eine deutliche Änderung des Emissionsbildes zu erwarten wäre.

Gleiches gilt auch in etwas abgeschwächter Form für Kupfer, welches schon jetzt in Lahn und Neckar durch den größten Anteil an Emission aus Kläranlagenabläufen auffällt. Das Kupfer im häuslichen Abwasser stammt überwiegend aus den Installationen, im gesamten kommunalen Abwasser jedoch zum größten Teil aus den gewerblichen und industriellen Abwässern. Aufgrund der Bedeutung der häuslichen Abwässer hat auch der Emissionspfad „Kanal ohne Kläranlage bei Trockenwetter“ beim Kupfer eine relativ große Bedeutung, die - entsprechend den Verhältnissen im Einzugsgebiet - bei der Lahn deutlicher ausgeprägt ist als beim Neckar.

Während die Verteilung der Emissionspfade der wichtigsten Quellen für Lahn und Neckar ein i.d.R. homogenes Bild ergab, lassen sich durch eine Untersuchung der einwohnerspezifischen Emissionsfrachten wiederum deutliche Unterschiede zwischen den Gebieten darstellen, wie sie schon in Kapitel 7.1 deutlich wurden. Abbildung 7.7 zeigt am Beispiel des Cadmiums die berechneten einwohnerspezifischen Emissionsfrachten von 1995 für Lahn und Neckar.

Der im Vergleich zum Neckar geringe Ausbaugrad von Kläranlagen und Regenwasserbehandlungsanlagen an der Lahn führt dazu, daß die einwohnerspezifischen Cadmium-Emissionen für die entsprechenden Pfade dort mehr als doppelt so groß sind. Bei den Regenauslässen und den Kanälen ohne Kläranlagenanschluß ist das Verhältnis sogar noch wesentlich drastischer, allerdings wird der direkte Vergleich dadurch erschwert, daß es im Gebiet der Lahn auch mehr im Trennsystem entwässerte Flächen und mehr Einwohner mit

Kanälen ohne Kläranlage gibt. Die Auswertung für die anderen Schwermetalle kommt zu analogen Bildern (nicht dargestellt).

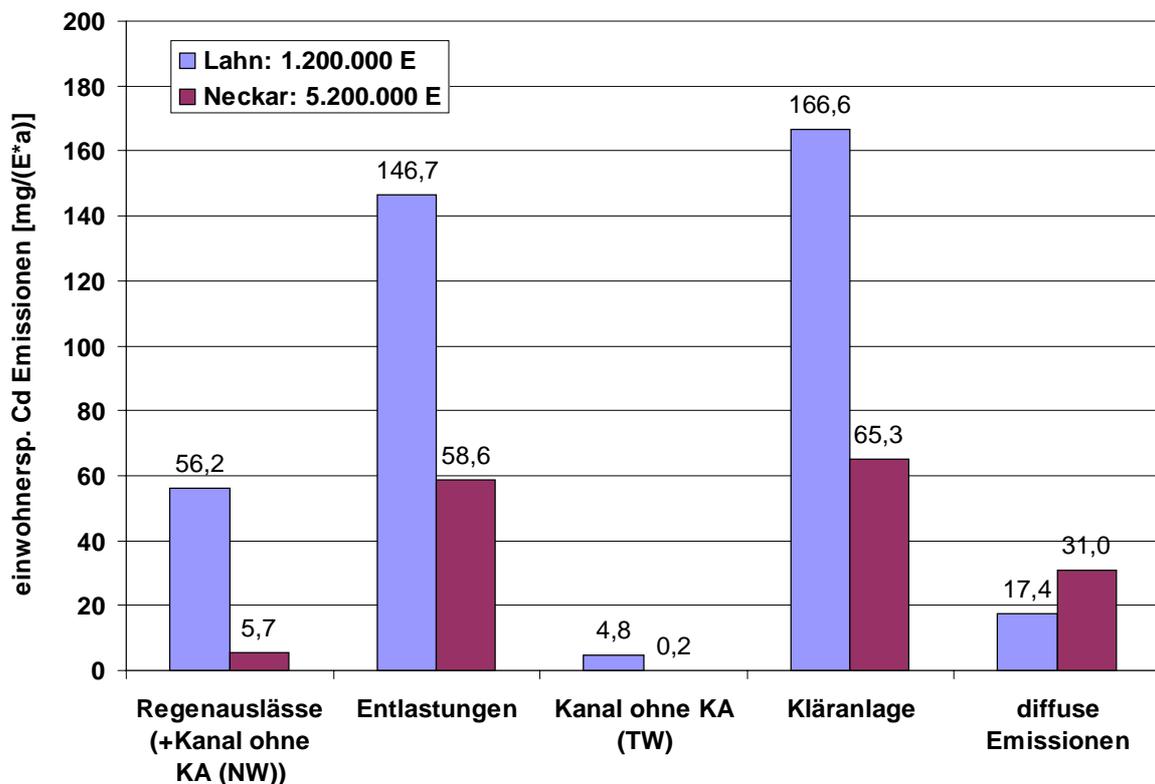


Abbildung 7.7: Einwohnerspezifische Cadmium-Emissionsfrachten für Lahn und Neckar in [mg/(E*a)], 1995

7.4 BETRACHTUNG DER SZENARIEN

Zur Vermeidung von Redundanz und der Übersichtlichkeit halber soll die Auswirkung der zusätzlich berechneten Szenarien auf das Emissionsgeschehen an dieser Stelle stark gestrafft dargestellt werden. Als Leitparameter werden Stickstoff (als Nährstoff, der zu großen Teilen gelöst transportiert wird) und Cadmium (als Vertreter der Schwermetalle, die zum überwiegenden Teil partikulär vorliegen) ausgewählt. Zudem wird von den maßnahmenbezogenen Szenarien, die auf dem Szenario „Stand der Technik“ aufbauen, lediglich jeweils ein Teilszenario dargestellt: das „Abkoppelungsszenario Mittel“ der Städtebaulichen Maßnahmen und das „Szenario Bodenfilter“ der Verfahrenstechnischen Maßnahmen.

Die Übersicht für den Stickstoff ist in Abbildung 7.8 dargestellt. Die Unterschiede in den Flußgebieten Lahn und Neckar im Bereich der Kläranlagenabläufe müssen mit Kenntnis der leicht verschiedenen Berechnungen untersucht werden (eine teilweise Verbesserung der Ablaufkonzentrationen im Neckar). Dies erklärt, warum in der Lahn teilweise höhere Emissionen aus Kläranlagen errechnet wurden (durch den Anschluß zusätzlicher Einwohner), während im Neckar eine deutlich positive Bilanz zu ziehen ist. Hinzu kommt jedoch sicherlich auch, daß im Neckar wesentlich weniger Einwohner neu an Kläranlagen angeschlossen werden mußten als in der Lahn.

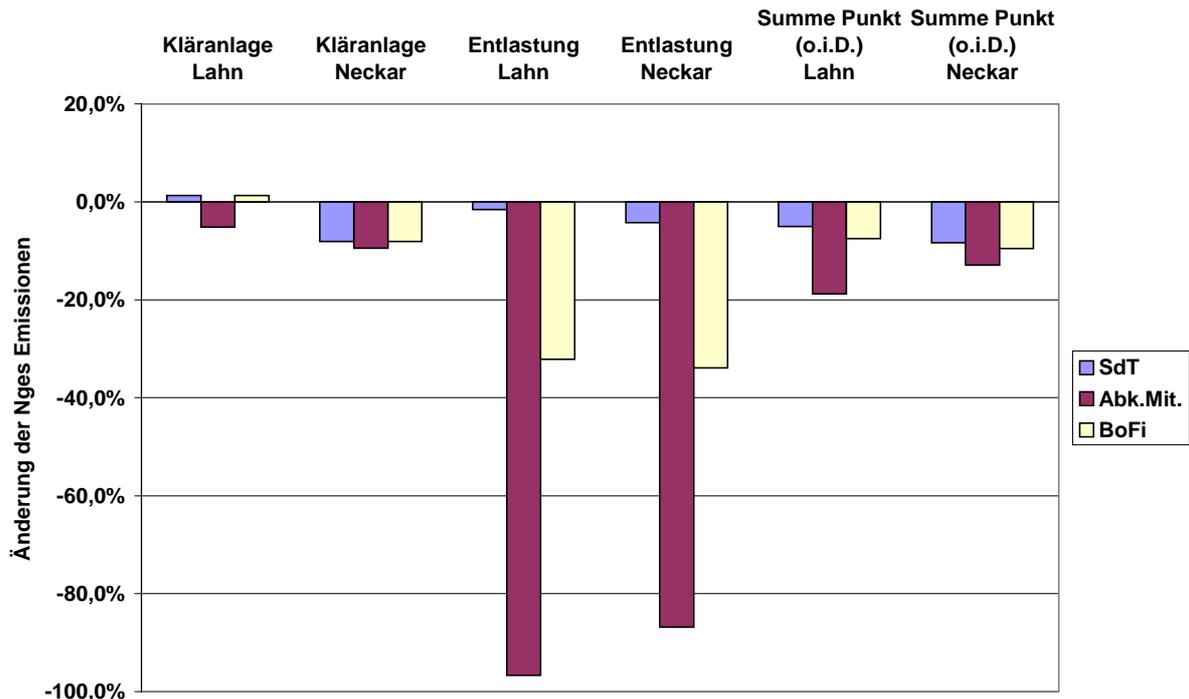


Abbildung 7.8: Veränderungen der Stickstoff-Emissionen aus ausgewählten Punktquellen (o.i.D. - ohne industrielle Direkteinleiter) in den Szenarien „Stand der Technik“, „Abkoppelung Mittel“ und „Bodenfilter“ gegenüber dem Ist-Zustand für Lahn und Neckar in [%]

In der Lahn ist darüber hinaus eine deutliche, im Neckar eher eine geringe Verminderung der Emissionen durch Kläranlagen zufolge Abkoppelung von Flächen zu verzeichnen (durch die Abkoppelung wird weniger Regenwasser auf die Kläranlagen geleitet). Dadurch, daß das Einzugsgebiet der Lahn stärker ländlich geprägt ist, können dort mehr Flächen vom Netz abgekoppelt werden. Die Reduktion ist also größer als im Neckargebiet und dementsprechend auch die Verminderung der Emissionen durch Kläranlagenabläufe. Im Szenario Bodenfilter ergibt sich per Modelldefinition keine Veränderung gegenüber dem Stand der Technik.

Bezüglich der Emissionen durch Mischwasserentlastungen ist erwartungsgemäß für alle drei Szenarien und in beiden Flußgebieten eine z.T. deutliche Reduktion zu verzeichnen. Dabei mag auf den ersten Blick überraschen, daß im Gebiet des Neckars, trotz der zuvor postulierten, besser ausgebauten Regenwasserbehandlung, die Verbesserung größer ausfällt. Dabei muß aber berücksichtigt werden, daß die Reduktion im Bereich der Entlastungen ein Produkt zweier gegenläufiger Prozesse ist: Durch den Ausbau der Behandlungsanlagen entsteht ein Rückhalt von Frachten; durch den zusätzlichen Anschluß von Einwohnern an das Kanalnetz steigen die zu behandelnden Stoffmengen. Die Maßnahme „zusätzlicher Anschluss von Einwohnern an das Kanalnetz“ wurde im Lahnggebiet wesentlich häufiger durchgeführt als im Neckargebiet.

Enorm sind die Emissionsminderungen im Bereich der Entlastungen für die Szenarien „Abkoppelung Mittel“ und „Bodenfilter“. Es muß aber auch betont werden, daß beide Szenarien sehr weit gehen. Die Abkoppelung Mittel überschreitet die Grenzen dessen, was als realistisch angesehen werden kann (s. Kapitel 4.6) und ein flächenhafter Einsatz von

Bodenfiltern ist ebenfalls kaum vorstellbar. Die Verminderung bei der Abkoppelung ist im Lahnggebiet etwas größer, was auf das höhere Maß der abgekoppelten Flächen zurückzuführen ist (s.o.). Durch die im Modell verwendeten Formeln ist die Abnahme beim Szenario Bodenfilter in beiden Flußgebieten per se gleich. Die geringe Differenz im Ergebnis ist auf die unterschiedliche „Ausgangsbasis“ (das Szenario „Stand der Technik“) zurückzuführen.

Für eine Beurteilung der Maßnahmen auf Basis von Jahresfrachten ist letztendlich die Abminderung von Emissionen in ihrer Summe ausschlaggebend, welche (ohne die industriellen Direkteinleiter) ebenfalls in Abbildung 7.8 dargestellt sind. Dabei relativiert sich naturgemäß der große Erfolg bei den Entlastungen, da diese beim Stickstoff insgesamt nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Das Bild der Summe der Punktquellen spiegelt stark die Ergebnisse für die Kläranlagenabläufe wieder, wobei berücksichtigt werden muß, daß ein wesentlicher Faktor zur Entlastung der Gewässer gegenüber dem Ist-Zustand durch die Aufhebung der Kanäle ohne Kläranlage beigesteuert wird, die in der Abbildung nicht dargestellt sind (ihr Beitrag reduziert sich definitionsgemäß konstant um 100 %). Diese trugen im Gebiet der Lahn immerhin mit etwas mehr als 6 % zu den gesamten punktuellen Emissionen bei. Angesichts der enormen Anstrengungen, die unternommen werden müßten, um das Szenario „Abkoppelung Mittel“ umzusetzen, erscheint der Erfolg einer Reduzierung der punktuellen Stickstoff Quellen um 19 % (Lahn) bzw. 13 % eher mager.

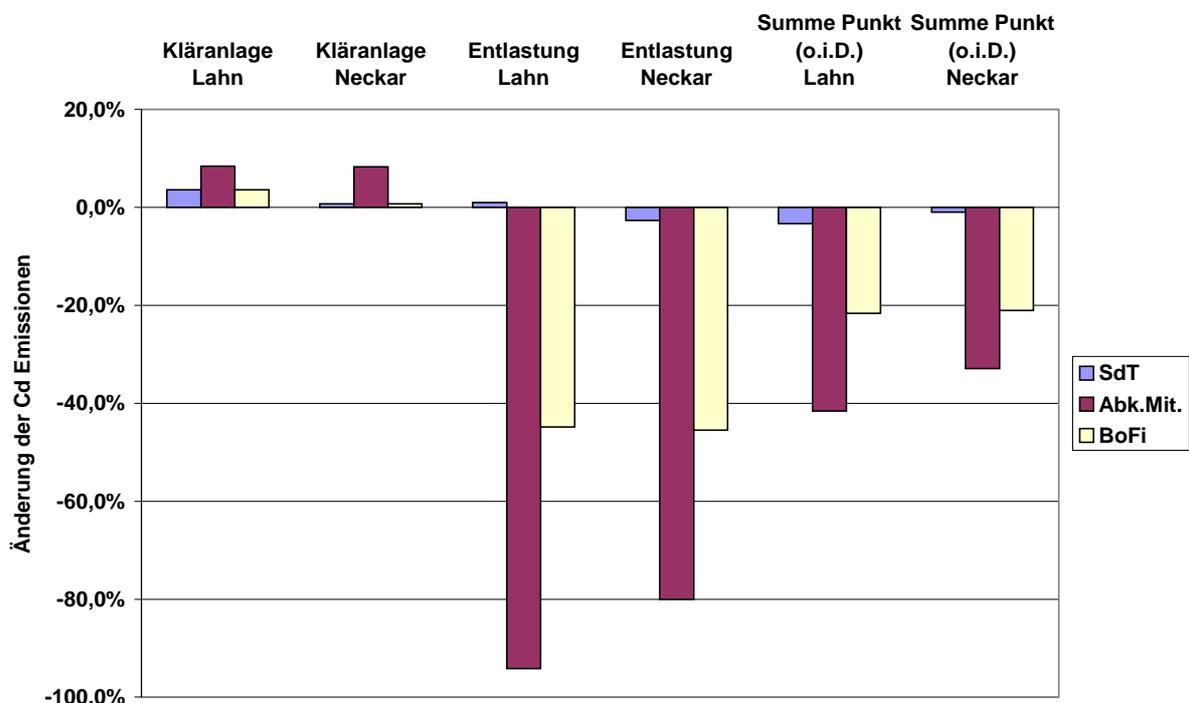


Abbildung 7.9: Veränderungen der Cadmium-Emissionen aus ausgewählten Punktquellen (o.i.D. - ohne industrielle Direkteinleiter) in den Szenarien „Stand der Technik“, „Abkopplung Mittel“ und „Bodenfilter“ gegenüber dem Ist-Zustand für Lahn und Neckar in [%]

Die graphische Darstellung ausgewählter Ergebnisse für das Cadmium wird durch Abbildung 7.9 geleistet. Wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln erwähnt wurde, steigen für Cadmium für alle drei Szenarien in Lahn und Neckar die Emissionen durch Kläranlagen. Ein wesentlicher Grund dafür ist die ebenfalls bereits genannte „Abschaffung“ der Kanäle ohne Kläranlagen, die sich natürlich im Lahnggebiet wesentlich stärker bemerkbar macht. Die zusätzliche Verschlechterung im Szenario „Abkoppelung Mittel“ ist auf die gestiegene Konzentration bei Niederschlagsabfluß zurückzuführen, die beim Cadmium stärker zum Tragen kommt als beim Stickstoff.

Bei den Mischwasserentlastungen fällt im Lahnggebiet die zusätzliche Belastung der Kanalnetze durch den Neuanschluß der Kanäle ohne Kläranlagen so groß aus, daß auch im „Stand der Technik“ eine negative Bilanz zu verzeichnen ist. Die Abnahme der prozentualen Emissionen durch das Szenario „Abkoppelung Mittel“ ist ähnlich der beim Stickstoff, Bodenfilter können allerdings das stärker partikulär gebundene Cadmium besser zurückhalten, so daß die Abnahme hier für Lahn und Neckar ca. 45 % beträgt.

Deutlich ist der Unterschied in den Emissionsminderungen durch die Szenarien bei der Betrachtung der Summe der Punktquellen (ohne industrielle Direkteinleiter). Dadurch, daß bei Cadmium Entlastungen generell eine größere Bedeutung haben als bei Stickstoff, führen die maßnahmenorientierten Szenarien hier auch zu wesentlich besseren Ergebnissen. Das Bild ist nun nicht durch die Ergebnisse bei den Kläranlagen, sondern durch die Ergebnisse bei den Entlastungen geprägt.

Die Untersuchung der Ergebnisse der Szenarienberechnung zeigen, daß die Emissionen durch Mischwasserentlastungen drastisch gesenkt werden können. Dies wirkt sich aber - je nach betrachtetem Stoff - teilweise nur sehr schwach positiv auf die gesamten punktförmigen Emissionsquellen aus. So würde, den Stickstoff analysierend, die Reduktion selbst bei sehr hohem Einsatz nur bis zu einer Verminderung der Jahresfrachten um weniger als 20 % führen, für Cadmium werden jedoch mehr als doppelt so hohe Werte erreicht.

8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Auf Basis der in den Phasen I und II erarbeiteten Grundlagen zum Aufkommen, Transport und Verbleib von Nähr- und Zehrstoffen bzw. anthropogenen Schadstoffen in urbanen Entwässerungssystemen wurden Hochrechnungen für die Flußgebiete der Lahn und des Neckars vorgenommen. Die hierzu erforderlichen weiteren Informationen und Datensätze waren gemäß der Projektkonzeption allgemein verfügbaren Datenquellen zu entnehmen oder von den a.a.R.d.T abzuleiten, welche in einem GIS zusammen mit digitalen Karten integriert wurden. Eine darüber hinaus gehende Datenerhebung sollte nicht stattfinden. Auf Basis dieser Vorgaben wurde ein Instrumentarium zur Berechnung der Stoffeinträge in die Gewässer entwickelt.

Bei der Aufstellung dieser Bilanzierungsansätzen war es erforderlich, eine Vielzahl verschiedener Annahmen zu treffen, die unterschiedlich gut oder schlecht abgesichert sind. Die Berechnungsansätze und die Ermittlung der Jahresfrachten sind aber unmittelbar nachvollziehbar. Unsicherheiten lassen sich direkt auf die angenommenen Eingangswerte (z.B. Frachtpotentiale) beziehen. Die grundsätzliche Eignung der entwickelten Ansätze konnte durch den Ergebnisvergleich von Lahn und Neckar und mit Literaturangaben deutlich gemacht werden. Die regionalen Unterschiede beider Einzugsgebiete (z.B. Anschlußgrade an Kläranlagen, Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung) konnten folgerichtig abgebildet werden.

Ca. 60% der Phosphoreinträge stammen aus Punktquellen; rd. 40 % sind auf diffuse Einträge zurückzuführen. Bei Stickstoff liegen umgekehrte Verhältnisse vor: ca. 40% der Stoffe stammen aus Punktquellen; rd. 60% werden flächenhaft eingetragen. Die Punktquellen werden dabei in jedem Fall deutlich von den Kläranlagenabläufen dominiert (zwischen 75 % und 95 %). Die berechneten Gesamtemissionen an Phosphor und Stickstoff in Lahn und Neckar, sowie die daraus abgeleiteten flächenspezifischen Werte sind in Tabelle 8.1 angegeben.

Tabelle 8.1: Summe der Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter) von N_{ges} und P_{ges} in Lahn und Neckar 1995, in [t/a] bzw. flächenspezifisch in [kg/(km²*a)]

		Lahn		Neckar	
		P_{ges}	N_{ges}	P_{ges}	N_{ges}
Emissionen (o.i.D.)	[t/a]	613	9748	1716	37952
Emissionen (o.i.D.)	[kg/km ² *a]	103	1645	123	2719

Die für Siedlungsgebiete berechneten Stoffausträge differenziert nach Kläranlagen und Kanalsystemen bei Trocken- und Regenwetter zeichnen deutlich die Unterschiedlichkeit von Neckar und Lahn bezüglich der siedlungswasserwirtschaftlichen Struktur nach. So werden im Lahngbiet Stoffe über die Pfade „Kanäle ohne Kläranlagenanschluß“ und „Regenauslässe im Trennsystem“ eingetragen, die für die Nährstoffe in der Größenordnung der Mischwassereinleitungen liegen. Im Neckargebiet dagegen sind diese Eintragspfade unbedeutend, da 99% der Bevölkerung an Kläranlagen angeschlossen sind und die Kanalisation zu 96% als Mischsystem ausgebaut ist.

Die Anteile der Nährstoffeinträge über Entlastungen der Mischkanalisation erreichen bei Phosphor ca. 5% im Neckar und 8% in der Lahn sowie bei Stickstoff rd. 1% bzw. 3% und sind damit gegenüber anderen Eintragspfaden von untergeordneter Bedeutung. Haupteintragspfad für Nährstoffe sind die Kläranlagen bei Trockenwetter.

Es ergibt sich bei der Gegenüberstellung der jeweiligen Gewässerfracht (Immissions-schätzung) mit den berechneten Gesamt-Emissionen in beiden Flußgebieten eine gute Übereinstimmung. Die festgestellten Abweichungen bewegen sich in der Größenordnung der natürlichen Abbau- und Rückhaltsprozesse im Fließgewässer (BEHRENDT, 1999a; MOHAUPT et al., 1996). Genauso wird die vorliegende Aufteilung der Emissionen nach Herkunft (punktuell/diffus) durch Angaben vom Umweltbundesamt bestätigt (BEHRENDT et al., 1999)

Für die Zehrstoffe war eine solche Immissions-Emissionsanalyse nur mit Einschränkung möglich, da die diffusen Einträge nach den vorliegenden Berechnungsansätzen mangels vorhandener Eingangsgrößen nicht berechnet werden konnten. Ferner ergab auch der Vergleich der Gewässerfrachten in Neckar und Lahn Unstimmigkeiten. Die berechneten Punktquellen ergaben jedoch ein eindeutiges Bild: Für den CSB sind ebenfalls die Kläranlagen der wesentliche Eintragspfad (50 % - Lahn; 68 % - Neckar), allerdings spielen die Mischwasserentlastungen mit 30 % (Lahn) bzw. 25 % (Neckar) ebenfalls eine wesentliche Rolle. Die Kanäle ohne Kläranlagenanschluß haben lediglich in der Lahn noch eine gewisse Bedeutung (11 %).

Bei den Schwermetallen gestaltete sich die Bilanzierungsarbeit ungleich schwerer, so konnte von den diffusen Quellen nur die Wassererosion berücksichtigt werden. Metallspezifisch resultieren aus Kläranlagen zwischen 22 % und 63 % der berechneten Summe der Emissionen, Mischwasserentlastungen stellen auch eine Hauptquelle dar, sie variieren zwischen 10 % und 43 %. Eine Übersicht über die ermittelten Jahresfrachten für die Schwermetalle im Lahn- und Neckareinzugsgebiet (sowie die flächenspezifischen Werte) gibt Tabelle 8.2.

Tabelle 8.2: Summe der Emissionen (ohne industrielle Direkteinleiter, diffuse Quellen nur über Wassererosion) der Schwermetalle in Lahn und Neckar 1995, in [kg/a] bzw. flächenspezifisch in [g/(km²*a)]

	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
Lahn [kg/a]	457	95147	13024	7700	7213	7397
Neckar [kg/a]	836	168569	28818	15894	12619	14247
Lahn [g/(km ² *a)]	77	16053	2197	1299	1217	1248
Neckar [g/(km ² *a)]	60	12079	2065	1139	904	1021

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden nicht nur die IST-Zustände für die Flußeinzugsgebiete Neckar und Lahn im Bilanzjahr 1995 abgeschätzt, sondern auch verschiedene Szenarien definiert, die die Auswirkungen von siedlungswasserwirtschaftlichen Maßnahmen auf die Gewässerbelastung untersuchen sollen.

Anwendung fanden dabei das Szenario "Stand der Technik", das die Auswirkungen von Verbesserungsmaßnahmen im Bereich Kläranlagen und Regenwasserbehandlung untersucht, ein städtebauliches Szenario, welches sich mit der Wirkung von Abkoppelungsmaßnahmen beschäftigt (mit den Szenariovarianten Minimum, Mittel und Maximun) und ein verfahrenstechnisches Szenario, das Regenwasserbehandlungs-

maßnahmen durch den Einsatz von Fällung und Flockung bzw. Bodenfilter beinhaltet. Weitere mögliche Maßnahmen zur Emissionsverminderung, wie z.B. die Kanalnetzsteuerung, ließen sich leider aufgrund der ungenügenden Datenbasis und der Größe der Projektgebiete nicht berücksichtigen. Bei der Durchführung dieser Szenarien wurden die Berechnungen auf den Bilanzierungsformeln aufgebaut, die bereits bei der Ermittlung des Ausgangszustandes Anwendung gefunden haben.

Im „Stand der Technik“ konnte vor allem überall dort eine wesentliche Verbesserung erreicht werden, wo zuvor der Emissionspfad „Kanäle ohne Kläranlagen“ von Bedeutung war, also speziell beim Phosphor, CSB und Cadmium im Einzugsgebiet der Lahn. Die Szenarien zielten im wesentlichen auf die Mischwasserentlastungen ab, dort konnten enorme Frachtreduktionen ermittelt werden, wobei einschränkend gesagt werden muß, daß die Szenarien teilweise sehr weit gehen und eher dazu angelegt sind, maximal erreichbare Potentiale abzuschätzen, als anzustrebende Zielvorstellungen zu etablieren. Insbesondere beim CSB und bei den Schwermetallen konnten jedoch z.B. auch schon beim minimalen Abkopplungsszenario Frachtreduktionen von insgesamt 8 % bis zu 21 % berechnet werden.

Insgesamt wurde offensichtlich, daß Emissionsberechnungen in Flußgebieten aufgrund der im Vergleich zu urbanen Gebieten komplexeren Nutzung, der Verfügbarkeit von naturraumspezifischen Grundlagen und der Aktualität wesentlicher Eingangsgrößen heute noch mit nicht unerheblichen Unsicherheiten verbunden sind. In der Ableitung und teilweise in der Erhebung der zur Quantifizierung insbesondere der diffusen Schwermetalleinträge erforderlichen Grundlagen wird daher noch wesentlicher Forschungs-/Entwicklungsbedarf gesehen. Weiterhin ist es nach den vorliegenden Ergebnissen dringend erforderlich, daß vorhandene Datensätze zur Erreichung der mit Flußgebietsbilanzierung verbundenen Zielsetzungen aktualisiert werden.

Bei der Gegenüberstellung von Immissionen und Emissionen wird deutlich, daß ebenfalls vor allem für die Schwermetalle eine adäquate Datengrundlage fehlt. Für Lahn und Neckar liegen nur wenige, für die entsprechenden Teileinzugsgebiete keinerlei verwertbare Datensätze vor. Eine Quantifizierung der mittleren Gewässerbelastung ist damit insbesondere nicht nur wegen der unzureichend bekannten Sedimentations- und Remobilisierungsdynamik bloß eingeschränkt möglich. In der Weiterentwicklung und Ausdehnung der angelaufenen Programme zur Schwebstoffbeprobung wird daher ein weiterer wesentlicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf gesehen.

Neben der Qualität der Meßergebnisse muß außerdem häufig auch die Quantität der Messungen verbessert werden. Darüber hinaus ist wichtig, daß die Probenahme nicht nur in einem zeitlichen Rhythmus, sondern gegebenenfalls auch ereignisbezogen erfolgt. Nur so kann auch die ganze Bandbreite des Abflussspektrums beprobt werden, wodurch sich die Extrapolationsfehler entsprechend verringern würden.

Für die Siedlungsgebiete, als Bestandteil einer Flußgebietseinheit, ist trotz der gemachten Einschränkungen festzuhalten, daß ihr absoluter Beitrag zur Gewässerbelastung zuverlässig und differenziert für Kläranlagen und Kanalsysteme ermittelt werden kann. Das abgeschlossene Forschungsprojekt liefert damit einen wesentlichen Baustein für die auf das Management von Wassereinzugsgebieten ausgerichteten Bilanzierungsaufgaben.

9 LITERATUR

- ATV (1985): Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik Band IV, Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV), St. Augustin, Verlag Ernst & Sohn (3. Aufl.), Berlin
- ATV (1989): Betriebstagebuch für Kläranlagen. Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV), Landesgruppe Bayern, München
- ATV (1991): ATV-Arbeitsblatt A 131 „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5.000 Einwohnerwerten“, Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV), Hennef, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik (GFA), St. Augustin
- ATV (1992): ATV-Arbeitsblatt A 128 „Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Mischwasserkanälen“, Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV), Hennef, erschienen bei der Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik (GFA), St. Augustin
- ATV (1993): ARBEITSGRUPPE 2.1.1 Weitergehende Anforderungen an Mischwasserentlastungen - 1. Arbeitsbericht. Korrespondenz Abwasser 40, Nr. 5, S. 802-806.
- ATV (1994): Umgang mit Regenwasser - derzeitiger Stand der Regenwasserbehandlung im Trennsystem. 1. Arbeitsbericht der ATV-AG 1.4.3., Korrespondenz Abwasser, 41, 2, 304 - 310; zitiert nach Pfeiffer (1998)
- ATV (1996): Kläranlagen Nachbarschaften Baden-Württemberg. Mit 22. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen. Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV), Landesgruppe Baden-Württemberg, Stuttgart
- ATV (1997): Kläranlagennachbarschaften 1995/96. Abwassertechnische Vereinigung e.V. (ATV), Landesgruppe Hessen/Rheinland-Pfalz/Saarland, München
- AUERSWALD, K. (1989): Predicting nutrient enrichment from long-term average soil loss. Soil technology 2, pp. 271-277.
- BEHRENDT, H. (1993): Point and diffuse loads of selected pollutants in the river Rhine and its main tributaries. Research report RR-1-93, IIASA, Laxenburg, Austria
- BEHRENDT, H. (1998): Persönliche Kommunikation
- BEHRENDT, H. (1999a): A comparison of different methods of source apportionment of nutrients to river basins. Bisher unveröffentlichtes Skript

- BEHRENDT, H. (1999b): Datenbereitstellung per e-mail
- BEHRENDT, H. (1999c): Retention of nutrients in river systems: Dependence on specific runoff and hydraulic load. *Hydrobiologica*. In Druck
- BEHRENDT, H., HUBER, P., OPITZ, D., SCHMOLL, O., SCHOLZ, G. & UEBE, R. (1999): Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands, Umweltbundesamt, Texte 75/99, Berlin
- BfG (Hrsg.) (1997): Vergleich von Schätzmethode für jährliche Stofffrachten am Beispiel des IKSR-Meßprogrammes 1995 (BfG-1078), Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz
- BLESSING, U., und BÄUMLER, R. (1995): Kennzeichnung der PAK-Dynamik zweier Kleinzugsgebiete im Flysch (Tegernseer Alpen). *Mitteilungen der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft*, 76, S. 217-220
- BMBau (Hrsg.) (1988): „Städtebauliche Lösungsansätze zur Verminderung der Bodenversiegelung als Beitrag zum Bodenschutz“, - Schriftenreihe Forschung des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Heft 456, bearbeitet von Giseke, Holtmann et al., Berlin
- BMBau (Hrsg.) (1997): „Regenwasserversickerung in Siedlungsgebieten“, Forschungsvorhaben des Experimentellen Wohnungs- und Städtebaus, Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, bearbeitet vom Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover
- BORCHARDT, D., und MENHADJ, F. (1998): Entscheidungsgrundlagen für den Einsatz von Teichkläranlagen zur Abwasserreinigung im ländlichen Raum. 1. Zwischenbericht. Unveröffentlicht
- BROMBACH, H. und MICHELBAACH, S., (1998): Literaturstudie und Verfahren zur Abschätzung des einwohnerbezogenen Nährstoffaustrags aus Regenentlastungen im Einzugsgebiet des Bodensees. *Umwelt- und Fluid-Technik (UFT)*. Schlußbericht. Unveröffentlicht
- BROMBACH, H. (1988): Mehr als 8000 Regenüberlaufbecken in Betrieb! *Korrespondenz Abwasser*, Bd. 35 (12), S. 1286-1291
- BRÜNE, H. (1986): *VDLUFA-Schriftenreihe 16, Kongreßband 1985*, 85 - 102 (zitiert in SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1989)

- BUCKSTEEG, K. (1997): Anwendungsprioritäten und Leistungsvergleich technischer und naturnaher Abwasserreinigungsverfahren, Dresdner Berichte Band 11, Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft (Hrsg.), TU Dresden
- BUNDESVERKEHRSMINISTERIUM (Hrsg.) (1996): Verkehr in Zahlen.
- DECOURSEY, D.G. (1985): Mathematical models for non-point water pollution control. Journal of Soil and Water Conservation 40, S. 408-413
- DIEKAU, R. (1986): Experimentelle Untersuchungen zu Oberflächenabfluß und Bodenabtrag von Meßparzellen und landwirtschaftlichen Nutzflächen, Selbstverlag des Geographischen Institutes der Universität Heidelberg, Heidelberg
- DVWK (Hrsg.) (1998): Einträge aus diffusen Quellen in die Fließgewässer. Nähr- und Feststoffe, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK)
- DWD (1996): Bereitstellung von Stundenwerten der Niederschlagshöhe für die Station Gießen-Liebigshöhe als gedruckte Tabelle durch den Deutschen Wetterdienst
- EUROPÄISCHE UNION (1998): Geänderter Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich Wasserpolitik, Interinstitutionelles Dossier, Nr. 97/0067 (SYN), Rat der Europäischen Union, Brüssel
- FACHGEBIET INGENIEURHYDROLOGIE UND HYDRAULIK IM INSTITUT FÜR WASSERBAU DER TH DARMSTADT (Hrsg.) (1990): Dokumentation des Schmutzfrachtsimulationsmodells SMUSI Version 3.1
- FACHGEBIET SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT DER UNIVERSITÄT GH KASSEL (Bearb.) (1991): Modellhafte Erarbeitung eines ökologisch begründeten Sanierungskonzeptes für kleine Fließgewässer am Beispiel der Lahn. Teilprojekt 2: Siedlungswasserwirtschaft. 1. Zwischenbericht und Anhang. Unveröffentlicht.
- FIRK, W. (1986): Schwermetalle in Abwasser und anfallenden Schlämmen, Essener Tagung, in Gewässerschutz • Wasser • Abwasser, Band 85, Schriftenreihe des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen
- FREDE, H.-G., und DABBERT (1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft, ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg
- FUCHS, S. (1997): Wasserwirtschaftliche Konzepte und ihre Bedeutung für die Ökologie kleiner Fließgewässer - Aufgezeigt am Beispiel der Mischwasserbehandlung, Schriftenreihe des ISWW, Universität Karlsruhe, Bd. 79, Oldenbourg Verlag, München

- FUCHS, S., BUTZ, J., und HOLZ, A. (1999): Schwermetallbilanz für Neckar und Lahn. In: FUCHS, S., und HAHN, H. H. (1999), S. 131-148
- FUCHS, S., und HAHN, H. H. (1999): Schadstoffe im Regenabfluß IV, Abschlußpräsentation des BMBF-Verbundprojektes NIEDERSCHLAG. Schriftenreihe des ISWW, Bd. 96, Universität Karlsruhe, Oldenbourg Verlag, München
- GÖTTLE, A. (1978): Ursachen und Mechanismen der Regenwasserverschmutzung - Ein Beitrag zur Modellierung der Abflußbeschaffenheit in städtischen Gebieten, Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen Nr. 23, Technische Universität München
- GROTTKER, M. (1987): Regenwasserbehandlung in Trennsystemen, Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover Heft 66, Universität Hannover
- GÜNDRA, H., JÄGER, S., SCHROEDER, M., und DIKAU, R. (1995): Bodenerosionsatlas Baden-Württemberg. Agrarforschung in Baden-Württemberg, Band 24, Ulmer, Stuttgart
- HAHN, H. H., und SCHÄFER, M. (1998): Stoffströme in der Urbanhydrologie, Teil 4 – Emission/Immission. Schriftenreihe des ISWW, Universität Karlsruhe, Band 88, Oldenbourg Verlag, München
- HAHN, H. H., und XANTHOPOULOS, C. Hrsg. (1990): Schadstoffe im Regenabfluß aus städtischen Gebieten – Präsentation eines BMFT-Verbundprojekts. Schriftenreihe des ISWW, Universität Karlsruhe, Band 58, Oldenbourg Verlag, München
- HAHN, H.H., und XANTHOPOULOS, C. (1992): Schadstoffe im Regenabfluß II - Präsentation eines BMBF-Verbundprojektes, Schriftenreihe des ISWW, Universität Karlsruhe, Band 64, Eigenverlag
- HAHN, H. H., und XANTHOPOULOS, C. (1998): Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen befestigten Flächen. Phase III, Bilanzierung/Hochrechnung. Zwischenbericht 1998. Universität Karlsruhe, Institut für Siedlungswasserwirtschaft. unveröffentlicht
- HAHN, H.H., und PFEIFER, R. (1993): Perspektiven zur Entsorgung von Niederschlagsabflüssen. in: Wasser- und Bodenschutz - Anspruch und Wirklichkeit GWA 135, 147-166
- HAMM, A. (Hrsg.) (1991): Studie über Wirkungen und Qualitätsziele von Nährstoffen in Fließgewässern. Academia, St. Augustin

- HARITOPOLOU, T. (1996): Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle in urbanen Entwässerungssystemen - Aufkommen, Transport und Verbleib, Schriftenreihe des ISWW, Universität Karlsruhe, Band 77, Oldenbourg Verlag, München
- HEINZMANN, B. (1993): Beschaffenheit und weitergehende Aufbereitung von städtischen Regenabflüssen. Reihe 15, Umwelttechnik Nr. 113, Fortschrittsberichte VDI-Verlag, Düsseldorf, S. 1-198.
- HEINZMANN, B. (1994): Beschaffenheit und Bedeutung städtischer Regenabflüsse im Trennsystem, Das Gas- und Wasserfach - Wasser - Abwasser (gwf) (7/94), R. Oldenbourg Verlag, München
- HESSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (Hrsg.) (1996): Hintergrundgehalte umweltelevanter Schwermetalle in Gesteinen und oberflächennahem Untergrund Hessens. Übersichtskarte 1:300 000.
- HLfU (1973): Gewässerkundliches Flächenverzeichnis Land Hessen. Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU)
- HLfU (1995): Hessisches Gütemeßprogramm für oberirdische Gewässer. Meßergebnisse und Auswertungen. Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz. Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU). Heft 209.
- HLfU (1996-1998): Individuelle Bereitstellung von Daten. Hessische Landesanstalt für Umwelt (HLfU)
- HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE, JUGEND, FAMILIE UND GESUNDHEIT (HMUEJFG) Hrsg. (1995): Beseitigung von kommunalen Abwässern in Hessen. Lagebericht.
- HOSANG, W. (1993): Abwassertechnik. Teubner, Stuttgart.
- HSL (1996a): Hessische Gemeindestatistik 1996. Ausgewählte Strukturdaten aus Bevölkerung und Wirtschaft 1995. Hessisches Statistisches Landesamt (HSL).17. Ausgabe.
- HSL (1996b): Datenbank zur Hessischen Gemeindestatistik „Hessen regional“. Hessisches Statistisches Landesamt (HSL). Diskette und Handbuch.
- HSL (1998): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in Hessen 1975 bis 1995. Beiträge zur Statistik Hessens Nr. 329. Hessisches Statistisches Landesamt (HSL)

- HSL (1997 u. 1998): Individuelle Bereitstellung von Daen. Hessisches Statistisches Landesamt, Abteilung IV A „Umwelt-Abwasser“(HSL)
- INSTITUTE FÜR WATER QUALITY AND WASTE MANAGEMENT & DEPARTMENT OF WATER AND WASTEWATER ENGINEERING, 1997: Nutrient Balances für Danube Countries, Final Report, University of Technology, Vienna, University of Technology, Budapest, Danube Applied Research Programm, Project EU/AR/102A/91
- HUBER, P., und BEHRENDT, H. (1998): GIS - gestützte Modellierung des erosionsbedingten Eintragspotentials in Fließgewässer, Tagungsbericht 1997 der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL), Eigenverlag der DGL, Krefeld
- JAKOBS, J., KARAVOKIROS, G., ZIMMERMANN, J., RAMMACHER, J., und SCHMITT, T.G. (1997): Anwendung des Simulationsmodells HAuSS zur Schadstoffberechnung. In: SCHMITT (1995). S. 49 - 102
- JAKOBS, J., KARAVOKIROS, G., und ZIMMERMANN, J. (1995): Konzept und Aufbau des Schmutzfrachtmodells HAuSS. In: XANTHOPOULOS und HAHN (1995). S. 269 - 292
- JAKOBS, J. (1998): Quantifizierung der Wirkung von Kanalnetzbewirtschaftungsmaßnahmen mit Hilfe des detailliert hydrodynamischen Schmutzfrachtmodells HAuSS, Schriftenreihe des ISWW, Universität Karlsruhe, Bd. 84
- JUNG, L., und BRECHTEL, R. (1980): Messungen von Oberflächenabfluß und Bodenabtrag auf verschiedenen Böden der Bundesrepublik Deutschland, Schriftenreihe des deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), Band 48, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- KERN, U. (1997): Transport von Schweb- und Schadstoffen in staugeregelten Fließgewässern am Beispiel des Neckars. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau, Universität Stuttgart, Heft 93, 209 S.
- KISHI, R. (2000): Einzugsgebietseigenschaften und Fließgewässergüte (Modellierung stofflicher Parameter mit Hilfe raumbezogener Daten), Schriftenreihe des ISWW, Universität Karlsruhe, Bd. 99, Oldenbourg Verlag, München (in Vorbereitung)
- KLEPISZWESKI, K. (1997): Untersuchung zur Auswirkung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen auf die Bemessung von Regenentlastungsbauwerken und die Reinigungsleistung von Abwasserreinigungsanlagen, Diplomarbeit, Fachgebiet für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Kaiserslautern (unveröffentlicht)
- KLOPP, R. (1986): Über die Ermittlung von Frachten in Fließgewässern. Vom Wasser 66, S. 149-158

- KOPPE, P., und STOZEK, A. (1993): Kommunales Abwasser, Vulkan-Verlag (3. Aufl.), Essen
- KRAUTH, Kh., und SCHWENTNER, G. (1992): Einfluß von Stoßbelastungen bei Mischwasserzufluß auf die Ablaufqualität von Belebungsanlagen, Schlußbericht Niederschlag Phase I, Teilprojekt 6, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft, Universität Stuttgart
- KUNTER, K. (1999): Betriebsüberwachung und -steuerung von Regenbecken und Kanalnetzen, ATV-Seminare für die Abwasserpraxis, 15./16.März 1999, ATV, Hennef
- LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ (Hrsg.) (1998): Sanierungskonzept Lahn – Rheinland-Pfalz. Aktion blau. Gewässerentwicklung in Rheinland-Pfalz. Heft 3. Schlußbericht
- LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (1991): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch. Rheingebiet Teil III. Mittel- und Niederrhein mit deutschem Issel- und Maasgebiet.
- LAWA (1998a): Sitzungen der Arbeitskreise „Qualitative Hydrologie Fließgewässer“ (QHF) und „Zielvorgaben“ (ZV) im April/ Mai 1998, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), unveröffentlicht
- LAWA (1998b): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland. Chemische Gewässergüteklassifikation. Konzepte und Strategien. Oberirdische Gewässer. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA)
- LEINWEBER, U., und SCHMITT, T. G. (1998): Untersuchungen zur Versickerung und Regenwasserbehandlung ländlicher Gemeinden, Fachgebiet für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Kaiserslautern, Schlussbericht zum gleichnamigen Forschungsprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück
- LESCHBER, R., MÜLLER-WEGENER, U., und SCHMIDT, R. (Hrsg.) (1993): Boden- und Grundwasserverunreinigungen aus Punkt- und Flächenquellen, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Band 90, G. Fischer, Stuttgart
- LfU (1995): Handbuch Wasser 2: Morphologischer Zustand der fließgewässer Baden-Württembergs, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU), Karlsruhe
- LfU (1997a): Jahresdatenkatalog 1996, CD-Rom, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU), Karlsruhe
- LfU (1997b): Handbuch Wasser 2: Biologische Feiwasseruntersuchungen Rhein - Neckar - Donau, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU), Karlsruhe

- LfU (1996): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch/Rheingebiet/Teil I, Hoch- und Oberrhein, Band 1995, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU), Karlsruhe
- LIJKLEMA, L. ET AL. (1992): Biological assessment of effects of combined sewer overflows and storm water discharges. In: Ellis, J. B. (ed.): Urban discharges and receiving water quality impacts. Pergamon press.
- LOSLEBEN, S. (1999): Literaturstudie zur physikochemischen Behandelbarkeit von Niederschlagsabflüssen, Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Uni Karlsruhe
- MANG, J., GEFFERS, K., und BORCHARDT, D. (1998): Auswirkungen von Mischwassereinträgen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose von Fließgewässern. Fallbeispiel Lahn bei Limburg (Hessen) – ein staureguliertes Fließgewässer 2. Ordnung. GWF Wasser-Abwasser. im Druck
- MANG, J. (1996): Immissionsorientierte Sanierung niederschlagsbedingter Gewässerbelastungen. Schriftenreihe Wasser-Abwasser-Abfall des Fachgebietes Siedlungswasserwirtschaft der Universität Kassel 16, S. 85-101.
- MEHLHART, G., und STELTSMANN, C. (1991a) in: Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der Universität Gh Kassel (Bearb.): Modellhafte Erarbeitung eines ökologisch begründeten Sanierungskonzeptes für kleine Fließgewässer am Beispiel der Lahn. 1. Zwischenbericht, Teilprojekt 2: Siedlungswasserwirtschaft, S. 45-86
- MEHLHART, G., und STELTSMANN, C. (1991b) in: Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft der Universität Gh Kassel (Bearb.): Modellhafte Erarbeitung eines ökologisch begründeten Sanierungskonzeptes für kleine Fließgewässer am Beispiel der Lahn. Anhang zum 1. Zwischenbericht, Teilprojekt 2: Siedlungswasserwirtschaft, Anlage 2.4
- MELU (1975): Gewässerkundliches Flächenverzeichnis des Landes Baden-Württemberg, Herausgegeben vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg, bearbeitet durch die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg - Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft -
- MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN (RH.-PF.) (Hrsg.) (1996): Bodenbelastungskataster Rheinland-Pfalz (1. Aufl.), Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz
- MOHAUPT et al. (1996): Die aktuelle Nährstoffbelastung der Gewässer in Deutschland und der Stand der Belastungsvermeidung in den Kommunen und der Landwirtschaft. Deutsche Gesellschaft für Limnologie (DGL), Tagungsbericht 1995 (Berlin)

- MOHAUPT et al. (1998): Diffuse sources of heavy metals in the German Rhine catchment. 3rd International IAWQ-Conference on diffuse pollution, Edinburgh, 31.8.- 4.9.98
- MÜLLER, G. (1979): Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins- Veränderungen seit 1971. Umschau 79, Heft 24, 778-783.
- PAULSEN, O. (1986): Kontinuierliche Simulation von Abflüssen und Stofffrachten in der Trennkanalisation, Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Landwirtschaftlichen Wasserbau der Universität Hannover Heft 62, Universität Hannover
- PFEIFER, R. (1998): Schmutzstoffrückhalt durch chemisch-physikalische Regenwasserbehandlung im Trennsystem. Schriftenreihe des ISWW, Universität Karlsruhe, Bd. 92, Oldenbourg, München
- PFEIFER, R., und HAHN, H. H. (1994): Dissolved Air Flotation: Efficient Removal of Micropollutants from Stormwater Runoff. In Chemical Water and Wastewater Treatment III, Ed.: Klute, R./ Hahn, H. H. Third Goetheborg Symposium, 1994. Springer, p. 297-306
- PFEIFER, R., und HAHN, H.H. (1995): Regenwasserbehandlung im Trennsystem - Leistungssteigerung durch chemische Flockung?, in: XANTHOPOULOS, C., und HAHN, H. H. (1995) S. 483 - 518
- PREUSS, O. (1977): Über den Nährstoffabtrag und -austrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen – Dargestellt an einem definierten Wassereinzugsgebietes eines für die mitteldeutsche Gebirgslandschaft typischen Fließgewässers 3. Ordnung, Dissertation Göttingen, zitiert in DIKAU (1986).
- RP GIESSEN (1994): Modellhafte Erarbeitung eines ökologisch begründeten Sanierungskonzeptes für kleine Fließgewässer am Beispiel der Lahn. Regierungspräsidium Gießen. Abschlußbericht
- SCHÄFER, M., HAHN, H.H., und XANTHOPOULOS, C. (1997): Entlastungstätigkeit und Schmutzstoffrückhalt von Regenüberlaufbecken im Einzugsgebiet der Alb - am Beispiel ausgewählter Mikroschadstoffe. In: SCHMITT, T. G. (1997), S. 161 - 176
- SCHEFFER, F., und SCHACHTSCHABEL, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. 12. Auflage, Enke, Stuttgart
- SCHEFFER, F., und SCHACHTSCHABEL, P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. 13. Auflage, Enke, Stuttgart.

- SCHENKEL, W. (1994): Klärschlamm Entsorgung, Status - Lösungen - Tendenzen, expert-Verlag
- SCHMITT, T. G. (1997): Stoffströme in der Urbanhydrologie, Teil 2 – Kanalisation. Schriftenreihe des ISWW, Universität Karlsruhe, Band 86, Oldenbourg, München
- SCHMITT, T. G. (1998): Auswirkungen von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung auf dem Schmutzstoffaustrag in Mischsystemen, Korrespondenz Abwasser (5/98), S. 914ff, ATV (Hrsg.), Hennef
- SCHMITT, T. G., HANSEN, J., LU, L., und WIESE, J. (1999): Studie über die Quellen der Verunreinigung des Ohmbachsees und mögliche Gegenmaßnahmen, Teil A, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Universität Kaiserslautern, nicht veröffentlicht
- SCHMITT, T.G., WIESE, J., LEINWEBER, U., und WELKER, A. (1999): "Effects of source control measures in urban storm water management of combined sewer systems". Proceedings "8th International Conference on Urban Storm Drainage", Sydney, Australia, 1350-1357
- SCHWARZ, O. (1979): Abfluß und Abtrag im Wald, In: Allg. Forst und Jagdzeitung, Heft 9/79, zitiert in DIKAU (1986)
- SEYFRIED, C.F. (1999): Stoffströme in der Urbanhydrologie, Teil 3 - Kläranlage. Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, Band 87, Oldenbourg, München
- SIEKER, F., LAMMERSEN, R., und RISTENPART, R. (1993): Bilanzierung von Schmutzstoffeinleitungen aus dem Niederschlags-Abflußgeschehen in ein Gewässer, Abschlußbericht des BMFT-Verbundprojektes der AG NIEDERSCHLAG, Teilprojekt 7, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, Universität Hannover
- STALA (1998): Abwasserbeseitigung 1996. Statistisches Landesamt (STALA), Baden-Württemberg, Stuttgart.
- STECKER, A., und STAACK, P. (1996): Auswirkungen von Flächenabkoppelungen auf die Verminderung des Frachtaustrages von Mischwasserentlastungen unter besonderer Betrachtung des ATV-Arbeitsblattes A 128, Stadtentwässerung und Gewässerschutz (SuG) 36, S. 3-36, zitiert in LEINWEBER und SCHMITT (1998)
- SYMADER, W. (1988): Zur Problematik der Frachtermittlung. Vom Wasser 71, S. 145-161.

- UEBE, R. (1998): GIS - gestützte Lokalisierung linearer Erosionspfade und Abschätzung des Sedimenteintrages in Fließgewässer am Beispiel der Erpe, Tagungsbericht 1997 der Deutschen Gesellschaft für Limnologie (DGL), Eigenverlag der DGL, Krefeld
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (1994): „Kriterien des Bodenschutzes bei der Ver- und Entsiegelung von Böden - Untersuchungsprogramm Bodenver- und -entsiegelung“ UBA-Text 50/1994, Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - Ökologische Demonstrationsvorhaben - Forschungsbericht 107 03 007/16, UBA-FB 94-123, bearbeitet von AHU - Büro für Hydrogeologie und Umwelt GmbH, Aachen
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (1996): Nährstoffkonzentrationen in Fließgewässern der Bundesrepublik Deutschland. Texte 76/96
- UMWELTBUNDESAMT (1998): Bilanzierung des Eintrages prioritärer Schwermetalle in Gewässer. Forschungsvorhaben im Auftrag des Umweltbundesamt (UBA). In Bearbeitung am ISWW, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, und Fh-ISI, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung
- VINK, R., BEHRENDT, H. and SALOMONS, W. (1997): Point and diffuse source analysis of heavy metals in the Elbe Drainage Area – Comparing heavy metal emissions with transported river loads. Endbericht des GKSS Forschungszentrum. unveröffentlicht
- WELKER, A., LEINWEBER, U., KLEPISZEWESKI, K., und SCHMITT, T. G. (1998): Effects of integrated stormwater management strategies on combined sewer system and the wastewater treatment plant-river system, Tagungsband der NOVATECH 1998 „Innovative technologies in urban storm drainage“, Groupe de Recherche Rhône-Alpes sur les Infrastructures et l'Eau (Hrsg.), Villeurbanne Cedex, Frankreich
- WENDLING, K., und MICHELS, R. (1997): Einfluß von Mischwassereinleitungen auf den Stoffhaushalt und die Biozönose kleiner Fließgewässer im ländlichen Raum, Ministerium für Umwelt und Forsten, Rheinland-Pfalz, Mainz
- WERNER, W., OLFS, H.-W., AUERSWALD, K., und ISERMANN, K. (1991): Stickstoff- und Phosphoreintrag in Oberflächengewässer über „diffuse Quellen“. In HAMM (1991), S. 665 - 764
- WERNER, W., und WODSAK, H.-P. (Hrsg.) (1994): Stickstoff- und Phosphateintrag in die Fließgewässer Deutschlands unter besonderer Berücksichtigung des Eintragsgeschehens im Lockergesteinbereich der ehemaligen DDR. Schriftenreihe Agrarspektrum 22, Verlagsunion Agrar, Frankfurt (Main)

- WEYAND, M., und ILCHMANN, H. (1992): Einsatz des Fällungsverfahrens zur Reduzierung der in ein Gewässer eingetragenen Mischwasserentlastungsfracht. Korrespondenz Abwasser, 39 (9), S. 1370-1375
- WIESE, J., und SCHMITT, T. G. (1999): "An evaluation of the pollutant discharge of an entire river catchment area caused by the stormwater runoff". Proceedings "8th International Conference on Urban Storm Drainage", Sydney, Australia, 1335-1341
- WILCKE, W., und DÖHLER, H. (1995): Schwermetalle in der Landwirtschaft, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup
- WISCHMEIER, W. L., und SMITH, D. D. (1978): Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. USDA Agr. Handbook 537. Washington.
- WOLF, P., und MEHLHART, G. (1992): Prognose über die Verminderung der Belastung eines Mittelgebirgsflusses. Abwassertechnik AWT 2, S. 24-29
- XANTHOPOULOS, C. (1990): Methode für die Entwicklung von Modellregenspektren für die Schmutzfrachtberechnung. Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft (ISWW) der Universität Karlsruhe 57, S. 87-99.
- XANTHOPOLOUS, C. (1996): Möglichkeiten und Grenzen von Maßnahmen in Einzugsgebieten. Wechselwirkung zwischen Einzugsgebiet und Kläranlage. Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, 78, S. 3-23
- XANTHOPOLOUS, C. (1998): Stoffströme in der Urbanhydrologie, Teil 1 – Oberfläche. Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, Band 85, Oldenburg, München
- XANTHOPOULOS, C., und HAHN, H. H. (1993): Anthropogene Schadstoffe auf Straßenoberflächen und ihr Transport mit dem Niederschlagsabfluß, Schlussbericht des BMBF-Verbundprojektes „Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen befestigten Flächen“ - Teilprojekt 2, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe
- XANTHOPOULOS, C., und HAHN, H. H. (1995): Schadstoffe im Regenabfluß III - Präsentation eines BMBF-Forschungsprojektes, Schriftenreihe des ISWW, Universität Karlsruhe, Band 73, Oldenbourg, München

ANHANG A: AUSGANGSDATEN FÜR FRACHTABSCHÄTZUNGEN

Anhang A.1: Einwohnerspezifische Tagesfrachten $f_{EW,d}$

Nähr- und Zehrstoffe (in [g/(E*d)])

Pges	Nges	CSB
2	11	120

Quelle: ATV (1991) Im Falle des Phosphors wurde entsprechend den Entwicklungen der letzten Jahre (Phosphatsubstitution durch die Waschmittelverordnung) für die einwohnerspezifische Tagesfracht ein geringerer Wert angesetzt.

Schwermetalle (in [mg/(E*d)])

Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
0,45	74,80	22,47	15,07	4,52	6,03

Quelle: Schenkel, W. (1994)

Anhang A.2: Flächenspezifische Stoffabtragungspotentiale f_a von undurchlässigen, urbanen Flächen infolge Niederschlagsabfluß

Nähr- und Zehrstoffe (in [kg/(ha*a)])

Pges	Nges	CSB
2,2	15,9	390

Schwermetalle (in [kg/(ha*a)])

Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
0,018	4,297	0,312	0,154	0,070	0,088

Quelle: Schwermetalle (Cd, Cr und Pb) sowie CSB XANTHOPOLOUS, C. (1996). Restliche Werte über statistische Auswertung der Untersuchungen von HEINZMANN (1994), PAULSEN (1986), GROTTKER (1987) und GÖTTLE (1978). Die Potentiale, sofern sie sich nicht bereits auf die undurchlässige Fläche bezogen, wurden basierend auf den Angaben des Autors entsprechend umgerechnet.

Anhang A.3: Nicht-urbane, diffuse Eintragungspotentiale aus Ackerland, Grünland und Wald für Nährstoffe.

	Pges kg/(ha*a)	Nges kg/(ha*a)
Wald	0,12	7,52
Ackerland	0,62	43,80
Grünland	1,13	11,94

Quelle: Statistische Auswertung einer Literaturrecherche über 22 Literaturstellen.

Anhang A.4: KA-Eliminationsraten für Schwermetalle bei Trockenwetter

Verfahren		Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
Belebungsanlagen	%	81	66	65	78	59	42
Tropfkörperanlagen	%	54	44	42	60	39	28
andere Anlagen	%	50	41	39	57	36	26

Im besonderen Maße flossen bei diesen Annahmen die Untersuchungen von FIRK (1986) mit in die Überlegungen ein. FIRK hat für mehrere Anlagen die Eliminationsleistung bezüglich Schwermetalle in den einzelnen Stufen der Abwasserreinigung untersucht. Da diese bei Belebungsanlagen zu einem guten Teil auch auf biologischer Fixierung beruhen, wurden diese Erkenntnisse dazu herangezogen, die Reinigungsleistung anderer Verfahrenstypen, z.B. den alten mechanischen Kläranlagen, bei denen Schwermetalle überwiegend nur durch Sedimentationsprozesse aus dem Abwasser entfernt werden, abzuschätzen.

Anhang A.5: Angenommene Wirkungsgrade [%] für Mehrkammerausfallgruben (entsprechend ATV, 1985, und JAKOBS et al., 1995 und 1997).

	P _{ges}	N _{ges}	CSB	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
partikulärer Anteil [%]				80	30	50	90	80	10
davon absetzbar [%]				79	79	79	79	79	79
absetzb. part. Anteil [%]	8,0	9,0		63	24	40	71	63	8
gew. Wirkungsgrad η_{VB}	9,4	10,0	35	63	24	40	71	63	8

Eventuelle Unterschiede zwischen den Wirkungsgraden der Mehrkammerausfallgruben und den für rein mechanische Kläranlagen angenommenen Eliminationsraten können aus den unterschiedlichen Randbedingungen abgeleitet werden. Beispielsweise handelt es sich in den Mehrkammerabsetzgruben ausschließlich um häusliches Schmutzwasser, während bei den mechanischen Kläranlagen noch Fremdwasser und teilweise gewerbliches Schmutzwasser hinzukommen. Darüber hinaus sind die Zuflusssituation bzw. die hydraulischen Verhältnisse völlig unterschiedlich.

Anhang A.6: Ablaufkonzentrationen [mg/L] von Kläranlagen < 1.000 EW, BUCKSTEEG (1998).

	P _{ges}	N _{ges}	CSB
Abwasserteich, unbelüftet	2,00	11,00	48,00
Abwasserteich, belüftet	2,70	18,00	54,00
Tropfkörper	7,00	35,00	56,00

Anhang A.7: Gewählte Eliminationsraten von mechanischen Kläranlagen

		P _{ges}	N _{ges}	CSB
Wirkungsgrad	%	15,00	10,00	33,00

Anhang A.8: Funktionen für die Entlastungsfrachtkomponenten e_F der Zehr-, Nähr- und Schadstoffe mittels Schmutzfrachtsimulation durchgeführt auf Grundlage des ATV Modellnetzes (ATV-Arbeitsblattes A 128 (1992)) am Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Universität Kaiserslautern.

Parameter	Einheit	Funktion
N_{ges}:	[-]	$e_F = 1,6095 \cdot e_V^2 + 1,1414 \cdot e_V$
P_{ges}:	[-]	$e_F = 2,0496 \cdot e_V^2 + 1,2036 \cdot e_V$
CSB:	[-]	$e_F = 0,7332 \cdot e_V^2 + 0,9624 \cdot e_V$
Cd:	[-]	$e_F = 0,0623 \cdot e_V^2 + 0,9071 \cdot e_V$
Zn:	[-]	$e_F = 0,0623 \cdot e_V^2 + 0,9071 \cdot e_V$
Cu:	[-]	$e_F = 0,1773 \cdot e_V^2 + 0,9197 \cdot e_V$
Pb:	[-]	$e_F = 0,2723 \cdot e_V^2 + 0,8949 \cdot e_V$
Cr:	[-]	$e_F = 0,1578 \cdot e_V^2 + 0,9177 \cdot e_V$
Ni:	[-]	$e_F = 0,1578 \cdot e_V^2 + 0,9177 \cdot e_V$

Anhang A.9: Veränderte Funktionen zur Ermittlung der Entlastungsfrachtkomponente bei Fällung/Flockung $e_{F,F/F}$ in Abhängigkeit der Entlastungsvolumenkomponente e_V für die Berechnungsansätze der Entlastungsfrachten im Szenario "Verfahrenstechnische Maßnahmen".

Parameter	Einheit	Funktion
N_{ges}:	[-]	$e_{F,F/F} = 0,8396 \cdot e_V^2 + 0,9767 \cdot e_V$
P_{ges}:	[-]	$e_{F,F/F} = 0,6631 \cdot e_V^2 + 0,8911 \cdot e_V$
CSB:	[-]	$e_{F,F/F} = 0,1824 \cdot e_V^2 + 0,8230 \cdot e_V$
Cd:	[-]	$e_{F,F/F} = -0,1555 \cdot e_V^2 + 0,7363 \cdot e_V$
Zn:	[-]	$e_{F,F/F} = -0,1555 \cdot e_V^2 + 0,7363 \cdot e_V$
Cu:	[-]	$e_{F,F/F} = -0,1325 \cdot e_V^2 + 0,7606 \cdot e_V$
Pb:	[-]	$e_{F,F/F} = -0,0866 \cdot e_V^2 + 0,7674 \cdot e_V$
Cr:	[-]	$e_{F,F/F} = -0,1325 \cdot e_V^2 + 0,7606 \cdot e_V$
Ni:	[-]	$e_{F,F/F} = -0,1325 \cdot e_V^2 + 0,7606 \cdot e_V$

Anhang A.10: Wirkungsgrade von Regenklärbecken in [%]

	P_{ges}	N_{ges}	CSB	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
Wirkungsgrad η_{RKB}	34	5	36	38	12	5	36	38	17

Quelle: Pfeifer, R. (1998)

Anhang A.11: Naturraum-spezifische Bodenabträge, die daraus ermittelten Anreicherungsfaktoren und die berechneten, mittleren Schwermetallgehalte in den Oberböden (Arbeitsgruppe Karlsruhe)

Naturraum	spez.Bodenabtrag [t/(ha*a)]	Anreicherungsfaktor [-]
Neckar-Taubergäu Platten	5,80	1,75
Schwäb. Keuper- Lias Land	6,00	1,74
Schwarzwald	12,20	1,50
Nördl. Oberrheinland	0,80	2,65
Schwäbische Alb	4,60	1,84

Naturraum	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
mittlerer Schwermetallgehalt im Oberboden [mg/kg]						
Neckar-Taubergäu Platten	1,09	72,12	23,39	27,35	38,03	24,14
Schwäb. Keuper- Lias Land	0,25	77,99	21,25	32,01	38,99	31,48
Schwarzwald	1,17	62,75	22,13	25,25	26,25	13,00
Nördl. Oberrheinland	0,25	49,67	13,67	20,63	30,17	14,17
Schwäbische Alb	0,25	77,99	21,25	32,01	38,99	31,48

Anhang A.12: partikulärer Anteil der betrachteten Stoffe im Regenwetterabfluß (Quelle: Literaturrecherche)

Stoff	partikulärer Anteil [-]
Nähr- und Zehrstoffe	
P _{ges}	0,66
N _{ges}	0,66
CSB	0,70
Schwermetalle	
Cd	0,75
Zn	0,87
Cu	0,85
Pb	0,90
Cr	0,85
Ni	0,89

Anhang A.13: Nicht-urbane, diffuse Eintragspotentiale aus Ackerland, Grünland und Wald für Schwermetalle.

	Cd g/(ha*a)	Zn g/(ha*a)	Cu g/(ha*a)	Pb g/(ha*a)	Cr g/(ha*a)	Ni g/(ha*a)
Wald	0,99	132,00	30,00	77,00	10,00	9,50
Ackerland	1,90	116,50	3,20	4,00	21,20	3,00
Grünland	1,90	116,50	3,20	4,00	21,20	3,00

Quelle: Literaturrecherche

ANHANG B: METADATEN

TEIL 1: METADATEN - HESSISCHER TEIL DER LAHN

1) Abfluß

Pegelname	Einheit	Zeitraum	Quelle	Anwendung
Kalkofen	Tagesmittel in [m ³ /s]	11/88-10/96	BfG, Koblenz	Flußgebietsbilanz
	15-Minutenwerte in [m ³ /s]	Meßphase der Uni GhK 1996	BfG, Koblenz	Einzelereignisbetrachtung
Leun	Stundenwerte in [m ³ /s]	1995	BfG, Koblenz	Einzelereignisbetrachtung

2) Güte

Station	Einheit	Zeitraum	Quelle	Anwendung
Limburg	Einzelproben alle 14 Tage	1988-1996	HLfU, Wiesbaden	Flußgebietsbilanz
	2h-und 24h-Mischproben	Meßphase der Uni GhK 1996	Mang et al. 1998	Einzelereignisbetrachtung
Oberbiel	30-Minutenwerte	1995	HLfU, Wiesbaden	Einzelereignisbetrachtung

Eine Liste von der HLfU erfaßten Parameter findet sich am Ende dieses Anhanges.

3) Klima

Merkmal	Einheit	Station	Zeitraum	Quelle	Anwendung
Niederschlags- höhe	Jahressummen in [mm]	regionalisiert (Sammelgebiete)	1995	DWD	Flußgebiets- bilanz
	Stundenwerte in [mm]	Gießen-Liebigshöhe	1995	DWD	Einzelereignis- betrachtung
	5-Minutenwerte in [mm]	eigene Messungen nahe Limburg	Meßphase der Uni GhK 1996	Mang et al. 1998	Einzelereignis- betrachtung

4) Kommunale Abwässer/ Kläranlagen**a) für jede Anlage**

Merkmale	Einheit	Zeitraum	Quelle
Anzahl; Ausbaugröße	[-]; EW	1995	Lagebericht (HLfU & HMUEJFG)
Reinigungsart	m/b/n/d/p	1995	Lagebericht (HLfU & HMUEJFG)
Ablaufwerte: Abwasser, Schmutzwasser	m ³ /a	1995	HLfU & HMUEJFG, Wiesbaden
Ablaufwerte: Stoffkonzentrationen	mg/l	1995	Kläranlagennachbarschaften/ ATV

4) Kommunale Abwässer/ Kläranlagen**b) nach Wassereinzugsgebieten gemäß Gewässerkundlichem Flächenverzeichnis**

Merkmale	Einheit	Zeitraum	Quelle
Anzahl, darunter Reinigungsarten Mechanisch biologisch biolog. mit weitergehend	[-]	1991 u.1995	HSL-Broschüre "Beitrag zur Statistik Hessens Nr. 313", Tabelle B5
Behandeltes Abwasser, darunter Schmutzwasser/Haushalten Schmutzwasser/Gewerbe Regen- und Fremdwasser	m ³ /a	1991 u. 1995	Tabelle B5
CSB-Zufluß CSB-Abfluß	t/a	1991 u. 1995	Tabelle B9
CSB-Wirkungsgrad	%	1991 u. 1995	Tabelle B9
Abwasseraufkommen, darunter Gewerbl. Abwasser ohne zentrale Behandlung	m ³ /a, l/(E*d)	1995	Tabelle B2
angeschlossene EW, angeschlossene EGW	[-]	1991 u. 1995	Individuelle Zusammenstellung vom HSL
Ungeklärt eingeleitetes Schmutzwasser (ohne Fremdwasser)	m ³ /a	1991 u. 1995	Individuelle Zusammenstellung vom HSL

5) Mischwasserentlastungen

Informationen zur Regenwasserbehandlung liegen bei den zuständigen öffentlichen Dienststellen nur sehr lückenhaft vor und konnten deswegen nicht weitergegeben werden. Im Kapitel 5.5.1.2 „Ergebnisse: Punktförmige Einträge“ werden zur Beurteilung der bilanzierten Frachten aus Mischwasserentlastungen daher folgende Erhebungen aus dem „Lahnprojekt“ (RP Gießen 1994) vergleichend herangezogen:

Parameter	Einheit	Quelle/Bezug
Mischwassermenge	m ³ /EW	Schmutzfrachtsimulationen mit SMUSI aus dem Jahre 1990 u. 1991. Quelle: Anhang zum 1. Lahn-Zwischenbericht vom Dezember 1991, Anlage 2.5, Tabelle 2.
Versiegelte Fläche im Verhältnis zu den angeschl. Einwohnerwerten (AU/EW)	ha	Untersucht sind Misch-Entwässerungssysteme entlang der Lahn zwischen Marburg und Wetzlar (10 km-Zone).
AFS, BSB5, CSB, TOC, NH4-N, PO4-P	kg/EW	

6) Ausgewählte Merkmale der hessischen Gemeindestatistik

Merkmalsgruppe	Stand	Merkmal	Einheit
Bevölkerung	01.01.95	Fläche	km ²
	31.12.95	insgesamt= pro Gemeinde	Anzahl
Landwirtschaftliche Betriebe	Mai 1995	insgesamt	Anzahl
		nach Größenklassen	Anzahl
Bodennutzung	1995	landwirtschaftl. genutzte Fläche LF	ha
		Dauergrünland	ha
		Ackerland, <i>darunter</i>	ha
		<i>Getreide</i>	ha
		<i>Hackfrüchte</i>	ha
		<i>Gemüse</i>	ha
		<i>Handelsgewächse</i>	ha
		<i>Futterpflanzen</i>	ha
Flächennutzung	1993 (Liegenschafts- kataster)	<i>Brache</i>	ha
		Gebäude- und Freifläche	ha, %
		Betriebsfläche	ha, %
		Erholung	ha, %
		Verkehr	ha, %
		Landwirtschaft	ha, %
		Wald	ha, %
		Wasser	ha, %
Bergbau und verarbeitendes Gewerbe	Sep. 95	Flächen anderer Nutzung	ha, %
		Betriebe; Beschäftigte, <i>darunter</i>	Anzahl
		<i>Vorleistungs-</i>	Anzahl
		<i>Investitions-</i>	Anzahl
		<i>Gebrauchs-</i>	Anzahl
	<i>Verbrauchsgüterproduzenten</i>	Anzahl	

Gütedaten der HLfU: Liste erfaßter Parameter

Nr.	Parameter	Einheit	Limburg	Oberbiel	Oberbiel
			(12.01.88-11.12.96) 14-tägl. Einzelproben	(06.09.93-09.12.96) 14-tägl. Mischproben	kontinuierliche Messungen (30 min) gemessen
1	Abfluß	[m ³ /s]	0	48	
2	Temp.	[°C]	149	58	ja
3	Temp. Max.	[°C]	0	30	
4	Temp. Max. extr.	[°C]	0	58	
5	O2	[mg/l]	123	58	ja
6	O2 Max.	[mg/l]	0	30	
7	O2 Min.	[mg/l]	0	30	
8	O2 Max. extr.	[mg/l]	0	58	
9	O2 Min. extr.	[mg/l]	0	58	
10	pH-Wert	[-]	148	58	ja
11	LF	[mS/m]	152	58	ja
12	BSB5	[mg/l]	92	60	
13	Hg	[µg/l]	99	20	
14	CSB	[mg/l]	153	85	
15	KMnO4-Verbr.	[mg/l]	0	0	
16	DOC	[mg/l]	94	85	
17	PO4-P ges.	[mg/l]	108	83	
18	PO4-P o.	[mg/l]	153	84	ja
19	NH4-N	[mg/l]	153	85	ja
20	NO3-N	[mg/l]	151	85	ja
21	Chlorid	[mg/l]	153	85	
22	Sulfat	[mg/l]	5	85	
23	HCO3	[mg/l]	0	0	
24	K	[mg/l]	2	0	
25	Na	[mg/l]	2	85	
26	Ca	[mg/l]	2	85	
27	Mg	[mg/l]	2	85	
28	As	[µg/l]	102	85	
29	Cd	[µg/l]	100	85	
30	Cr	[µg/l]	100	85	
31	Cu	[µg/l]	100	85	
32	Fe	[µg/l]	100	84	
33	Mn	[µg/l]	100	84	
34	Ni	[µg/l]	100	85	
35	Pb	[µg/l]	100	85	
36	Zn	[µg/l]	100	84	
37	pH Min.	[-]	0	58	
38	pH Max.	[-]	0	58	
39	AOX	[µg/l]	69	56	
40	TOC	[mg/l]	94	85	
41	EDTA	[µg/l]	12	0	
42	NTA	[µg/l]	12	0	
43	NO2-N	[mg/l]	89	85	ja
44	N ges.	[mg/l]	94	84	
45	O2 Sätt.	[%]	121	51	
[-]	Trübung	[-]	[-]	[-]	ja
[-]	Chlorophyll (Chl_a)	[µg/l]	[-]	[-]	ja
Summe :			3134	2795	

TEIL 2: RHEINLAND-PFÄLZISCHER TEIL DER LAHN

1) Abfluß:

Pegelname	Fließgewässer	Einheit	Zeitraum	Quelle
Leun (neu)	Lahn	Tages-, Haupt- u. Extremwerte	bis 1995	BfG, Koblenz
Kalkofen (neu)	Lahn	Tages-, Haupt- u. Extremwerte	bis 1996	BfG, Koblenz
Zollhaus	Aar	Tages-, Haupt- u. Extremwerte	bis 1995	LfW, Rheinland-Pfalz
Kloster Arnstein	Dörsbach	Tages-, Haupt- u. Extremwerte	bis 1995	LfW, Rheinland-Pfalz
Weinähr	Gelbach	Tages-, Haupt- u. Extremwerte	bis 1995	LfW, Rheinland-Pfalz
Niederrelbert	Niederrelberter B.	Tages-, Haupt- u. Extremwerte	bis 1995	LfW, Rheinland-Pfalz
Kautenmühle	Eisenbach	Tages-, Haupt- u. Extremwerte	bis 1995	LfW, Rheinland-Pfalz
Miehlen	Mühlbach	Tages-, Haupt- u. Extremwerte	bis 1995	LfW, Rheinland-Pfalz
Schulmühle	Mühlbach	Tages-, Haupt- u. Extremwerte	bis 1995	LfW, Rheinland-Pfalz
Arzbach	Hollerwaldbach	Tages-, Haupt- u. Extremwerte	bis 1995	LfW, Rheinland-Pfalz

2) Güte - a):

Station, Gewässer	Einheit	Zeitraum	Quelle
Lahnstein, Lahn	Schwebstoffe 1 pro Monat	07/96 - 09/96	LfW, Rheinland-Pfalz
Lahnstein, Lahn	11 bis 13 Einzelproben pro Jahr	1992 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz
Eisenhütte, Nassau, Lahn	11 bis 13 Einzelproben pro Jahr	1992 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz
Obernhof, Lahn	11 bis 13 Einzelproben pro Jahr	1992 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz
Pegel Kalkofen, Lahn	11 bis 13 Einzelproben pro Jahr	1992 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz
Schleuse, Scheidt, Lahn	11 bis 13 Einzelproben pro Jahr	1992 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz
Schleuse, Cramberg, Lahn	11 bis 13 Einzelproben pro Jahr	1992 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz
Diez, Lahn	11 bis 13 Einzelproben pro Jahr	1992 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz
Nastaetten, Mühlbach	8 bis 11 Einzelproben pro Jahr	1993 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz
Nassau, Mühlbach	11 bis 13 Einzelproben pro Jahr	1993 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz
Weinähr, Gelbach	11 bis 13 Einzelproben pro Jahr	1993 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz
Klostermühle, Dörsbach	9 bis 12 Einzelproben pro Jahr	1993 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz
Niederneisen, Aar	7 bis 12 Einzelproben pro Jahr	1993 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz
Diez, Aar	8 bis 12 Einzelproben pro Jahr	1993 - 1996	LfW, Rheinland-Pfalz

2) Güte - b): Parameter der chemisch-physikalischen Fließgewässeruntersuchung in Rheinland-Pfalz

- Wassertemperatur
- pH-Wert
- elektr. Leitfähigkeit
- Sauerstoffgehalt
- Sauerstoffsättigung
- BSB₅
- CSB
- DOC
- NH₄-N
- NO₃-N
- NO₂-N
- N_{ges}
- anorg. N_{ges}
- org. N_{ges}
- P_{ges}
- Cadmium
- Zink
- Kupfer
- Blei
- Chrom
- Nickel
- MBAS (anio. Tenside)
- CTAB (katio. Tenside)
- Trichlormethan
- Trichlorethan
- Tetrachlormethan
- Trichlorethen
- Tetrachlorethen

3) Klima

Merkmal	Einheit	Station	Zeitraum	Quelle
Niederschlagshöhe	monatlich, jährlich	Basisgebiete, Lahn-einzugsgebiet	1979 - 1995 (hydrolog. Jahre)	DWD
	monatlich, jährlich	Sammelgebiete, Lahneinzugsgebiet	1979 - 1995 (hydrolog. Jahre)	DWD
	5 - Minutenwerte	Gießen-Liebigshöhe	1966 - 1980	DWD
	jährlich	regionalisierte Gebietsniederschläge	1979 - 1995	DWD

4) Kommunale Abwässer/ Kläranlagen a) für Kläranlagen

Merkmale	Einheit	Zeitraum	Quelle
Anzahl; Ausbaugröße	---, EW	bis 1996	ATV-Kläranlagennachbars.
Reinigungsart	m/b/n/d/p	bis 1996	ATV-Kläranlagennachbars.
Zulaufwerte: Abwasser, Schmutzwasser, Fremdwasser, Regenwasser	m ³ /a	1991, 1995	LIS, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz
Ablaufwerte: ≈ Konz. für BSB, CSB, NH ₄ -N, N _{ges} , P _{ges}	mg/l	bis 1996	ATV-Kläranlagennachbars. (nur für größere Anlagen)
Zu- und Ablaufwerte	mg/l	1992, 1995	Eigen- und Fremdüberwachung (nur für größere Anlagen)
Einleiterbescheide	mg/l, m ³ /a	1992	StAWA Montabaur
Einzugsgebietsflächen	ha	1992	StAWA Montabaur

4) Kommunale Abwässer/ Kläranlagen b) nach Gemeinden

Merkmale	Einheit	Zeitraum	Quelle
Anzahl, darunter Reinigungsarten mechanisch biologisch biolog. mit weitergehend	---	1991, 1995	LIS, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz
Behandeltes Abwasser, darunter Schmutzwasser/Haushalten Schmutzwasser/Gewerbe Regen- und Fremdwasser	m ³ /a	1991, 1995	LIS, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz
Merkmale	Einheit	Zeitraum	Quelle
Abwasseraufkommen, darunter gewerbl. Abwasser ohne zentrale Behandlung	m ³ /a	1991, 1995	LIS, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz
angeschlossene EW	---	1991, 1995	LIS, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz
Ungeklärt eingeleitetes Schmutzwasser (ohne Fremdwasser)	m ³ /a	1991, 1995	LIS, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

5) Mischwasserentlastungsbauwerke nach Gemeinden und nach Kläranlagen

Merkmale	Einheit	Zeitraum	Quelle
Anzahl RÜ, RÜB, RKB, RRB	---	1995	LIS, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz
Volumen RÜB, RKB, RRB	m ³	1995	LIS, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz.
ungefähre Lage der Bauwerke	---	1992, 1995	StAWA Montabaur LIS, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz.

6) Merkmale aus der rheinland-pfälzischen Gemeindestatistik

Merkmal	Stand	Ebene	Anmerkungen
Landwirt. Betriebe, Anzahl, genutzte Fläche	1996	Gemeindeebene	ca. 50 % aller Daten sind geheim
Viehbestand, Anzahl, Halter	1994	Gemeindeebene	ca. 50 % aller Daten sind geheim
Nutzung der Bodenfläche	1993	Gemeindeebene	Daten stehen vollständig zur Verfügung
Arbeitsstättenzählung, Anzahl, Beschäftigte	1987	Gemeindeebene	Daten stehen vollständig zur Verfügung
Abwasserbeseitigung	1991	Gemeindeebene	wenige Daten sind geheim
Fremdenverkehrs- und Beherbergungsstatistik	1996	Gemeindeebene	teilweise geheim
Straßen des überört- lichen Verkehrs	1996	Kreisebene	Daten stehen vollständig zur Verfügung
Gemeindestraßen	1976	Gemeindeebene	Daten stehen vollständig zur Verfügung
Kraftfahrzeuge, Anzahl	1996	Kreisebene	Daten stehen vollständig zur Verfügung

TEIL 3: METADATEN: NECKAR

1. Niederschlagsdaten

Parameter	Einheit [mm]	Station	Zeitraum	Datenquelle
Niederschlagshöhe	Monats-, Jahreswerte	Basisgebiet, Neckar	1970-1995	DWD-Offenbach
	Monats-, Jahreswerte	Sammelgebiet, Neckar	1970-1995	DWD-Offenbach
	Monatswerte	270 Stationen	1993-1996	DWD-Offenbach
	Tageswerte	40 Stationen	1994-1996	DWD-Offenbach
	5-Minutenwerte	2 Stationen	1966-1980	DWD-Offenbach

2 Hydrologische Daten

Bezugspegel	A _{E0} -korrigierte Pegel	Einheit [m ³ /s]	Zeitraum	Datenquelle
Neckar				
Rottweil		Tages-, Haupt-, Extremwerte	bis 1995	LfU B.-W.
Horb		Tages-, Haupt-, Extremwerte	bis 1995	LfU B.-W.
Plochingen	Diezisaue	Tages-, Haupt-, Extremwerte	bis 1995	BfG, Koblenz
	Poppenweiler	Tages-, Haupt-, Extremwerte	bis 1995	BfG, Koblenz
Lauffen	Kochendorf	Tages-, Haupt-, Extremwerte	bis 1995	BfG, Koblenz
	Gundelsheim	Tages-, Haupt-, Extremwerte	bis 1995	BfG, Koblenz
Rockenau	Schwabenheim	Tages-, Haupt-, Extremwerte	bis 1995	BfG, Koblenz
	Feudenheim/Mannheim	Tages-, Haupt-, Extremwerte	bis 1995	BfG, Koblenz
Nebenflüsse*				
Enz		Tages-, Haupt-, Extremwerte	bis 02.1997	LfU B.-W.
Jagst		Tages-, Haupt-, Extremwerte	bis 02.1997	LfU B.-W.
Kocher		Tages-, Haupt-, Extremwerte	bis 02.1997	LfU B.-W.
Rems		Tages-, Haupt-, Extremwerte	bis 02.1997	LfU B.-W.

Datenquelle: Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Rehingebiet, Teil, 1995. Landesamt für Umweltschutz, B.-W., Karlsruhe, 1996.

*Im Projekt berücksichtigt

3. Gewässergüte Daten

3.1 Wasserphase

Analysenergebnisse der Gewässerüberwachung der Wasserphase aus Mischproben

Parameter	Rottweil	Deizisaue	Poppenweiler	Kochendorf	Gundelsheim	Mannheim
Zeitraum	1995	1995	1995	1995	1995	1995
Datenquelle	LfU, B.-W.	LfU, B.-W.	LfU, B.-W.	LfU, B.-W.	LfU, B.-W.	LfU, B.-W.
CSB	24	25	51	50	24	51
Pges	24	25	51	50	24	51
NO ₃ -N	24	25	51	50	25	51
Cd	24	25	51	50	25	51
Cr	24 (21)	25 (25)	51 (51)	50 (47)	25 (25)	51 (50)
Cu	24	25	51	50	25	51
Ni	24	25	51	50	25	51
Pb	24	25	51	50	25	51
Zn	24	25	51	50	25	51

n=Anzahl Meßergebnisse; (n)=Anzahl Meßergebnisse unterhalb der Nachweisgrenze

3.2 Schwebstoffe

Analysenergebnisse der Gewässerüberwachung schwebstoffgebundener Stoffe aus Einzelproben

Parameter	Poppenweiler	Kochendorf	Mannheim
Zeitraum	1993-1995	1994-1995	1993-1996
Datenquelle	LfU, B.-W.	LfU, B.-W.	LfU, B.-W.
P _{ges}	12	12	12
Cd	12	12	12
Cr	12	12	12
Cu	12	12	12
Ni	12	12	12
Pb	12	12	12
Zn	12	12	12

n=Anzahl Analysenergebnisse oberhalb der Nachweigrenze

4. Kommunales Abwasser/Kläranlagen

4.1 Kläranlagen

Parameter	Einheit	Parameter	Zeitraum	Datenquelle
Ausbaugröße	EW	-	1995	ATV KA-Nachbarschaften
Reinigungsverfahren	M, B, Bs, T, A, Sk	-	1995	ATV KA-Nachbarschaften
Weitergehende Reinigung	D, N, P, St,		1995	ATV KA-Nachbarschaften
Kennwerte	mg/l	CSB, BSB ₅ , N _{ges} , NH ₄ -N, P _{ges}	1995	ATV KA-Nachbarschaften

Reinigungsverfahren: M=Mechanisch, B=Belebung, Bs=B+Schlammstabilisierung, T=Tropfkörper, A=Abwasserteich, Sk=sonstige Verfahren etc.

Weitergehende Reinigungsverfahren: D=Denitrifikation, N=Nitrifikation, P=Phosphatelimination, St=N+Schlammstabilisierung etc.

4.2 Abwasserstatistik, nach Wassereinzugsgebieten, Statistisches Landesamt, Baden-Württemberg

Merkmal	Zeitraum	Datenquelle*
Anschlußverhältnisse im Bereich der öffentlichen Abwasserbeseitigung in den Wassereinzugsgebieten	1995	StaLa, Tab. 48
Abwasseraufkommen in den Wassereinzugsgebieten Baden-Württembergs nach Herkunft und Verbleib des Abwassers	1975-1995	StaLa, Tab. 50
Regenwasserbehandlung im Bereich der öffentlichen Abwasserbeseitigung in den Wassereinzugsgebieten	1991,1995	StaLa, Tab. 51
Öffentliche Kläranlagen in den Wassereinzugsgebieten Baden-Württembergs	1969-1995	StaLa, Tab. 53
Öffentliche Kläranlagen in den Wassereinzugsgebieten Baden-Württembergs nach der Reinigungsleistung	1987-1995	StaLa, Tab. 56
Direkteinleitung von Abwasser in ein Gewässer in Baden-Württemberg nach Wirtschaftsabteilungen	1991,1995	StaLa, Tab. 71
Schmutzfracht des direkt in ein Gewässer eingeleiteten industriellen Abwassers in den Wassereinzugsgebieten	1995	StaLa, Tab. 91

*Abwasserbeseitigung 1996, Diskettenversion, Statistisches Landesamt, B.-W., 1998.

4.3 Gemeindestatistik 1995, nach Gemeinden, Landes Information System, Baden-Württemberg

Merkmal	Einheit	Datenquelle
Bevölkerungszahl (31.12.1995)	[E]	LIS, B.-W.
Anschlußverhältnisse: Einwohner mit Anschluß an Sammelkanalisation Einwohner ohne Anschluß an Sammelkanalisation	[E]	LIS, B.-W.
Abwasseraufkommen: Trockenwetterabfluß (ohne Regenwasser, ohne Kühlwasser): häusliches und gewerbliches Abwasseraufkommen insgesamt häusliches und kleingewerbliches Abwasseraufkommen gewerbliches Abwasseraufkommen in die Sammelkanalisation, aber nicht in Kläranlagen eingeleitete Abwassermenge	[1000 m³]	LIS, B.-W.
Öffentliche mechanische und biologische Kläranlagen: Einwohner mit Anschluß an Kläranlage (Wohnortprinzip)	[E]	LIS, B.-W.
Regenwasserklärbecken Regenüberlaufbecken: Anzahl der Regenwasserklärbecken/Regenüberlaufbecken Gesamtvolumen der Regenwasserklärbecken/Regenüberlaufb	[-] [1000 m³]	LIS, B.-W.

5. GIS Daten

Karte/Thema	Beschreibung	Datenquelle
Gemeindegrenzen	510 Gemeinden in BaWü, Vektordaten	Landesvermessungsamt Ba-Wü
Flächennutzung	Flächennutzung in 16 Nutzungsklassen, Rasterdaten, Stand: 1993	Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Landsat TM
Naturräume	naturräumliche Hauptgruppen in Ba-Wü, Rasterdaten	LfU (Handbuch Wasser 2, 1995)
Einzugsgebietesgrenzen	21 Wassereinzugsgebiete, incl. Neckar Nebenflüsse und Teileinzugsgebiete; Vektordaten	Gewässerkundliches Flächenverzeichnis

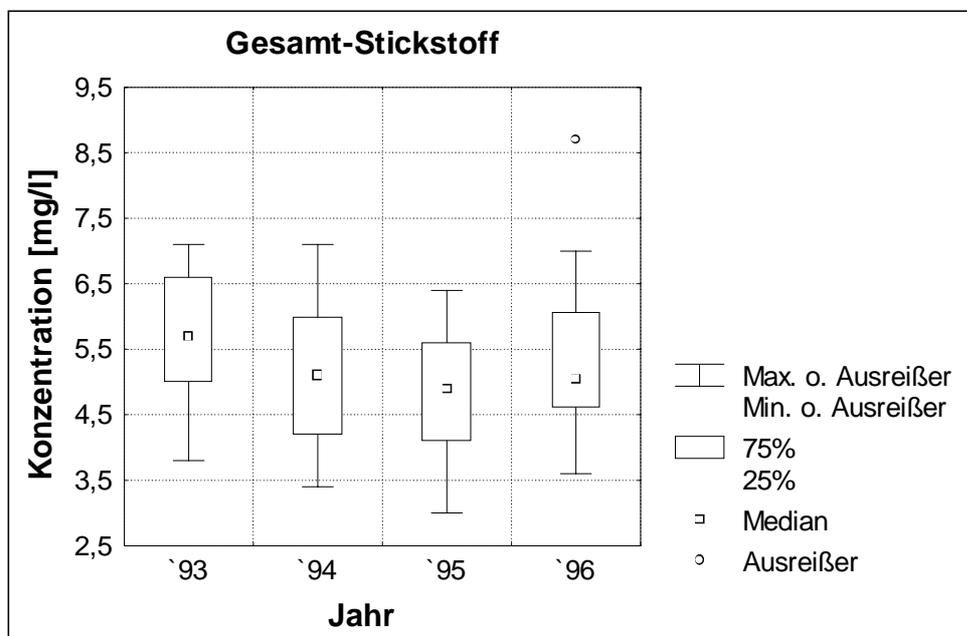
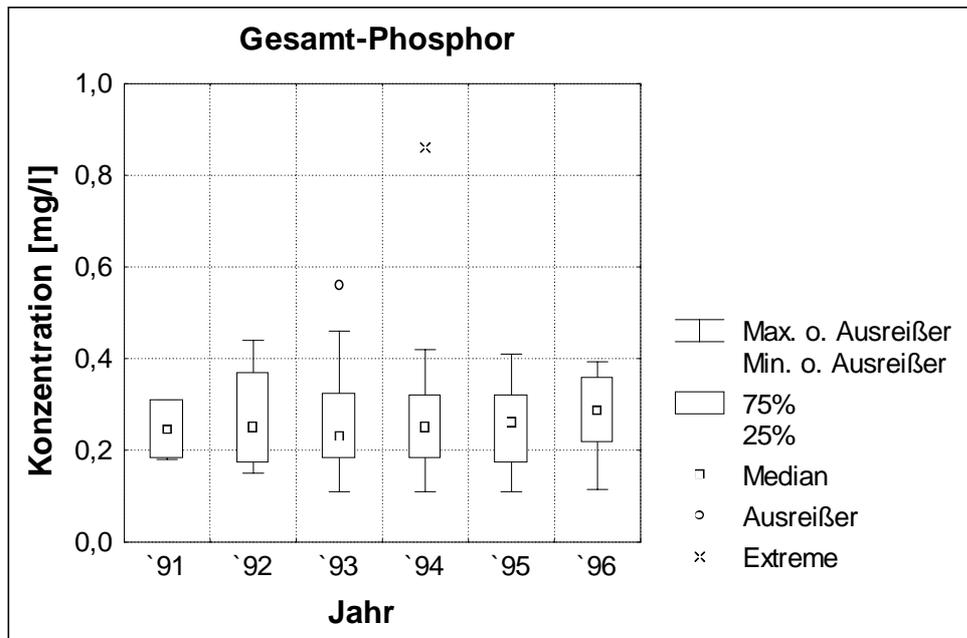
6. Bodengehalte von Schwermetallen

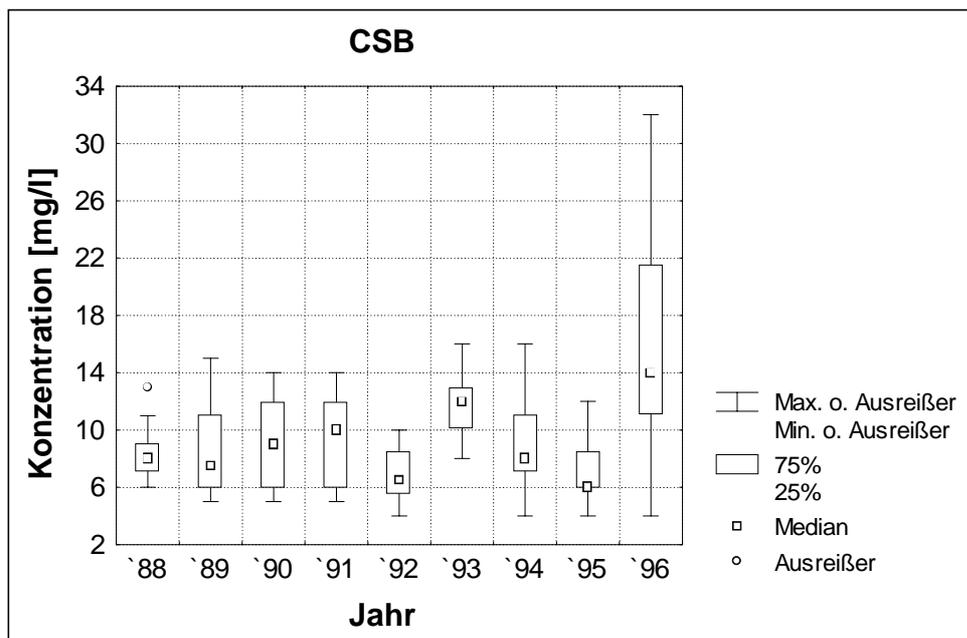
Daten aus Bodendatenkataster der LfU, Baden-Württemberg nach den Naturhaupträumen Schwäbischer Keuper-Lias, Neckar-Tauber, Nördlicher Oberrhein und Schwarzwald für die Landnutzung Ackerland aus dem Oberboden (>30 cm Tiefe).

Parameter	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Zeitraum	1994-98	1994-98	1994-98	1994-98	1994-98	1994-98
Datenquelle	LfU, B.-W.					
Anzahl	78	242	249	252	259	251

ANHANG C: ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN UND VORBERECHNUNGEN

Anhang C.1: Zur Überprüfung eines Trends in den Gütedaten der Jahre 1988 bis 1996 für die Parameter P_{ges} , N_{ges} und CSB für die obere Lahn erstellte Box-Whisker-Plots





Anhang C.2: genauere Informationen zur Ermittlung der durchschnittlichen Schwermetallgehalte in den Ackerböden der oberen Lahn

Meta-Info zu Eingangsdaten:

Nr.	Parameter	Einheit	Quelle	Erläuterung/ Ermittlung/ Regionalisierung
1	SM-Gehalte im Boden	mg/kg	HLfB, Karte 1:300 000	unterschiedliche Werte zwischen Dill; Ohm; Rest
2	Bodenabtrag	kg/(ha*a)	Mohaupt 1998/UBA/IKSR Jung 1980/DVWK/Lahn DVWK Materialien 5/98	2700 2000-6000 4000
3	Ackerfläche	ha	GIS	ArcView-Daten
4	Eintragspotential	[-]	Mohaupt 1998/UBA/IKSR Jürgen Wiese/Lahn/Rh-Pf.	0,1 0,05
5	Anreicherungsfaktor ER	[-]	AUERSWALD 1989	ER= 2,53 * Bodenabtrag (t/ha*a) ^ -0,21

zu 2) Bodenabtrag nach Jung 1980/DVWK
Untersuchung von 3 Ackerstandorten in Hessen

	1 südöstl Gießen	2 Marburg	3 Kreis Marburg
Abtrag [kg/ha]	6238	6184	1940
n (Jahre)	17	15	8
Gefälle %	9 bis 11	9	8
Ausgangsgestein	Löß auf Basalt	unterer buntsandstein	Löß auf tertär
Bodentyp	Parabraunerde	Podsol-Braunerde	Braunerde-Podsol
Bodenart	uL	uIS	tL

Berechnung der allgemeinen Abtragungspotentiale: 1 * 2

[g/(ha*a)]

		Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
mit Bodenabträgen [kg/ha]							
	2000	0,6	135	41	61	197	135
	2700	0,8	182	55	82	266	182
	4000	1,2	270	81	122	395	270
	6000	1,8	405	122	183	592	405

Berechnung der Abtragungspotentiale von den Ackerflächen im Lahnggebiet: 1 * 2 * 3

[kg/a]

		Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
mit Bodenabträgen [kg/ha]							
	2000	73	15.915	4.775	7.191	23.254	15.915
	2700	98	21.485	6.446	9.708	31.393	21.485
	4000	145	31.830	9.549	14.383	46.508	31.830
	6000	218	47.745	14.324	21.574	69.761	47.745

ERGEBNIS:

Berechnung des flächenhaften Eintrags von Schwermetallen im Lahnggebiet: 1 * 2 * 3 * 4 * 5

[kg/a]

		Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
mit Rückhalt 90%							
mit Bodenabträgen [kg/ha]							
	2000	16	3.481	1.044	1.573	5.086	3.481
	2700	20	4.412	1.324	1.994	6.447	4.412
	4000	27	6.019	1.806	2.720	8.795	6.019
	6000	38	8.292	2.487	3.747	12.115	8.292
mit Rückhalt 95%							
mit Bodenabträgen [kg/ha]							
	2000	8	1.741	522	786	2.543	1.741
	2700	10	2.206	662	997	3.224	2.206
	4000	14	3.010	903	1.360	4.397	3.010
	6000	19	4.146	1.244	1.873	6.058	4.146

Graphikgrundlage:

[kg/a]

	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
"nutzungsspez. Frachtpot" 90% Rückhalt	60	5.174	686	1.673	652	259
"Erosion" mit 90% Rückhalt	27	6.019	1.806	2.720	8.795	6.019
"Erosion" mit 95% Rückhalt	14	3.010	903	1.360	4.397	3.010

[g/ha*a]

	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
"nutzungsspez. Frachtpot" 90% Rückhalt	0,5	43,9	5,8	14,2	5,5	2,2
"Erosion" mit 90% Rückhalt	0,2	51,1	15,3	23,1	74,6	51,1
"Erosion" mit 95% Rückhalt	0,1	25,5	7,7	11,5	37,3	25,5

Anhang C.3: Ergebnisse der beiden Methoden zur Bestimmung der diffusen Nährstoffemissionen der oberen Lahn

Ergebnisse nach Methode 1 "flächennutzungsspezifische Abträge"

Fracht [t/a]	Pges			Nges		
	Minimum	Mittel	Maximum	Minimum	Mittel	Maximum
Grünland	37	104	494	226	1.103	2.906
Ackerland	22	73	132	1.568	5.164	12.166
Wald	2	25	52	417	1.552	4.131
Summe Landwirtschaft	59	178	626	1.793	6.267	15.072
Summe diffuse Quellen	61	202	678	2.210	7.819	19.203

Ergebnisse nach Methode 2 "Immissionsmethode nach Behrendt"

Fracht [t/a]	Pges	Nges
a Gesamtfracht i. d. Lahn (Immissionen)	323	7.287
b punktförmige Einträge (Emissionen)	88	1.801
c Diffuse Einträge incl. RU(B) [c=a-b]	236	5.486
d Diffuse Einträge v.d. Fläche [d= c-20%]	188	4.389

Anteil diffuser Einträge an der Gesamtfracht [%]

Pges	Nges
100	100
27	25
73	75
58	60

Erläuterungen:

a: Ergebnisse der Fracht-Abflußbeziehung.

<Unterscheiden sich von den Ergebnissen nach der Konzentrations-Abflußbeziehung (siehe Bilanz).>

Geradengleichung der Regression:

Parameter für P und N:

y= a*x+b	a	b	R ²
Nges:	3,5865	42,975	0,8889
Pges:	0,154	2,1781	0,9718

b: Ergebnis aus der Bilanz punktförmiger Einträge, Pfad "Kläranlagen bei Trockenwetter"

c: Definitionsgemäß zählen die Einträge aus der Regenwasserbehandlung bei Behrendt zu diffusen Quellen.

d: Um aus (c) die flächenhaften Einträge zu ermitteln, werden die Frachten gemäß LAWA um 20% vermindert.

Methodenvergleich

flächenhafte Einträge [t/a]	Pges	Nges
Methode 1	202	7819
Methode 2	188	4389

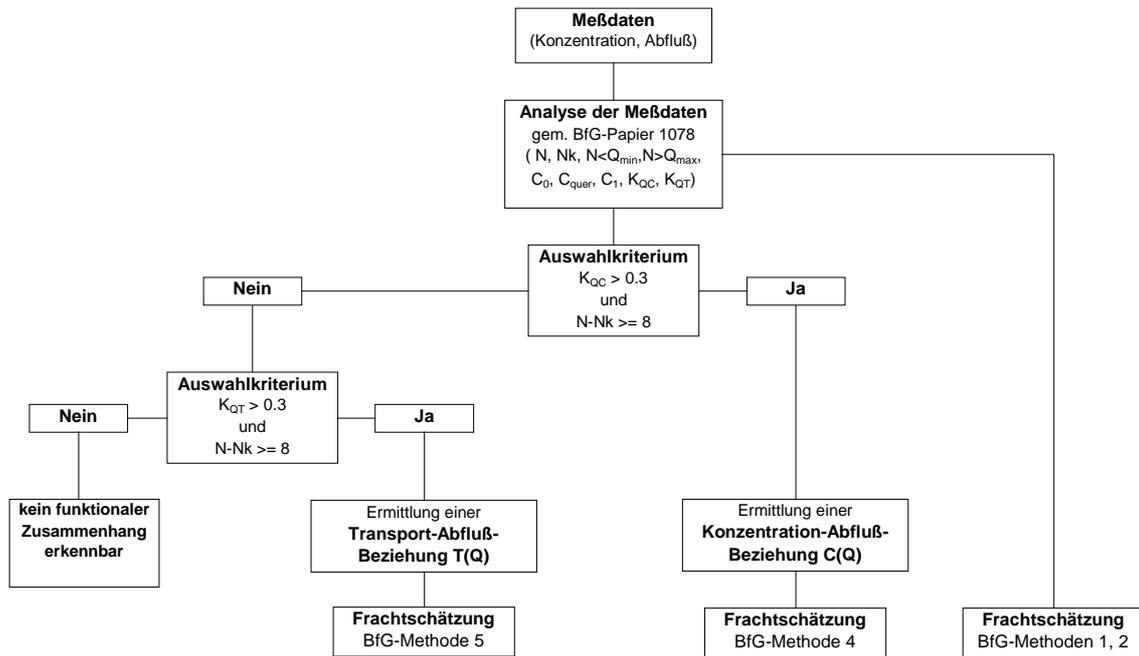
Anteil diffuser Eintr. a.d. Gesamtfracht (FQ-Bez.) [%]

Pges	Nges	
Methode 1	62,5	107,3
Methode 2	58,3	60,2

AEo:	4888 km ²
------	----------------------

flächenspezifische Einträge aus diffusen Quellen [t/(km ² *a)]	Pges	Nges
"nutzungsspezifisches Frachtpotential"	0,041	1,60
"Immissionsmethode"	0,039	0,90

Anhang C.4: Vorgehensweise bei der Immissionsschätzung der Nähr- und Zehrstoffe für die obere Lahn



Anhang C.5: Ergebnisliste bei der Immissionsschätzung der Nähr- und Zehrstoffe für die obere Lahn (gelöste Stoffe)

	Nges	Pges	CSB	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Daten des Meßprogrammes									
N	141	149	179	147	147	147	147	147	147
Nk	0	9	22	145	140	140	142	143	100
N-Nk	141	140	157	2	7	7	5	4	47
N<Q _{min}	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N>Q _{max}	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dimension	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]
C _{mittel o. <}	5,45	0,26	10,72	0,36	6,70	8,79	17,20	10,08	41,70
C ₀	5,45	0,25	9,40	0,00	0,32	0,42	0,59	0,27	13,33
C _{quer}	5,45	0,25	9,59	0,15	2,22	3,28	3,48	3,19	20,14
C ₁	5,45	0,25	9,77	0,30	4,13	6,13	6,38	6,11	26,94
Median o. <	5,40	0,26	9,00	0,36	4,50	7,90	9,00	9,15	25,00
K _{QC}	-0,34	-0,32	-0,12	-	-0,24	-0,36	-	-	-0,06
K _{QT}	0,99	0,94	0,92	-	0,99	0,96	-	-	0,89
C(Q) =	a * Q ^b	a * Q ^b	-	-	-	-	-	-	-
T(Q) =	-	-	a * Q + b	-	-	-	-	-	a * Q + b
a =	9,1612	0,5866	9,7057	-	-	-	-	-	32,188
b =	-0,1675	-0,2726	3,0424	-	-	-	-	-	324,85
R ² =	0,3716	0,3312	0,8548	-	-	-	-	-	0,7947
Frachtschätzung									
Q _{quer} [m ³ /s]	52,42	52,42	52,42	52,42	52,42	52,42	52,42	52,42	52,42
C _{quer} *Q _{quer} [t/a]	8.985	412	15.803	0,25	3,67	5,40	5,74	5,26	33,19
F ₀ [t/a]	6.386	252	11.362	0,01	0,94	0,61	0,58	1,14	17,98
F _{quer} [t/a]	6.386	260	11.549	0,20	3,19	4,33	4,35	4,65	26,52
F ₁ [t/a]	6.386	268	11.737	0,40	5,44	8,06	8,12	8,17	35,06
F _{QC} [t/a]	7.201	294	-	-	-	-	-	-	-
F _{QT} [t/a]	-	-	16.139	-	-	-	-	-	63,45
oberes Konfidenzband a*x³+b*x²+c*									
	x = ln Q	x = ln Q	x = Q						
a =	-0,0211	-0,0016	-7,7E-06						
b =	0,3448	0,0250	0,0075						
c =	-2,4423	-0,1745	9,2284						
d =	10,7926	0,6368	136,1791						
F _{oK} [t/a]	8123	357	20874						
unteres Konfidenzband a*x³+b*x²+c*									
	x = ln Q	x = ln Q	x = Q						
a =	0,0211	0,0015	7,66E-06						
b =	-0,3450	-0,0234	-0,00742						
c =	0,6957	0,0408	10,1789						
d =	5,8598	0,3080	-130,094						
F _{uK} [t/a]	6294	235	11402						
Regressionsgerade a*x+b									
	x = ln Q	x = ln Q	x = Q						
a =	-0,8737	-0,0638	9,7057						
b =	8,3266	0,4688	3,0424						

Legende zur Ergebnisliste

Daten des Gütemeßprogrammes

Formel / Zeichen	Erklärung	Quelle im BfG-1078
N	: Anzahl der vorliegenden Meßwerte	S. 24
N_k	: Anzahl der Meßwerte, die kleiner als die Bestimmungsgrenze sind	S. 24
N-N_k	: Anzahl der Meßwerte, die größer als die Bestimmungsgrenze sind	
N<Q_{min}	: Anzahl der Tage des Meßjahres, an denen der mittlere tägliche Abfluß kleiner ist als Q _{min}	S. 25
N>Q_{max}	: Anzahl der Tage des Meßjahres, an denen der mittlere tägliche Abfluß größer ist als Q _{max}	S. 25
Dimension :	: Angabe der Dimension der Meßwerte	
C_{mittel o. <}	: Mittelwert der Konzentration ohne die Meßwerte unter der Bestimmungsgrenze	
C₀	: Mittelwert der Konzentration, wobei Meßwerte unter der Bestimmungsgrenze zu Null gesetzt werden	S. 24
C_{quer}	: Mittelwert der Konzentration, wobei die Meßwerte unter der Bestimmungsgrenze mit dem halben Wert der Bestimmungsgrenze eingehen	S. 24
C₁	: Mittelwert der Konzentration, wobei die Meßwerte unter der Bestimmungsgrenze mit dem vollen Wert der Bestimmungsgrenze eingehen	S. 24
Median o. <	: Median der Meßwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze	
K_{QC}	: Pearson'scher Korrelationskoeffizient, der die lineare Abhängigkeit zwischen Abfluß (Q) und Konzentration (C) beschreibt. Datenbasis sind alle Meßwerte über der Bestimmungsgrenze !	S. 26
K_{QT}	: Pearson'scher Korrelationskoeffizient, der die lineare Abhängigkeit zwischen Abfluß (Q) und Transport (T) beschreibt. Datenbasis sind alle Meßwerte über der Bestimmungsgrenze !	S. 26
C(Q) =	: nichtlineare Regressionsfunktion der Konzentration (C) in Abhängigkeit vom Abfluß (Q) Voraussetzung: $ K_{QC} \geq 0.3$ und $N-N_k \geq 8$	S. 26
T(Q) =	: nichtlineare Regressionsfunktion des Transportes (C) in Abhängigkeit vom Abfluß (Q) Voraussetzung: $ K_{QT} \geq 0.3$ und $N-N_k \geq 8$	S. 26
a =	: Parameter der Funktion C(Q) bzw. T(Q)	
b =	: Parameter der Funktion C(Q) bzw. T(Q)	
R² =	: Bestimmtheitsmaß der Regressionsfunktion beschreibt die Güte der Anpassungskurve	

Daten der Frachtschätzung

Formel / Zeichen	Erklärung	Quelle im BfG-1078
Q_{quer} [m³/s]	: Mittlerer Abfluß des Meßjahres 1995	
C_{quer} * Q_{quer} [t/a]	: Geschätzte Jahresfracht nach Methode 1	S. 10 Gleichung (4), S.25
F₀ [t/a]	: Geschätzte Jahresfracht nach Methode 2	S. 10 Gleichung (5), S.25
F_{quer} [t/a]	: Geschätzte Jahresfracht nach Methode 2	S. 10 Gleichung (5), S.25
F₁ [t/a]	: Geschätzte Jahresfracht nach Methode 2	S. 10 Gleichung (5), S.25
F_{QC} [t/a]	: Geschätzte Jahresfracht nach Methode 4	S. 11 Gleichung (8), S.26
F_{QT} [t/a]	: Geschätzte Jahresfracht nach Methode 5	S. 13 Gleichung (13), S.26
oberes Konfidenzband	: Funktion des oberen Konfidenzbandes mit Erläuterung der für die Linearisierung der ursprünglichen Regressionsfunktion erforderlichen Transformation der Abflußwerte (lnQ).	
a*x³+b*x²+c*x+d		
a =	: Parameter der Funktion des oberen Konfidenzbandes	
b =	: Parameter der Funktion des oberen Konfidenzbandes	
c =	: Parameter der Funktion des oberen Konfidenzbandes	
d =	: Parameter der Funktion des oberen Konfidenzbandes	
F_{ok} [t/a]	: Geschätzte Jahresfracht mit der Funktion des oberen Konfidenzbandes	
unteres Konfidenzband	: Funktion des unteren Konfidenzbandes mit Erläuterung der für die Linearisierung der ursprünglichen Regressionsfunktion erforderlichen Transformation der Abflußwerte (lnQ).	
a*x³+b*x²+c*x+d		
a =	: Parameter der Funktion des unteren Konfidenzbandes	
b =	: Parameter der Funktion des unteren Konfidenzbandes	
c =	: Parameter der Funktion des unteren Konfidenzbandes	
d =	: Parameter der Funktion des unteren Konfidenzbandes	
F_{uk} [t/a]	: Geschätzte Jahresfracht mit der Funktion des oberen Konfidenzbandes	
Regressionsgerade	: Funktion der Regressionsgeraden mit Erläuterung der, für die Linearisierung der ursprünglichen Regressionsfunktion erforderlichen, Transformation der Abflußwerte (lnQ).	
a*x+b		
a =	: Parameter der linearen Regressionsfunktion	
b =	: Parameter der linearen Regressionsfunktion	

Anhang C.6: Jahresfrachten für Nähr- und Zehrstoffe für die obere Lahn (gelöste Stoffe)

Jahresfrachten in der Lahn bei Limburg bzw. Diez 1995Einzugsgebiet: 4887,85 km²**Frachten [t/a]**

	Nges	Pges	CSB
Regressionswert	7.201	294	16.139
max (oberes Konfidenzband)	8123	357	20874
min (unteres Konfidenzband)	6294	235	11402

Frachten [t/(km²*a)]

	Nges	Pges	CSB
Regressionswert	1,47	0,060	3,30
max (oberes Konfidenzband)	1,66	0,073	4,27
min (unteres Konfidenzband)	1,29	0,048	2,33

Abweichungen vom Regressionswert in [t/(km²*a)]

	Nges	Pges	CSB
max	0,19	0,01	0,97
min	0,19	0,01	0,97

Anteile vom Regressionswert in %

	Nges	Pges	CSB
max	113	121	129
min	87	80	71

Abweichungen von Regressionswert in %

	Nges	Pges	CSB
max	13	21	29
min	13	20	29

Anhang C.7: Jahresfrachten der Emissionen von Nähr- und Zehrstoffen und der Schwermetalle für die obere Lahn

Nähr- und Zehrstoffe

geordnet nach Kläranlage und Kanal

Emissionen in t/a aus	Pges	Nges	CSB
Kläranlagenabläufen, TW-Abfluß	160	1.758	4.893
Kläranlagenabläufen, NW-Abfluß	92	1.025	2.832
Summe Kläranlagenabläufe:	252	2.783	7.725
Regenentlastungen (Mischsystem)	44	280	4.766
Regenauslässen (Trennsystem)	5	40	974
Kanäle ohne KA-Anschluß (NW)	1	10	250
Kanäle ohne KA-Anschluß (TW)	19	104	820
Summe Kanalnetz:	70	434	6.810
Summe Kläranlage + Kanal:	322	3.217	14.535
Industrielle Direkteinleiter ¹⁾	5	582	456
Summe punktförmiger Einträge:	327	3.799	14.991
Diffuse Quellen (Immissionsmethode)	188	4.389	
Gesamtemissionen	515	8.188	14.991
Immissionen in fließender Welle	294	7201	16.139
Immissionen an Schwebstoff gebunden	88	246	
Gesamtimmisionen	382	7.447	

geordnet n. Trocken-/Regenwetterabfluß

[t/a]	Pges	Nges	CSB
KA (TW)	160	1.758	4.893
Kanal o. KA (TW)	19	104	820
Emissionen bei TW	179	1.862	5.713
KA (RW)	92	1.025	2.832
Kanal o. KA (RW)	1	10	250
Entlastungen	44	280	4.766
Auslässe	5	40	974
Emissionen bei RW	143	1.355	8.822
Emissionen (TW+RW)	322	3.217	14.535
Industr. Direkteinl.	5	582	456
Summe punkt. Einträge:	327	3.799	14.991
Summe Kläranlagenabläufe:	252	2.783	7.725
Summe Kanalnetz:	70	434	6.810

¹⁾ Jahresfrachten aus Einleitergenehmigungen oder Messungen 1991, Lahn oberhalb Wetzlar; PO₄-P

Frachtanteile; "Emissionen (TW+NW)" ohne Industrie

[%]	Pges	Nges	CSB
KA (TW)	50	55	34
Kanal o. KA (TW)	6	3	6
Emissionen bei TW	56	58	39
KA (RW)	29	32	19
Kanal o. KA (RW)	0	0	2
Entlastungen	14	9	33
Auslässe	2	1	7
Emissionen bei RW	44	42	61
Emissionen (TW+RW)	100	100	100
Industr. Direkteinl.	2	18	3
Summe Kläranlagenabläufe:	78	87	53
Summe Kanalnetz:	22	13	47

Schwermetalle

geordnet nach Kläranlage und Kanal

Emissionen in kg/a aus	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
Kläranlagenabläufen, TW-Abfluß	110	17.825	5.734	2.374	1.260	2.283
Kläranlagenabläufen, NW-Abfluß	70	9.979	770	279	174	174
Summe Kläranlagenabläufe:	180	27.805	6.504	2.653	1.434	2.457
Regenentlastungen (Mischsystem)	159	37.900	2.941	1.478	653	821
Regenauslässen (Trennsystem)	45	10.700	777	383	174	219
Kanäle ohne KA-Anschluß (NW)	12	2.745	199	98	45	56
Kanäle ohne KA-Anschluß (TW)	4	779	192	57	22	75
Summe Kanalnetz:	219	52.124	4.109	2.017	894	1.171
Summe Kläranlage + Kanal:	399	79.929	10.612	4.670	2.328	3.628
Industr. Direkteinl.	23	5.908	3.063	3	4.651	4.763
Summe punktförmiger Einträge:	422	85.837	13.675	4.672	6.979	8.391
Diffuse Quellen	14	3.010	903	1.360	4.397	3.010
Gesamtemissionen	435	88.846	14.578	6.032	11.376	11.401
Immissionen in fließender Welle	252	33.193	5.399	5.263	3.666	5.742
Immissionen an Schwebstoff	39	14.647	4.170	2.832	5.196	2.297
Immissionen	291	47.840	9.570	8.095	8.861	8.038

geordnet nach Trockenwetter und Regenwetter

[kg/a]	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
KA (TW)	110	17.825	5.734	2.374	1.260	2.283
Kanal o. KA (TW)	4	779	192	57	22	75
Emissionen (TW)	113	18.604	5.925	2.431	1.282	2.358
KA (RW)	70	9.979	770	279	174	174
Kanal o. KA (RW)	12	2.745	199	98	45	56
Entlastungen	159	37.900	2.941	1.478	653	821
Auslässe	45	10.700	777	383	174	219
Emissionen (RW)	285	61.325	4.687	2.239	1.046	1.270
Emissionen (TW+RW)	399	79.929	10.612	4.670	2.328	3.628
Industr. Direkteinl.	23	5.908	3.063	3	4.651	4.763
Summe punkt. Einträge:	422	85.837	13.675	4.672	6.979	8.391
Summe Kläranlagenabläufe:	180	27.805	6.504	2.653	1.434	2.457
Summe Kanalnetz:	219	52.124	4.109	2.017	894	1.171

Frachtanteile; "Emissionen (TW+NW)" ohne Industrie

[%]	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
KA (TW)	28	22	54	51	54	63
Kanal o. KA (TW)	0,9	1	2	1	1	2
Emissionen (TW)	28	23	56	52	55	65
KA (RW)	18	12	7	6	7	5
Kanal o. KA (RW)	3	3	2	2	2	2
Entlastungen	40	47	28	32	28	23
Auslässe	11	13	7	8	7	6
Emissionen (RW)	72	77	44	48	45	35
Emissionen (TW+RW)	100	100	100	100	100	100
Industrielle Direkteinl.:	6	7	29	0,05	200	131
Summe Kläranlagenabläufe:	45	35	61	57	62	68
Summe Kanalnetz:	55	65	39	43	38	32

Anhang C.8: Immissionsschätzung für Schwermetalle an Schwebstoffen der oberen Lahn (verschiedene Methoden)

BfG-Formel(21): $\text{Fracht} = \text{Mittelwert C} * \text{Mittelwert Q} * \text{Mittelwert S} * 364 * 86400 / 1000^3$

	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Mittelwert C [mg/kg]	91,22	65,37	57,43	433,25	1,42	71,75
Mittelwert Q [m³/s]	48,62	48,62	48,62	48,62	48,62	48,62
Mittelwert S [mg/l]	18,22	18,22	18,22	18,22	18,22	18,22
Fracht [kg/a]	2541	1821	1600	12070	39	1999

BfG-Formel(14): $F(Q) = a * Q^b$ bzw. BfG-Formel(9): $C(Q) = a * e^{(b * Q)}$

	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Methode	C(Q)	F(Q)	C(Q)	F(Q)	F(Q)	F(Q)
Fracht [kg/a]	5196	2297	4170	14647	21	2832

Tabelle im Text (andere Reihenfolge der Parameter):

[t/a]

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
nach BfG-Formel (21)	0,04	2,54	1,60	1,82	2,00	12,07
nach BfG-Formeln (9) bzw. (14)	0,02	5,20	4,17	2,30	2,83	14,65
Differenz in %	-92	51	62	21	29	18

Gesamt-Immissionen= gelöst+ schwebstoffgebunden

[t/a]

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
kleinster Wert von je 2 Methoden	0,2	5,7	5,9	6,2	6,7	38,6
größter Werte von je 2 Methoden	0,3	8,9	9,6	8,0	8,1	47,8

Frachten in der fließenden Welle (gelöste Stoffe)

[t/a]

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
BfG-Formel (4)	0,25	3,67	5,40	5,74	5,26	33,19
BfG-Formel (5)	0,20	3,19	4,33	4,35	4,65	26,52
Differenz in %	20,1	13,0	19,7	24,2	11,6	20,1

Verhältnis schwebstoffgebundener Stoffe an Gesamt-Immissionen

[%]

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
kleinster Wert von je 2 Methoden	9	44	27	30	30	31
größter Werte von je 2 Methoden	14	59	44	29	35	31

Legende:

C= Stoffkonzentration im Schwebstoff (gemessen)

Q= Mittl. Tagesabfluß (gemessen)

S= Schwebstoffgehalt (berechnet aus TS u. D:

TS= Trockensubstanz

D= Durchsatz der Probenahmezentrifuge)

Anhang C.9: Ergebnisse der Emissionsschätzung für das Szenario „Stand der Technik“ , Nähr- und Zehrstoffe, obere Lahn

[t/a]

Emissionen aus	Pges	Nges	CSB
Kläranlagenabläufen, TW-Abfluß	161	1.775	4.892
Kläranlagenabläufen, NW-Abfluß	93	1.039	2.870
Summe Kläranlagenabläufe:	254	2.813	7.761
Regenentlastungen (Mischsystem)	44	279	4.778
Regenausslässen (Trennsystem)	5	40	974
Kanäle ohne KA-Anschluß (NW)			
Kanäle ohne KA-Anschluß (TW)			
Summe Kanalnetz:	49	318	5.752
Summe Kläranlage + Kanal:	303	3.132	13.513
Industrielle Direkteinl. :	5	582	456
Summe punktförmiger Einträge:	308	3.714	13.969
Gesamtemissionen	308	3.714	13.969

[t/a]	Pges	Nges	CSB
KA (TW)	161	1.775	4.892
Kanal o. KA (TW)			
Industr. Direkteinl.	5	582	456
Emissionen (TW)	166	2.357	5.348
KA (RW)	93	1.039	2.870
Kanal o. KA (RW)			
Entlastungen	44	279	4.778
Auslässe	5	40	974
Emissionen (RW)	142	1.357	8.621
Emissionen (TW+RW)	308	3.714	13.969
Summe Kläranlagenabläufe:	254	2.813	7.761
Summe Kanalnetz:	49	318	5.752

[%]	Pges	Nges	CSB
KA (TW)	52	48	35
Kanal o. KA (TW)			
Industr. Direkteinl.	2	16	3
Emissionen (TW)	54	63	38
KA (RW)	30	28	21
Kanal o. KA (RW)			
Entlastungen	14	8	34
Auslässe	2	1	7
Emissionen (RW)	46	37	62
Emissionen (TW+RW)	100	100	100
Summe Kläranlagenabläufe:	82	76	56
Summe Kanalnetz:	16	9	41

Anhang C.10: Ergebnisse der Emissionsschätzung für das Szenario „Städtebauliche Maßnahmen“, Schwermetalle, obere Lahn

[kg/a]

Emissionen aus	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
Kläranlagenabläufen, TW-Abfluß	112	18.175	5.846	2.419	1.285	2.330
Kläranlagenabläufen, NW-Abfluß	83	13.242	762	286	234	238
Summe Kläranlagenabläufe:	195	31.416	6.607	2.705	1.519	2.568
Regenentlastungen (Mischsystem)	7	1.803	96	48	30	38
Regenausslässen (Trennsystem)	32	8.525	438	221	136	172
Summe Kanalnetz:	39	10.329	534	268	165	210
Summe Kläranlage + Kanal:	234	41.745	7.141	2.973	1.684	2.778
Industrielle Direkteinl.:	23	5.908	3.063	3	4.651	4.763
Summe punktförmiger Einträge:	257	47.653	10.204	2.975	6.335	7.541
Gesamtemissionen	257	47.653	10.204	2.975	6.335	7.541

	[kg/a]	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni	[%]	Cd	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni
KA (TW)		112	18.175	5.846	2.419	1.285	2.330		44	38	57	81	20	31
Industr. Direkteinl.		23	5.908	3.063	3	4.651	4.763		9	12	30	0	73	63
Emissionen (TW)		135	24.083	8.909	2.421	5.936	7.093		52	51	87	81	94	94
KA (RW)		83	13.242	762	286	234	238		32	28	7	10	4	3
Entlastungen		7	1.803	96	48	30	38		3	4	1	2	0,5	0,5
Auslässe		32	8.525	438	221	136	172		12	18	4	7	2	2
Emissionen (RW)		122	23.570	1.296	554	399	448		48	49	13	19	6	6
Emissionen (TW+RW)		257	47.653	10.204	2.975	6.335	7.541		100	100	100	100	100	100
Summe Kläranlagenabläufe:		195	18.175	5.846	2.419	1.285	2.330		76	38	57	81	20	31
Summe Kanalnetz:		39	41.745	7.141	2.973	1.684	2.778		15	88	70	100	27	37

