

9. Ergebnisse der Ermittlung der Nährstoffeinträge und –frachten im Flussgebiet der Elbe

9.1 Diffuse Nährstoffeinträge

Die **Tabelle 9.1** und die **Abb. 9.1** geben einen Überblick zu den diffusen Phosphoreinträgen in die Teilgebiete der Elbe. In der Mulde, der Saale und in dieser insbesondere in den Gebieten der Unstrut und Weißen Elster werden die höchsten spezifischen diffusen P-Einträge mit 0,78 bis 1,09 kg P/(ha·a) realisiert. Die Ursache für diese vergleichsweise hohen gesamten diffusen P-Einträge sind vor allem die Einträge über Erosion, die mit fast 50 % den Hauptanteil der diffusen P-Einträge stellen. Nach Behrendt et al. (1999) wurden zwar ebenfalls sehr hohe spezifische P-Einträge durch sehr hohe P-Konzentrationen von dränierten Hochmoorflächen im Bereich der Stör und der Tideelbe ermittelt, diese konnten jedoch auf der Basis von Detailuntersuchungen in der Stör von Venohr et al. (2001) korrigiert werden, da es sich dabei vorwiegend um dränierte Flächen mit Grünlandnutzung handelt. Es konnte gezeigt werden, dass die P-Konzentrationen in den dränierten Hochmoorflächen im Elbegebiet mit ca. 1 mg P/l deutlich unter den von Foerster & Neumann (1981) und Raderschall (1994) angegebenen Konzentrationen von ca. 10 mg P/l für solche Flächen im unteren Wesergebiet liegen.

Bei den diffusen P-Einträgen ist weiterhin zu beachten, dass in der Mulde, der Saale und im Zwischengebiet der Elbe von Schmilka bis zur Saalemündung die Einträge von urbanen Flächen überdurchschnittlich hoch sind. Dies betrifft insbesondere die Einträge aus Mischkanalisation, Trennkanalisation und von Einwohnern und urbanen Flächen, die an die Kanalisation aber nicht an eine Kläranlage bzw. an keine Kanalisation angeschlossen sind. Die Ursache liegt einerseits in der für den Festgesteinsbereich zur Zeit noch vorhandenen Dominanz der Mischkanalisation, aber auch in einem noch relativ hohen Anteil der Bevölkerung, der zwar an eine Kanalisation aber an keine Kläranlage angeschlossen ist. Im Vergleich zu den anderen Teilgebieten sind die P-Einträge über das Grundwasser in Mulde und Saale nur etwa halb so groß. Dies ist vor allem dadurch verursacht, dass in beiden Gebieten anaerobe oberflächennahe Grundwässer nicht in dem Maße vorkommen wie im Zwischengebiet der Elbe unterhalb der Saalemündung, in der Havel und in der Tideelbe.

In der Mulde, der Tideelbe und der Saale sowie deren Nebenflüsse werden nach **Tabelle 9.2** und **Abb. 9.2** die höchsten spezifischen diffusen N-Einträge mit 16 bis 22 kg N/(ha·a) realisiert. Insbesondere die Weiße Elster ist das Einzugsgebiet im deutschen Teil der Elbe, in dem mit fast 21 kgN/(ha·a) die höchsten Stickstoffeinträge ermittelt wurden. In der Havel und ihren Nebenflüssen sind dagegen die spezifischen diffusen N-Einträge nur halb so groß wie im Gesamtgebiet der Elbe. In allen Teilgebieten werden 80 – 90 % der diffusen Stickstoffeinträge allein durch die Einträge über das Grundwasser und Dränagen verursacht, wobei die Grundwassereinträge mit 50-70 % als der dominante Eintragspfad anzusehen sind.

Der Anteil der Dränagen an den diffusen Stickstoffeinträgen ist mit ca. 45 % in der Weißen Elster und in der Stör besonders hoch und in der Ilmenau mit weniger als 10 % am geringsten. Generell ist zu beachten, dass die Dränflächen im tschechischen Elbegebiet bisher von Behrendt et al. (1999) nur sehr grob abgeschätzt werden konnten, und damit die Stickstoffeinträge über Dränagen bisher nur als grobe Richtwerte anzusehen sind.

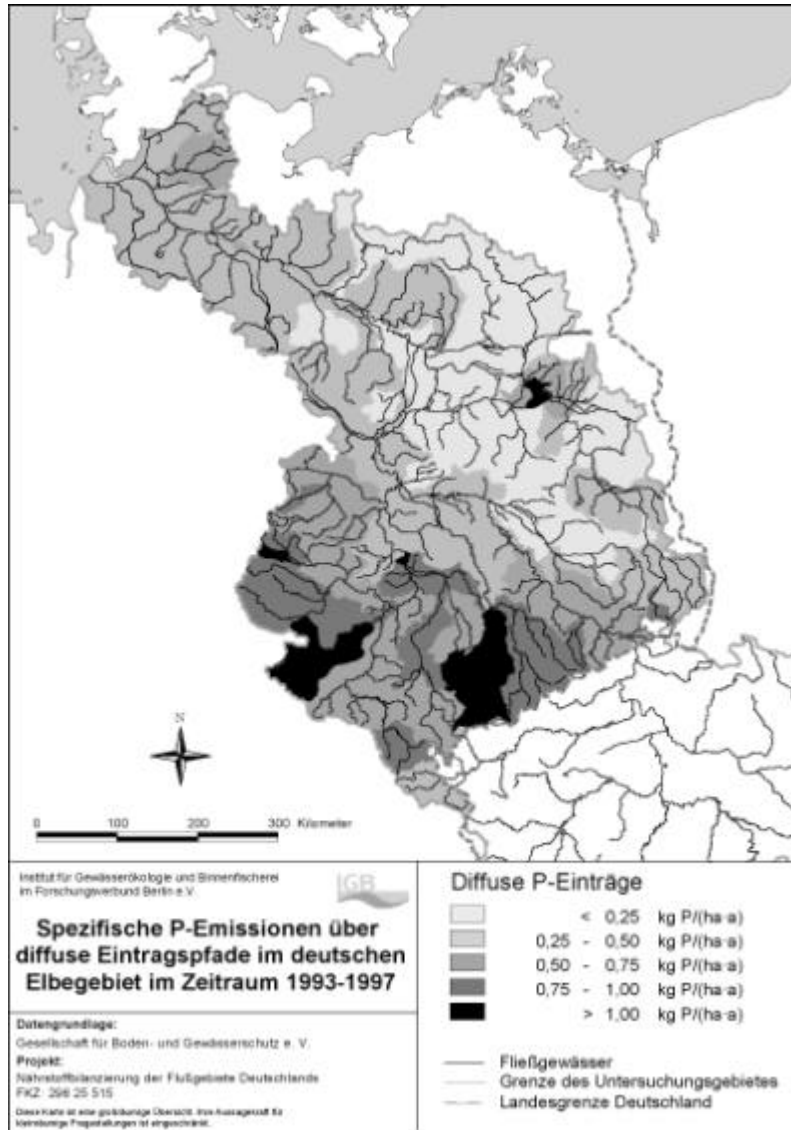


Abb. 9.1: Diffuse P-Einträge in den Teilgebieten der Elbe im Zeitraum 1993-1997

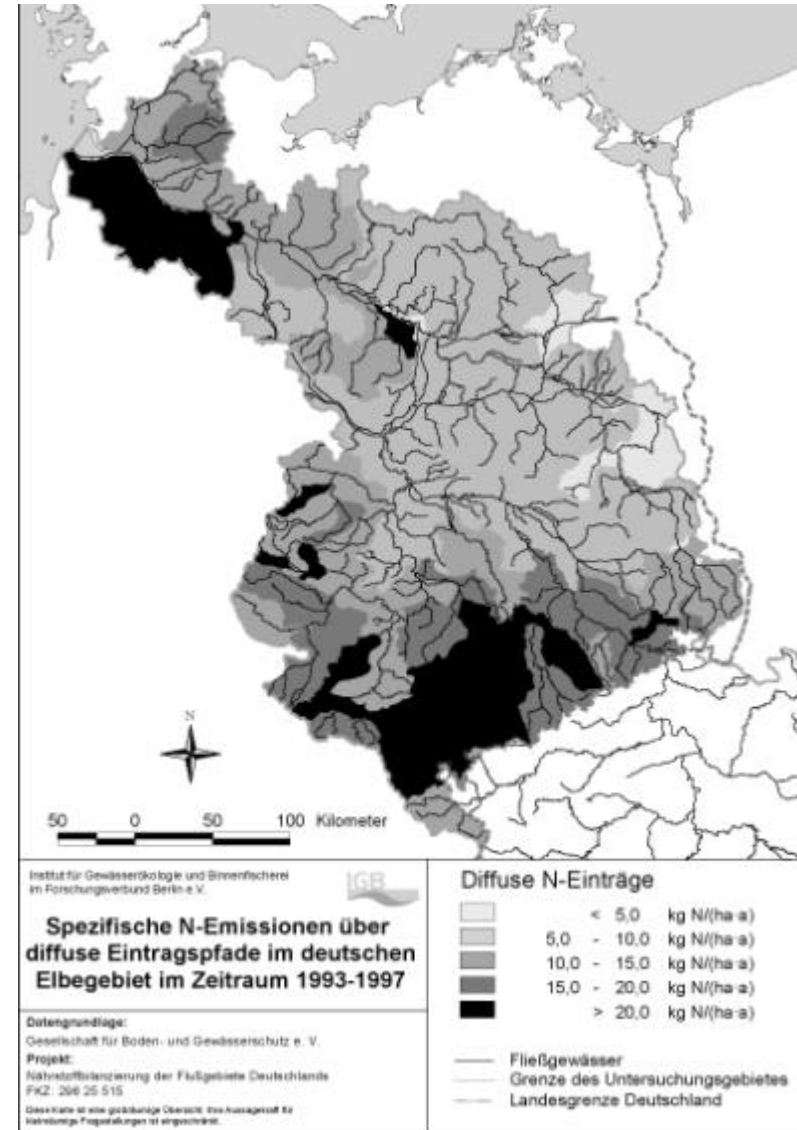


Abb. 9.2: Diffuse N-Einträge in den Teilgebieten der Elbe im Zeitraum 1993-1997

Tabelle 9.1: Spezifische diffuse P-Einträge in die Elbeteilgebiete im Zeitraum 1993-1997.

	EGW _P	EDR _P	EAD _P	EER _P	ERO _P	EUR _P	ED _P
	kgPha ⁻¹ a ⁻¹	kgPha ⁻¹ a ⁻¹	kgPha ⁻¹ a ⁻¹	kgPha ⁻¹ a ⁻¹	kgPha ⁻¹ a ⁻¹	kgPha ⁻¹ a ⁻¹	kgPha ⁻¹ a ⁻¹
Elbe Schmilka	0,06	0,01	0,01	0,27	0,04	0,12	0,49
Elbe Schmilka - Saale	0,06	0,03	0,01	0,27	0,06	0,17	0,60
Schwarze Elster	0,05	0,03	0,01	0,10	0,03	0,09	0,30
Mulde	0,06	0,02	0,00	0,39	0,11	0,25	0,83
Saale	0,04	0,01	0,00	0,43	0,06	0,22	0,78
Unstrut	0,03	0,01	0,00	0,56	0,17	0,32	1,09
Weißel Elster	0,04	0,03	0,01	0,40	0,04	0,28	0,80
Bode	0,03	0,01	0,00	0,35	0,09	0,14	0,62
Havel	0,11	0,01	0,01	0,05	0,01	0,06	0,26
obere Havel	0,12	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,21
Spree	0,11	0,02	0,01	0,07	0,02	0,09	0,32
Elbe von Saale bis Zollenspieker	0,08	0,03	0,01	0,07	0,02	0,05	0,25
Stepenitz	0,12	0,04	0,01	0,09	0,02	0,04	0,31
Elde	0,03	0,03	0,04	0,05	0,02	0,03	0,21
Sude	0,08	0,03	0,01	0,08	0,04	0,02	0,26
Tideelbe	0,13	0,09	0,01	0,04	0,06	0,09	0,42
Stoer	0,16	0,24	0,00	0,03	0,10	0,05	0,59
Illmenau	0,11	0,01	0,00	0,14	0,05	0,03	0,34
Elbe bis Zollenspieker	0,07	0,02	0,01	0,23	0,04	0,12	0,49
Elbe gesamt	0,07	0,02	0,01	0,21	0,04	0,12	0,48

Tabelle 9.2: Spezifische diffuse N-Einträge in die Elbeteilgebiete im Zeitraum 1993-1997

Gewässer	EGW _N	EDR _N	EAD _N	EER _N	ERO _N	EUR _N	ED _N
	kgNha ⁻¹ a ⁻¹	kgNha ⁻¹ a ⁻¹	kgNha ⁻¹ a ⁻¹	kgNha ⁻¹ a ⁻¹	kgNha ⁻¹ a ⁻¹	kgNha ⁻¹ a ⁻¹	kgNha ⁻¹ a ⁻¹
Elbe Schmilka	8,54	2,02	0,24	0,71	0,12	0,83	12,45
Elbe Schmilka - Saale	7,94	4,70	0,23	0,46	0,17	1,68	15,17
Schwarze Elster	5,21	3,53	0,31	0,11	0,08	1,00	10,24
Mulde	10,22	5,68	0,18	0,74	0,28	2,32	19,43
Saale	10,13	4,57	0,20	0,70	0,17	1,96	17,72
Unstrut	9,37	2,25	0,18	0,88	0,41	2,58	15,66
Weißel Elster	9,13	9,22	0,22	0,59	0,10	2,48	21,74
Bode	8,37	3,72	0,17	0,54	0,25	1,27	14,31
Havel	3,87	1,66	0,53	0,06	0,04	0,66	6,83
obere Havel	2,70	1,09	0,84	0,03	0,03	0,37	5,06
Spree	3,98	2,03	0,48	0,10	0,05	0,88	7,53
Elbe von Saale bis Zollenspieker	4,18	3,85	0,49	0,10	0,05	0,43	9,11
Stepenitz	4,23	3,84	0,19	0,10	0,06	0,39	8,81
Elde	1,82	3,62	1,55	0,08	0,05	0,30	7,42
Sude	6,94	4,37	0,38	0,12	0,13	0,27	12,20
Tideelbe	10,90	3,82	0,45	0,06	0,27	0,47	15,97
Stoer	7,62	7,50	0,23	0,04	0,42	0,31	16,13
Illmenau	8,60	0,66	0,17	0,19	0,15	0,15	9,92
Elbe bis Zollenspieker	7,37	3,04	0,32	0,48	0,11	1,06	12,38
Elbe gesamt	7,71	3,11	0,33	0,44	0,13	1,00	12,72

EGW – Nährstoffeintrag über das Grundwasser, EDR – Eintrag über Drainage, EAD – Eintrag über atmosphärische Deposition, EER – Eintrag über Erosion, ERO – Eintrag über Abschwemmung, EUR – Eintrag über

9.2 Diffuse, punktuelle und gesamte Nährstoffeinträge

Neben den diffusen Nährstoffeinträgen haben auch die punktuellen Einträge nach wie vor eine Bedeutung für die gesamte Belastungssituation der Flüsse. Die **Tabellen 9.3 und 9.4** sowie die **Abb. 9.3 und 9.4** geben einen zusammenfassenden Überblick über die diffusen und punktuellen Phosphor- und Stickstoffeinträge in die Teilgebiete der Elbe. Bezogen auf das Gesamtgebiet der Elbe werden demnach im Zeitraum 1993-1997 noch knapp 40 % der gesamten Phosphoreinträge durch Punktquellen verursacht. Dabei ist zu beachten, dass von den insgesamt 5190 t P, die pro Jahr eingetragen werden, ca. 540 t P/a durch industrielle Direkteinleiter und 4.650 t P/a durch Einträge aus kommunalen Kläranlagen hervorgerufen werden. 320 t P/a bzw. 59 % der gesamten P-Einträge von industriellen Direkteinleitern werden im tschechischen Elbegebiet eingeleitet.

Im tschechischen Elbeteil, in der Mulde, der Weißen Elster und der Spree lag der Anteil der Punktquellen im Zeitraum 1993-1997 sogar noch bei 40 % bis 47 %. Eine Ursache für den vergleichsweise hohen Anteil der punktuellen P-Einträge im tschechischen Elbegebiet sind die im Vergleich zu Deutschland noch hohen einwohnerspezifischen P-Emissionen, hervorgerufen durch die Verwendung von P-haltigen Waschmitteln.

Im deutschen Elbegebiet konnte durch die Einführung P-freier Waschmittel in den neuen Bundesländern ab Juli 1990 sehr schnell eine Senkung der P-Einträge um ca. 50 % erreicht werden (Behrendt et al. 2001). Die hohen punktuellen P-Einträge im Gebiet der Mulde sind nach Schmoll (1999) vor allem auf den im Jahr 1995 noch vergleichsweise geringen Anteil von Kläranlagen mit weitergehender P-Eliminierung zurückzuführen.

Für Stickstoff liegt der Anteil der Punktquellen am N-Eintrag in das gesamte Elbegebiet bei 27 %. Die Einträge von industriellen Direkteinleitern betragen nach Behrendt et al. (1999) 18.280 t N/a bzw. 26 % der gesamten punktuellen N-Einträge. Nahezu die Hälfte der durch industrielle Direkteinleiter hervorgerufenen punktuellen N-Einträge werden bereits in die Elbe oberhalb von Schmilka eingeleitet. Wie die **Tabelle 9.4** zeigt, ist der Anteil der Punktquellen an den gesamten N-Einträgen in der Havel, der Spree und der Weißen Elster besonders hoch. Dies ist jedoch für Havel und Spree nicht auf vergleichsweise geringere N-Elimination in den Kläranlagen sondern auf die geringen diffusen N-Einträge im Havelgebiet zurückzuführen.

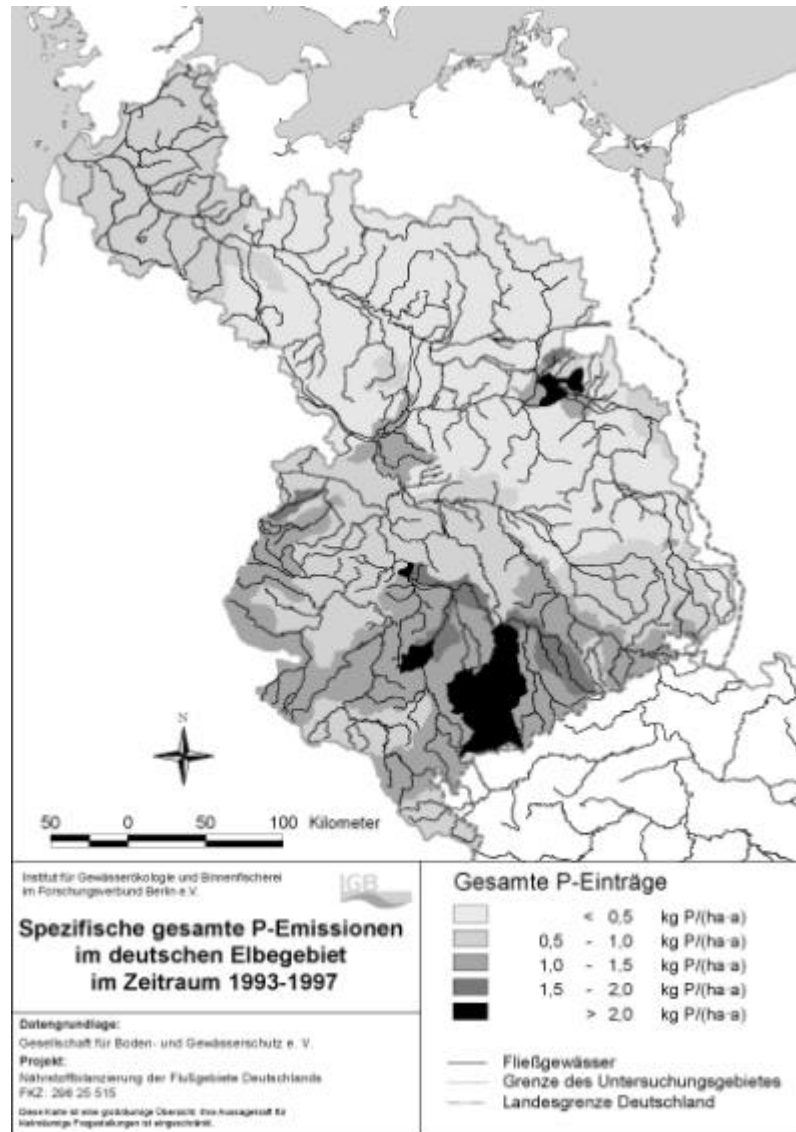


Abb. 9.3: Gesamte P-Einträge in den Teilgebieten der Elbe im Zeitraum 1993-1997

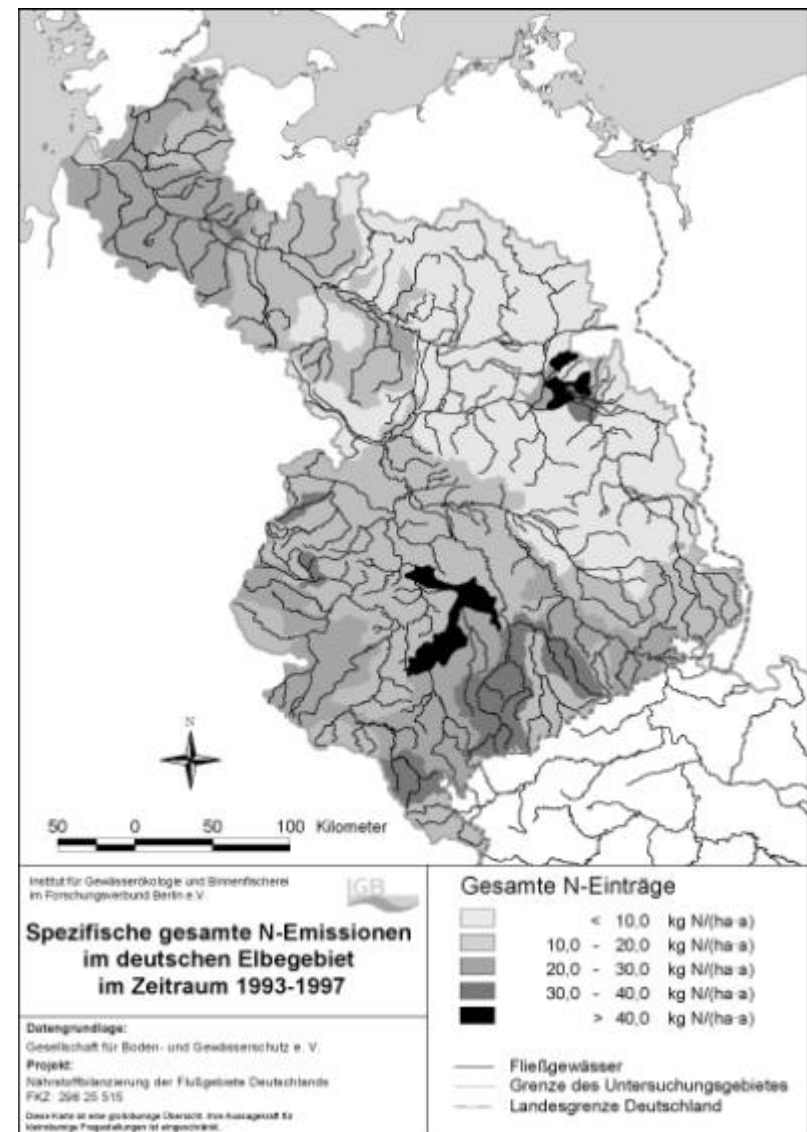


Abb. 9.4: Gesamte N-Einträge in den Teilgebieten der Elbe im Zeitraum 1993-1997

Tabelle 9.3: Diffuse, punktförmige und gesamte Phosphoreinträge in die Teilgebiete der Elbe 1993-1997

Gewässer	ED _P	EKA _P	EID _P	EGES _P	ANED _P	ANEP _P
	[ktP/a]	[ktP/a]	[ktP/a]	[ktP/a]	[%]	[%]
Elbe Schmilka	2,545	2,025	0,323	4,893	52,0	48,0
Elbe Schmilka – Saale	1,085	0,831	0,050	1,966	55,2	44,8
Schwarze Elster	0,163	0,103	0,000	0,266	61,1	38,7
Mulde	0,591	0,528	0,048	1,167	50,6	49,4
Saale	1,838	0,843	0,066	2,748	66,9	33,1
Unstrut	0,221	0,038	0,000	0,259	85,2	14,7
Weißelster	0,399	0,346	0,000	0,745	53,6	46,4
Bode	0,201	0,072	0,000	0,273	73,6	26,4
Havel	0,614	0,430	0,024	1,069	57,5	42,5
obere Havel	0,065	0,028	0,000	0,092	70,1	30,4
Spree	0,322	0,235	0,000	0,557	57,9	42,2
Elbe von Saale bis Zollenspieker	0,452	0,273	0,023	0,748	60,4	39,6
Stepenitz	0,029	0,006	0,000	0,036	82,4	16,7
Elde	0,065	0,024	0,000	0,088	73,3	27,3
Sude	0,057	0,006	0,000	0,064	89,9	9,4
Tideelbe	0,606	0,251	0,053	0,911	66,5	33,4
Stoer	0,086	0,022	0,000	0,108	79,7	20,4
Illmenau	0,075	0,027	0,000	0,102	73,9	26,5
Elbe bis Zollenspieker	6,554	4,403	0,487	11,443	57,3	42,7
Elbe gesamt	7,160	4,654	0,540	12,354	58,0	42,0

Tabelle 9.4: Diffuse punktförmige und gesamte Stickstoffeinträge in die Teilgebiete der Elbe 1993-1997.

Gewässer	ED _N	EKA _N	EID _N	EGES _N	ANED _N	ANEP _N
	[ktN/a]	[ktN/a]	[ktN/a]	[ktN/a]	[%]	[%]
Elbe Schmilka	64,08	13,56	8,87	86,51	74,1	25,9
Elbe Schmilka - Saale	27,56	8,10	1,49	37,16	74,2	25,8
Schwarze Elster	5,60	0,91	0,66	7,17	78,1	21,9
Mulde	13,82	4,27	0,81	18,90	73,1	26,9
Saale	41,90	12,78	4,51	59,18	70,8	29,2
Unstrut	3,16	1,05	0,00	4,21	75,1	24,9
Weißelster	10,88	6,25	0,67	17,81	61,1	38,9
Bode	4,60	0,68	0,10	5,38	85,5	14,5
Havel	16,03	8,10	2,24	26,37	60,8	39,2
obere Havel	1,57	0,20	0,00	1,78	88,2	11,2
Spree	7,47	5,10	1,69	14,26	52,4	47,6
Elbe von Saale bis Zollenspieker	16,46	2,99	0,01	19,46	84,6	15,4
Stepenitz	0,83	0,06	0,00	0,88	94,3	6,8
Elde	2,32	0,49	0,00	2,81	82,6	17,4
Sude	2,66	0,06	0,00	2,72	97,8	2,2
Tideelbe	22,77	7,10	0,49	30,36	75,0	25,0
Stoer	2,36	0,53	0,00	2,88	81,9	18,4
Illmenau	2,22	0,55	0,00	2,76	80,4	19,9
Elbe bis Zollenspieker	166,95	45,53	17,11	229,59	72,7	27,3
Elbe gesamt	189,72	52,63	17,60	259,95	73,0	27,0

ED – diffuse Nährstoffeinträge über das Grundwasser, EKA – Einträge über kommunale Kläranlagen, EID – Einträge über industrielle Direkteinleiter, EGES – Gesamteinträge, ANED – Anteil diffuse Einträge am Gesamteintrag. ANEP – Anteil punktförmige Einträge am Gesamteintrag. N – Stickstoff. P - Phosphor

9.3 Veränderungen der Nährstoffeinträge von 1985 bis 1995

Im Rahmen der Untersuchungen zu den Nährstoffeinträgen im Einzugsgebiet der Elbe (Behrendt et al. 1999) wurden mit Hilfe des Modells MONERIS unter Berücksichtigung der veränderten Eingangsdaten auch die Nährstoffeinträge in die Flussgebiete der Elbe für den Zeitraum 1983-1987 abgeschätzt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in den **Tabellen 9.5 und 9.6** zu finden.

Aus dem Vergleich mit den **Tabellen 9.3 und 9.4** ist ersichtlich, dass mit Ausnahme des tschechischen Teilgebietes der Elbe in allen deutschen Teilgebieten der Anteil der Punktquellen an den gesamten Phosphor- und Stickstoffeinträgen im Zeitraum 1983-1987 deutlich höher war als im Zeitraum 1993-1997.

Die **Tabelle 9.7** liefert Zahlen für die in dem Zehnjahreszeitraum seit der Mitte der 80iger Jahre erreichten Reduktionen der Phosphor- und Stickstoffeinträge in den Teilgebieten der Elbe. Demnach kann man bei den gesamten Phosphoreinträgen von einer Reduktion von 56 % ausgehen. Bezogen auf die Teilgebiete der Elbe ist die Verminderung im tschechischen Gebiet mit 28 % am geringsten und im Havelgebiet mit 72 % am größten. Die Verminderung der Phosphoreinträge ist nach **Tabelle 9.7** vorwiegend auf die Reduktion der punktuellen Einträge zurückzuführen. Bei den diffusen Phosphoreinträgen kann ebenfalls eine Verminderung festgestellt werden, die jedoch fast ausschließlich auf die Verminderung der P-Einträge von urbanen Flächen und von Einwohnern, die nicht an Kläranlagen angeschlossen sind, zurückzuführen ist.

Hauptursache ist dabei nach Behrendt et al. (2001) die Reduktion der einwohnerspezifischen P-Emissionen im deutschen Einzugsgebietsteil der Elbe von 4,0 auf 1,8 g P/(E·a).

Mit der ausgewiesenen Reduktion der P-Einträge um 56 % wurde die Zielstellung einer Verminderung der P-Einträge um 50 % bezogen auf die Mitte der 80iger Jahre in der Elbe erreicht, obwohl dies nicht im tschechischen Teilgebiet der Elbe der Fall ist.

Für Stickstoff kann man dagegen feststellen, dass diese Zielstellung einer Reduzierung der gesamten N-Einträge im Elbegebiet noch nicht erreicht worden ist. So konnte lediglich eine Verminderung der gesamten N-Einträge in einer Höhe von 26 % festgestellt werden. Auch bei Stickstoff ist die Reduktion der gesamten Einträge vorwiegend auf die Verminderung der punktuellen Einträge, die in einem Bereich von 17 - 62 % liegt, zurückzuführen. Die Reduktion der diffusen Quellen ist nach Behrendt et al. (1999) geringer als bei Phosphor und wird vor allem durch eine Reduktion der N-Einträge aus Dränagen verursacht. Im betrachteten Zeitraum von 10 Jahren konnten die Dränauslässe auf die deutlich geringeren Stickstoffüberschüsse bereits mit geringeren Stickstoffkonzentrationen reagieren.

Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass sich die hydrologischen Bedingungen in den beiden betrachteten Zeiträumen und damit auch die diffusen Einträge unterscheiden. Diese unterschiedlichen hydrologischen Bedingungen sind auch die Ursache für die ausgewiesene geringe Erhöhung der diffusen Stickstoffeinträge im Gebiet der Tidelbe.

Tabelle 9.5: Diffuse, punktförmige und gesamte Phosphoreinträge in die Teilgebiete der Elbe 1983-1987

Gewässer	ED _P	EKA _P	EID _P	EGES _P	ANED _P	ANEP _P
	[ktP/a]	[ktP/a]	[ktP/a]	[ktP/a]	[%]	[%]
Elbe Schmilka	3,611	2,434	0,481	6,525	55,3	44,7
Elbe Schmilka – Saale	1,662	2,652	0,330	4,644	35,8	64,2
Schwarze Elster	0,271	0,471	0,038	0,780	34,7	65,3
Mulde	0,895	1,176	0,286	2,357	38,0	62,0
Saale	2,524	4,164	0,710	7,398	34,1	65,9
Unstrut	0,261	0,491	0,001	0,753	34,7	65,3
Weißer Elster	0,632	1,576	0,040	2,247	28,1	71,9
Bode	0,245	0,280	0,012	0,537	45,6	54,4
Havel	0,967	2,101	0,843	3,911	24,7	75,3
obere Havel	0,096	0,067	0,001	0,163	58,9	41,7
Spree	0,451	1,234	0,100	1,785	25,3	74,7
Elbe von Saale bis Zollenspieker	0,678	1,223	0,470	2,371	28,6	71,4
Stepenitz	0,071	0,046	0,000	0,117	60,7	39,3
Elde	0,115	0,143	0,000	0,258	44,6	55,4
Sude	0,099	0,046	0,000	0,144	68,8	31,9
Tideelbe	0,641	2,619	0,012	3,271	19,6	80,4
Stoer	0,081	0,200	0,002	0,283	28,6	71,4
Illmenau	0,096	0,242	0,000	0,338	28,4	71,6
Elbe bis Zollenspieker	9,480	12,574	2,834	24,888	38,1	61,9
Elbe gesamt	10,120	15,193	2,846	28,159	35,9	64,1

Tabelle 9.6: Diffuse punktförmige und gesamte Stickstoffeinträge in die Teilgebiete der Elbe 1983-1987

Gewässer	ED _N	EKA _N	EID _N	EGES _N	ANED _N	ANEP _N
	[ktN/a]	[ktN/a]	[ktN/a]	[ktN/a]	[%]	[%]
Elbe Schmilka	76,66	19,92	12,85	109,43	70,1	29,9
Elbe Schmilka - Saale	33,99	8,80	9,07	51,86	65,5	34,5
Schwarze Elster	7,38	1,41	0,86	9,65	76,5	23,5
Mulde	16,62	4,14	8,15	28,91	57,5	42,5
Saale	47,68	18,49	19,59	85,77	55,6	44,4
Unstrut	4,24	1,33	0,00	5,57	76,1	23,9
Weißer Elster	13,50	8,11	0,90	22,51	60,0	40,0
Bode	5,20	0,81	0,13	6,15	84,6	15,3
Havel	19,89	16,63	6,35	42,87	46,4	53,6
Obere Havel	1,93	0,24	0,00	2,17	88,9	11,1
Spree	9,34	11,61	2,25	23,20	40,3	59,7
Elbe von Saale bis Zollenspieker	19,61	5,16	0,43	25,20	77,8	22,2
Stepenitz	1,16	0,28	0,00	1,44	80,6	19,4
Elde	3,46	0,96	0,00	4,43	78,1	21,7
Sude	3,52	0,17	0,00	3,69	95,4	4,6
Tideelbe	22,43	14,04	0,00	36,47	61,5	38,5
Stoer	2,64	1,28	0,00	3,92	67,3	32,7
Illmenau	2,27	1,50	0,00	3,76	60,4	39,9
Elbe bis Zollenspieker	198,93	69,00	48,30	316,22	62,9	37,1
Elbe gesamt	221,36	83,04	48,30	352,69	62,8	37,2

ED – diffuse Nährstoffeinträge über das Grundwasser, EKA – Einträge über kommunale Kläranlagen, EID – Einträge über industrielle Direkteinleiter, EGES – Gesamteinträge, ANED – Anteil diffuse Einträge am Gesamteintrag, ANEP – Anteil punktförmige Einträge am Gesamteintrag, N – Stickstoff, P - Phosphor

Tabelle 9.7: Berechnete Verminderungen der diffusen, punktförmige und gesamten Phosphor- und Stickstoffeinträge in den Teilgebieten der Elbe im Zeitraum 1993-97 in bezug auf den Zeitraum 1983-1987.

Gewässer	RD _P	RP _P	RGES _P	RD _N	RP _N	RGES _N
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Elbe Schmilka	29,5	19,5	25,0	16,4	31,6	20,9
Elbe Schmilka - Saale	34,7	70,5	57,7	18,9	46,3	28,3
Schwarze Elster	39,9	79,8	65,9	24,1	30,8	25,7
Mulde	34,0	60,6	50,5	16,8	58,7	34,6
Saale	27,2	81,4	62,9	12,1	54,6	31,0
Unstrut	15,3	92,3	65,6	25,5	21,1	24,4
Weißer Elster	36,9	78,6	66,8	19,4	23,2	20,9
Bode	18,0	75,3	49,2	11,5	17,0	12,5
Havel	36,5	84,6	72,7	19,4	55,0	38,5
Obere Havel	32,3	58,8	43,6	18,7	16,7	18,0
Spree	28,6	82,4	68,8	20,0	51,0	38,5
Elbe von Saale bis Zollenspieker	33,3	82,5	68,5	16,1	46,3	22,8
Stepenitz	59,2	87,0	69,2	28,4	78,6	38,9
Elde	43,5	83,2	65,9	32,9	49,0	36,6
Sude	42,4	87,0	55,6	24,4	64,7	26,3
Tideelbe	5,5	88,4	72,1	-1,5	45,9	16,8
Stoer	-6,2	89,1	61,8	10,6	58,6	26,5
Illmenau	21,9	88,8	69,8	2,2	63,3	26,6
Elbe bis Zollenspieker	30,9	68,3	54,0	16,1	46,6	27,4
Elbe gesamt	29,2	71,2	56,1	14,3	46,5	26,3

RD – Reduktion diffuser Einträge, RP – Reduktion punktförmiger Einträge, RGES – Reduktion der Gesamteinträge, N – Stickstoff, P- Phosphor

9.4 Stickstoff- und Phosphorfrachten im Flussgebiet der Elbe

Wie von Behrendt und Opitz (1999) gezeigt werden konnte, sind die berechneten Nährstoffeinträge in ein Flussgebiet im Allgemeinen immer größer als die aus Beobachtungswerten der Nährstoffkonzentration und des Abflusses berechenbaren Frachten an einer bestimmten Gütemessstation. Auf der Basis von Modellvergleichen konnte nachgewiesen werden, dass die Ursache dieser Abweichungen vorwiegend auf Prozesse des Nährstoffrückhaltes bzw. auf Nährstoffverluste in den Oberflächengewässern der Flussgebiete zurückzuführen sind.

Nährstoffrückhalte und -verluste werden einerseits durch Sedimentation von Partikeln in Stillwasserbereichen bzw. in den Überflutungsräumen verursacht. Bezüglich Stickstoff ist darüber hinaus die Denitrifikation von Nitrat insbesondere im Intersitial als Verlustprozess von Bedeutung. Zusammengefasst werden die verschiedenen Prozesse des Nährstoffrückhaltes und der -verluste unter dem Begriff der Nährstoffretention. Die Nährstoffretention in den Oberflächengewässern des Elbegebietes wird nach Behrendt und Opitz (1999) auf der Basis des in Kap. 8.8 beschriebenen konzeptionellen Modells ermittelt. Die Ergebnisse und der Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Frachten sind in den **Tabellen 9.8 und 9.9** für ausgewählte Teilgebiete und in **Abb. 9.5** für alle Teilgebiete der Elbe für die Zeiträume 1982-87 und 1993-1997 dargestellt.

Generell kann man feststellen, dass die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Nährstofffrachten mit der Größe des Einzugsgebietes abnehmen. Für einzelne Gebiete, wie z.B. die Mulde bei Dessau, die Havel bei Toppeln und Henningsdorf sowie die Elde, treten jedoch insbesondere für Phosphor erhebliche Differenzen auf. Als Ursache für dieses Verhalten kann man vor allem die Existenz von größeren Standgewässern im Unterlauf (Mulde Stausee), im Oberlauf (Elde) bzw. entlang des gesamten Einzugsgebietes (Havel) ansehen.

Tabelle 9.8: Gemessene und berechnete Frachten von Gesamtphosphor (TP), gelöstem anorganischen Stickstoff (DIN) und Gesamtstickstoff (TN) für Teileinzugsgebiete der Elbe im Zeitraum 1993-1997.

Gewässer	TP _{gem}	TP _{ber}	DIN _{gem}	DIN _{ber}	TN _{gem}	TN _{ber}
	[ktP/a]	[ktP/a]	[ktN/a]	[ktN/a]	[ktN/a]	[ktN/a]
Elbe Schmilka	2,94	2,09	51,54	43,90	70,28	54,61
Elbe Schmilka – Saale						
Schwarze Elster	0,07	0,08	2,60	2,76	0,00	3,96
Mulde	0,24	0,71	13,19	12,24	0,00	13,50
Saale	1,11	1,18	28,25	32,80	0,00	38,76
Unstrut	0,00	0,13	2,59	2,62	2,86	2,95
Weißer Elster	0,35	0,34	9,74	9,84	15,35	11,72
Bode	0,16	0,13	3,53	3,24	0,00	3,70
Havel	0,53	0,30	5,30	8,56	8,20	13,42
obere Havel	0,06	0,02	0,49	0,42	0,79	0,78
Spree	0,21	0,17	4,52	5,02	5,95	7,56
Elbe von Saale bis Zollenspieker						
Stepenitz	0,02	0,02	0,91	0,50	1,08	0,59
Elde	0,08	0,01	0,92	0,37	1,20	0,92
Sude	0,00	0,02	1,57	1,14	1,92	1,57
Tideelbe						
Stoer	0,05*	0,07	2,15	1,94	2,48	2,10
Illmenau	0,09	0,05	1,42	1,70	1,48	1,92
Elbe bis Zollenspieker	4,55	4,23	111,71	101,49	132,90	135,55
Elbe gesamt						

Tabelle 9.9: Gemessene und berechnete Frachten von Gesamtphosphor (TP), gelöstem anorganischen Stickstoff (DIN) und Gesamtstickstoff (TN) für Teileinzugsgebiete der Elbe im Zeitraum 1983-1987.

Gewässer	TP _{gem}	TP _{ber}	DIN _{gem}	DIN _{ber}	TN _{gem}	TN _{ber}
	[ktP/a]	[ktP/a]	[ktN/a]	[ktN/a]	[ktN/a]	[ktN/a]
Elbe Schmilka	2,90	2,73	72,22	54,97	80,22	68,73
Elbe Schmilka - Saale						
Schwarze Elster		0,29	3,48	4,17		5,63
Mulde		1,43	0,00	18,71		20,64
Saale	3,96	3,33	47,94	48,70		56,94
Unstrut		0,36	2,72	3,41		3,86
Weißer Elster		0,99	10,62	12,24		14,70
Bode		0,24	3,29	3,54		4,13
Havel	1,90	1,13	9,43	14,21	12,14	22,03
Obere Havel	0,13	0,04	0,50	0,54	1,12	0,97
Spree		0,49		7,87		12,08
Elbe von Saale bis Zollenspieker						
Stepenitz	0,06	0,07	1,57	0,87	2,10	0,99
Elde		0,04	1,13	0,66		1,54
Sude		0,06	1,36	1,67		2,20
Tideelbe						
Stoer		0,19	0,00	2,61		2,84
Illmenau	0,17	0,17	1,94	2,32		2,62
Elbe bis Zollenspieker	9,43	9,23	145,06	139,95	163,51	186,81
Elbe gesamt						

*die Frachtangaben beziehen sich in der Stör auf die Jahre 1992 –1993 und ein 10% kleineres Einzugsgebiet (Venohr. 2000)

Die Verteilung der Wasserfläche im Einzugsgebiet und die Mischeigenschaften der Standgewässer bestimmen die Art und die Größe der Abweichungen. So ist der meromiktische Muldestausee eine dauerhafte Senke für fast alle partikulär gebundenen Stoffe. Demgegenüber wird der Rückhalt von Phosphor durch Desorption beim Durchfließen von polymiktischen Flachseen, die vor allem für das Havelgebiet charakteristisch sind, herabgesetzt. Im Eldegebiet wiederum befinden sich die Seen vor allem im Oberlauf, so dass der im Unterlauf der Elde eingetragene Phosphor einer geringeren Retention unterliegt als für das Gesamtgebiet berechnet. Diese Unterschiede in dem Charakter und der Verteilung der Standgewässer im Einzugsgebiet werden z. Z. noch nicht in dem Retentionsansatz berücksichtigt und führen deshalb für diese Gebiete zu deutlich größeren Abweichungen als für Flussgebiete, in denen die Standgewässer eine untergeordnete Rolle spielen bzw. nahezu über das Einzugsgebiet gleichverteilt sind.

Berücksichtigt man, dass die Einträge in der Mulde oberhalb des unteren Teilgebietes der Mulde im Muldestausee einer zusätzlichen Retention unterliegen, so reduziert sich die berechnete Gesamtphosphorfracht in der Mulde bei Dessau von 710 auf 180 tP/a. Die Abweichung zwischen berechneter und gemessener Fracht sinkt damit auf weniger als 30 %. Für den tschechischen Teil der Elbe liegen die Abweichungen bei ca. 30 %, wobei hier sowohl die berechneten P- als auch die N-Frachten zu klein sind. Hier sind noch keine Aussagen zu den Ursachen möglich, da die Eintragsberechnungen für den tschechischen Teil der Elbe bisher nur den Charakter grober Abschätzungen haben (Behrendt et al., 1999). Es kann jedoch u.a. vermutet werden, dass die gemessenen Nährstofffrachten für die Elbe bei Schmilka überbestimmt sind. Nach den gemessenen Frachtangaben in **Tabelle 9.8** ist die Summe der Frachten der Elbe bei Schmilka sowie Schwarzer Elster, Mulde, Saale und Havel bereits um 400 t P/a größer als die P-Fracht der Elbe bei Zollenspieker und entspricht in etwa der P-Fracht bei Schnackenburg (5.299 t P/a). Daraus kann einerseits gefolgert werden, dass die gemessene P-Fracht bei Schmilka lediglich in der Größe der direkten punktuellen Einleitungen in die

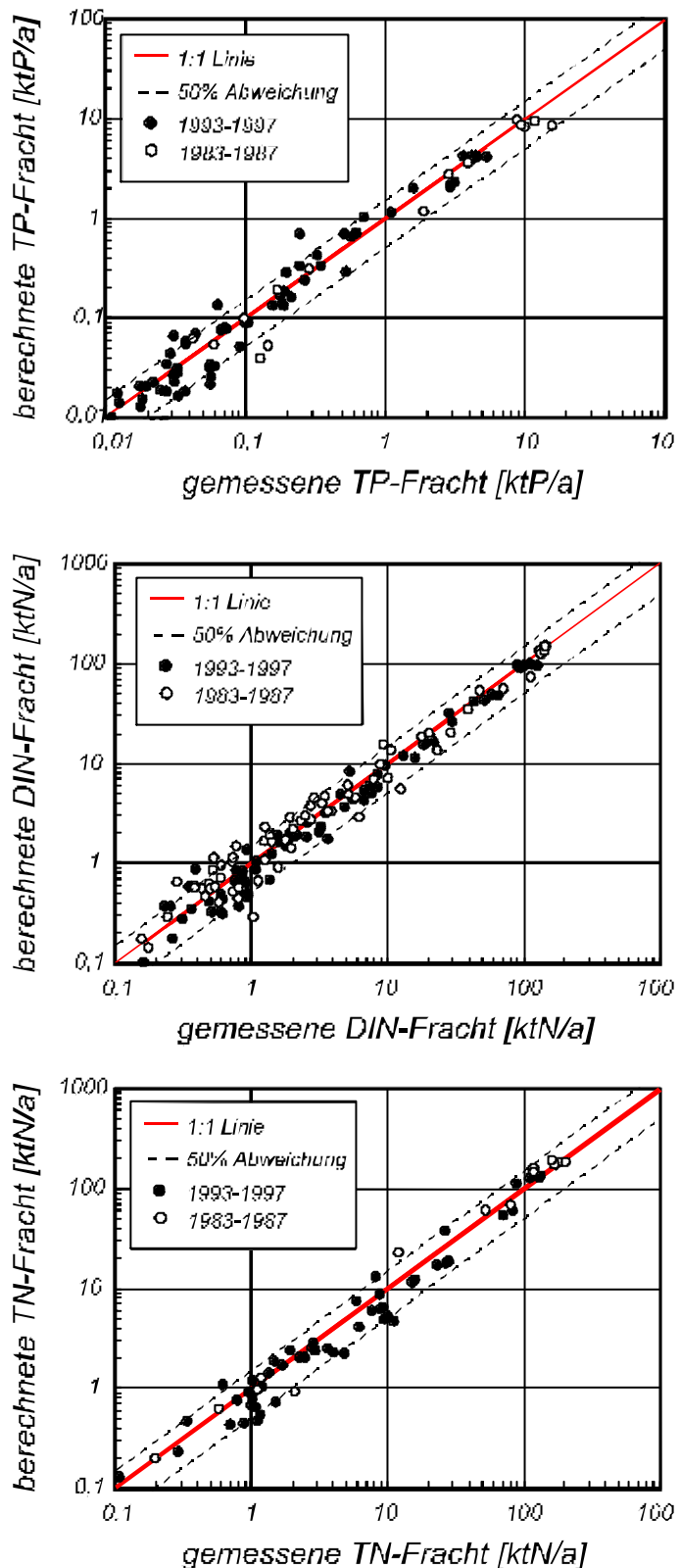


Abb. 9.5: Vergleich von gemessenen und berechneten Phosphor- und Stickstofffrachten für die Teilgebiete der Elbe in den Zeiträumen 1983-1987 und 1993-1997.

Elbe und diffusen Einträge aus den beiden Zwischengebieten der Elbe ober- bzw. unterhalb der Saalemündung überbestimmt ist. Andererseits werden offensichtlich in der Staustufe Geesthacht durchschnittlich mehr als 400 t P/a zurückgehalten. Berücksichtigt man zusätzlich die P-Frachten der kleineren Elbenebenflüsse unterhalb von Schnackenburg (Elde, Jeetzel, und Sude) so dürfte der P-Rückhalt zwischen Schnackenburg und Zollenspieker bei ca. 600 t P/a liegen.

Auch für Stickstoff ergeben sich für einige Gebiete deutliche Abweichungen. So wird in der Havel eine zu hohe N-Fracht berechnet. Auch hier werden die Abweichungen deutlich geringer, wenn man analog zur Mulde berücksichtigt, dass die N-Einträge aus Berlin und oberhalb Berlins nicht nur in ihren betreffenden Teilgebieten sondern auch in den unterhalb Berlins liegenden Havelseen durch Denitrifikation vermindert werden. Im Flussgebiet der Stepenitz sind die gemessenen Stickstofffrachten deutlich höher als die berechneten. Da die Retention von anorganisch gelöstem Stickstoff und von (DIN) und Gesamtstickstoff (TN) in der Stepenitz im Vergleich zu anderen Gebieten der unteren Elbe gering ist und auch der Anteil der Punktquellen an den gesamten Stickstoffeinträgen gering ist, muss man hier folgern, dass offensichtlich die diffusen Stickstoffeinträge unterschätzt werden. Eine nähere Analyse zeigt, dass diese Diskrepanz vermindert wird, wenn man den aus den Bodenstandorttypen berechenbaren Anteil der Dränflächen von ca. 9 % auf 30 % erhöht. Für einen deutlich höheren Dränageanteil als 9 % spricht ebenfalls, dass in der Stepenitz, wie in anderen Gebieten mit einem sehr hohen Anteil von Dränagen, eine große Differenz in den mittleren Nitratkonzentrationen bei hohen und geringen Abflüssen insbesondere im Winter auftritt. Somit kann man folgern, dass im Gebiet der Stepenitz in der Vergangenheit vermutlich deutlich mehr Flächen gedränt wurden als von den Bodenstandorttypen notwendig gewesen wäre.

Die **Abb. 9.5** und die **Tabelle 9.9** zeigen, dass auch für den Zeitraum 1983-1987 eine ähnlich gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und gemessenen P- und N-Frachten erzielt wird, obwohl die absoluten Beträge der Einträge deutlich über dem Niveau von 1995 liegen und sich auch die Verteilung der Eintragsquellen stark unterscheidet. In den Teilgebieten, wo man bereits im Zeitraum 1993-1997 überdurchschnittlich hohe Abweichungen zwischen berechneten und gemessenen Frachten feststellen kann, bleiben diese erhalten, womit die obigen Erklärungen bezüglich der Spezifika der Ursachen der Abweichungen gestützt werden. Vergleicht man die gemessenen und die berechneten Phosphor- und Stickstofffrachten in den beiden Zeiträumen, so kann man die in der **Tabelle 9.10** aufgeführten Veränderungen feststellen.

Die dort dargestellten Verminderungen der gemessenen Frachten in den Flussgebieten liegen generell im gleichen Bereich, wie die der berechneten Frachten und der in Kap. 9.3 gezeigten Reduzierungen der Einträge von Phosphor- und Stickstoff. Es bestätigt sich die Schlussfolgerung, dass die Verpflichtung Deutschlands im Rahmen von OSPARCOM eine Reduzierung der Nährstoffeinträge in die Nordsee um 50 % im Vergleich zu den Werten in der Mitte der achtziger Jahre zu erreichen, für Phosphor bereits im Zeitraum 1993-1997 erfüllt wurde. Dies gilt nicht nur für die gesamte Elbe, sondern auch für alle größeren deutschen Teilgebiete der Elbe. Im tschechischen Teil der Elbe wurde diese Zielstellung noch nicht erreicht.

Bei Stickstoff konnte die Zielstellung jedoch noch nicht erreicht werden. Für die Elbe insgesamt konnte eine Eintragsverminderung in die Nordsee von nur 30% erreicht werden. Im Havelgebiet ist die Verminderung mit 42% am größten, weil dort auch der Anteil der Punktquellen am größten war (siehe Kap. 9.2). In den Gebieten mit einem hohen Anteil von diffusen Stickstoffeinträgen (z.B. Unstrut, Weiße Elster, Stepenitz) ist die Verminderung der Stickstoffeinträge am geringsten.

Wie bereits im Kap. 9.1 und 9.2 gezeigt, sind die Anteile der einzelnen Flussgebiete an der Nährstoffbelastung der Elbe verschieden. Diese Tendenz verstärkt sich noch, wenn man die unterschiedlichen Retentionspotenziale in den Flussgebieten berücksichtigt. Das Resultat von Eintrag und Retention ist die Fracht, somit zeigen die gemessenen Frachten das unterschiedliche Belastungspotenzial der Nebenflüsse für den Elbestrom selbst. Einen Überblick bezüglich der Anteile der Nährstofffrachten der größten deutschen Nebenflüsse der Elbe (Mulde, Saale und Havel) zeigt die **Abb. 9.6**. Zusätzlich zeigt die Abbildung die Anteile dieser Flussgebiete am Gesamtgebiet der Elbe oberhalb von Zollenspieker und am Gesamtabfluss an dieser letzten tideunbeeinflussten Messstation im Elbegebiet.

Tabelle 9.10: Verminderung der Frachten von Gesamtphosphor (TP), gelöstem anorganischen Stickstoff (DIN) und Gesamtstickstoff (TN) für Teileinzugsgebiete der Elbe zwischen 1985 und 1995

Gewässer	TP _{gem}	TP _{ber}	DIN _{gem}	DIN _{ber}	TN _{gem}	TN _{ber}
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Elbe Schmilka	-1,7	23,4	28,6	20,1	12,4	20,5
Elbe Schmilka – Saale						
Schwarze Elster		72,8	25,2	33,7		29,7
Mulde		50,4		34,6		34,6
Saale	72,0	64,7	41,1	32,7		31,9
Unstrut		64,3	4,9	23,0		23,6
Weißer Elster		65,7	8,3	19,6		20,3
Bode		43,9	-7,3	8,4		10,4
Havel	72,2	73,7	43,8	39,7	32,5	39,1
Obere Havel	56,6	47,7	0,4	21,6	29,1	19,9
Spree		66,4		36,2		37,4
Elbe von Saale bis Zollenspieker						
Stepenitz	70,1	76,0	42,4	42,4	48,7	40,7
Elde		72,4	18,0	43,4		40,1
Sude		61,8	-15,7	31,6		28,9
Tideelbe						
Stoer		61,4		25,9		26,2
Illmenau	46,1	70,1	27,1	26,7		26,6
Elbe bis Zollenspieker	51,8	54,1	23,0	27,5	18,7	27,4
Elbe gesamt						

Es ist klar ersichtlich, dass die Anteile von Mulde und Saale an der Fracht von Gesamtphosphor und anorganisch gelöstem Stickstoff deutlich über ihren Anteilen am Einzugsgebiet und am Abfluss liegen. Demgegenüber ist der Anteil der Havel an der Phosphorfracht der Elbe mit 11 % um ca. ein Drittel geringer als ihr Anteil am Einzugsgebiet. Bezüglich Stickstoff beträgt der Anteil der Havel an der Gesamtfracht der Elbe sogar nur noch weniger als 5 % (bei TN 7%).

Daraus kann man folgern, dass auch eine weitere Verminderung der Gesamtfrachten in der Elbe überproportional auf die Gebiete konzentriert werden müssen, die einen im Vergleich zum Einzugsgebiet und Abfluss deutlich höheren Frachtanteil haben. Dies trifft jedoch nur dann zu, wenn sich gegenwärtige und künftige Zielvorstellungen für eine Belastungsreduzierung aus der Qualität der unteren Elbe, dem Elbeästuar oder, wie bereits jetzt für Stickstoff aus dem Meeresschutz ergeben.

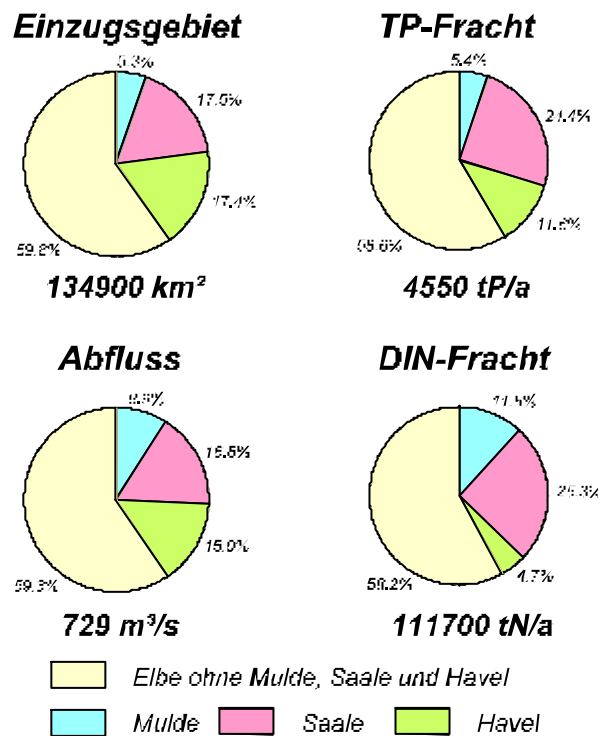


Abb. 9.6: Anteile von Mulde, Saale und Havel am Einzugsgebiet, Abfluss, Gesamtphosphor und DIN-Fracht der Elbe oberhalb von Zollenspieker.