

ARGE *geofluss* - *aquaplaner*

Gutachten

**Minderung der Nährstoffbelastung des Dümmers -
Quantifizierung der Nährstoffeinträge und Ausweisung der
Belastungsschwerpunkte**

Oktober 2012

Auftraggeber:

NLWKN Sulingen

Am Bahnhof 1

27232 Sulingen

Vertreten durch:

Bernd Lehmann

Auftragnehmer: als ARGE

geofluss

Ingenieurbüro für Umweltmanagement und Gewässerschutz

Carsten Scheer & Nikolai Panckow GbR

Vertreten durch: Dr.-Ing. Carsten Scheer

aquaplaner

Ingenieurgesellschaft für

Wasserwirtschaft-Umwelt-Abwasser

Vertreten durch: Dipl.-Ing. Hinnerk Voermanek

Beide: Zur Bettfedernfabrik 1, 30451 Hannover

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Bildverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VII
1 Hintergrund und Zielsetzung	1
1.1 Aufbau des Gutachtens	2
2 Datenaufbereitung und Methodik	3
2.1 Untersuchungsgebiet Dümmer	3
2.2 Betrachtete Zeiträume, Anforderungen an die Modellgenauigkeit und wichtige Modellanpassungen	8
2.3 Ermittlung von Phosphorfrachten aus Pegeldaten	10
2.4 Übersicht der Eingangsdaten	12
2.5 Wasserbilanz	13
2.5.1 Gesamtabfluss	14
2.5.2 Differenzierung der Abflusspfade	18
2.5.3 Modellinterne Ausweisung von Drainageflächen und Ermittlung des Drainageabflusses	20
2.5.4 Ableitung jährlicher Abflussanteile	22
2.5.5 Oberflächenabfluss	22
2.6 Diffuse P-Eintragspfade	23
2.6.1 Diffuse P-Einträge über Erosion	23
2.6.1.1 Bodenabtrag nach der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG)	23
2.6.1.2 Modul Flächenanbindung	26
2.6.1.3 Enrichment Ratio und P-Gehalt im Oberboden	27
2.6.1.4 Berechnung der erosiven P-Einträge	28
2.6.2 Diffuse P-Einträge über die unterirdischen Eintragspfade Grundwasser, Zwischen- und Drainageabfluss	28
2.6.3 Sonstige Pfade für diffuse Phosphoreinträge	30
2.6.3.1 Diffuse Phosphoreinträge über Abschwemmung	30
2.6.3.2 Diffuse Phosphoreinträge über Direkteinträge	32
2.7 Punktuelle Phosphoreinträge	32
2.7.1 Phosphoreinträge über Kläranlagen	32
2.7.2 Phosphorbelastungen über Kleinkläranlagen	32
2.7.3 Phosphorbelastungen über sonstige urban geprägte Eintragspfade	33
2.8 Retention im Gewässersystem und Phosphorfrachten als Immissionen	35

2.8.1	Regionalisierung der Retentionsberechnung	36
2.9	Maßnahmen, die bereits im EZG Dümmer realisiert und bei den Modellberechnungen berücksichtigt wurden	37
3	Bilanzierung der Phosphorbelastung im EZG Dümmer: Darstellung und Interpretation der Modellergebnisse	40
3.1	Wasserbilanz	40
3.1.1	Wasserbilanz im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung	40
3.1.2	Wasserbilanz im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung	44
3.2	Phosphorbelastung des Dümmer: aus Pegeldaten berechnete Frachten in zeitlicher Auflösung	45
3.3	Modellierte Phosphorbelastung im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung	47
3.3.1	Phosphoremissionen im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung	47
3.3.1.1	P-Emissionen bei mittleren Bedingungen vor der Bornbachumleitung: Überblick	47
3.3.1.2	P-Emissionen: relevante diffuse Eintragspfade im EZG Dümmer bei mittleren Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung	49
3.3.1.3	P-Emissionen im EZG Dümmer für 2002 und 2006 im Vergleich zu mittleren Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung	52
3.3.1.4	P-Emissionen im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen sowie für die Jahre 2002 und 2006 pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung	55
3.3.2	Phosphorimmissionen im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung	56
3.3.2.1	P-Immissionen bei mittleren Bedingungen vor der Bornbachumleitung: Überblick	56
3.3.2.2	P-Immissionen: relevante diffuse Eintragspfade im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung	59
3.3.2.3	P-Immissionen im EZG Dümmer für 2002 und 2006 im Vergleich zu mittleren Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung	63
3.3.2.4	P-Immissionen im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen sowie für die Jahre 2002 und 2006 pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung	66
3.3.3	Bewertung der Modellergebnisse durch Abgleich mit aus Pegeldaten ermittelten Frachten für verschiedene Zeiträume vor der Bornbachumleitung	68
3.4	Modellierte Phosphorbelastung im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung	69
3.4.1	Phosphoremissionen im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung	70
3.4.1.1	P-Emissionen im EZG Dümmer für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung: Überblick	70
3.4.1.2	P-Emissionen: relevante diffuse Eintragspfade im EZG Dümmer für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung	71
3.4.1.3	P-Emissionen im EZG Dümmer für 2010 und 2011 pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung	74

3.4.2	Phosphorimmissionen im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung	75
3.4.2.1	P-Immissionen im EZG Dümmer für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung: Überblick	75
3.4.2.2	P-Immissionen: relevante Eintragspfade im EZG Dümmer für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung	78
3.4.2.3	P-Immissionen im EZG Dümmer für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung	82
3.4.3	Bewertung der Modellergebnisse durch Abgleich mit aus Pegeldaten ermittelten Frachten für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung	82
3.5	Exkurs: Einträge über Winderosion	83
4	Ausweisung von Belastungsschwerpunkten im EZG Dümmer	87
4.1	Belastungsschwerpunkte nach der Bornbachumleitung	87
4.1.1	Belastungsschwerpunkte im Jahr 2010	87
4.1.2	Belastungsschwerpunkte im Jahr 2011	102
4.2	Belastungsschwerpunkte vor der Bornbachumleitung	110
4.2.1	Belastungsschwerpunkte bei mittleren Abflussbedingungen	110
5	Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen im EZG Dümmer	117
5.1	Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen nach Eintragspfaden	118
5.1.1	Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen über den Pfad Erosion	118
5.1.2	Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen über Dränagen	121
5.1.3	Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen über den Pfad Abschwemmung	121
5.1.4	Maßnahmen für weitere Pfade	122
5.2	Effektivität der Maßnahmen	122
5.3	Ableitung und räumliche Zuweisung prioritärer Maßnahmen zur Verminderung der Phosphorbelastung des Dümmers	124
5.3.1	Räumliche Zuordnung von Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen über den Pfad Erosion	124
5.3.2	Räumliche Zuordnung von Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen über Dränagen	125
5.3.3	Konkrete Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen über den Pfad Abschwemmung	125
5.3.4	Erreichbare Belastungsverminderung	126
6	Zusammenfassung und Ausblick	128
7	Literatur	136

Bildverzeichnis

Bild 1: Landnutzung im EZG Dümmer nach ATKIS	3
Bild 2: Bodentypen im EZG Dümmer (nach den Bodenkundlichen Übersichtskarten 1:50.000 von Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen)	5
Bild 3: Teilgebiete (TG) im EZG Dümmer	5
Bild 4: Hydrologische Teileinzugsgebiete (TEZG) im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung	6
Bild 5: Gewässernetz im EZG Dümmer nach ATKIS	8
Bild 6: Schema des standortdifferenzierten Berechnungsansatzes für die unterirdischen P- Einträge über die Abflusspfade Grundwasser, Zwischen- und Drainageabfluss am Beispiel des Pfades Grundwasser	30
Bild 7: Schematische Darstellung der 3 modellintern berücksichtigten Retentionsansätze ..	36
Bild 8: Anteil in 2010 etablierter Maßnahmen im EZG Dümmer (nach NAU und freiwillige Vereinbarungen)	37
Bild 9: Berechneter Gesamtabfluss für das EZG Dümmer bei mittleren Klima- und Abflussbedingungen in [mm]	41
Bild 10: Berechneter Grundwasserabfluss für das EZG Dümmer bei mittleren Klima- und Abflussbedingungen in [mm]	42
Bild 11: Berechneter Zwischen- und Drainageabfluss für das EZG Dümmer bei mittleren Klima- und Abflussbedingungen in [mm]	42
Bild 12: Gesamtabfluss der Hunte: Abgleich der Modellergebnisse mit den Pegeldaten für mittlere Bedingungen sowie für die Jahre 2002 und 2006 am Auslasspegel Schäferhof (vor der Bornbachumleitung)	43
Bild 13: Gesamtabfluss der Hunte: Abgleich der Modellergebnisse mit den Pegeldaten für mittlere Bedingungen sowie für die Jahre 2002 und 2006 am Pegel Bohmte	44
Bild 14: Monatliche P-Frachten [t] am Pegel Schäferhof für den Zeitraum 2003 bis 2011	45
Bild 15: Mittlere monatliche P-Konzentration [mg/l] am Pegel Schäferhof für den Zeitraum 2003 bis 2011	46
Bild 16: P-Emissionen für mittlere Abflussbedingungen im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof	48
Bild 17: Summe der gesamten P-Emissionen im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen	48
Bild 18: Summe der diffusen P-Emissionen im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen	49
Bild 19: P-Emissionen über Erosion im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen	50
Bild 20: P-Emissionen über Drainageabfluss im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen	51
Bild 21: P-Emissionen über Grundwasser im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen	51
Bild 22: P-Emissionen über Abschwemmung im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen	52
Bild 23: P-Emissionen für 2002 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof..	53

Bild 24: P-Emissionen für 2006 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof; Erosion auf Basis der InVeKoS-Daten ermittelt	54
Bild 25: P-Emissionen vor der Bornbachumleitung (bei mittleren Abflussbedingungen sowie den Jahren 2002 und 2006) im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof.....	55
Bild 26: P-Immissionen für mittlere Abflussbedingungen im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof	57
Bild 27: Summe der gesamten P-Immissionen im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen	58
Bild 28: Summe der diffusen unterirdischen P-Immissionen im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen	59
Bild 29: P-Immissionen über Drainageabfluss im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen	60
Bild 30: P-Immissionen über Erosion im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen	61
Bild 31: P-Immissionen über Grundwasser im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen	62
Bild 32: P-Immissionen über Abschwemmung im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen	63
Bild 33: P-Immissionen für 2002 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof	65
Bild 34: P-Immissionen für 2006 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof; Erosion auf Basis der InVeKoS-Daten ermittelt.....	65
Bild 35: P-Immissionen vor der Bornbachumleitung (bei mittleren Abflussbedingungen sowie den Jahren 2002 und 2006) im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof.....	66
Bild 36: Pfaddifferenzierte P-Emissionen nach der Bornbachumleitung für die Jahre 2010 und 2011 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof	71
Bild 37: P-Emissionen über Erosion im EZG Dümmer in [kg/ha·a] nach der Bornbachumleitung für 2010.....	72
Bild 38: P-Emissionen über Drainageabfluss im EZG Dümmer in [kg/ha·a] nach der Bornbachumleitung für 2010.....	73
Bild 39: P-Emissionen über Abschwemmung im EZG Dümmer in [kg/ha·a] nach der Bornbachumleitung für 2010.....	73
Bild 40: Pfaddifferenzierte P-Immissionen nach der Bornbachumleitung für die Jahre 2010 und 2011 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof	76
Bild 41: Summe der gesamten P-Immissionen im EZG Dümmer in [kg/ha·a] für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung	77
Bild 42: Summe der diffusen P-Immissionen im EZG Dümmer in [kg/ha·a] für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung	77
Bild 43: P-Immissionen über Erosion im EZG Dümmer in [kg/ha·a] für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung.....	78
Bild 44: P-Immissionen über Abschwemmung im EZG Dümmer in [kg/ha·a] für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung	80
Bild 45: P-Immissionen über Drainageabfluss im EZG Dümmer in [kg/ha·a] für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung	80

Bild 46: Lage der Kleinkläranlagen im EZG Dümmer	81
Bild 47: Verteilung der Gefährdungsstufen für Winderosion im EZG Dümmer.....	84
Bild 48: Auswertung der Gefährdungsstufen durch Winderosion pro Ackerfläche	84
Bild 49: Ackerflächen mit hoher (Stufe 4) und sehr hoher (Stufe 5) Winderosionsgefährdung bezogen auf die Gewässerdichte pro TEZG im EZG Dümmer	85
Bild 50: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2010: gesamte P-Immissionen pro TEZG in [kg].....	88
Bild 51: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2010: gesamte P-Immissionen pro TEZG in [kg/ha·a].....	89
Bild 52: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2010: gesamte diffuse P- Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in [kg]	90
Bild 53: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2010: gesamte diffuse P- Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in [kg/ha·a]	91
Bild 54: Pfadbezogene Belastungsanalyse im EZG Dümmer im Jahr 2010: erosive P- Immissionen pro TEZG in [kg]	94
Bild 55: Pfadbezogene Belastungsanalyse im EZG Dümmer im Jahr 2010: P-Immissionen über Abschwemmung pro TEZG in [kg].....	95
Bild 56: Pfadbezogene Belastungsanalyse im EZG Dümmer im Jahr 2010: P-Immissionen über Dränagen pro TEZG in [kg].....	96
Bild 57: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2011: gesamte P-Immissionen pro TEZG in [kg].....	102
Bild 58: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2011: gesamte P-Immissionen pro TEZG in [kg/ha·a].....	103
Bild 59: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2011: gesamte diffuse P- Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in [kg]	104
Bild 60: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2011: gesamte diffuse P- Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in [kg/ha·a]	105
Bild 61: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung: gesamte P-Immissionen pro TEZG in [kg].....	110
Bild 62: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung: gesamte P-Immissionen pro TEZG in [kg/ha·a].....	111
Bild 63: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung: gesamte diffuse P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in [kg].....	112
Bild 64: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung: gesamte diffuse P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in [kg/ha·a].....	113
Bild 65: Pfaddifferenzierte P-Immissionen vor der Bornbachumleitung (bei mittleren Abflussbedingungen sowie den Jahren 2002 und 2006) im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof.....	129
Bild 66: Pfaddifferenzierte P-Immissionen nach der Bornbachumleitung für die Jahre 2010 und 2011 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof	131
Bild 67: Ausweisung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für das Jahr 2010: Ranking der relevanten TEZG und Bewertung der Priorität für Maßnahmen	132

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bodentypen im EZG Dümmer (nach den Bodenkundlichen Übersichtskarten 1:50.000 von Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen)	4
Tabelle 2: Kenndaten der Bilanzgebiete im EZG Dümmer (mittlere Bedingungen, inkl. Bornbach)	6
Tabelle 3: Hydrologische Teileinzugsgebiete im EZG Dümmer (TEZG des Bornbachs sind blau hervorgehoben).....	7
Tabelle 4: Ermittlung der Jahresfrachten: Datengrundlagen, verwendete Methodiken sowie resultierende Jahresfrachten	11
Tabelle 5: Ermittlung der mittleren Referenzfracht: Datengrundlagen sowie resultierende Referenzfracht	12
Tabelle 6: Übersicht der wesentlichen Eingangsdaten	13
Tabelle 7: Landnutzungsspezifische Koeffizienten für die Verdunstungsberechnung nach RINGER & WESSOLEK (1996)	14
Tabelle 8: Verminderung der Verdunstung in [mm] durch versiegelte Flächen (V_{urb}) in Abhängigkeit von Versiegelungsgrad und Einwohner pro Gemeinde.....	17
Tabelle 9: Abflussquotienten zur Ableitung des Anteils an Grundwasserneubildung am Gesamtabfluss im Lockergesteinsbereich nach RÖDER (1997)	19
Tabelle 10: Abflussquotienten zur Ableitung des Anteils an Grundwasserneubildung am Gesamtabfluss im Festgesteinsbereich: Zuordnung der r_B -Werte zu den hydrogeologischen Gesteinseinheiten nach LBEG (2008)	19
Tabelle 11: Zuordnung der Bodenausgangsgesteine zu den hydrogeologischen Gesteinseinheiten laut Tabelle 10 nach LBEG (2008).....	20
Tabelle 12: Drainage- und Grundwasserabflussanteile verschiedener Bodentypen in Abhängigkeit von der Landnutzung (ergänzt nach TETZLAFF, 2006).....	21
Tabelle 13: Kulturkalender: Kultur- und Entwicklungsperioden verschiedener Feldkulturen in Südniedersachsen nach Angaben der LWK Hannover, aus MOSIMANN & RÜTTIMANN (1996)	25
Tabelle 14: Relativer Bodenabtrag der einzelnen Perioden für die verschiedenen Kulturpflanzen aus SCHWERTMANN ET AL. (1987).....	26
Tabelle 15: P-Einträge von Mooren nach SCHEFFER & BLANKENBURG (2004) in [kg/ha·a]	30
Tabelle 16: Ausgangskonzentrationen zur Ermittlung der diffusen Phosphoreinträge über Abschwemmung nach Landnutzung	31
Tabelle 17: Grunddaten zur Berechnung der Phosphoreinträge von Kläranlagen im EZG Dümmer, mittlerer Zustand	32
Tabelle 18: Flächenanteil von Maßnahmen (NAU-Maßnahmen und freiwilligen Vereinbarungen) pro TEZG und landwirtschaftlicher Nutzfläche	38
Tabelle 19: Flächenanteil von Maßnahmen getrennt für NAU-Maßnahmen und freiwilligen Vereinbarungen (FV) pro TEZG und landwirtschaftlicher Nutzfläche	39
Tabelle 20: Ergebnisse des Moduls Wasserbilanz für das EZG Dümmer für langjährige mittlere Klima- und Abflussbedingungen am Auslasspegel Schäferhof.....	41
Tabelle 21: Detailergebnisse der Wasserbilanz für das in den Dümmer entwässernde EZG Hunte und die Abflussjahre 2002 und 2006 sowie für langjährige mittlere	

Klima- und Abflussbedingungen, Bezug Pegel Schäferhof (vor der Bornbachumleitung).....	43
Tabelle 22: Detailergebnisse der Wasserbilanz für das in den Dümmer entwässernde EZG Hunte und die Abflussjahre 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung, Bezug Pegel Schäferhof	44
Tabelle 23: Monatliche P-Frachten am Pegel Schäferhof für den Zeitraum 2003 bis 2011, Angabe als prozentualer Anteil der jeweiligen Jahresfracht (rot: höchster Jahreswert, orange: zweithöchster Jahreswert, gelb: dritthöchster Jahreswert)	45
Tabelle 24: P-Emissionen nach Pfaden im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen sowie die Jahre 2002 und 2006, Bezug Pegel Schäferhof	53
Tabelle 25: P-Emissionen pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung bei mittleren Abflussbedingungen	55
Tabelle 26: P-Emissionen pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung für 2002.....	56
Tabelle 27: P-Emissionen pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung für 2006.....	56
Tabelle 28: Vergleich der P-Emissionen und P-Immissionen nach Pfaden im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung, Bezug Pegel Schäferhof	57
Tabelle 29: Kennwerte der P-Immissionen über Drainageabfluss im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen differenziert nach Landnutzung	60
Tabelle 30: Kennwerte der P-Immissionen über Erosion im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen	61
Tabelle 31: Kennwerte der P-Immissionen über Grundwasser im EZG Dümmer differenziert nach Landnutzung.....	62
Tabelle 32: P-Immissionen nach Pfaden im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung für mittlere Abflussbedingungen sowie die Jahre 2002 und 2006, Bezug Pegel Schäferhof	64
Tabelle 33: P-Immissionen pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung bei mittleren Abflussbedingungen	67
Tabelle 34: P-Immissionen pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung für 2002	67
Tabelle 35: P-Immissionen pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung für 2006	67
Tabelle 36: Kriterien für die Bewertung der Modellergebnisse der Phosphorfrachten (ergänzt nach KUNST ET AL., 2004)	68
Tabelle 37: EZG Dümmer: Abgleich der bilanzierten P-Emissionen und berechneten P-Immissionen mit Phosphorfrachten am Gebietsauslass (Pegel Schäferhof) für verschiedene Zeiträume vor der Bornbachumleitung	69
Tabelle 38: P-Emissionen nach Pfaden im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung für die Jahre 2010 und 2011, Bezug Pegel Schäferhof	70
Tabelle 39: P-Emissionen pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung für 2010.....	74
Tabelle 40: P-Emissionen pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung für 2011.....	74
Tabelle 41: P-Immissionen nach Pfaden im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung für die Jahre 2010 und 2011, Bezug Pegel Schäferhof	75
Tabelle 42: Kennwerte der P-Immissionen über Erosion im EZG Dümmer für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung.....	79
Tabelle 43: Kennwerte der P-Immissionen über Drainageabfluss im EZG Dümmer für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung	81

Tabelle 44: P-Immissionen pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung für 2010	82
Tabelle 45: P-Immissionen pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung für 2011	82
Tabelle 46: EZG Dümmer: Abgleich der bilanzierten P-Emissionen und berechneten P- Immissionen mit Phosphorfrachten am Gebietsauslass (Pegel Schäferhof) für die Jahre 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung	83
Tabelle 47: Identifizierung von Belastungsschwerpunkten: Bewertung der gesamten sowie der diffusen P-Immissionen der LNF pro TEZG in Abhängigkeit ihres prozentualen Anteils an den jeweiligen Belastungen im gesamten EZG Dümmer ..	91
Tabelle 48: Identifizierung von Belastungsschwerpunkten: Grenzwerte für die Bewertung der flächenbezogenen gesamten und diffusen P-Immissionen der LNF pro TEZG.	92
Tabelle 49: Identifizierung von Belastungsschwerpunkten: Ergebnis der Bewertung für die Bewertungskriterien 1 bis 4 und das Jahr 2010	92
Tabelle 50: Ausweisung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für das Jahr 2010: Ranking der relevanten TEZG und Bewertung der Priorität für Maßnahmen	93
Tabelle 51: Pfadbezogene Belastungsanalyse für die als Belastungsschwerpunkte ausgewiesenen TEZG, Bezug 2010	96
Tabelle 52: Gesamte P-Immissionen pro Teileinzugsgebiet nach der Bornbachumleitung für das Jahr 2010	97
Tabelle 53: Gesamte P-Immissionen nach Eintragspfaden pro Teileinzugsgebiet nach der Bornbachumleitung für das Jahr 2010	98
Tabelle 54: Identifizierung von Belastungsschwerpunkten: Ergebnis der Bewertung für die Bewertungskriterien 1 bis 4 und das Jahr 2011	106
Tabelle 55: Ausweisung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für das Jahr 2011: Ranking der relevanten TEZG und Bewertung der Priorität für Maßnahmen	106
Tabelle 56: Pfadbezogene Belastungsanalyse für die als Belastungsschwerpunkte ausgewiesenen TEZG, Bezug 2011	108
Tabelle 57: Gesamte P-Immissionen pro Teileinzugsgebiet nach der Bornbachumleitung für das Jahr 2011	108
Tabelle 58: Gesamte P-Immissionen nach Eintragspfaden pro Teileinzugsgebiet nach der Bornbachumleitung für das Jahr 2011	109
Tabelle 59: Gesamte P-Immissionen pro Teileinzugsgebiet vor der Bornbachumleitung bei mittleren Abflussbedingungen	115
Tabelle 60: Gesamte P-Immissionen nach Eintragspfaden pro Teileinzugsgebiet vor der Bornbachumleitung bei mittleren Abflussbedingungen	116
Tabelle 61: Ansatz a): Maßnahmen zur Verminderung von Bodenabträgen im Sinne einer Ursachenbehebung. Bewertung der Maßnahmen	118
Tabelle 62: Ansatz b): Maßnahmen zum Rückhalt von Bodenabträgen außerhalb des Gewässersystems. Bewertung der Maßnahmen	120
Tabelle 63: Vegetationsformen am Ufer und Uferrandstreifen und ihre Filterwirkung gegen Wassererosion (aus LUNG, 2002)	120
Tabelle 64: Effektivität von Maßnahmen zur Verminderung von Phosphoreinträgen über Wassererosion. Ergänzt nach VDLUFA (2001)	123
Tabelle 65: Feldblöcke mit besonders hohen erosiven P-Immissionen innerhalb der Belastungsschwerpunkte für das Jahr 2010; Angabe der Flächenanteile und zugehörigen P-Immissionen für verschiedene Belastungen	124

Tabelle 66: Zugrunde gelegte Kosten für angepasste Bewirtschaftungsmethoden in der Landwirtschaft.....	127
Tabelle 67: Bilanzzeiträume sowie die zugehörigen Referenzabflüsse und -frachten auf Basis der Pegeldaten für den Zustand vor der Bornbachumleitung	128
Tabelle 68: EZG Dümmer: Abgleich der bilanzierten P-Emissionen und berechneten P-Immissionen mit Phosphorfrachten am Gebietsauslass (Pegel Schäferhof) für verschiedene Zeiträume vor der Bornbachumleitung	129
Tabelle 69: EZG Dümmer: Abgleich der bilanzierten P-Emissionen und berechneten P-Immissionen mit Phosphorfrachten am Gebietsauslass (Pegel Schäferhof) für die Jahre 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung	130
Tabelle 70: Pfadbezogene Belastungsanalyse für die als Belastungsschwerpunkte ausgewiesenen TEZG, Bezug 2010	132

1 Hintergrund und Zielsetzung

Der Dümmer ist ein flachgründiger See mit einer Fläche von ca. 13,5 km² und einer mittleren Wassertiefe von 1 m. Er liegt am Südrand der norddeutschen Tiefebene in der Dümmer-Geestniederung und wird von der Hunte durchflossen.

Der Dümmer ist aufgrund jahrzehntelanger hoher Nährstoffzufuhren stark eutrophiert, wodurch es in den letzten Jahren mehrfach zu Blaualgenblüten verbunden mit Nutzungseinschränkungen gekommen ist. Ursache hierfür ist u.a. die intensive landwirtschaftliche Nutzung im Einzugsgebiet verbunden mit umfangreichen Meliorationsmaßnahmen insbesondere an Hochmoor- und Niedermoorstandorten, wodurch der Hauptzufluss Hunte relativ hohe Nährstofffrachten aufweist. Aufgrund dieser zu hohen Nährstoffbelastung des Dümmer wurde im Jahre 1987 ein Konzept zur langfristigen Sanierung beschlossen und sukzessive umgesetzt.

Die erste Stufe sah die Umleitung des Bornbachs vor, die in 2009 fertiggestellt wurde. Der Hintergrund hierfür war, dass der Bornbach für 20 % des Zuflusses und 50 % der Phosphorbelastung des Dümmer verantwortlich gemacht wurde. Die zweite Stufe des Dümmer-sanierungs-Konzepts, welche jetzt aufgelegt wurde, soll eine gezielte Verringerung der dem Dümmer zufließenden Phosphorfrachten erreichen. Die weitgehende Abwasserreinigung im Einzugsgebiet (EZG) der Hunte lässt dabei auf diffuse Quellen als Haupteintragspfade schließen. Als Maßnahme für eine Verringerung dieser Einträge ist auch die Errichtung eines Großschilfpolders im Gespräch, der das Wasser der Hunte vor Erreichen des Dümmer reinigen soll. Daneben sollen auch Alternativen noch einmal geprüft werden.

Für die Zielerreichung „Dümmer“ und die nachhaltige Verminderung der zufließenden Nährstoffe müssen die diffusen Phosphorbelastungen aus der Fläche zwingend vermindert werden. Das Hauptproblem ist dabei die Identifizierung der Flächen, die signifikante Belastungen durch diffuse Quellen verursachen. Erst daraufhin können gezielte und effektive Bewirtschaftungsmaßnahmen abgeleitet werden.

Mit diesem Gutachten und den hierfür vorgenommenen Modellierungen zur Phosphorbelastungssituation im EZG Dümmer soll eine belastbare Grundlage geschaffen werden, um die Nährstoffüberlastung des Dümmer effektiv senken zu können.

Das wesentliche Ziel dieses Gutachtens besteht darin, aktuelle Erkenntnisse über die Belastungssituation und insbesondere die räumlichen Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer zu erlangen. Daher erfolgte für das EZG Dümmer eine Modellierung der P-Belastung für verschiedene Belastungszustände (Zeiträume). Hierauf aufbauend wurde eine pfadnutzungsspezifische Belastungsanalyse zur räumlichen Identifizierung und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte durchgeführt. Anhand der dabei erzielten Erkenntnisse können räumlich differenzierte, und hinsichtlich einer Verminderung der P-Belastung des Dümmer effektive und zielführende Maßnahmen abgeleitet werden.

Das diesem Vorhaben zugrundeliegende Werkzeug besteht aus einem ursprünglich im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums entwickelten Bilanzierungsmodell (SCHEER ET AL., 2007; PANCKOW, 2008,). Die wesentlichen Modelleigenschaften bestehen in der kleinräumigen Berücksichtigung von eintragsrelevanten Standorteigenschaften für eine pfadnutzungsdifferenzierte Ermittlung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge zur Ausweisung von Belastungsschwerpunkten.

Eine Weiterentwicklung und niedersachsenweite Anpassung des Modells im Auftrag des NLWKN-Niedersachsen wurde Anfang 2012 fertiggestellt (Bearbeiter Dr. Carsten Scheer und Dr. Nikolai Panckow - Ingenieurbüro geofluss). Dieser Modellansatz stellt die Berechnungsgrundlage für das vorliegende Gutachten dar. Hierbei erfolgten hinsichtlich der Fragestellung im EZG Dümmer gezielte Anpassungen des Modells, um aktuelle und notwendige Datengrundlagen (beispielsweise Informationen über feldblockbezogenen Anbau, aktuelle Maßnahmen, flächenscharfen Bodenabtrag auf Feldblockebene oder P-Gehalt im Oberboden um nur einige zu nennen) adäquat nutzen zu können.

1.1 Aufbau des Gutachtens

Der Aufbau des vorliegenden Gutachtens stellt sich wie folgt dar.

Nach der Darstellung des Hintergrunds und der Zielsetzung dieses Gutachtens folgt eine kurze Beschreibung des Untersuchungsgebietes sowie die Vorstellung der betrachteten Zeiträume (Kap. 2.1). Weiterhin werden in Kap. 2 die Modellgrundlagen, insbesondere die konkreten Berechnungsansätze des verwendeten Bilanzmodells, umfassend vorgestellt. Zu beachten sind hierbei vor allem die speziell für das EZG Dümmer erfolgten Modellerweiterungen (s. Kap. 2.2, 2.5.3.1, 2.6.2 und 2.7.1). Kap. 3 sind die Ergebnisse der Modellanwendungen für das EZG Dümmer und die verschiedenen Untersuchungsjahre zu entnehmen. Sie werden sehr differenziert für verschiedene Belastungsbedingungen vor und nach der Bornbachumleitung sowie für die verschiedenen Eintragspfade vorgestellt und eingeordnet. Zudem erfolgt jeweils ein Abgleich und eine Bewertung der mit dem Bilanzmodell ermittelten Frachten; dieses erfolgt anhand der am Pegel Schäferhof auf Basis der vorliegenden Messwerte errechneten Frachten. Von besonderer Bedeutung für die in diesem Gutachten verfolgten Ziele ist das Kap. 4. Im Sinne einer pfadnutzungsbezogenen Belastungsanalyse des EZG Dümmer werden dort die mit dem Bilanzmodell ermittelten P-Immissionen einer mehrstufigen Bewertung unterzogen. Dieses Vorgehen ermöglicht die Ausweisung der räumlichen Belastungsschwerpunkte (der P-Belastung) im EZG Dümmer. Als räumliche Bewertungsgrößen fungieren dabei die hydrologischen Teileinzugsgebiete. Insbesondere für diese ausgewiesenen Hot Spots werden in Kap. 5 geeignete Maßnahmen zur Minderung der P-Belastung im EZG Dümmer vorgestellt und diskutiert. Als Ergebnis hiervon wird ein Maßnahmenvorschlag formuliert und das hiermit zu erreichende P-Minderungspotenzial abgeschätzt. Auf dieser Grundlage erfolgt anschließend ein Abgleich mit den Zielvorgaben zur zukünftig tolerablen P-Fracht in den Dümmer.

Abschließend erfolgt in Kap. 6 eine zusammenfassende Darstellung der wesentlichen Erkenntnisse dieses Gutachtens. Zudem werden hier Empfehlungen zur Minderung der P-Belastung des Dümmers gegeben.

2 Datenaufbereitung und Methodik

Im folgenden Kapitel wird zunächst das Untersuchungsgebiet Dümmer vorgestellt, anschließend werden die Berechnungsgrundlagen des verwendeten Bilanzmodells sowie die im Rahmen der Bearbeitung des Gutachtens erfolgten Ergänzungen, Erweiterungen und Neuerungen im Modell dargelegt.

2.1 Untersuchungsgebiet Dümmer

Das Untersuchungsgebiet Dümmer umfasst bis zum Auslasspegel Schäferhof ca. 324 km² (nach der Bornbachumleitung; davor inkl. Bornbach ca. 403 km²). Weiterhin entwässert das EZG Marler Graben mit ca. 6 km² direkt in den Dümmer. Der Dümmer selbst liegt in der Dümmer-Geestniederung. Westlich des Dümmer beginnt der Anstieg der bis zu 145 m hohen Dammer Berge; um den See herum befinden sich Nieder- und Hochmoore der Diepholzer Moorniederung. Das EZG des Dümmer reicht im Süden bis zu den Höhenzügen des Wiehengebirges. Größere Orte im EZG sind Bohmte, Bad Essen und Hunteburg. Das EZG Dümmer liegt größtenteils in Niedersachsen, nordöstlich von Bohmte gehören jedoch ca. 48 km² zu Nordrhein-Westfalen.

Das EZG Dümmer ist stark durch landwirtschaftliche Nutzung geprägt, was auch für die Phosphorbelastung des Dümmer eine große Rolle spielt, wobei Ackerflächen mit 54 % dominieren (nach ATKIS, vgl. Bild 1). Grünland und Wald sind mit einem Anteil von jeweils ca. 17 % vertreten, wobei der sich die Wälder überwiegend in den Höhenlagen des südlichen Wiehengebirges befinden. Besonders die östlichen Gebiete sind durch Moore geprägt, wobei der größte Teil des Dammer Moores nach der Bornbachumleitung in 2009 nicht mehr zum EZG Dümmer gehört.

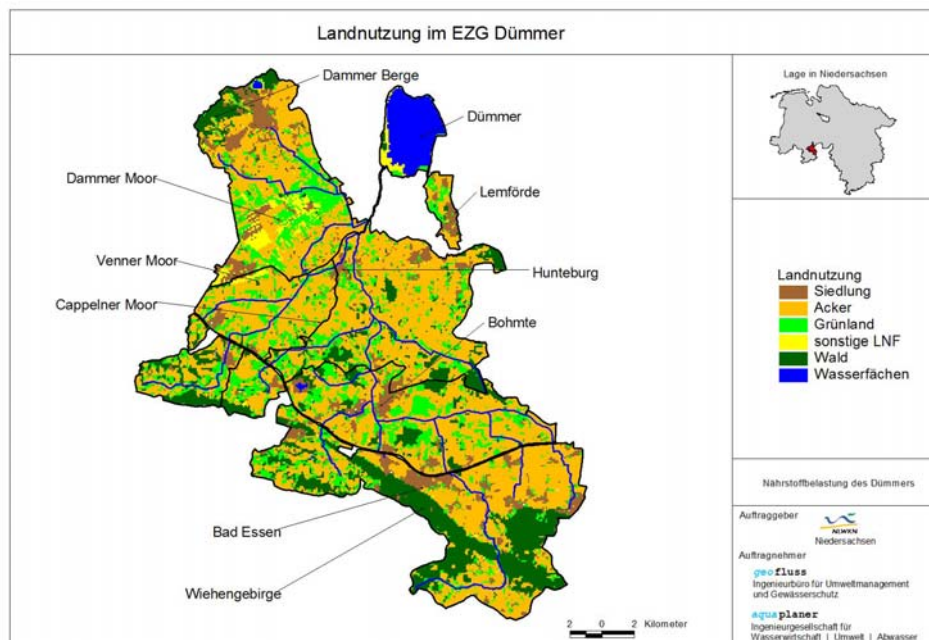


Bild 1: Landnutzung im EZG Dümmer nach ATKIS

Bei den Bodentypen dominieren im EZG Dümmer Gleye, Gley-Podsole, Braunerden und Parabraunerden die zusammen knapp 50 % der Fläche ausmachen (Tabelle 1 und Bild 2). Auffällig ist weiterhin der hohe Anteil an Moorflächen (Hoch- und Niedermoor), die zusammen

über 10 % der Gesamtfläche ausmachen und von denen erhöhte P-Einträge wahrscheinlich sind. Bezogen auf das Teilgebiet Bornbach liegt dieser Anteil sogar bei 42 % der Gesamtfläche (vergleiche Bild 2).

Tabelle 1: Bodentypen im EZG Dümmer (nach den Bodenkundlichen Übersichtskarten 1:50.000 von Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen)

Bodentyp	Anteil [%]	Bodentyp	Anteil [%]
Gley	23,6	Braunerde mit Plaggenauflage	0,4
Gley-Podsol	11,8	Gley-Podsol-Pseudogley	0,3
Braunerde	7,7	Gley-Humuspodsol	0,2
Parabraunerde	5,8	Gley mit Erd-Niedermoorauflage	0,2
Podsol-Gley	5,6	Braunerde-Regosol; podsoliert	0,2
Erd-Hochmoor	5,6	Regosol	0,2
Erd-Niedermoor	4,9	Pseudogley-Pelosol	0,2
Pseudogley	4,8	Parabraunerde mit Plaggenauflage	0,2
Plaggenesch unterlagert von Pseudogley-Parabraunerde	4,5	Podsol-Pseudogley	0,1
Plaggenesch unterlagert von Podsol	3,2	Podsol-Braunerde	0,1
Pseudogley-Parabraunerde	3,0	Gley-Braunerde mit Plaggenauflage	0,1
Podsol	2,3	Rendzina	0,1
Plaggenesch unterlagert von Parabraunerde	2,0	Haftnässepseudogley-Braunerde	0,1
Pseudogley-Braunerde	1,8	Niedermoor	0,1
Tiefumbruchboden	1,7	Parabraunerde-Haftnässepseudogley	< 0,01
Haftnässepseudogley	1,4	Pseudogley-Humuspodsol	< 0,01
Plaggenesch unterlagert von Braunerde	1,1	Anmoorgley	< 0,01
Plaggenesch unterlagert von Gley	1,1	Pararendzina	< 0,01
Plaggenesch	0,9	Aufschüttung ohne Bodenentwicklung	< 0,01
Plaggenesch unterlagert von Pseudogley	0,8	Plaggenesch unterlagert von Pseudogley-Podsol	< 0,01
Pseudogley-Podsol	0,8	Lockersyrosem	< 0,01
Plaggenesch unterlagert von Podsol-Gley	0,7	Humusbraunerde	< 0,01
Gley-Pseudogley	0,6	Braunerde-Rendzina	< 0,01
Rendzina-Braunerde	0,6	Haftnässepseudogley-Humusbraunerde	< 0,01
Braunerde-Regosol	0,6	Syrosem	< 0,01
Pseudogley-Humusparabraunerde	0,5		

Mit einem Anteil von etwa 1,7 % spielen Tiefumbruchböden bezogen auf das Gesamtgebiet keine große Rolle, sie sind jedoch überwiegend im TG Hunteburg lokalisiert (hier 8 % der Fläche) und können durchaus für erhöhte P-Einträge verantwortlich sein. In Bild 2 ist die Verteilung der Bodentypen inkl. ihres Flächenanteils im EZG dargestellt.

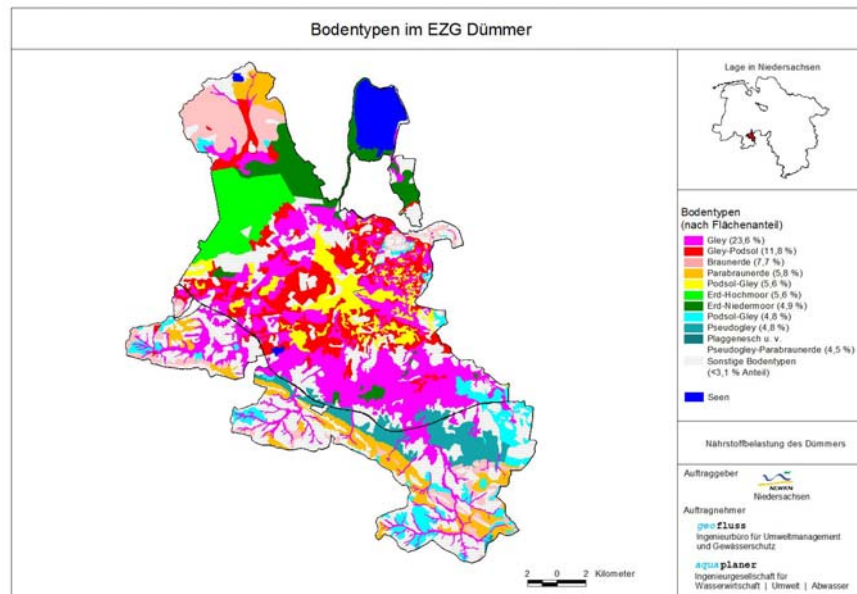


Bild 2: Bodentypen im EZG Dümmer (nach den Bodenkundlichen Übersichtskarten 1:50.000 von Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen)

Teilgebiete

Teilgebiete (TG) sind charakteristische Gebietseinheiten innerhalb des EZG Dümmer. Sie wurden u.a. unter Berücksichtigung der Lage der hydrologischen Teileinzugsgebiete (TEZG) und der Pegel unterteilt.

Das EZG Dümmer (hier inkl. Dümmersee) wurde in 6 TG unterteilt (s. Bild 3), wobei die TG Bohmte, Hunteburg, Bornbach (nur bis zur Bornbachumleitung in 2009) und Schäferhof dem EZG der oberen Hunte am Bilanzpegel Schäferhof entsprechen. Als weiteres TG entwässert der Marler Graben direkt in den Dümmer. Die Bezeichnung als „EZG der Hunte“ wird dort verwendet, wo ein Frachtabgleich am Pegel Schäferhof erfolgt, da hier der Pegel für Abfluss und Gütemessungen am Gebietsauslass liegt. Für das TG Marler Graben lagen dagegen keine Daten für einen Frachtabgleich vor.

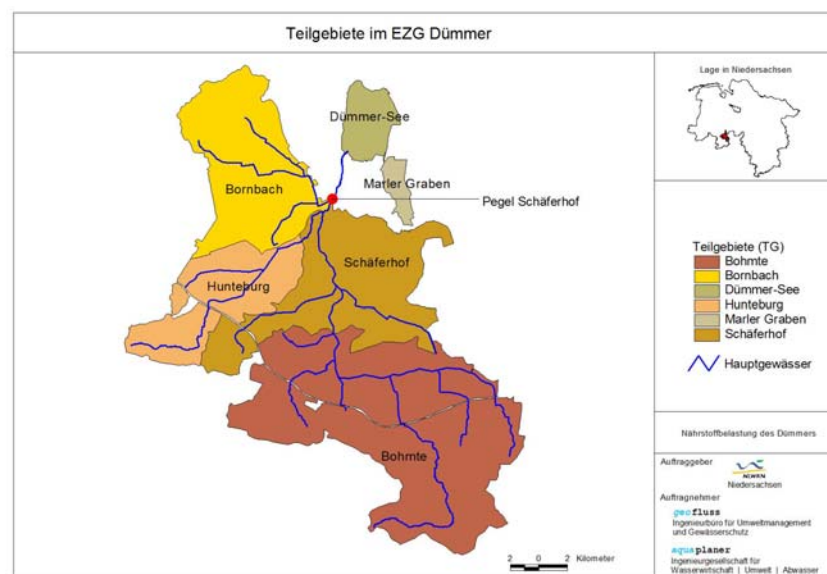


Bild 3: Teilgebiete (TG) im EZG Dümmer

Eine Besonderheit betrifft das TG Bornbach. Dieses wurde im Zuge der Dümmersanierung 2009 vom übrigen Einzugsgebiet abgetrennt, d.h. bei der Berechnung der Jahre vor 2009 musste der Bornbach ebenso berücksichtigt werden wie bei der Berechnung des langjährigen mittleren Zustandes. Die Berechnung der Jahre 2010 und 2011 erfolgte hingegen ohne Bornbach.

Bilanzgebiete (BG) sind Gebietseinheiten innerhalb des Einzugsgebietes für die Berechnung der gebietsspezifischen Retention. Die Bilanzgebiete wurden unter Berücksichtigung der Lage der Teileinzugsgebiete (TEZG) und der Pegel erstellt. Tabelle 2 zeigt wesentliche Kenndaten für die BG. Die Klassifizierung der Bilanzgebiete in den Typus Quelle und Ende bezeichnet dabei die Lage der Bilanzgebiete und wird u.a. für die Berechnung der Retention benötigt (siehe Kap.2.8). Bei der Berechnung der Retention wird zusätzlich die Lage der Bilanzgebiete untereinander berücksichtigt, d.h. die Information für jedes BG, von welchem BG der Stoffstrom empfangen wird und ebenso, zu welchem BG er weitergegeben wird.

Tabelle 2: Kenndaten der Bilanzgebiete im EZG Dümmmer (mittlere Bedingungen, inkl. Bornbach)

BG-Nr.	Pegel	Fluss	BG [km ²]	MQ BG [m ³ /s]	Typ
1	Schäferhof (inkl. Bornbach und Hunteburg)	Hunte	224	1,67	Ende
2	Bohmt	Hunte	179	1,42	Quelle
3	keiner	Marler Graben	6	0,04	Ende

Teileinzugsgebiete (TEZG) sind hydrologische Einheiten, die in dem vorliegenden Gutachten die Ebene der Bewertung darstellen.

Bild 4 zeigt die Lage der TEZG (insgesamt 29 für den Zeitraum nach der Bornbachumleitung). In Tabelle 3 sind die Bezeichnungen dieser TEZG sowie ihre Gebietsgröße aufgeführt. Zudem sind Tabelle 3 die 5 TEZG in Bereich des Bornbachs zu entnehmen.

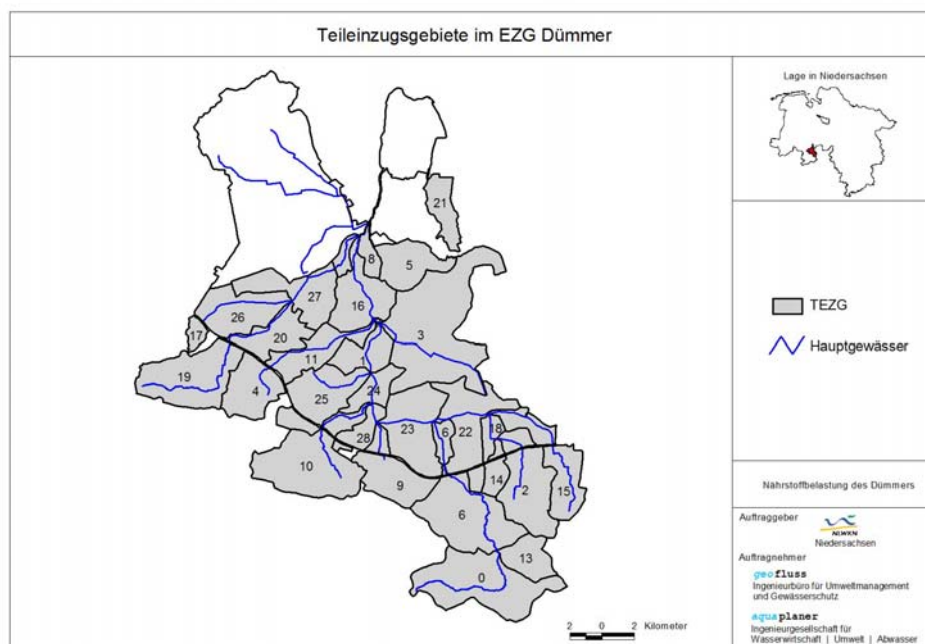


Bild 4: Hydrologische Teileinzugsgebiete (TEZG) im EZG Dümmmer nach der Bornbachumleitung

Tabelle 3: Hydrologische Teileinzugsgebiete im EZG Dümmer (TEZG des Bornbachs sind blau hervorgehoben)

TEZG-Nr.	Gewässername	Gewässerabschnitt	km ²
0	Hunte	von den Quellen bis Glanebach	23,1
1	Hunte	von Gräfte bis Grenzkanal	7,1
2	Wimmerbach	von den Quellen bis Mündung Alte Hunte Rabber	16,7
3	Grenzkanal	-	36,8
4	Strothbach	von den Quellen bis zum Mittellandkanal	10,4
5	Hunte	von Bornbach bis zur Einmündung in den Dümmer	9,9
6	Hunte	von Glanebach bis Wimmerbach	23,1
7	Hunte	von Grenzkanal bis Strothkanal	0,1
8	Hunte	von Elze bis Bornbach	2,7
9	Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach	-	11,9
10	Lecker Mühlbach		22,9
11	Strothkanal	vom Mittellandkanal bis zur Hunte	9,5
12	Dümmer	(Wasserfläche)	16,1
13	Glanebach	-	6,6
14	Alte Hunte Rabber	-	3,6
15	Heithöfer Bach	-	13,5
16	Hunte	von Strothkanal bis Elze	12,4
17	Venner Bruchgraben	von den Quellen bis zum Mittellandkanal	1,9
18	Wimmerbach	von Mündung Alte Hunte Rabber bis Heithöfer Bach	2,7
19	Venner Mühlenbach	von den Quellen bis Mittellandkanal	18,1
20	Venner Mühlenbach	von Mittellandkanal bis Venner Bruchkanal	8,7
21	Marler Graben		6,1
22	Wimmerbach	von Mündung Heithöfer Bach bis zur Hunte	15,2
23	Hunte	von Wimmerbach bis Alte Hunte	15,8
24	Hunte	von Lecker Mühlbach bis Gräfte	5,1
25	Gräfte	-	14,3
26	Venner Bruchkanal	vom Mittellandkanal bis zum Venner Mühlenbach/Elze	12,4
27	Elze	von Venner Bruchkanal bis zur Hunte	14,4
28	Hunte	von Alte Hunte bis Lecker Mühlenbach	4,4
29	Bornbach	von den Quellen bis Wasserzug Nr. 28	25,9
30	Wasserzug Nr. 28	von den Quellen bis zum Bornbach	16,5
31	Bornbach	von Wasserzug Nr. 28 bis Schweger Marschkanal	24,4
32	Schweger Marschkanal	von den Quellen bis zum Bornbach	10,2
33	Bornbach	von Schweger Marschkanal bis zur Hunte	1,7

In Bild 5 ist das für die Modellierung verwendete Gewässernetz nach ATKIS im EZG Dümmer dargestellt (inkl. der Gräben). Aus dem südlichen Teilgebiet Bohmte zieht sich die Hunte bis zum Pegel Schäferhof. Aus dem westlichen Teilgebiet Hunteburg mündet der Venner Mühlenbach über die Elze in die Hunte, der Bornbach mündete bis 2009 ebenso in die Hunte, wurde aber danach umgeleitet. Die Länge des Gewässernetzes beträgt insgesamt 942 km.

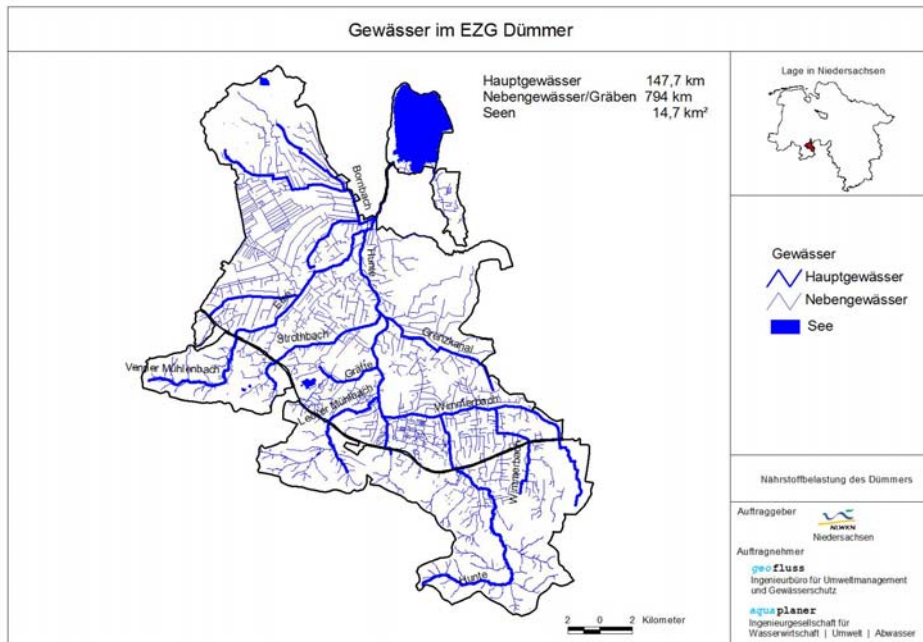


Bild 5: Gewässernetz im EZG Dümmer nach ATKIS

2.2 Betrachtete Zeiträume, Anforderungen an die Modellgenauigkeit und wichtige Modellanpassungen

Um möglichst zuverlässige Aussagen über die Herkunft der P-Belastung des Dümmer auf Grundlage von Modellergebnissen zu erzielen, ist es erforderlich, einen Nachweis darüber zu führen, dass das verwendete Modell die P-Belastung verschiedener Zeiträume abzubilden vermag. Diese Zeiträume sind dabei so auszuwählen, dass sowohl besonders hohe als auch besonders niedrige P-Belastungen (als Maß hierfür dienen die ermittelten P-Frachten, vgl. Kap. 2.3) Berücksichtigung finden.

Zudem ist für das EZG Dümmer zu bedenken, dass in 2009 im Zuge der Dümmeranierung der Bornbach umgeleitet wurde und somit ab 2010 nicht mehr zum Einzugsgebiet des Dümmer gehört, bei Berechnungen vor 2009 musste der Bornbach jedoch ebenso berücksichtigt werden wie bei der Berechnung des mittleren Zustandes vor der Bornbachumleitung.

Insgesamt wurden - um den genannten Anforderungen gerecht zu werden - folgende Zeiträume berücksichtigt:

- 2002 inkl. Bornbach (repräsentiert hohe Abflüsse und hohe Phosphorfrachten),
- mittlerer Zustand inkl. Bornbach (repräsentiert langjährige mittlere Abflüsse und mittlere Phosphorfrachten),
- 2006 inkl. Bornbach (repräsentiert geringe Abflüsse und geringe Phosphorfrachten),
- 2010 und 2011 ohne Bornbach (repräsentieren den aktuellen Zustand nach der Bornbachumleitung).

Als Modellgrundlage für die Berechnung der Wasserbilanz und darauf aufbauend der Phosphorfrachten des EZG Dümmer diente ein Bilanzmodell, das aktuell im Auftrag des NLWKN-Niedersachsen weiterentwickelt wurde (Anfang 2012 fertiggestellt; Bearbeiter Dr. Carsten Scheer und Dr. Nikolai Panckow). Die grundlegenden Eingangsdaten (beispielsweise horizontgenaue Bodeninformationen usw.) sind dem Abschlussbericht „Weiterführende Model-

Optimierung zur Quantifizierung diffuser Nährstoffeinträge als Instrument zur Umsetzung der EG-WRRL - Anpassung für Niedersachsen und Implementierung von Bewirtschaftungsmaßnahmen“ (SCHEER & PANCKOW, 2012) zu entnehmen.

Dieses Modell stellt die Berechnungsgrundlage für das vorliegende Gutachten dar, wobei hinsichtlich der speziellen Fragestellung im EZG Dümmer vielfältige Anpassungen des Modells erfolgten um aktuelle und notwendige Datengrundlagen (beispielsweise Informationen über feldblockbezogenen Anbau, aktuelle Maßnahmen, flächenscharfen Bodenabtrag auf Feldblockebene oder P-Gehalt im Oberboden um nur einige zu nennen) adäquat nutzen zu können. Dieses wird im Folgenden dargelegt.

InVeKoS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem)

InVeKoS ist ein durch die Europäische Kommission eingeführtes System von Verordnungen zur Durchsetzung einer einheitlichen Agrarpolitik in den EU-Mitgliedstaaten, mit einem System zur Identifizierung landwirtschaftlicher Nutzflächen (LNF) und dem Flächenanteil tatsächlich angebauten Kulturarten pro Feldblock (bzw. Schlag). Diese Information liegt seit 2005 GIS-unterstützt für jedes Jahr vor. Dadurch ist es grundsätzlich möglich flächenscharf den Grad der Bodenbedeckung durch Kulturarten zu berücksichtigen (C-Faktor der ABAG) und so den Bodenabtrag sehr viel genauer als ohne diese Datengrundlage zu berücksichtigen (Einschränkungen sind weiter unten aufgeführt).

Agrar-Umwelt-Maßnahmen

Das Servicezentrum für Landentwicklung und Agrarförderung (SLA) veröffentlicht jährlich den Flächenanteil von Maßnahmen nach dem Niedersächsischen Agrar-Umweltprogramm (NAU). Es werden dabei die Flächenanteile tatsächlicher Maßnahmen pro Feldblock (bzw. Schlag) aufgeführt. Dadurch ist es möglich die Maßnahmen, die nachweislich eine hohe erosionsmindernde Wirkung aufweisen, konkret in den Berechnungen zu berücksichtigen. Weiterhin wurden Maßnahmen der freiwilligen Vereinbarungen abgefragt und bei den Berechnungen berücksichtigt.

Bodenabtrag nach LBEG

Das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) ermittelt kleinräumig (12,5 m-Raster) die potenzielle Erosionsgefährdung durch Wasser (unabhängig von der vorliegenden Landnutzung). Diese Daten wurden für das vorliegende Gutachten hinsichtlich der landwirtschaftlichen Nutzflächen aufbereitet und in das Modell übernommen. Zwar berechnet das Bilanzmodell in der ursprünglichen Form den Bodenabtrag auch nach der (in Anlehnung an die aus der Universal Soil Loss Equation (USLE) an deutsche Verhältnisse angepassten) allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG), aufgrund der deutlich höher aufgelösten Eingangsdaten zur Bodeninformation wurden die Daten des LBEG als Eingangsdaten ins Modell übernommen und der Berechnungsalgorithmus angepasst.

P-Gehalt im Oberboden nach LBEG

Das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) ermittelt kleinräumig (12,5 m-Raster) den P-Gehalt im Oberboden unter Berücksichtigung digitaler Rasterkarten zum pflanzenverfügbaren Phosphor, zum pH-Wert, Sand-, Ton- und C_{org} -Gehalt im Boden sowie mit Informationen des ATKIS-DLM 25. Da dieser Ansatz nach eigenen Angaben des LBEG bei hohen Werten über ca. 1000 mg/kg den tatsächlichen P-Gehalt im Oberboden unter-

schätzt (LBEG, 2007), wurden die Daten des LBEG mit den im Bilanzmodell intern ermittelten (die solche hohen Werte zulassen) für die Berechnungen im EZG Dümmer gemittelt.

Einschränkungen in den oben aufgeführten Änderungen werden im Folgenden aufgeführt:

- Für NRW lagen keine Informationen für InVeKoS, NAU, Bodenabtrag und P-Gehalt vor. Hier wurde der etablierte Modellansatz benutzt, um einen zu den LBEG-Daten äquivalenten Bodenabtrag zu ermitteln. Die Bodenbedeckung durch die Kulturarten (C-Faktor) wurde entsprechend des ursprünglichen Modellansatzes über eine Differenzierung der Anbauflächen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Standortansprüche der einzelnen Kulturarten und der Agrarstatistik ermittelt.
- Für den mittleren Zustand wurde der Bodenabtrag (für Niedersachsen) nach LBEG als Ausgang genommen und die Bodenbedeckung durch die Kulturarten (C-Faktor) nach InVeKoS (berechnet für die einzelnen Jahre) auf Ebene der Feldblöcke gemittelt. Dieses Vorgehen entspricht jedoch nicht der tatsächlichen Bodenbedeckung, die in einer Fruchtfolge (unter Berücksichtigung der Vor- und Nachfrüchte, des Erntezeitpunktes, der Brachzeiten, Pflanzenentwicklung usw.) auftreten würde. Es war aufgrund der vorliegenden Daten jedoch nicht möglich die Anbauverhältnisse auf Schlagebene zu berücksichtigen, da zwar über die einzelnen Feldblöcke GIS-Informationen vorlagen, nicht aber für eine weitere Unterteilung in die Ackerschläge. Nach Informationen vom NLWKN-Niedersachsen werden in Zukunft die Schläge im GIS ausgewiesen und somit sollte eine Berücksichtigung der tatsächlichen Fruchtfolge möglich werden.
- Die nach ATKIS differenzierten Landnutzungen Acker und Grünland sind nicht ohne weiteres mit den Feldblockdaten nach InVeKoS vergleichbar. Zum einen wechseln die im GIS dargestellten Flächen für die Feldblöcke jährlich (teilweise auch deren Identifizierungsnummern), anders als in ATKIS, zum anderen ist die Einteilung in Acker und Grünland nach InVeKoS für die Feldblöcke nur nach dem Flächenanteil möglich. So hat eine in ATKIS ausgewiesene Grünlandfläche nach InVeKoS einen möglichen Grünlandanteil von 0 - 100 % für ein bestimmtes Jahr. Diese Problematik betrifft nicht die Berechnung der Erosion, da hier die Landnutzung (Acker oder Grünland) über den C-Faktor einfließt, wohl aber die anderen Eintragspfade für die eine Differenzierung der Landnutzung nötig ist (wie beispielsweise Drainage). Insofern erfolgt die Berechnung aller Eintragspfade außer Erosion nach den Angaben zur Landnutzung nach ATKIS, nur für Erosion hingegen nach InVeKoS.

2.3 Ermittlung von Phosphorfrachten aus Pegeldaten

Zur Bestimmung der Phosphorfrachten am Gebietsauslass (Pegel Schäferhof) anhand von Messwerten (Phosphorkonzentrationen und Abfluss) wurden für das EZG Dümmer unterschiedliche Datengrundlagen und Methodiken verwendet.

Für den Zeitraum vor 2003 liegen lediglich die monatlichen Messwerte der Gewässerüberwachung vor. Zur Bestimmung der Phosphorfrachten am Gebietsauslass auf dieser Datengrundlage wurde auf eine Methodik nach OSPAR (1996) zurückgegriffen:

$$L_{J,P} = \frac{Q_{TGL}}{Q_{MEß}} \cdot \left(\frac{1}{J} \cdot \sum_{n=1}^J CT_{t,p} \cdot Q_t \cdot U_f \right) \quad (\text{Gleichung 1})$$

Mit:

- $L_{J,P}$ = jährliche Phosphorfracht [g/s],
- Q_{TGL} = mittlerer jährlicher Abfluss täglicher Durchflussmessungen [m^3/s],
- $Q_{MEß}$ = mittlerer jährlicher Abfluss für die Tage der Gütemessungen im Untersuchungszeitraum [m^3/s],
- n = Anzahl der Messwerte pro Jahr J ,
- CT_P = Phosphorkonzentration zum Messzeitpunkt t [mg/l],
- Q_t = Abfluss zum Messzeitpunkt t [m^3/s] und
- U_f = Umrechnungsfaktor vom Durchfluss- zum Gütepegel.

Diese Methode war bei einer Untersuchung von LITTLEWOOD (1995) die einzige, die weitgehend zuverlässige Ergebnisse lieferte. Diesen positiven Befund bestätigen auch BEHRENDT & OPITZ (1999).

Für den Zeitraum 2003 bis 2011 liegt für den Pegel Schäferhof eine vergleichsweise sehr gute Messdichte für die Parameter P_{ges} und $\text{PO}_4\text{-P}$ vor (beinahe tägliche Messwerte). Auf dieser Grundlage lassen sich die entsprechenden Frachten ausreichend zuverlässig durch die Verknüpfung der täglichen P-Messwerte und der zugehörigen Abflussmengen ermitteln. Die fehlenden Messwerte können unterschiedlich berücksichtigt werden:

Methode NLWKN: ersetzen der fehlenden Tageswerte durch den monatlichen Gewässerüberwachungswert, Ermittlung von Monats- und Jahresfrachten.

Methode geofluss: zunächst Ermittlung von Monatswerten auf Basis vollständiger Datensätze, Korrektur dieser Werte im Verhältnis Monatstage/Messtage zu Monatsfrachten, hieraus Jahresfrachten.

Darüber hinaus wurde auch für die täglichen Messwerte die Methodik nach OSPAR (1996) verwendet, so dass bis zu 3 Ergebnisse für die Jahresfrachten vorlagen. Als Referenzfracht für den späteren Frachtabgleich wurde für den Zeitraum 2003 bis 2011 jeweils ihr Mittelwert verwendet. Die entsprechenden Datengrundlagen sowie die resultierenden Jahresfrachten sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Ermittlung der Jahresfrachten: Datengrundlagen, verwendete Methodiken sowie resultierende Jahresfrachten

Jahr	Basis Tagesmesswerte (Methodik)			Basis GÜN	Jahresfracht
	NLWKN	geofluss	OSPAR (1996)	OSPAR (1996)	
	[t/a]				
2002	-	-	-	40,0	40,0
2006	-	14,4	15,1	-	14,7
2010	16,3	14,3	15,5	-	15,4
2011	10,3	10,4	10,2	-	10,3

Ermittlung der Referenzfracht für den mittleren Zustand

Als Grundlage für die Ermittlung der mittleren Referenzfracht dienten Jahre, die folgende Bedingungen erfüllen:

- der Jahresabfluss liegt im Bereich $\pm 15\%$ vom langjährigen mittleren Abfluss,
- die zugehörige Jahresfracht ist kein relevanter Ausreißer,
- der zugehörige Zeitraum liegt nicht länger als 15 Jahre zurück,
- und speziell für den Dümmer: alle betrachteten Jahre müssen vor der Bornbachumlegung liegen.

Unter diesen Voraussetzungen konnten insgesamt 6 Jahre für die Ermittlung der mittleren Referenzfracht dienen. Ermittelt wurden Jahresfrachten einheitlich nach den Verfahren nach OSPAR (1996), wobei je nach Datenlage die monatlichen Gewässerüberwachungsdaten oder, wenn vorhanden, die täglichen Messwerte Anwendung fanden.

Die hieraus resultierende mittlere Fracht wurde abschließend durch das Verhältnis mittlerer langjähriger Abfluss zu mittlerem Abfluss der betrachteten Jahre korrigiert.

Die entsprechenden Datengrundlagen sowie die resultierende mittlere Referenzfracht sind Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 5: Ermittlung der mittleren Referenzfracht: Datengrundlagen sowie resultierende Referenzfracht

Jahr	Jahresfracht [t/a]	Abfluss [m ³ /s]	Referenzfracht [t/a]
1999	26,6	2,82	28,0
2000	22,7	2,65	
2001	26,0	3,09	
2004	25,1	2,62	
2007	30,6	3,51	
2008	27,2	2,75	
Mittelwert	26,4	2,91	
MQ	-	3,09	

2.4 Übersicht der Eingangsdaten

Die Modellanwendung erfordert detaillierte Eingangsdaten in Form von digitalen Karten sowie tabellarische Daten. Eine Übersicht der für die Modellanwendung wesentlichen Eingangsdaten ist in Tabelle 6 aufgeführt.

Es ist zu beachten, dass es sich hierbei speziell um die Eingangsdaten zur Berechnung der P-Belastungen für den Dümmer handelt.

Des Weiteren ist zu beachten, dass einige Eingangsdaten wie beispielweise Informationen zu den Anbauflächen nach InVeKoS nur für die Jahre ab 2005 vorlagen und somit auch nur für diese Jahre benutzt werden konnten.

Tabelle 6: Übersicht der wesentlichen Eingangsdaten

Eingangsdaten	Erosion (nach InVeKoS- bzw. Originalberechnung)	Sonstige P- Eintrags- pfade
Kulturartenanteil pro Feldblock (bzw. Schlag) nach InVeKoS pro Jahr	x	
Lage der Feldblöcke nach InVeKoS pro Jahr (für Schläge nicht vorhanden)	x	
Flächenanteile tatsächlicher Maßnahmen pro Feldblock (bzw. Schlag) nach SLA-NAU und freiwillige Vereinbarungen pro Jahr	x	
Bodenabtrag nach LBEG	x	
P-Gehalt im Oberboden nach LBEG	x	
Entfernung zum Gewässer	x	x
Flächenaufgelöste Boden-Datenbank nach BÜK50n u.a. mit Horizontdaten	x	x
Pegeldaten für das Gesamtgebiet und Teilgebiete (Lage, Abfluss und Güte)	x	x
Anbauflächen und Erträge der Kulturarten pro Gemeinde nach Agrarstatistik	x	x
Viehzahlen pro Gemeinde nach Viehzählung		x
Gebietsgrenzen (EZG, Bundesland, Gemeinde, Kreis, TEZG)	x	x
Regionalisierte langjährige Klimadaten (Niederschlag, Verdunstung)	x	x
Landnutzung nach ATKIS (Objektart-Nr., VEG-Nr., FKT.-Nr.)	x	x
Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum		x
DGM 5 bzw. 10 (hieraus Ableitung der Ausrichtung und Hangneigung)	x	x
Angaben zu Drainageflächen (sonst modellinterne Ableitung)		x
Kenndaten der Kleinkläranlagen (Lage, Art)		x
Kenndaten der Bilanzgebiete (Lage, Gewässerlängen, Abflüsse, Seenfläche...)	x	x
Kenndaten Gemeinde (Einwohner, Flächenanteile außerhalb des EZG....)		x
Kenndaten Kläranlagen (Abwassermenge, Ablaufwerte, Lage)		x
Kenndaten Kreise (Anteil Mischkanalisation...)		x
an Kläranlagen angeschlossene Einwohner pro TEZG		x
Gewässernetz (Hauptgewässer, Nebengewässer und Gräben)	x	x

Das Bilanzmodell arbeitet in der ursprünglichen Version auf Rasterbasis, für die optimale Berücksichtigung der Eingangsdaten nach InVeKoS wurden diese Informationen jedoch in der original vorliegenden Form als Polygone eingelesen und verarbeitet.

2.5 Wasserbilanz

Die Abbildung des Wasserhaushaltes auf Einzugsgebietsebene stellt eine wesentliche Voraussetzung für die Ermittlung der diffusen Phosphoreinträge dar. Begründet ist dies darin, dass das Wasser als Transportmedium für Nährstoffe maßgeblich das Eintragsverhalten bestimmt.

Der Gebietsabfluss kann sich je nach standörtlichen Bedingungen aus verschiedenen Komponenten zusammensetzen, die im Folgenden kurz charakterisiert werden:

- **Oberflächenabfluss:** Abflussanteil, der nicht in den Boden eindringt und nach einem Niederschlagsereignis sehr schnell (innerhalb von Minuten bis wenigen Stunden) oberflächlich abfließend den Vorfluter erreicht,
- **Zwischenabfluss:** Abflussanteil, der den Vorfluter unterirdisch mit nur geringer Verzögerung erreicht; die Fließzeit liegt meist zwischen einem Tag und wenigen Tagen,
- **Dränageabfluss:** schnell abfließender Abflussanteil auf künstlich entwässerten landwirtschaftlichen Nutzflächen und
- **Grundwasserabfluss:** Abflussanteil, der in den Boden infiltriert und der den Grundwasserraum erreicht, Fließzeit bis zu mehreren Jahrzehnten.

Die im verwendeten Bilanzmodell integrierte Wasserbilanz wird in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

2.5.1 Gesamtabfluss

Der Ausgangspunkt für die Wasserbilanz ist die langjährige Wasserbilanzgleichung, aus der sich der Gesamtabfluss einer Gebietseinheit aus der Differenz von Jahresniederschlag und realer Verdunstung ableiten lässt:

$$Q_{\text{Ges}} = N - V_{\text{real}} \quad (\text{Gleichung 2})$$

Mit:

Q_{Ges} = Gesamtabfluss [mm]

N = Jahresniederschlag [mm]

V_{real} = jährliche reale Verdunstung [mm]

Angaben zum mittleren Niederschlag wurden räumlich differenziert vom NLWKN in Hildesheim zur Verfügung gestellt. Die reale Verdunstung lässt sich nach einem Verfahren von Renger & Wessolek (1996) berechnen, dessen Zuverlässigkeit vielfach bestätigt wurde:

$$V_{\text{real}} = a \cdot N_{W_i} + b \cdot N_{S_o} + c \cdot \log(W_{\text{pfl}}) + d \cdot ET_{\text{pot}} + e \quad (\text{Gleichung 3})$$

Mit:

V_{real} = reale Verdunstung [mm]

W_{pfl} = pflanzenverfügbares Bodenwasser [mm]

N_{W_i} = Winterniederschlag [mm]

ET_{pot} = jährliche potenzielle Verdunstung (Haude) [mm]

N_{S_o} = Sommerniederschlag [mm]

a bis e: Koeffizienten nach Bodenbedeckung beziehungsweise Landnutzung

Der Einfluss der verschiedenen Bodenbedeckungen beziehungsweise Landnutzungen wird über die Koeffizienten a bis e berücksichtigt, für die Renger & Wessolek (1996) die in Tabelle 7 aufgeführten Werte angeben.

Tabelle 7: Landnutzungsspezifische Koeffizienten für die Verdunstungsberechnung nach Renger & Wessolek (1996)

Landnutzung	a	b	c	d	e
Ackerland	0,08	0,39	153	0,12	-109
Grünland	0,10	0,48	286	0,10	-330
Nadelwald	0,29	0,33	166	0,19	-127
Laubwald	0,047	0,047	0	0,02	430,1

Da für die aktuell betrachteten Gebiete nicht die jährliche potenzielle Verdunstung nach Haude sondern die nach der Penman-Beziehung ermittelte vorlag, wurde gemäß der Angaben in BOGENA ET AL. (2003) der Koeffizient d nach Gleichung 4 folgendermaßen modifiziert:

$$d_{\text{Haude}} = 0,926 \cdot d_{\text{Penman}} \quad (\text{Gleichung 4})$$

Die Höhe des pflanzenverfügbaren Bodenwassers entspricht auf nicht grundwasserbeeinflussten Böden der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum; die entsprechenden nFKWe-Werte liegen räumlich differenziert vor. Auf grundwasserbeeinflussten Böden setzt sich die Menge an maximal pflanzenverfügbarem Bodenwasser aus der Summe von nFKWe und mittlerem kapillaren Aufstieg zusammen. Letzterer wird modellintern nach MÜLLER (2004) und HENNINGS (1994) berechnet.

Dieses Verfahren gilt für ebene, grundwasserferne und unversiegelte Standorte. Für alle anderen Bedingungen, also in reliefiertem Gelände sowie für grundwasserbeeinflusste oder versiegelte Standorte, bei denen andere Verdunstungsbedingungen vorliegen, muss das Verfahren modifiziert werden. Die im Modell verwendeten Modifikationen für diese Standorte werden im Folgenden vorgestellt.

In reliefiertem Gelände beeinflussen die Hangneigung und die Hangexposition die reale Verdunstungshöhe. Zunehmende Hangneigung führt an südexponierten Hängen zu einer Erhöhung und an nordexponierten Hängen zu einer Verringerung der Verdunstung. KUNKEL & WENDLAND (1998) haben einen Korrekturfaktor f_h für Mittelgebirgsregionen (GOLF, 1981) ermittelt, der diesen Sachverhalt berücksichtigt und unverändert in das Modell übernommen wurde:

$$f_h(\alpha, \varphi) = [1,605 \cdot 10^{-2} \cdot \sin(\alpha - 90) - 2,25 \cdot 10^{-4}] \cdot \varphi + 1 \quad (\text{Gleichung 5})$$

Mit:

α = Hangexposition gegenüber Nord in [°]

φ = mittlere Hangneigung in [°]

Die reale Verdunstung in reliefiertem Gelände $V_{\text{real, Hang}}$ ergibt sich folglich aus:

$$V_{\text{real, Hang}} = f_h(\alpha, \varphi) \cdot V_{\text{real}} \quad (\text{Gleichung 6})$$

Bei grundwasserbeeinflussten Standorten wird die reale Verdunstung nach dem oben genannten Ansatz von RENGGER & WESSOLEK (1996) unterschätzt, da durch kapillaren Aufstieg ständig Wasser für den Verdunstungsprozess zur Verfügung steht.

Für Bedingungen dieser Art ist davon auszugehen, dass die reale Verdunstung grundwassernaher Standorte ($V_{\text{real, gw}}$) der maximalen Verdunstung V_{max} entspricht. Es gilt:

$$V_{\text{real, gw}} = V_{\text{max}} \quad (\text{Gleichung 7})$$

Die maximale Verdunstung stellt eine Modifikation der potenziellen Verdunstung dar, die den Grundwassereinfluss auf die Verdunstungshöhe in Abhängigkeit unter anderem von der Landnutzungskategorie, dem Volumenanteil des Wassers im Boden bei nutzbarer Feldkapazität und von der mittleren Bewuchshöhe des Pflanzenstandes beziehungsweise des mittlere-

ren Umtriebsalters des Pflanzenbestandes abschätzt. Die genannten Einflüsse werden nach ATV-DVWK (2002) berücksichtigt und durch den Faktor f ausgedrückt (BOGENA ET AL., 2003).

Zusätzlich wird auch hier der Einfluss von Hangneigung und -exposition über den Faktor f_h berücksichtigt, sodass sich die maximale Verdunstung von grundwasserbeeinflussten Standorten folgendermaßen berechnet:

$$V_{\max} = f_h \cdot f \cdot ET_{\text{pot}} \quad (\text{Gleichung 8})$$

Mit:

$V_{\max}$ = maximale Verdunstung auf grundwasserbeeinflussten Standorten [mm]

f_h = Korrekturfaktor für reliefiertes Gelände nach GOLF (1981)

f = Faktor für Vegetationsart und -höhe, Bezug: Gras, 12 cm nach ATV-DVWK (2002)

Auf versiegelten Flächen ist die Verdunstung reduziert, das heißt der Gesamtabfluss erhöht sich. Diesen Einfluss haben KUNKEL & WENDLAND (1998) wie folgt berücksichtigt:

$$V_{\text{versiegelt}} = V_{\text{real}} - f_v \cdot G \quad (\text{Gleichung 9})$$

Mit:

V_{real} = reale Verdunstung [mm]

f_v = Korrekturfaktor

G = Versiegelungsgrad in [%]

Dieser Zusammenhang wird für das Bilanzmodell berücksichtigt, allerdings in modifizierter Form. Den Landnutzungskategorien nach ATKIS wurden zunächst unterschiedliche Versiegelungsgrade zugeordnet. Ferner wird davon ausgegangen, dass der jeweilige Versiegelungsgrad der Landnutzungskategorie in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl der Gemeinden variiert: er ist demnach in Gemeinden mit geringer Einwohnerzahl kleiner als in Gemeinden mit vielen Einwohnern. Modellintern wird dies durch eine Variation des Korrekturfaktors f_v berücksichtigt. Er beträgt für Gemeinden mit mehr als 40.000 Einwohnern 3, für Gemeinden mit 10.000 bis 40.000 Einwohnern 2,4, für Gemeinden mit 3.000 bis 10.000 Einwohner 1,8 und für Gemeinden mit weniger als 3.000 Einwohnern 1,2. Für die jeweils pro Landnutzungskategorie resultierende Verminderung der Verdunstung wurde in der Modell-erweiterung eine neue und sehr aktuelle Datengrundlage verwendet (LBEG, 2009). Hierbei ergeben sich für die einzelnen Landnutzungskategorien nach ATKIS oftmals neue mittlere Versiegelungsgrade, woraus entsprechend andere Verminderungen der Verdunstung resultieren. Die modellintern neu hinterlegten Daten hierzu sind Tabelle 8 zu entnehmen. Im Vergleich zur vorherigen Modellversion fällt vor allem auf, dass für weitaus mehr Landnutzungskategorien Informationen vorliegen. Hierdurch wird die Genauigkeit der Modellierung der Wasserbilanz erhöht. Zu beachten ist, dass für alle nicht in Tabelle 8 aufgeführten Landnutzungskategorien modellintern keine Versiegelung angesetzt wird.

Tabelle 8: Verminderung der Verdunstung in [mm] durch versiegelte Flächen (V_{urb}) in Abhängigkeit von Versiegelungsgrad und Einwohner pro Gemeinde

Landnutzung	Versiegelungsgrad G [%]	V_{urb1}	V_{urb2}	V_{urb3}	V_{urb4}
2101	50	150	120	90	60
2111	47	141	112,8	84,6	56,4
2112	62	186	148,8	111,6	74,4
2113	52	156	124,8	93,6	62,4
2114	45	135	108	81	54
2121	36	108	86,4	64,8	43,2
2122	63	189	151,2	113,4	75,6
2123	62	186	148,8	111,6	74,4
2124	45	135	108	81	54
2125	62	186	148,8	111,6	74,4
2126	34	102	81,6	61,2	40,8
2127	34	102	81,6	61,2	40,8
2128	62	186	148,8	111,6	74,4
2129	11	33	26,4	19,8	13,2
2130	62	186	148,8	111,6	74,4
2131	62	186	148,8	111,6	74,4
2132	36	108	86,4	64,8	43,2
2133	11	33	26,4	19,8	13,2
2134	11	33	26,4	19,8	13,2
2135	62	186	148,8	111,6	74,4
2201	16	48	38,4	28,8	19,2
2202	9	27	21,6	16,2	10,8
2211	5	15	12	9	6
2212	5	15	12	9	6
2213	13	39	31,2	23,4	15,6
2221	16	48	38,4	28,8	19,2
2222	6	18	14,4	10,8	7,2
2223	41	123	98,4	73,8	49,2
2224	17	51	40,8	30,6	20,4
2225	12	36	28,8	21,6	14,4
2226	12	36	28,8	21,6	14,4
2227	12	36	28,8	21,6	14,4
2228	3	9	7,2	5,4	3,6
2229	12	36	28,8	21,6	14,4
2230	3	9	7,2	5,4	3,6
2300	47	141	112,8	84,6	56,4
2310	47	141	112,8	84,6	56,4
2312	62	186	148,8	111,6	74,4
2313	62	186	148,8	111,6	74,4
2315	47	141	112,8	84,6	56,4
2316	47	141	112,8	84,6	56,4
2317	62	186	148,8	111,6	74,4
2318	52	156	124,8	93,6	62,4
2341	47	141	112,8	84,6	56,4
2343	47	141	112,8	84,6	56,4
2344	6	18	14,4	10,8	7,2
2345	8	24	19,2	14,4	9,6
2351	100	300	240	180	120
3101	70	210	168	126	84
3102	70	210	168	126	84
3103	70	210	168	126	84
3104	70	210	168	126	84

Landnutzung	Versiegelungsgrad G [%]	V _{urb1}	V _{urb2}	V _{urb3}	V _{urb4}
3105	100	300	240	180	120
3106	100	300	240	180	120
3301	52	156	124,8	93,6	62,4
3302	3	9	7,2	5,4	3,6
3303	100	300	240	180	120
3304	52	156	124,8	93,6	62,4
3401	1	3	2,4	1,8	1,2
3402	1	3	2,4	1,8	1,2
3500	62	186	148,8	111,6	74,4
3501	30	90	72	54	36
3502	62	186	148,8	111,6	74,4
3503	70	210	168	126	84
3511	62	186	148,8	111,6	74,4
3514	71	213	170,4	127,8	85,2
3516	70	210	168	126	84
3521	70	210	168	126	84
4103	1	3	2,4	1,8	1,2
4109	1	3	2,4	1,8	1,2
4199	2	6	4,8	3,6	2,4
5101	1	3	2,4	1,8	1,2
5102	4	12	9,6	7,2	4,8
5301	4	12	9,6	7,2	4,8
5302	4	12	9,6	7,2	4,8
5303	4	12	9,6	7,2	4,8
5304	4	12	9,6	7,2	4,8
5321	4	12	9,6	7,2	4,8
7311	7	21	16,8	12,6	8,4

Eine Überprüfung der Wasserbilanz kann anhand eines Pegelabgleiches erfolgen. Dabei werden die gemessenen Abflüsse mit den berechneten Abflüsse verglichen (Kapitel 3.1). Im folgenden Kapitel wird die Differenzierung des Gesamtabflusses in die Abflusspfade dargestellt.

2.5.2 Differenzierung der Abflusspfade

Der Gesamtabfluss setzt sich je nach Standorteinflüssen nur aus Grundwasserabfluss oder aus mehreren Abflusskomponenten zusammen (Grundwasser-, Zwischen-, Oberflächen- und/oder Dränageabfluss).

Eine Differenzierung des Gesamtabflusses in Direktabfluss (schnell abfließende Anteile, also Oberflächen- und Zwischenabfluss) und Grundwasserneubildung kann für den Lockergesteinsbereich in Abhängigkeit des Bodenprofils (Bodentyp), des Hydromorphiegrades, des Grundwasserflurabstandes sowie der Hangneigung erfolgen (DÖRHÖFER & JOSOPAIT, 1980; HENNINGS, 1994; RÖDER, 1997; KUNKEL & WENDLAND, 1998).

Modellintern erfolgt diese Differenzierung für den Lockergesteinsbereich anhand von Abflussquotienten nach RÖDER (1997), die die genannten Einflussfaktoren berücksichtigen (Tabelle 9).

Tabelle 9: Abflussquotienten zur Ableitung des Anteils an Grundwasserneubildung am Gesamtabfluss im Lockergesteinsbereich nach RÖDER (1997)

Hydromorphiegrad	Hangneigung						GWF [dm]	Bodentypen
	0-0,5°	>0,5-3°	>3-7°	>7-12°	>12-25°	>25°		
Terrestrisch	1,0	0,83	0,67	0,59	0,50	0,43	> 1,5	Ranker, Rendzina, (Para-) Braunerde, Fahlerde, Rosterde, Schwarzerde, Griserde
Halbhydromorph	0,50	0,50	0,50	0,50	0,43	0,43	0,8 - 1,5	Braunstaugley, Braungley (Vega)
Hydromorph	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	< 0,8	Gley, Staugley, Amphigley, Anmoor, Moor

Für den Festgesteinsbereich können die in Tabelle 9 aufgeführten Abflussquotienten nicht verwendet werden, da hier nicht die Bodeneigenschaften, sondern die geologischen Untergrundverhältnisse maßgeblich für die Abflussseparierung sind (GABRIEL & ZIEGLER, 1989; SCHWARZE ET AL., 1991; KUNKEL & WENDLAND, 1998).

Im aktuellen Modellansatz werden die Abflussquotienten zur Ableitung des Anteils an Grundwasserneubildung am Gesamtabfluss im Festgesteinsbereich (r_B -Wert) neu nach Angaben in LBEG (2008) festgelegt. In diesem Ansatz werden die Abflussquotienten direkt aus der BÜK 50 - die im Modell hinterlegt ist - bzw. den hydrogeologischen Gesteinseinheiten abgeleitet (s. Tabelle 10).

Tabelle 10: Abflussquotienten zur Ableitung des Anteils an Grundwasserneubildung am Gesamtabfluss im Festgesteinsbereich: Zuordnung der r_B -Werte zu den hydrogeologischen Gesteinseinheiten nach LBEG (2008)

Klasse	Hydrogeologische Einheit	Abflussquotient
1	Tonstein-Wechselfolgen	0,05
2	Paläozoische Schiefergesteine	0,2
3	Mergelstein	0,25
4	Sandsteine, Schluffsteine	0,4
5	Kalkstein	0,7
6	Kalkstein, verkarstet	1,0
7	Sandstein-Schluffstein-Wechselfolgen	0,3
8	Kalkstein-Mergelstein-Wechselfolgen	0,35
9	Kristallingestein	0,1
10	Schluffstein	0,15

Die hydrogeologischen Einheiten wurden anhand des Ausgangsgesteins (SKEL in der BÜK 50) gemäß der Angaben in LBEG (2008) klassifiziert (Tabelle 11).

Tabelle 11: Zuordnung der Bodenausgangsgesteine zu den hydrogeologischen Gesteinseinheiten laut Tabelle 10 nach LBEG (2008).

SKEL	Nr.	SKEL	Nr.	SKEL	Nr.	SKEL	Nr.
*Cqc	7	^fsc	7	^mt	3	^tsfc	7
*Gne	9	^g	4	^mtc	7	^u	10
*Gnec	7	^gc	7	^s	4	^uc	7
*Gnoc	7	^k	5	^sc	7	^uc,l	10
*Q	9	^kc	6	^sc,l	7	^uc,t	10
*Qc	7	^kc,l	8	^sc,t	7	^y	5
*T	2	^kc,t	8	^sk	5	^yc	6
*Tc	7	^kc,u	8	^skc	7	+D	9
^brh	1	^kooc	7	^skc,l	7	+Dc	7
^brhc	1	^m	3	^t	1	+Dr	9
^d	5	^m,t	10	^t,l	1	+G	9
^dc,l	7	^mc	7	^tc	1	+Gb	9
^dc,l	7	^mc,t	1	^tm	1	+Gbc	7
^fec	7	^mk	8	^tmc	7	+Gc	7
^fs	7	^mkc	7	^tsf	2		

Die Abflussquotienten definieren den Anteil am unterirdischen Gesamtabfluss, der dem Grundwasserabfluss zugesprochen wird. Liegt der Abflussquotient bei 0,3, sind folglich 30 % des unterirdischen Gesamtabflusses Grundwasserabfluss, die restlichen 70 % Zwischenabfluss.

Zu beachten ist hierbei, dass auf künstlich entwässerten, also dränierten Böden kein Zwischenabfluss zugelassen wird. Auf diesen Flächen wird der unterirdische Abfluss in die Pfade Dränageabfluss und Grundwasserabfluss separiert. Details hierzu sowie zum Modul zur modellinternen Ausweisung von Dränageflächen sind dem folgenden Kapitel 2.5.3 zu entnehmen.

2.5.3 Modellinterne Ausweisung von Dränageflächen und Ermittlung des Dränageabflusses

Eine flächendifferenzierte Berechnung des Dränageabflusses sowie der Phosphoreinträge über Dränagen setzt zuerst voraus, dass die Lage dräniertter Flächen räumlich zugeordnet werden kann.

Da in aller Regel keine flächendeckenden Unterlagen über die Lage von dränierten Flächen vorliegen, war es erforderlich ein Modul zu entwickeln, das eine räumlich differenzierte Ableitung künstlich entwässerter Flächen erlaubt.

Hierfür wurden Parameter identifiziert, die es ermöglichen auf die Dränbedürftigkeit zu schließen. Als dränbedürftig gelten Flächen, die landwirtschaftlich genutzt werden und deren Grund-, Stau- oder Haftvernässung einer frühen Befahrbarkeit und ertragsorientierten Nutzung entgegenstehen.

Folgende verfügbare Daten werden modellintern als Parameter zur Abschätzung der Dränbedürftigkeit berücksichtigt:

- Landwirtschaftliche Nutzfläche nach ATKIS,

- Bodentyp nach BÜK 50,
- Grundwasserflurabstand nach BÜK 50,
- Lage grundwasserbeeinflusster beziehungsweise -stauender Horizonte nach BÜK 50 differenziert nach Acker- und Grünlandnutzung und
- bodenkundliche Feuchtestufe nach BÜK 50.

Zudem wurde festgelegt, dass landwirtschaftliche Nutzflächen mit einer Hangneigung $> 5^\circ$ nicht dräniert sind.

Gilt eine Fläche nach den oben genannten Bedingungen als dränbedürftig, wird sie noch nicht automatisch als gedränte Fläche ausgewiesen. Eine weitere Bedingung hierfür ist, dass eine Vorflut vorhanden ist, die das ablaufende Dränagewasser aufnehmen kann. Diese Bedingung wird anhand der Distanz der landwirtschaftlichen Nutzfläche (minimale Distanz des Feldblockes) zum Gewässersystem nach ATKIS DLM 25 überprüft. Liegt der Feldblock weiter als 200 m von nächsten Gewässer entfernt wird modellintern davon ausgegangen, dass dieser Feldblock aufgrund fehlender Vorflut nicht gedränt sein kann.

Ermittlung des Dränageabflusses

Die Dränperiode liegt in Norddeutschland für mittlere Verhältnisse weitgehend im hydrologischen Winterhalbjahr. Nach KRETZSCHMAR (1977) liegt der Abfluss über Dränage während dieses Zeitraumes bei mindestens 50 % des Niederschlags.

Nach TETZLAFF (2006) hängt der Dränageabflussanteil am Gesamtabfluss von der Landnutzung, vom Bodentyp und von bodenhydrologischen Parametern ab, unter anderem vom Grundwasserflurabstand und von der Staunässestufe. Die von ihm abgeleiteten Anteile des Dränageabflusses sind Tabelle 12 zu entnehmen.

Tabelle 12: Dränage- und Grundwasserabflussanteile verschiedener Bodentypen in Abhängigkeit von der Landnutzung (ergänzt nach TETZLAFF, 2006)

Bodentyp	Landnutzung	Abflussanteil [%]	
		Dränage	Grundwasser
Auenböden	landwirtschaftliche Nutzfläche	70	30
Gleye	Acker	70	30
Gleye	Grünland	70	30
vergleyte Böden	landwirtschaftliche Nutzfläche	70	30
Hochmoore	Grünland	70	30
Sanddeckkulturen	landwirtschaftliche Nutzfläche	70	30
Sandmischkulturen	landwirtschaftliche Nutzfläche	20	80
Niedermoore	landwirtschaftliche Nutzfläche	70	30
Niedermoor über Gley	landwirtschaftliche Nutzfläche	70	30
Niedermoor über Pseudogley	landwirtschaftliche Nutzfläche	70	30
Plaggenesche	Acker	70	30
Pseudogleye	Acker	60	40
Pseudogleye	Grünland	40	60
pseudovergleyte Böden	Acker	60	40
pseudovergleyte Böden	Grünland	40	60
Marschböden	landwirtschaftliche Nutzfläche	90	10
umgebrochene Mineralböden	landwirtschaftliche Nutzfläche	70	30

Im Bilanzmodell werden die Ansätze von KRETZSCHMAR (1977) und TETZLAFF (2006) kombiniert. Im ersten Schritt erfolgt eine Separierung des Abflusses auf dränierten landwirtschaftlichen Nutzflächen in Drainage- und Grundwasserabflussanteile nach TETZLAFF (2006), vergleiche Tabelle 12. Hierdurch wird vor allem sichergestellt, dass der Grundwasserabflussanteil standortgerecht berücksichtigt wird. Für den Drainageabfluss hingegen gilt: Ist der nach Schritt 1 ermittelte Drainageabfluss kleiner als 50 % des Winterniederschlages, kommt der Ansatz von KRETZSCHMAR (1977) zur Anwendung, ansonsten der nach TETZLAFF (2006) ermittelte Abfluss.

Eine Bewertung des Moduls zur Ableitung dräniert landwirtschaftlicher Nutzflächen durch einen Abgleich der Modellergebnisse mit den Ergebnissen einer umfangreichen Erhebung der Landwirtschaftskammer Hannover erfolgte bereits in einem anderen Projekt (SCHEER ET AL., 2007).

2.5.4 Ableitung jährlicher Abflussanteile

Das Bilanzmodell berechnet auf Basis der mittleren langjährigen klimatischen Eingangsdaten zunächst eine mittlere Wasserbilanz für das Untersuchungsgebiet. Die hierbei erzielten Ergebnisse eignen sich zum Abgleich mit dem langjährigen MQ am Bilanzpegel und bieten so die Möglichkeit zur Kontrolle der Modellberechnungen.

Bei der Berechnung jährlicher Abflüsse wird wie folgt vorgegangen:

Pro Bilanzgebiet wird das Verhältnis vom langjährigen MQ zum mittleren Jahresabfluss ermittelt. Anhand des resultierenden Quotienten wird der pro Bilanzgebiet und pro Raster berechnete mittlere Gesamtabfluss korrigiert.

Berücksichtigt wird dabei, dass sich die Jahresabweichungen des Gesamtabflusses zum mittleren Gesamtabfluss nicht gleichförmig auf alle Abflusspfade auswirken. Betroffen hiervon ist vor allem der Direktabfluss. Modellintern wird daher sichergestellt, dass die Jahresabweichung des Gesamtabflusses überproportional dem Direktabfluss inkl. des Drainageabflusses zugewiesen wird.

Für die Berechnung des Bodenabtrages mit der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung ABAG wird der niederschlagsmengenabhängige R-Faktor benötigt (vergleiche Kapitel 2.6.1.1). Um auch hier den Einfluss der jeweiligen jährlichen Klimabedingungen berücksichtigen zu können, wird modellintern anhand des Jahresabflusses der Jahresniederschlag näherungsweise abgeschätzt.

2.5.5 Oberflächenabfluss

Die Entstehung beziehungsweise die Höhe des Oberflächenabflusses Q_{Ober} wird maßgeblich beeinflusst von:

- der Niederschlagshöhe und -dauer,
- dem Feuchtezustand und dem Versickerungs- beziehungsweise Infiltrationsvermögen der Böden,
- der Landnutzung und
- der Hangneigung.

Q_{Ober} entsteht folglich, wenn die Niederschlagsrate die Infiltrationsrate des Bodens übersteigt. Zur Methodik der Berechnung des Oberflächenabflusses wird auf SCHEER ET AL. (2007) und PANCKOW (2008) verwiesen.

2.6 Diffuse P-Eintragspfade

In den folgenden Kapiteln werden die in das Bilanzmodell implementierten Berechnungsansätze für die dominierenden diffusen P-Eintragspfade Erosion sowie die unterirdischen Pfade Grundwasser, Zwischen- und Drainageabfluss vorgestellt.

Die Dokumentation der weiteren P-Eintragspfade Abschwemmung und Direkteinträge folgt in den Kapiteln 2.6.3.1 und 2.6.3.2.

2.6.1 Diffuse P-Einträge über Erosion

Für die Berechnung der erosiven P-Einträge sind als Eingangsparameter die Menge des Bodenabtrages, der Gewässeranbindungsgrad, das Enrichment Ratio und der P-Gehalt im Oberboden für jede Ackerfläche auf Rasterbasis zu ermitteln.

Die hierfür in das Bilanzmodell implementierten Berechnungsansätze werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

2.6.1.1 Bodenabtrag nach der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG)

Der Bodenabtrag (BA) von Ackerflächen wird nach der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) nach SCHWERTMANN ET AL. (1987) und MÜLLER (2004) berechnet:

$$BA = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot P \cdot C \quad (\text{Gleichung 10})$$

Mit:

R = Regen- und Oberflächenabflussfaktor

K = Bodenerodierbarkeitsfaktor

L = Hanglängenfaktor

S = Hangneigungsfaktor

C = Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor

P = Erosionsschutzfaktor

R-Faktor

Der Regen- und Oberflächenabflussfaktor R der ABAG wird nach einer für Niedersachsen gültigen Gleichung berechnet (vergleiche MÜLLER, 2004, Verknüpfungsregel (VKR) 6.4.10); sie lautet:

$$R = 0,0783 \cdot N_J - 12,98 \quad (\text{Gleichung 11})$$

Mit:

N_J = Jahresniederschlag

Für Modellanwendungen außerhalb Niedersachsens ist diese Gleichung zu modifizieren.

Für die Beschreibung des mittleren langjährigen Bodenabtrages wird hierbei der mittlere Jahresniederschlag (flächendifferenziert nach NIBIS) verwendet. Für jahresbezogene Aussagen wird anhand der vorliegenden Abflussbedingungen des Jahres modellintern ein aktueller Jahresniederschlag abgeleitet.

K-Faktor

Der Bodenerodierbarkeitsfaktor K der ABAG setzt sich aus verschiedenen Anteilen zusammen, die zunächst einzeln nach MÜLLER (2004) und SCHWERTMANN ET AL. (1987) berechnet werden.

Der bodenartabhängige Anteil K_B wird direkt anhand der Bodenart abgeleitet (MÜLLER, 2004, VKR 6.6.7), der humusabhängige Anteil K_H anhand des Humusgehaltes (MÜLLER, 2004, VKR 6.6.8). Für die Ermittlung des wasserdurchlässigkeitsabhängigen Anteils K_D muss zuvor der k_f -Wert des obersten Horizonts (A-Horizont) abgeleitet werden; hieraus ergibt sich K_D gemäß VKR 6.6.10 (MÜLLER, 2004).

Der steinbedeckungsabhängige Anteil K_S lässt sich aus dem Grobboden- beziehungsweise Bodenskelettanteil des obersten Horizontes ableiten (MÜLLER, 2004, VKR 6.6.11).

Mangels verfügbarer Grundlagendaten wurde auf den aggregierungsabhängigen Anteil K_A des K-Faktors verzichtet, was jedoch aufgrund seines geringen Einflusses vertretbar ist.

Der K-Faktor ergibt sich nach MÜLLER (2004), VKR 6.6.12 aus:

$$K = (K_B \cdot K_H + K_D) \cdot K_S \quad (\text{Gleichung 12})$$

S-Faktor

Der Hangneigungsfaktor S der ABAG wird direkt aus der prozentualen Hangneigung ermittelt.

Zu bedenken ist, dass die in ArcView aus den Höhendaten abgeleitete Hangneigung (slope) in Grad angegeben ist; die Umrechnung erfolgt nach:

$$HNP = \tan(HN) \cdot 100 \quad (\text{Gleichung 13})$$

Mit:

HNP = Hangneigung [%]

HN = Hangneigung [°]

Zur Berechnung des S-Faktors wurde anhand der Angaben in MÜLLER (2004) eine Funktion für die Beziehung von HNP und S-Faktor abgeleitet:

$$S = 0,0055 \cdot HNP - 0,0337 \quad (\text{Gleichung 14})$$

L-Faktor

Der Hanglängenfaktor L der ABAG beschreibt den Einfluss der erosiven Hanglänge auf den Bodenabtrag und ist folglich neben der Hanglänge auch von der Hangneigung abhängig.

Berechnet wird der Hanglängenfaktor L (die Hanglänge HL wird zurzeit noch einheitlich mit 120 m angenommen) anhand der Angaben in MÜLLER (2004) für Hangneigungen $\geq 5\%$ beziehungsweise Hangneigungen $< 5\%$. Hierfür wurden folgende Funktionen abgeleitet:

Für $HNP \geq 5\%$:

$$L = 0,2204 \cdot HL^{0,4929} \quad (\text{Gleichung 15})$$

Und für $HNP < 5\%$:

$$L = 0,303 \cdot HL^{0,391} \quad (\text{Gleichung 16})$$

C-Faktor

Der Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor C der ABAG hat einen erheblichen Einfluss auf den zu ermittelnden Bodenabtrag und sollte standort- und fruchtfolgespezifisch berechnet werden.

Der C -Faktor wurde daher fruchtfolgespezifisch (die Fruchtfolge des Standorts liegt aus dem Fruchtfolgemodul vor) nach SCHWERTMANN ET AL. (1987) ermittelt.

Benötigt werden hierfür die Kalenderdaten der einzelnen Kulturperioden (Tabelle 13), die relativen Bodenabträge der einzelnen Perioden für die verschiedenen Kulturpflanzen (vergleiche Tabelle 14) sowie die Summenprozentanteile der R -Faktoranteile.

Das Berechnungsprinzip ist in SCHWERTMANN ET AL. (1987) ausführlich beschrieben.

Es wird für jede Fruchtart einer Fruchtfolge und für jede Kultur- und Entwicklungsperiode aus dem zugehörigen R -Faktoranteil und dem relativen Bodenabtrag ein C -Faktoranteil berechnet.

Die Summe der C -Faktorenanteile einer Fruchtart ergibt den C -Faktor für das betrachtete Jahr. Bei einer Fruchtfolge von drei Jahren ergibt der Mittelwert der drei einzelnen C -Faktoren den C -Faktor der Fruchtfolge.

Tabelle 13: Kulturkalender: Kultur- und Entwicklungsperioden verschiedener Feldkulturen in Südniedersachsen nach Angaben der LWK Hannover, aus MOSIMANN & RÜTTMANN (1996)

Fruchtart	Periode (Beginn der jeweiligen Periode)					
	1	2	3	4	5	6
	BB-SB	SB-10%	10%-50%	50%-75%	75%-Ernte	Ernte-BB
Raps	Termine der Boden- bearbei- tung unter- schied- lich	20.08.	20.09.	10.10.	01.04.	10.08.
Winterweizen		15.10.	01.03.	20.04.	10.05.	15.08.
Wintergerste		25.09.	10.10.	30.10.	01.04.	25.07.
Roggen		05.10.	20.10.	30.11.	15.04.	05.08.
Triticale		05.10.	20.10.	30.11.	15.04.	05.08.
Sommerweizen		20.03.	15.04.	10.05.	25.05.	20.08.
Sommergerste		20.03.	10.04.	05.05.	20.05.	05.08.
Hafer		20.03.	15.04.	10.05.	25.05.	20.08.
Zuckerrüben		05.04.	25.05.	10.06.	30.06.	15.10.
Kartoffel/Feldgemüse		10.04.	20.05.	10.06.	20.06.	30.09.
Mais		25.04.	15.05.	05.06.	20.06.	20.10.

Tabelle 14: Relativer Bodenabtrag der einzelnen Perioden für die verschiedenen Kulturpflanzen aus SCHWERTMANN ET AL. (1987)

Frucht und Bestell- technik	Periode (Beginn der jeweiligen Periode)						
	1a	1b	2	3	4	5	6
	BB-SB	BB-SB	SB-10%	10%-50%	50%-75%	75%-Ernte	Ernte-BB
Getreide Konvent.	32	-	46	38	3	1	2
dto. Minimal-BB	-	8	8	6	1	1	2
Raps	32	-	46	38	3	1	2
Kartoffel	32	-	80	40	5	7,5	44
Zuckerrübe	32	-	85	45	5	3	44
dto. Mulchsaat	20	8	9	6	3	3	15
Mais konventionell	32	-	94	45	12	8,5	44
dto. Spurlockerung	32	-	54	45	12	8,5	44
dto. WG Reihen	32	-	36	21	12	8,5	44
dto. Mulchsaat	20	-	11	7	2	1	10
dto. Minimal-BB	-	8	8	6	2	1	10

2.6.1.2 Modul Flächenanbindung

Der Anteil des Bodenabtrages, der ein Gewässer tatsächlich erreicht, hängt nach VOGES (1999) neben weiteren Parametern vor allem von der Distanz zum nächsten Gewässer und dem Geländere relief (im GIS abzuleiten), von der Menge des Oberflächenabflusses (aus Modul Wasserbilanz) sowie von der Höhe des Bodenabtrages selbst ab. Dieser Zusammenhang wurde im Modell ursprünglich durch eine Formel berücksichtigt, in der für diese 4 Parameter standortbezogene Koeffizienten abgeleitet und anhand parameterbezogener Wichtungsfaktoren zu einem Anbindungsfaktor zusammengefasst wurden.

In den letzten Jahren konnten derart erzielte Modellierungsergebnisse vielfach vor Ort hinsichtlich ihrer Plausibilität bewertet werden. Als Folge hiervon wurde die Ermittlung des Anbindungsgrades neu gestaltet. Ursache hierfür ist, dass insbesondere die Gewässerdistanz von überragender Bedeutung für einen möglichen Sedimenteintrag in ein Gewässer ist. Die anderen 3 Parameter - die selbstverständlich ebenfalls relevant für einen Sedimenteintrag sind - finden in dem Modul Flächenanbindung dagegen keine Berücksichtigung mehr. Begründet ist dies darin, dass diese Parameter zuvor Eingang in die Berechnung finden: das Geländere relief bestimmt maßgeblich die Höhe des Bodenabtrages nach ABAG, der Oberflächenabfluss ist zumindest indirekt im R-Faktor der ABAG enthalten und der Bodenabtrag wird als Ergebnis der ABAG nach wie vor berücksichtigt.

Für die Ermittlung der Gewässerdistanz ist ein hochaufgelöstes Gewässernetz inklusive des Grabensystems, wie es zum Beispiel aus ATKIS DLM 25/2 für dieses Vorhaben vorhanden war, zwingend erforderlich.

Anhand eines solchen Gewässernetzes ist die minimale Distanz der Ackerschläge zum Gewässer zu ermitteln. Der Anbindungsgrad ist dann umso höher, je dichter die Ackerfläche am Gewässer liegt.

Hierdurch werden neben Ackerflächen, von denen durch die große Entfernung zum Vorfluter überhaupt kein erosiver Eintrag zu erwarten ist, auch Flächen ausgewiesen, die wegen ihrer

direkten Gewässernähe einen hohen Anbindungsgrad aufweisen und folglich einen hohen Anteil an Sedimenteintrag zulassen.

2.6.1.3 Enrichment Ratio und P-Gehalt im Oberboden

Für die Berechnung der erosiven Phosphoreinträge in Oberflächengewässer sind neben den bereits in den vorherigen Kapiteln vorgestellten Daten noch Angaben zum Anreicherungsverhältnis und zum P-Gehalt im Oberboden erforderlich.

Das Anreicherungsverhältnis (Enrichment Ratio, ER) drückt das Verhältnis des P-Gehaltes im Sediment des erodierten Bodens zum P-Gehalt des unbeeinflussten Ausgangsbodens aus.

Nach DUTTMANN (1999) verläuft der Transport des partikulär gebundenen Phosphats selektiv. Die Anreicherung des Phosphats verläuft dabei parallel zur Anreicherung der kleineren Kornfraktionen. Zu erklären ist dies damit, dass Partikel der Ton- und Feinschluffraktion als Hauptadsorbenten des partikulär verlagerten Phosphats fungieren.

Der genannte Zusammenhang wird modellintern durch die Formel von AUERSWALD (1989a; 1989b) berücksichtigt:

$$ER = 2,53 \cdot BA^{-0,21} \quad (\text{Gleichung 17})$$

Mit:

ER = Enrichment Ratio

BA = Bodenabtrag [t/ha·a]

Im weiterentwickelten Modellansatz wird das Anreicherungsverhältnis ER pro Schlag ermittelt.

Für die Ermittlung des P-Gehaltes im Oberboden wird im ersten Schritt anhand der prozentualen Ton- und Schluffgehalte im Oberboden (A-Horizont, nach AD-HOC-AG BODEN, 2005) pro Bodenart ein bodenartspezifischer Kennwert KW_{Bodart} abgeleitet:

$$KW_{Bodart} = \frac{(3 \cdot \text{Ton} + \text{Schluff})}{4} \quad (\text{Gleichung 18})$$

Anhand dieses Kennwertes wird in Anlehnung an BEHRENDT ET AL. (1999) der P-Gehalt im Oberboden für das Jahr 1955 als Ausgangswert AG_{1955} berechnet:

$$AG_{1955} = 10,2 + KW_{Bodart} + 150 \quad (\text{Gleichung 19})$$

Zuletzt werden noch Angaben zur P-Akkumulation im Boden benötigt. Grundlage hierfür sind Angaben von BEHRENDT ET AL. (1999) zum mittleren P-Überschuss auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche für die alten Bundesländer. Anhand dieser Daten wird modellintern die P-Akkumulation für das jeweilige Bilanzjahr berechnet und unter Berücksichtigung des Ausgangswertes der P-Gehalt im Oberboden ermittelt.

2.6.1.4 Berechnung der erosiven P-Einträge

Die erosiven P-Einträge werden unter Berücksichtigung der Parameter Bodenabtrag, Anbindungsgrad, Enrichment Ratio und P-Gehalt im Oberboden für jede Ackerfläche auf Rasterbasis bzw. pro Feldblock nach folgendem Ansatz berechnet:

$$P_{ero} = BA \cdot ABG \cdot ER \cdot P_{Ober} \quad (\text{Gleichung 20})$$

Mit:

- BA = Bodenabtrag [t/ha·a]
- ABG = Anbindungsgrad
- ER = Enrichment Ratio (Anreicherungsverhältnis)
- P_{Ober} = P-Gehalt im Oberboden [mg/kg]

2.6.2 Diffuse P-Einträge über die unterirdischen Eintragspfade Grundwasser, Zwischen- und Drainageabfluss

Die Methodik zur Berechnung der diffusen P-Einträge über die drei unterirdischen Eintragspfade Grundwasser-, Zwischen- und Drainageabfluss ist in wesentlichen Bereichen identisch, sodass sie im Folgenden für die drei Pfade gemeinsam vorgestellt wird.

Nach VDLUFA (2001) ist eine zunehmende P-Auswaschung über die unterirdischen Eintragspfade zu erwarten bei:

- zunehmender P-Sättigung des Oberbodens,
- steigender Sickerwassermenge, die wiederum abhängig von der Höhe der Niederschläge und der Feldkapazität ist,
- zunehmendem Grobporenanteil und
- abnehmender Sickerstrecke (hoch anstehende Dränanlagen, Verdichtungszone oder geringer Grundwasserflurabstand).

Darüber hinaus haben auch die Bodenartenzusammensetzung über das P-Bindungspotenzial sowie die Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert) einen Einfluss auf die P-Auswaschung.

Für die Berechnung der P-Auswaschung werden im Bilanzmodell folgende standortspezifische Einflussfaktoren berücksichtigt:

- horizontbezogenes P-Bindungsvermögen,
- Grundwasserflurabstand,
- Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert),
- Vernässungsgrad,
- Sickerwassermenge,
- Mächtigkeit des Lockergesteins und
- P-Düngung (aktuelle Angaben als Gesamt- und Wirtschaftsdünger, sowie Langzeitdüngung sofern verfügbar).

Einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der P-Auswaschung aus einem Boden hat die P-Sättigung im Boden. Je geringer die verbliebene P-Sorptionskapazität ist, desto wahrscheinlicher sind hohe P-Austräge.

Da keine flächendeckenden Angaben zur P-Sättigung im Oberboden vorliegen, ist eine direkte Abbildung dieses Zusammenhangs im Bilanzmodell nicht möglich.

Allerdings kann auf Basis der Informationen der BÜK 50 das P-Bindungsvermögen der verschiedenen Böden als Maß für das P-Rückhaltevermögen abgeschätzt werden (der unter Umständen erhebliche Einfluss von zum Beispiel Eisen- und Calciumgehalt im Boden bleibt unberücksichtigt, da auch hierfür keine Daten vorliegen).

Das P-Bindungsvermögen der Böden wird anhand der Bodenartenzusammensetzung horizontbezogen abgeleitet. Relevant für eine Festlegung von P im Boden ist vor allem der Tongehalt; aber auch schluffige Böden besitzen ein gewisses P-Bindungsvermögen. Es wird daher der Tongehalt dreifach, der Schluffgehalt nur einfach gewichtet. Anhand dieses Kennwertes wird für jeden Standort eine Ausgangskonzentration ermittelt, die je nach Bodenartenzusammensetzung des Bodenprofils Werte zwischen etwa 0,03 und 0,12 mg/l aufweist.

Die Einflussfaktoren auf die P-Auswaschung wie Grundwasserflurabstand, Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert), Vernässungsgrad, Sickerwassermenge und Mächtigkeit des Lockergesteins des Standorts werden einzeln berücksichtigt und zu einem Auswaschungsfaktor zusammengefasst. Darüber hinaus wird eine mögliche Erhöhung der P-Auswaschung durch hohe P-Düngung berücksichtigt, insbesondere durch Wirtschaftsdünger. Diese Funktion wurde im Rahmen dieses Vorhabens u.a. anhand der hohen Wirtschaftsdüngermengen im EZG Hase neu entwickelt.

Zudem wird modellintern anhand eines Standortfaktors sichergestellt, dass die in der Literatur beschriebenen Einflüsse der Landnutzung auf die P-Auswaschung abgebildet werden. Diese Einflüsse sind zum Beispiel sehr geringe Auswaschungen von Waldflächen und stark erhöhte P-Auswaschungen aus Mooren (siehe unten) sowie die erhöhten P-Auswaschungen über den Direktabfluss.

Die P-Konzentration der Auswaschung P_{unter} ergibt sich für die unterirdischen Eintragspfade nach:

$$P_{\text{unter}} = AGW \cdot F_{AW} \cdot F_{Düng} \cdot F_{Stand} \quad (\text{Gleichung 21})$$

Mit:

AGW = Ausgangskonzentration [mg/l], horizontbezogen abgeleitet (s.o.)

F_{AW} = Auswaschungsfaktor

$F_{Düng}$ = Faktor zur Berücksichtigung der Einflusses der Düngung

F_{Stand} = Standortfaktor, unter anderem pfad- und nutzungsabhängig (s.o.)

Wie bereits oben angemerkt, vermag es dieser Berechnungsansatz für die unterirdischen diffusen P-Einträge nicht, die in der Literatur beschriebenen hohen P-Einträge von Nieder- und insbesondere Hochmooren abzubilden. Es wurde daher in Anlehnung an SCHEFFER & BLANKENBURG (2004) ein separater Ansatz gewählt, bei dem die unterirdischen P-Einträge von Mooren in Abhängigkeit von den Landnutzungsformen abgeleitet werden (Tabelle 15).

Tabelle 15: P-Einträge von Mooren nach SCHEFFER & BLANKENBURG (2004) in [kg/ha·a]

Landnutzung	Hochmoor	Niedermoor
Acker	14	1,3
Grünland	6,5	0,8
sonstige	1	0,2

Der standortdifferenzierte Berechnungsansatz für die unterirdischen P-Einträge über die Abflusspfade Grundwasser, Zwischen- und Dränageabfluss ist am Beispiel des Pfades Grundwasser in Bild 6 schematisch dargestellt.

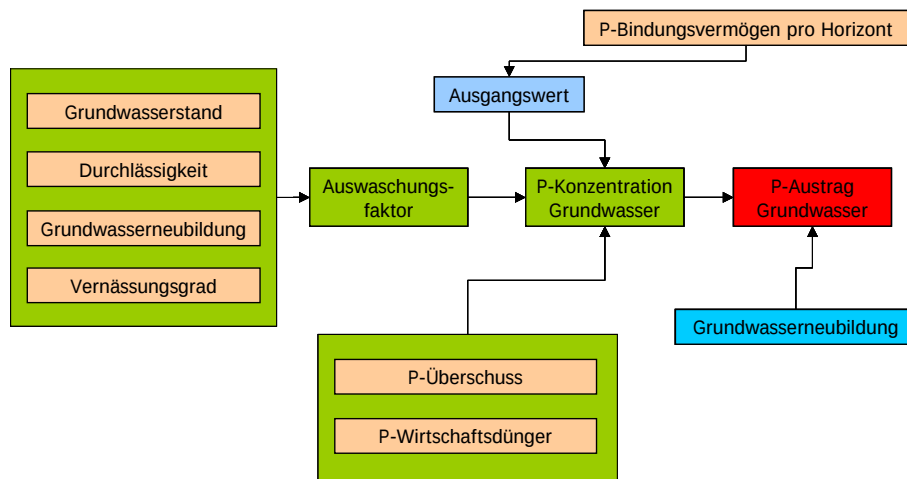


Bild 6: Schema des standortdifferenzierten Berechnungsansatzes für die unterirdischen P-Einträge über die Abflusspfade Grundwasser, Zwischen- und Dränageabfluss am Beispiel des Pfades Grundwasser

2.6.3 Sonstige Pfade für diffuse Phosphoreinträge

Neben den bereits in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten dominierenden diffusen Phosphoreintragspfaden werden im Bilanzmodell zudem Einträge über die Pfade Abschwemmung und Direkteinträge berücksichtigt. Die zugehörigen Berechnungsansätze werden in den folgenden für P-Einträge dargelegt.

2.6.3.1 Diffuse Phosphoreinträge über Abschwemmung

Unter Abschwemmung wird der Transport von nicht an Bodenpartikel gebundenen Nährstoffen mit dem Oberflächenabfluss verstanden. Die Abschwemmung ist somit unabhängig von der Erosion. Abgeschwemmt werden überwiegend Nährstoffe, die sich auf der Boden- und Pflanzenoberfläche befinden (nach der Düngung) sowie die im Niederschlag enthaltenen Nährstoffe selbst.

Die Berechnung der diffusen Phosphoreinträge über Abschwemmung erfolgt landnutzungsdifferenziert unter Berücksichtigung nutzungstypischer Ausgangskonzentrationen in Anlehnung an PRASUHN ET AL. (1996) und BEHRENDT ET AL. (1999) (Tabelle 16) und unter Berücksichtigung der im Modul Wasserbilanz ermittelten Oberflächenabflussmenge.

Dabei wird sichergestellt, dass Phosphoreinträge über den Pfad Abschwemmung nur von Flächen erfolgen können, die an das Gewässernetz angebunden sind. Die entsprechende Ausweisung dieser Flächen erfolgt in dem Modul Flächenanbindung.

Tabelle 16: Ausgangskonzentrationen zur Ermittlung der diffusen Phosphoreinträge über Abschwemmung nach Landnutzung

Landnutzung (ATKIS)	Ausgangswert
	P [mg/l]
Acker (4101)	0,8
Grünland (4102)	1,2
Gartenland (4103)	0,8
Grünanlage (2227)	0,2
Wald (4107)	0,05
Golfplatz (2230)	1,2
Siedlungsfläche	0,05
Sonstige Landnutzungen	0,05

Dieser standardmäßig im Modell implementierte Ansatz wurde speziell für die Bedingungen im EZG Dümmer ergänzt. Erforderlich wurde dies, da im EZG Dümmer erstens eine hohe Viehdichte vorliegt und somit hohe Güllemengen anfallen. Zweitens liegen viele landwirtschaftliche Nutzflächen in unmittelbarer Nähe des Gewässer- und Grabensystems, wodurch ein erhöhter Eintrag von Wirtschaftsdünger wahrscheinlich ist. Diesen Zusammenhang belegen auch die in einer ungewöhnlich hohen Datendichte vorliegenden Messwerte am Pegel Schäferhof, die zeigen, dass zu den Hauptausbringungszeiten des Wirtschaftsdüngers (insbesondere im Frühjahr) wiederholt stark erhöhte P-Konzentrationen zu verzeichnen sind (die oftmals nicht mit hohen Abflüssen korrespondieren und daher kaum auf Erosion und nur bedingt auf Drainageabflüsse aus dem Bornbachgebiet zurückzuführen sind).

Es wurde daher ein Ansatz entwickelt und in das Modell implementiert, der diese Randbedingungen aufgreift und die lokale Bedeutung dieses Bilanzterms soweit wie möglich berücksichtigt. Entsprechend der verfügbaren Daten wurde hierfür ein pragmatischer Weg zur Abschätzung dieser Belastungen gewählt.

Hierbei konnten u.a. folgende Datengrundlagen berücksichtigt werden: mittlerer Wirtschaftsdüngeranfall pro Gemeinde, Lage und Flächengröße der landwirtschaftlichen Nutzflächen, Distanz jedes Feldblocks zum nächstliegenden Gewässer (genauer: Flächenanteile dieser Feldblöcke, die maximal 10, 20 bzw. 30 m vom Gewässer entfernt liegen und somit möglicherweise eine entsprechende P-Belastung verursachen können), Neigung dieser Flächen und Art der landwirtschaftlichen Nutzung.

Zu berücksichtigen ist, dass dieser Modellansatz nicht dafür geeignet ist, die für diesen zusätzlichen Ansatz ermittelten P-Belastungen über Wirtschaftsdünger kleinräumlich konkret zuzuweisen.

Ursache hierfür ist, dass die für eine hoch aufgelöste Abbildung dieser Zusammenhänge erforderlichen Datengrundlagen (wie z.B. flächenscharfe Angaben zu den tatsächlich ausgebrachten Mengen an Wirtschaftsdünger sowie Angaben zu den Düngezeitpunkten, dazu Informationen zu den Niederschlagsmengen und zum Bodenfeuchtezustand usw.) nicht vorliegen.

2.6.3.2 Diffuse Phosphoreinträge über Direkteinträge

Bei der Quantifizierung der diffusen Phosphoreinträge über Direkteinträge werden vier verschiedene Eintragspfade unterschieden:

- Direkteinträge in Oberflächengewässer über atmosphärische Deposition,
- Direkteinträge über Waldstreu,
- Direkteinträge über weidendes Vieh (Weidewirtschaft, nur für Landnutzung Grünland) und
- Direkteinträge über Mineraldünger (nur für Landnutzung Acker).

Details zur Ermittlung der Direkteinträge sind SCHEER ET AL. (2007) und PANCKOW (2008) zu entnehmen.

2.7 Punktuelle Phosphoreinträge

2.7.1 Phosphoreinträge über Kläranlagen

Die Phosphoreinträge von Kläranlagen in die Oberflächengewässer im Einzugsgebiet des Dümmers wurden auf Basis der vom NLWKN Hildesheim zur Verfügung gestellten Informationen ermittelt.

Diese Informationen lagen dabei getrennt für die Untersuchungsjahre 2005, 2007, 2009 und 2011 vor. Für die mittlere Betrachtung (vor der Bornbachumleitung) wurde der Mittelwert von 2005 und 2007 verwendet.

Tabelle 17: Grunddaten zur Berechnung der Phosphoreinträge von Kläranlagen im EZG Dümmer, mittlerer Zustand

Kläranlage	Abwasser- menge [m ³ /a]	P-Fracht [kg/a]
Bad Essen	1194300	429
Bohmte	449000	237
Hunteburg	111250	192
Ostercappeln	346025	110
Hitzhausen	11300	29

Insgesamt wurden für das EZG des Dümmers 5 Kläranlagen berücksichtigt.

2.7.2 Phosphorbelastungen über Kleinkläranlagen

Im EZG des Dümmers existieren viele Kleinkläranlagen (KKA). Nach Angaben des Landkreises Osnabrück liegen allein in den Gemeinden Ostercappeln, Bohmte, Bad Essen und Melle-Buer etwa 2470 KKA, von denen fast 1750 im EZG Dümmer liegen. Diese 4 Gemeinden decken den Großteil des niedersächsischen Anteils des EZG Dümmer ab (und somit auch den Großteil des gesamten EZG Dümmer).

Für diese KKA lagen (unvollständige) Angaben zur Reinigungsstufe und zur Einleitungsart vor, die zu einer (groben) Abschätzung von P-Emissionen über KKA genutzt wurden. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Nach Rücksprache mit den LK Osnabrück wurde pro KKA von 4 angeschlossenen Personen ausgegangen.

- Pro Person wurde eine P-Emission von 1,3 g pro Tag angesetzt (Mittelwert der vom LK Osnabrück recherchierten Angaben).
- Für die Reinigungsstufen Filtergraben und Untergrundverrieselung ist davon auszugehen, dass die Belastung für die Oberflächengewässer im EZG Dümmer (sehr) gering ist. Für die Bilanzierung wurde hierfür nur ein Viertel der möglichen P-Emissionen berücksichtigt.
- Wurde als Einleitungsart ein Gewässer II. oder III. Ordnung angegeben, wurde davon ausgegangen, dass die gesamten P-Emissionen (s.o.) für die Belastung für die Oberflächengewässer im EZG Dümmer relevant sind.
- Für alle anderen Fälle wurden 3 Viertel der möglichen P-Emissionen in der Bilanz berücksichtigt.

Für die restlichen Gebietseinheiten wurde die Phosphorbelastung über Kleinkläranlagen auf Grundlage der Angaben aus der Abwasserstatistik zu dem Anteil der nicht an kommunale Kläranlagen angeschlossenen Einwohner näherungsweise abgeschätzt.

2.7.3 Phosphorbelastungen über sonstige urban geprägte Eintragspfade

Neben den Phosphoreinträgen über Kläranlagen und Kleinkläranlagen sind noch weitere urban geprägte Eintragspfade zu berücksichtigen. Hierzu gehören in erste Linie die Einträge über Mischkanalisationsabschläge und über Trennkanalisationen. Diese Einträge werden weitgehend nach Angaben von BROMBACH & MICHELBAACH (1998) ermittelt.

Nachfolgend werden die Berechnungsansätze zur Berechnung der Einträge von Mischkanalisationsüberläufen und Trennkanalisationen vorgestellt.

Einträge von Mischkanalisationsüberläufen

Die Berechnung der Phosphoreinträge in Oberflächengewässer über Mischkanalisationsüberläufe orientiert sich weitgehend an Angaben von BROMBACH & MICHELBAACH (1998).

Abgeschätzt werden muss hierzu die Schmutz- und Regenwassermenge in der Mischkanalisation, die Entlastungsrate, die Abschlagsmenge und die Phosphorkonzentration der Abschläge.

Darüber hinaus sind Angaben zum Anteil der Mischkanalisation pro Gemeinde oder Kreis sowie zum Ausbaugrad der Mischkanalisation erforderlich.

Für die Berechnung der Entlastungsrate muss zunächst das spez. Speichervolumen V_s in der Mischkanalisation abgeschätzt werden:

$$V_s = \frac{ABG_{\text{Misch}} \cdot 23,3}{100} \quad (\text{Gleichung 22})$$

Mit:

ABG_{Misch} = Ausbaugrad der Mischkanalisation [%]

Hierauf aufbauend lässt sich die Entlastungsrate e ermitteln:

$$e = \frac{\frac{(4000 + 25 \cdot q_r)}{(0,551 + q_r)}}{V_s + \frac{(36,8 + 13,5 \cdot q_r)}{(0,5 + q_r)}} - 6 + \frac{(NS_a - 800)}{40} \quad (\text{Gleichung 23})$$

Mit:

q_r = Regenabflussspende [l/s·ha]

V_s = spez. Speichervolumen [m³/ha]

NS_a = Jahresniederschlag [mm]

Die Höhe der Abschlagsmenge wird unter Berücksichtigung des Anteils an Mischkanalisationssystemen der Gebietseinheit ermittelt.

Die Phosphorkonzentrationen der Mischwasserentlastungen lassen sich nach BROMBACH & MICHELBAACH (1998) näherungsweise in Abhängigkeit des Ausbaugrades der Regenwasserbehandlung abschätzen:

$$P_{ME} = 0,805 \cdot e^{-0,019 \cdot AG} + 1,165 \quad (\text{Gleichung 24})$$

Mit:

P_{ME} = P-Konzentration der Mischwasserentlastung [mg/l]

AG = Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung [%]

Die Phosphoreinträge in die Oberflächengewässer über Mischkanalisationsabschläge ergeben sich nach:

$$NP_{\text{Misch}} = \frac{Ab_{\text{Misch}} \cdot Konz_{NP\text{Misch}} \cdot e \cdot F_{NS}}{1000000} \quad (\text{Gleichung 25})$$

Mit:

P_{Misch} = Phosphoreinträge über Mischkanalisationsabschläge [kg/a]

Ab_{Misch} = Abschlag Mischkanalisation [l/a]

$Konz_{P\text{Misch}}$ = Phosphorkonzentration der Mischkanalisationsabschläge [mg/l]

e = Entlastungsrate [%; dezimal]

F_{NS} = Faktor zur Dämpfung von Extremniederschlägen

Einträge über Trennkanalisation

Auch die Berechnung der Phosphoreinträge in Oberflächengewässer über Trennkanalisationen orientiert sich weitgehend an Angaben von BROMBACH & MICHELBAACH (1998).

Abgeschätzt werden müssen hierzu die Regenabflussmenge in der Trennkanalisation und die Phosphorkonzentration der Einträge.

Darüber hinaus sind Angaben zum Anteil der Trennkanalisation pro Gemeinde oder Kreis sowie zum Ausbaugrad der Trennkanalisation erforderlich.

Die Phosphorkonzentrationen der Einträge über Trennkanalisation lassen sich nach BROMBACH & MICHELBAACH (1998) näherungsweise in Abhängigkeit des Ausbaugrades der Regenwasserbehandlung abschätzen:

$$P_{Trenn} = 0,39 \cdot e^{-0,01 \cdot AG} + 0,11 \quad (\text{Gleichung 26})$$

Mit:

P_{Trenn} = P-Konzentration der Einträge über Trennkanalisation [mg/l]

AG = Ausbaugrad der Regenwasserbehandlung [%]

Die Abflussmenge über Trennkanalisation ergibt sich aus der in der Wasserbilanz ermittelten Abflussmenge für versiegelte Flächen unter Berücksichtigung des Anteils an Trennkanalisationssystemen.

Die Phosphoreinträge in die Oberflächengewässer über Trennkanalisationen ergeben sich nach:

$$P_{Trenn} = \frac{Konz_{PTrenn} \cdot Q_{Trenn} \cdot F_{NS}}{1000000} \quad (\text{Gleichung 27})$$

Mit:

P_{Trenn} = Phosphoreinträge über Trennkanalisationen [kg/a]

$Konz_{PTrenn}$ = Phosphorkonzentration der Einträge über Trennkanalisation [mg/l]

F_{NS} = Faktor zur Dämpfung von Extremniederschlägen

2.8 Retention im Gewässersystem und Phosphorfrachten als Immissionen

Der im Bilanzmodell etablierte Ansatz zur Berücksichtigung der Retention beruht im Wesentlichen auf Angaben von BEHRENDT ET AL. (1999) und VENOHR ET AL. (2005).

Das Prinzip dieses Berechnungsansatzes für die Retention im Gewässersystem besteht darin, die hydraulische Belastung des Systems als Maß für die Retention zu verwenden.

Berücksichtigt werden hierzu die Gewässerfläche als Maß für den Reaktionsraum sowie die Abflussmenge (jeweils getrennt für Haupt- und Nebenflüsse pro Bilanzgebiet) als Maß für die Reaktionszeit.

Realisiert wurden getrennte Retentionsansätze für Haupt- und Nebenflüsse sowie für die verschiedenen Phosphoreinträge:

- Retentionsansatz für die Hauptflüsse HF (Fracht vom oberhalb gelegenen BG und punktuelle Einträge direkt in die HF),
- Retentionsansatz für die Nebenflüsse und das Grabensystem NF (diffuse Einträge im Bilanzgebiet BG) und
- Retentionsansatz für punktuelle Einträge und urbane Einträge, die nicht direkt in die HF eingeleitet werden (MW, Mittelwert der erstgenannten Ansätze).

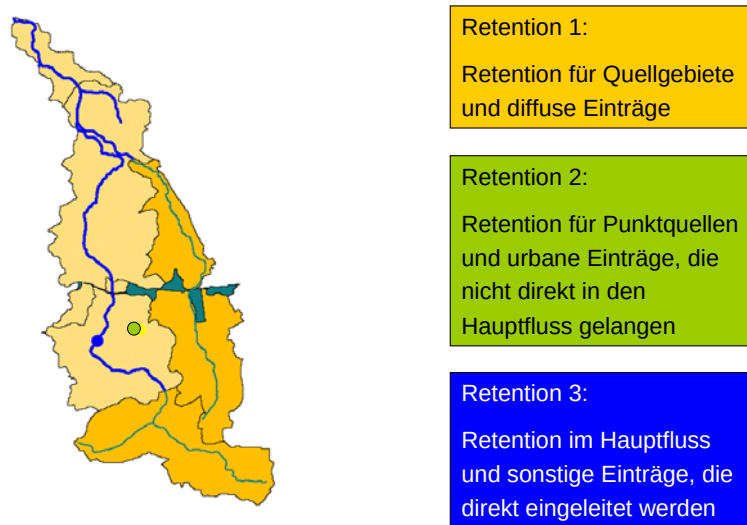


Bild 7: Schematische Darstellung der 3 modellintern berücksichtigten Retentionsansätze

Anhand von Bild 7 werden im Folgenden die verschiedenen Retentionsansätze erläutert:

Zuerst werden die Bilanzgebiete in Quellgebiete (der Hauptflüsse, dunkelorange in Bild 7) und sonstige Gebiete (hellorange in Bild 7) differenziert.

Für die Quellgebiete wird für **alle** Einträge in Anlehnung an FOGELBERG (2003) der Retentionsansatz für die Nebenflüsse verwendet. In den sonstigen Gebieten gilt dieser Ansatz nur für die diffusen Einträge.

In letzteren Gebieten werden zudem für die punktuellen Einträge je nach Herkunft 2 verschiedene Retentionsansätze verwendet: liegt der Herkunftsort direkt am Hauptfluss, wird der Retentionsansatz für den Hauptfluss verwendet; ist dies nicht der Fall, wird der Mittelwert der beiden Retentionsansätze angewendet.

Zusätzlich wird in den sonstigen Gebieten, die alle unterhalb einer Quellregion liegen, noch eine Retention der von oberhalb resultierenden Fracht im Hauptfluss durch den entsprechenden Retentionsansatz berücksichtigt. Das bedeutet, dass die Fracht aus z.B. Quellgebiet 1 in jedem flussabwärts folgenden Bilanzgebiet einer weiteren Retention ausgesetzt ist und sich umso mehr verringert, desto weiter die Fließstrecke ist.

2.8.1 Regionalisierung der Retentionsberechnung

Im Rahmen dieses Gutachtens wurde der oben beschriebene Retentionsansatz, der bisher lediglich auf Ebene der Bilanzgebiete abstufte, regionalisiert.

Das Ziel dabei war, auch innerhalb der Bilanzgebiete in Abhängigkeit zur Distanz zum jeweiligen Pegel (als Näherung des Fließweges) die Retentionsleistung zu differenzieren. Dazu wurde eine entsprechende Abhängigkeit in das Modellsystem implementiert, die es erlaubt, die ursprünglichen Retentionswerte der Bilanzgebiete zu regionalisieren. Dieses Vorgehen ermöglicht eine deutliche Annäherung an das tatsächliche Systemverhalten, da nun - anders als zuvor - die Lage der einzelnen Flächen zum zugehörigen Pegel einen großen Einfluss auf die Höhe der Retention ausübt (je weiter eine Fläche vom Pegel entfernt ist, desto höher ist die Retention).

Erst diese Modellerweiterung erlaubt es, neben den Emissionen (also den aus den Flächen resultierenden Einträge in das Gewässersystem) auch die Immissionen (die den jeweiligen Pegel erreichende Fracht, entspricht Emission abzüglich Retention) differenziert in der Fläche abzubilden und darzustellen. Hinsichtlich des Ziels des Gutachtens, die Phosphorbelastung des Dümmers zu quantifizieren und die Belastungsschwerpunkte auszuweisen, stellt diese Modellweiterentwicklung eine wichtige Anpassung dar.

2.9 Maßnahmen, die bereits im EZG Dümmmer realisiert und bei den Modellberechnungen berücksichtigt wurden

Bei den vorliegenden Modellberechnungen wurden die vom Servicezentrum für Landentwicklung und Agrarförderung (SLA) veröffentlichten jährlichen Maßnahmen nach dem Niedersächsischen Agrar-Umweltprogramm (NAU) und Maßnahmen der freiwilligen Vereinbarungen pro Feldblock berücksichtigt; hinzu kommen die am Oberlauf der Hunte realisierten Randstreifen, die entsprechend der Angaben des Unterhaltungsverbandes Obere Hunte ebenfalls Eingang in die Modellberechnungen haben. Wie in Bild 8 aufgeführt, wurden im EZG des Dümmers für 2010 (nach der Bornbachumleitung) NAU-Maßnahmen zur Mulch- und Direktsaat und zum Zwischenfruchtanbau auf 535 ha, sowie freiwillige Vereinbarungen in Wasserschutzgebieten auf 224 ha etabliert. Sie sind vor allem in den Gebieten mit Hanglagen im Bereich der Höhenzüge des Wiehengebirges verortet und bewirken hier eine Verringerung der P-Belastung über Erosion. Insbesondere betrifft dies die TEZG 19, 0, 10 und 25 (Bild 8) die jedoch z.T. immer noch für die maßgebliche P-Belastung über Erosion verantwortlich sind (vergleiche Kapitel 3.4.2).

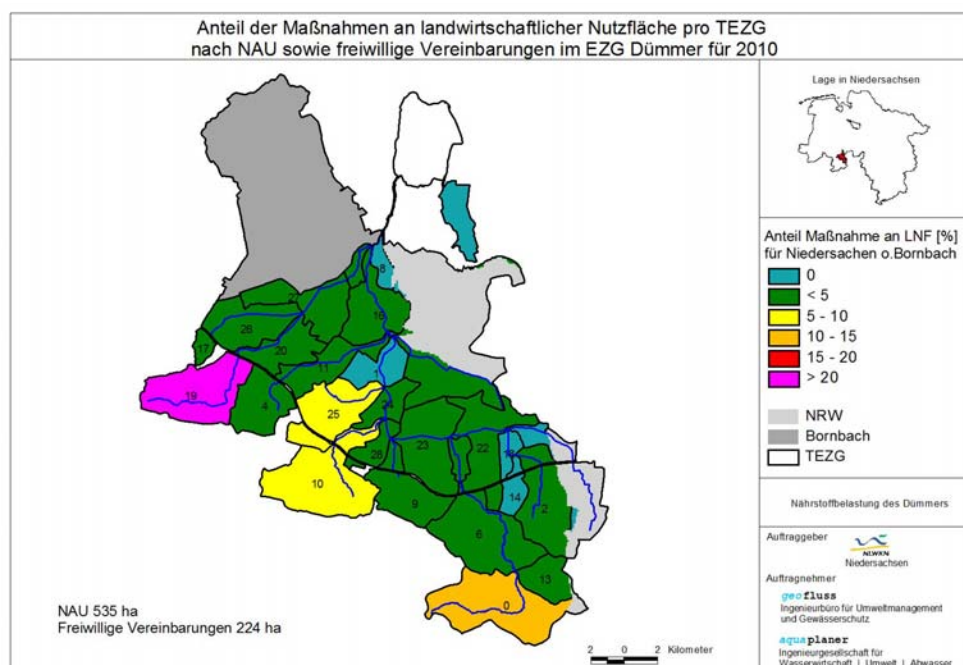


Bild 8: Anteil in 2010 etablierter Maßnahmen im EZG Dümmmer (nach NAU und freiwillige Vereinbarungen)

Tabelle 18 zeigt den Flächenanteil von Maßnahmen (NAU-Maßnahmen und freiwilligen Vereinbarungen) pro TEZG und landwirtschaftlicher Nutzfläche. Dabei weist das TEZG 19 (Venner Mühlenbach, Quelle bis Mittellandkanal) mit 28 % den mit Abstand höchsten Anteil an

Maßnahmen auf, im TEZG 0 (Hunte, Quelle bis Glanebach) liegt er bei 11 %. Die TEZG 10 (Lecker Mühlenbach) und 25 (Gräfte) sind dagegen nur noch mit 6,5 bzw. 7,6 % Maßnahmen vertreten.

Tabelle 18: Flächenanteil von Maßnahmen (NAU-Maßnahmen und freiwilligen Vereinbarungen) pro TEZG und landwirtschaftlicher Nutzfläche

TEZG	Maßnahmen [ha]	LNF [ha]	Anteil Maßnahmen [%]
0	132	1171	11,3
1	0	474	0,0
2	9	951	0,9
3	9	711	1,3
4	6	705	0,8
5	0	26	0,0
6	41	1162	3,6
7	0	11	0,0
8	0	212	0,0
9	9	369	2,5
10	87	1350	6,5
11	5	712	0,7
13	3	138	2,2
14	0	279	0,0
15	0	242	0,0
16	28	912	3,0
17	2	115	1,4
18	0	244	0,0
19	298	1066	28,0
20	13	724	1,8
21	0	329	0,0
22	6	1094	0,5
23	3	1094	0,3
24	2	300	0,6
25	68	896	7,6
26	24	1004	2,4
27	2	1082	0,1
28	14	299	4,6

Wie in Tabelle 19 dargestellt überwiegen generell die NAU-Maßnahmen gegenüber den freiwilligen Vereinbarungen. Den flächenmäßig größten Anteil an freiwilligen Vereinbarungen weist das TEZG 19 mit 14,3 % auf und übertrifft damit sogar die Maßnahmen nach NAU in diesem Gebiet (13,7 %).

Tabelle 19: Flächenanteil von Maßnahmen getrennt für NAU-Maßnahmen und freiwilligen Vereinbarungen (FV) pro TEZG und landwirtschaftlicher Nutzfläche

TEZG	Anteil NAU [%]	Anteil FV [%]
0	11,3	0,0
1	0,0	0,0
2	0,0	0,9
3	1,3	0,0
4	0,8	0,0
5	0,0	0,0
6	1,9	1,7
7	0,0	0,0
8	0,0	0,0
9	0,0	2,5
10	6,5	0,0
11	0,7	0,0
13	0,0	2,2
14	0,0	0,0
15	0,0	0,0
16	0,0	3,0
17	1,4	0,0
18	0,0	0,0
19	13,7	14,3
20	1,8	0,0
21	0,0	0,0
22	0,5	0,0
23	0,0	0,3
24	0,6	0,0
25	7,6	0,0
26	2,4	0,0
27	0,0	0,1
28	4,6	0,0

Insgesamt kann festgestellt werden, dass in einzelnen Gebieten eine hohe Anzahl von Maßnahmen etabliert ist (TEZG 19), bezüglich der erosionsmindernden Maßnahmen jedoch durchaus noch Verminderungspotenzial vorhanden ist. Dies betrifft Insbesondere die TEZG 0 (Hunte, Quelle bis Glanebach), 10 (Lecker Mühlenbach) und 25 (Gräfte) (vergleiche Kapitel 4.1.1 und Bild 50).

Für den Zeitraum nach 2009 wurde zudem als relevante Maßnahme die Bornbachumleitung berücksichtigt.

3 Bilanzierung der Phosphorbelastung im EZG Dümmer: Darstellung und Interpretation der Modellergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden die mit dem Bilanzmodell im EZG Dümmer erzielten Ergebnisse für die Wasserbilanz und für die Phosphoremissionen sowie für die Phosphorimmissionen vorgestellt.

Berücksichtigung finden bei der Ergebnisdarstellung neben der Summe der Phosphoremissionen bzw. -immissionen auch die mit dem Bilanzmodell berechneten Einträge für die verschiedenen relevanten Eintragspfade sowie für die unterschiedlichen Landnutzungen.

Der Schwerpunkt der Ergebnispräsentation liegt bei der Vorstellung der quantifizierten P-Immissionen für mittlere Abflussbedingungen (vor der Bornbachumleitung) und die Jahre 2010 und 2011 (nach der Bornbachumleitung). Zudem werden die erzielten Ergebnisse für die Bilanzzeiträume 2002 und 2006 vorgestellt.

Eine Bewertung der Modellergebnisse erfolgt anhand eines Abgleiches mit den berechneten Phosphorfrachten für den Pegel Schäferhof in den Kapiteln 3.3.3 und 3.4.3.

3.1 Wasserbilanz

Die Wasserbilanz bildet die Abflusspfade Oberflächenabfluss, Zwischenabfluss, Grundwasserabfluss und Drainageabfluss sowie den Abfluss von versiegelten Flächen und Kläranlagen ab. Die in das Modell integrierten Berechnungsansätze orientieren sich weitgehend an dem Modell GROWA (KUNKEL & WENDLAND, 1998). Wesentliche Unterschiede bestehen bei der Ableitung der Abflussquotienten zur Differenzierung des Gesamtabflusses in Zwischen- und Grundwasserabfluss im Lockergesteinsbereich nach RÖDER (1997) und bei der Berechnung des Drainage- und Oberflächenabflusses (vergleiche hierzu Kapitel 2.5).

Die Berechnung der Wasserbilanz im Untersuchungsgebiet Dümmer erfolgte für die Zeiträume 2002, 2006, 2010, 2011 sowie für die mittleren langjährigen Abflussbedingungen. Als Referenz für die Modellergebnisse dienen die Abflussmessungen dieser Jahre an den Pegeln Schäferhof und Bohnte sowie die langjährigen mittleren Abflüsse.

Die Bedeutung einer zuverlässig abgebildeten Wasserbilanz auf Einzugsgebietsebene ist darin zu sehen, dass sie eine wesentliche Voraussetzung für die nachfolgende Ermittlung der diffusen Phosphoreinträge darstellt. Begründet ist dies darin, dass das Wasser als Transportmedium für Phosphor maßgeblich das Eintragsverhalten bestimmt.

In den folgenden beiden Kapiteln werden die Ergebnisse zur Wasserbilanz vorgestellt.

3.1.1 Wasserbilanz im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung

Vor der Umleitung des Bornbachs im Jahre 2009 hatte das in den Dümmer entwässernde EZG der Hunte eine Größe von 402 km^2 , der langjährige mittlere Abfluss lag bei $3,09 \text{ m}^3/\text{s}$.

Die Berechnung der mittleren Wasserbilanz im EZG Dümmer erfolgte unter Berücksichtigung der mittleren Niederschlags- und Verdunstungsbedingungen.

Tabelle 20 zeigt die erzielten Ergebnisse für das in den Dümmer entwässernde EZG Hunte. Es wird deutlich, dass der Grundwasserabfluss mit über 35 % und der Drainageabfluss mit fast 34 % des Gesamtabflusses die dominierenden Abflusspfade sind. Daneben ist noch der Zwischenabfluss mit 21,4 % von Bedeutung. Die urban geprägten Abflüsse von versiegelten Flächen und Kläranlagen tragen zusammen zu 7,6 % zum Gesamtabfluss bei.

Tabelle 20: Ergebnisse des Moduls Wasserbilanz für das EZG Dümmer für langjährige mittlere Klima- und Abflussbedingungen am Auslasspegel Schäferhof

Abflusspfad	[m ³ /s]	[%]
Grundwasserabfluss	1,11	35,2
Zwischenabfluss	0,68	21,4
Dränageabfluss	1,07	33,7
Oberflächenabfluss	0,07	2,2
Abfluss von versiegelten Flächen	0,17	5,5
Kläranlagenabfluss	0,07	2,1
Gesamtabfluss Modell	3,16	100

Bild 9 zeigt die räumliche Verteilung des berechneten Gesamtabflusses für das EZG Dümmer bei mittleren Abflussbedingungen. Es wird deutlich, dass die höchsten Gesamtabflüsse vor allem in den EZG des Bornbachs und der Elze auftreten. Der Gesamtabfluss liegt hier weit verbreitet über 275 bzw. 300 mm im Jahr.

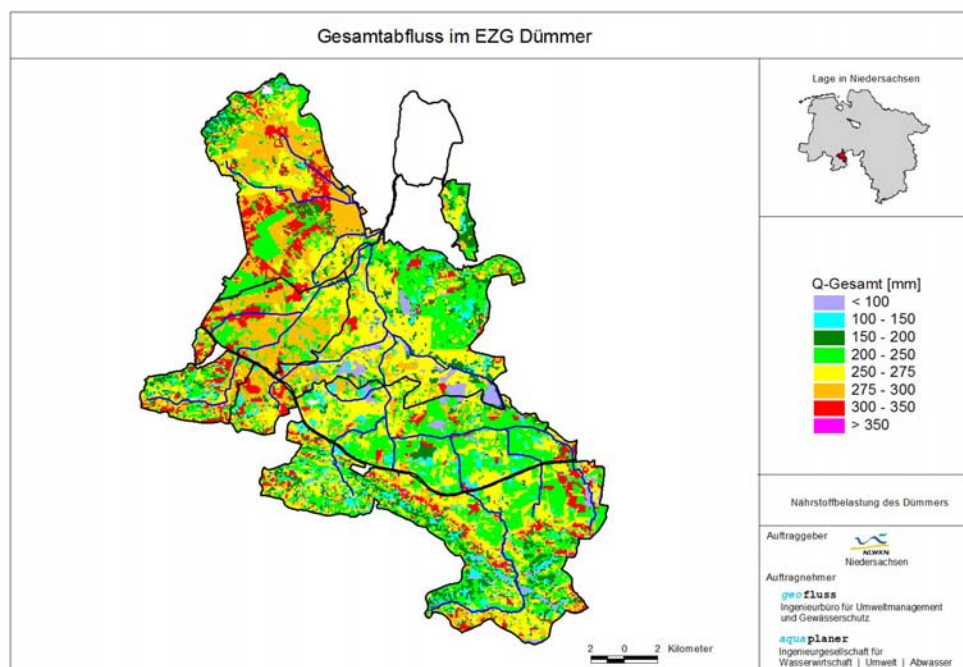


Bild 9: Berechneter Gesamtabfluss für das EZG Dümmer bei mittleren Klima- und Abflussbedingungen in [mm]

Bild 10 zeigt den modellintern berechneten Grundwasserabfluss für das EZG Dümmer für mittlere Klima- und Abflussbedingungen.

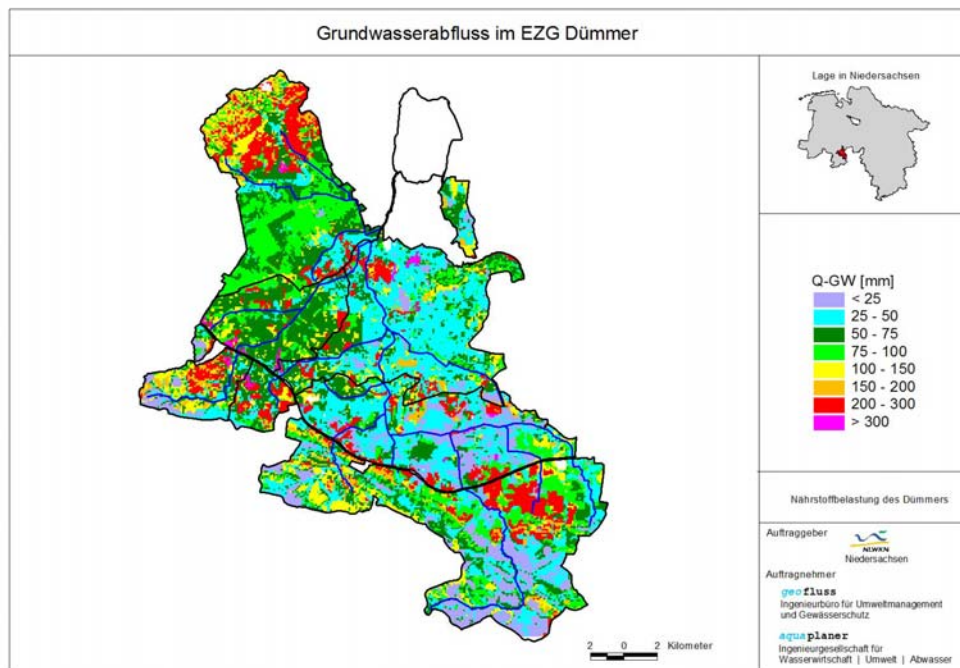


Bild 10: Berechneter Grundwasserabfluss für das EZG Dümmer bei mittleren Klima- und Abflussbedingungen in [mm]

Bild 11 zeigt den berechneten Zwischenabfluss (links) sowie den Drainageabfluss (rechts) im EZG Dümmer bei mittleren Abflussbedingungen.

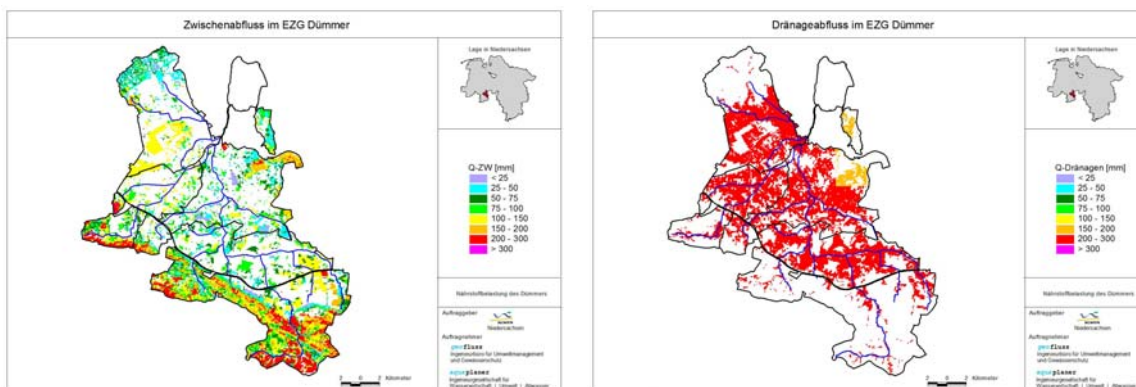


Bild 11: Berechneter Zwischen- und Drainageabfluss für das EZG Dümmer bei mittleren Klima- und Abflussbedingungen in [mm]

Drainageabfluss findet sich nur auf drainierten landwirtschaftlichen Nutzflächen. Bild 11 rechts zeigt diese Dränflächen, deren Lage im Bilanzmodell anhand typischer und relevanter Bodenkenndaten abgeleitet wurde. Es wird deutlich, dass demnach die meisten landwirtschaftlich genutzten Flächen im EZG Dümmer drainiert sind. Lediglich in den stärker reliefierten Bereichen sind erwartungsgemäß kaum drainierte Flächen zu verzeichnen. Insgesamt wurden im EZG Dümmer fast 16.000 ha drainierter Fläche ausgewiesen, wovon 15.700 ha auf das Hunteeinzugsgebiet entfallen.

Tabelle 21 sind die pfadbezogenen Modellergebnisse der Wasserbilanz für die 3 berechneten Zeiträume (mittlerer Zustand, 2002 und 2006) vor der Bornbachumleitung zu entnehmen.

Tabelle 21: Detailergebnisse der Wasserbilanz für das in den Dümmer entwässernde EZG Hunte und die Abflussjahre 2002 und 2006 sowie für langjährige mittlere Klima- und Abflussbedingungen, Bezug Pegel Schäferhof (vor der Bornbachumleitung)

EZG Hunte			
Abflusspfad	2002	mittleres Jahr	2006
Grundwasserabfluss [m ³ /s]	1,61	1,11	0,66
Zwischenabfluss [m ³ /s]	1,31	0,68	0,35
Dränageabfluss [m ³ /s]	1,64	1,07	0,65
Oberflächenabfluss [m ³ /s]	0,11	0,07	0,04
Abfluss von versiegelten Flächen [m ³ /s]	0,17	0,17	0,17
Kläranlagenabfluss [m ³ /s]	0,07	0,07	0,07
Gesamtabfluss nach Modell [m³/s]	4,91	3,16	1,95
Gesamtabfluss nach Pegeldaten [m ³ /s]	4,70	3,09	1,92
Differenz Modell zu Pegeldaten [%]	4,4	2,3	1,5

Es wird deutlich, dass der Modellansatz den Gesamtabfluss für das EZG Dümmer bei langjährigen mittleren Klima- und Abflussbedingungen sowie für das abflussstarke Jahr 2002 und das abflussschwache Jahr 2006 bei einer Abweichung von weniger als 5 % im Vergleich zu den Pegeldaten sehr genau abzubilden vermag. Dieser Zusammenhang ist nochmals in dem nachfolgenden Bild 12 dargestellt.

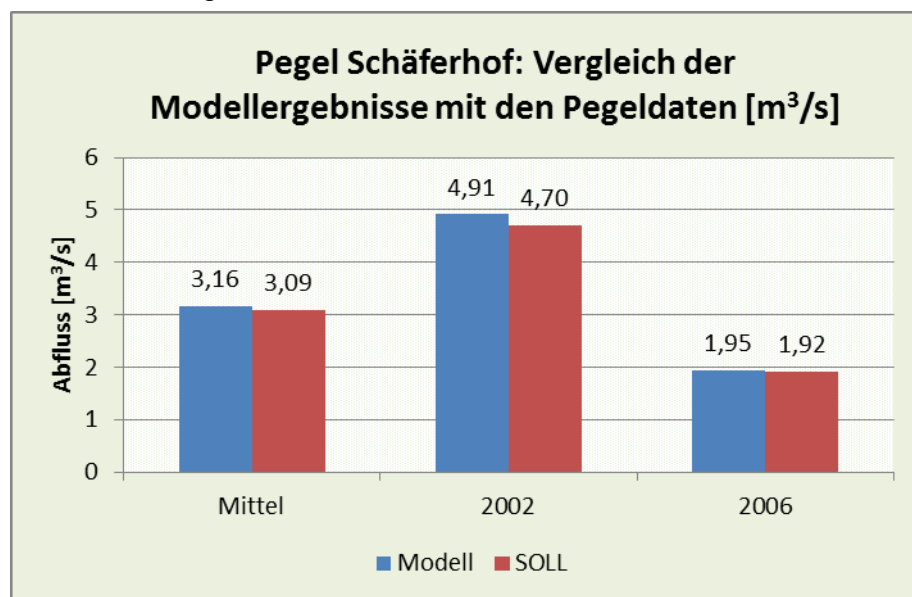


Bild 12: Gesamtabfluss der Hunte: Abgleich der Modellergebnisse mit den Pegeldaten für mittlere Bedingungen sowie für die Jahre 2002 und 2006 am Auslasspegel Schäferhof (vor der Bornbachumleitung)

Bild 13 zeigt die entsprechenden Ergebnisse für den Oberlauf der Hunte am Pegel Bohmte. Dabei wird deutlich, dass die tatsächliche Abflussmenge vom Modellansatz für alle 3 Zeiträume mit Abweichungen unter 3 % hervorragend abgebildet wird.

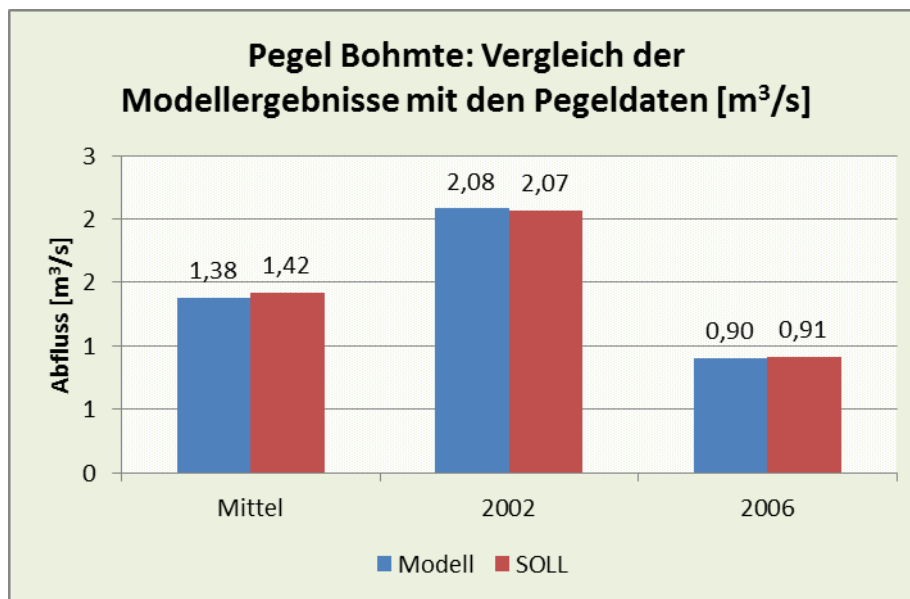


Bild 13: Gesamtabfluss der Hunte: Abgleich der Modellergebnisse mit den Pegeldaten für mittlere Bedingungen sowie für die Jahre 2002 und 2006 am Pegel Bohmte

3.1.2 Wasserbilanz im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung

Tabelle 22 zeigt die Ergebnisse der Wasserbilanz für das in den Dümmer entwässernde EZG Hunte nach der Bornbachumleitung. Die erneut sehr geringe Abweichung der Modellergebnisse im Vergleich zu den gemessenen Pegelwerten zeigt, dass der verwendete Modellansatz auch die Bedingungen nach der Bornbachumleitung hervorragend abbildet. Für 2010 weisen der Grundwasser- und Drainageabfluss - bei einem leicht überdurchschnittlichen Gesamtabfluss - mit jeweils gut 33 % die höchsten Anteile auf. Daneben ist der Zwischenabfluss mit fast 25 % auch noch bedeutend, alle anderen Pfade weisen zusammen etwa 9 % auf. In 2011 bei insgesamt deutlich geringeren Abflüssen nimmt prozentual betrachtet vor allem der Zwischenabfluss ab, die Abflussanteile von Kläranlagen sowie über Kanalisationen nehmen hingegen zu.

Tabelle 22: Detailergebnisse der Wasserbilanz für das in den Dümmer entwässernde EZG Hunte und die Abflussjahre 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung, Bezug Pegel Schäferhof

EZG Hunte		
Abflusspfad	2010	2011
Grundwasserabfluss [m³/s]	0,96	0,60
Zwischenabfluss [m³/s]	0,71	0,37
Drainageabfluss [m³/s]	0,97	0,59
Oberflächenabfluss [m³/s]	0,06	0,04
Abfluss von versiegelten Flächen [m³/s]	0,13	0,13
Kläranlagenabfluss [m³/s]	0,07	0,06
Gesamtabfluss nach Modell [m³/s]	2,89	1,78
Gesamtabfluss nach Pegeldaten [m³/s]	2,79	1,75
Differenz Modell zu Pegeldaten [%]	3,5	1,7

Die Angaben belegen deutlich, dass ein Großteil der Jahresfracht und somit der P-Belastung des Dümmers im Winterhalbjahr erfolgt (Frachtanteil zwischen etwa 65 und 95 %). Dabei sticht insbesondere das 1. Quartal hervor: hier resultiert ein sehr großer Anteil der Fracht mit etwa 50 bis 70 % der Jahresfracht (Ausnahme: 2010: hier sind es nur ca. 40 %).

Dagegen wird der Dümmers im Sommer (3. Quartal) nur vergleichsweise gering mit P belastet; der entsprechende Frachtanteil liegt nur bei 2 bis 10 % (Ausnahme: 2010: Anteil ca. 20 %).

Wie aus Tabelle 23 ersichtlich, ist der höchste monatliche Frachtanteil in allen Jahren im Januar oder Februar zu verzeichnen (rot unterlegt). Der zweithöchste monatliche Frachtanteil (orange unterlegt) resultiert mit Ausnahme von 2010 immer in einem der ersten 3 Monate. Folglich wird es zukünftig zur Verminderung der P-Belastung des Dümmers vor allem darauf ankommen, die sehr relevanten P-Frachten im Winterhalbjahr und insbesondere im 1. Quartal zu minimieren.

Bild 15 zeigt die mittlere monatliche P-Konzentration für den Zeitraum 2003 bis 2011 am Pegel Schäferhof. Dabei wird einerseits deutlich, dass auch bei dieser Betrachtungsform ein jahrestypischer Verlauf mit höheren Konzentrationen im Winter- und geringeren Konzentrationen im Sommerhalbjahr vorliegt. Allerdings sind diese Konzentrationsunterschiede deutlich geringer als die oben dargestellten Frachtunterschiede, woraus ersichtlich wird, dass die monatlichen Frachten besonders stark von den Abflussmengen abhängen.

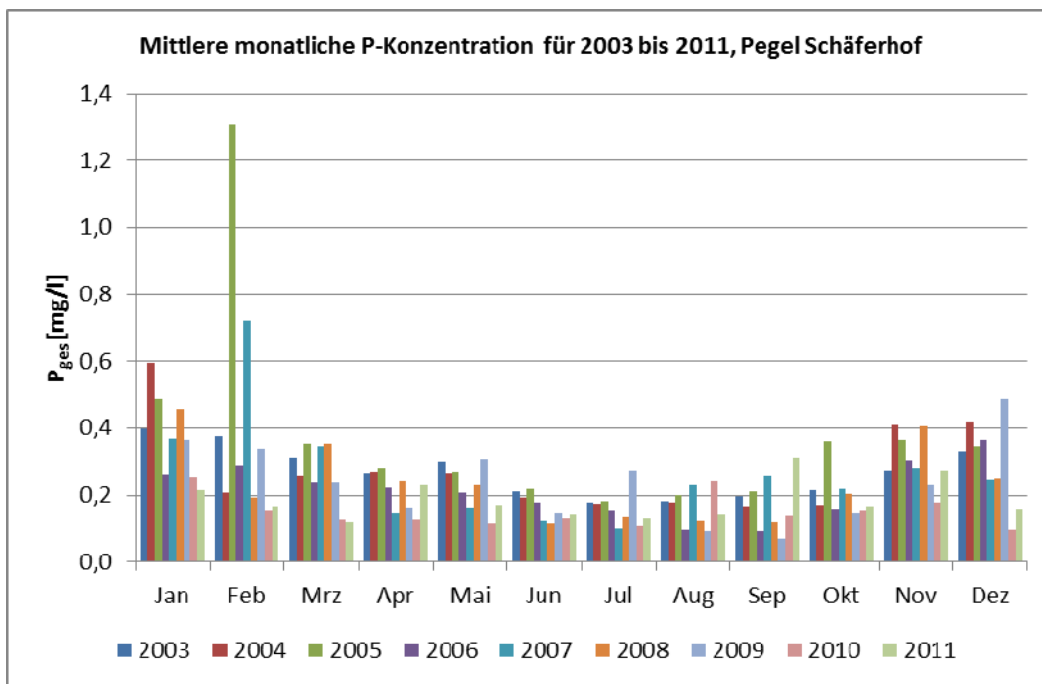


Bild 15: Mittlere monatliche P-Konzentration [mg/l] am Pegel Schäferhof für den Zeitraum 2003 bis 2011

3.3 Modellierte Phosphorbelastung im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung

Bevor die mit dem Bilanzmodell ermittelten Ergebnisse zur aktuellen Phosphorbelastung des Dümmers vorgestellt werden, werden in den folgenden Kapiteln zunächst die Ergebnisse für den Zustand im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung dargelegt.

Der Hintergrund hierfür ist, dass es, um möglichst zuverlässige Aussagen über die Herkunft der P-Belastung des Dümmers auf Grundlage von Modellergebnissen zu erzielen, erforderlich ist, einen Nachweis darüber zu führen, dass das verwendete Modell die P-Belastung verschiedener Zeiträume und verschiedener Belastungszustände abzubilden vermag. Die genannten Bedingungen sind nur für die Zeit vor der Bornbachumleitung gegeben.

Insgesamt wurden folgende Zeiträume und Belastungszustände berücksichtigt:

- 2002 inkl. Bornbach (repräsentiert hohe Abflüsse und hohe Phosphorfrachten),
- mittlerer Zustand inkl. Bornbach (repräsentiert mittlere langjährige Abflüsse und mittlere Phosphorfrachten) und
- 2006 inkl. Bornbach (repräsentiert geringe Abflüsse und geringe Phosphorfrachten).

3.3.1 Phosphoremissionen im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung

In diesem Abschnitt werden die mit dem Bilanzmodell für die Betrachtungszeiträume 2002 und 2006 sowie die für mittlere Abflussbedingungen berechneten P-Emissionen für das EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung vorgestellt.

3.3.1.1 P-Emissionen bei mittleren Bedingungen vor der Bornbachumleitung: Überblick

Die Quantifizierung der diffusen und punktuellen P-Emissionen im EZG Dümmer bei mittleren Abflussbedingungen ergab P-Einträge von insgesamt 45,4 t/a. Hiervon entfallen 40,8 t/a und somit 89,9 % auf diffuse P-Emissionen, entsprechend liegt der Anteil punktueller P-Emissionen bei 10,1 % (4,6 t/a). Die Verteilung der P-Emissionen auf die einzelnen Pfade ist Bild 16 zu entnehmen.

Dominierender P-Eintragspfad ist demnach die Erosion mit P-Emissionen von 16,3 t/a, was etwa 36 % der gesamten P-Emissionen entspricht. Daneben sind weitere relevante P-Emissionen über den Pfad Dränage mit 11,9 t/a (26 %) sowie über Grundwasser und Abschwemmung mit 5,4 bzw. 4,8 t/a (11,9 bzw. 10,6 %) zu verzeichnen. Alle anderen Pfade liegen dagegen unter 2 t/a und sind von vergleichsweise geringer Bedeutung.

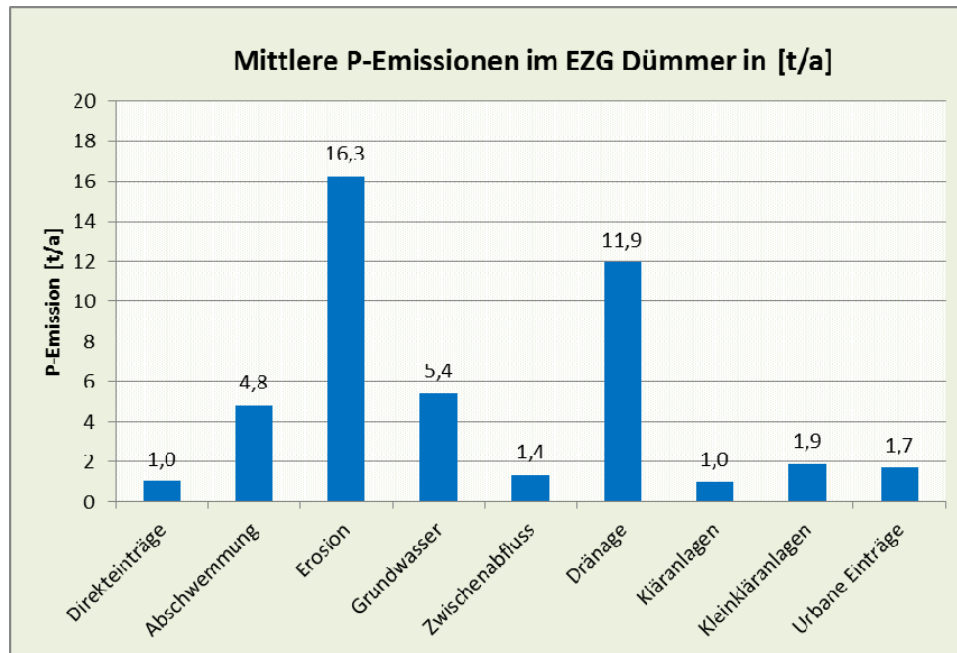


Bild 16: P-Emissionen für mittlere Abflussbedingungen im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof

Bild 17 zeigt die räumliche Verteilung der ermittelten gesamten P-Emissionen für diesen mittleren Zustand vor der Bornbachumleitung. Deutlich zu erkennen ist hierbei, dass hohe (> 1 kg/ha·a) und sehr hohe (> 4 kg/ha·a) P-Emissionen großflächig im nördlichen Teilgebiet Bornbach zu verzeichnen sind (Hoch- und Niedermoore in landwirtschaftlicher Nutzung). Derart hohe P-Emissionen sind weiterhin, wenn auch deutlich kleinräumiger, entlang der Ausläufer des Wiehengebirges und ganz im Norden (Dammer Berge) gegeben. Im restlichen EZG Dümmer dominieren dagegen geringe bis mittlere P-Emissionen zwischen meist 0,05 und 0,5 kg/ha·a. Kleinräumig treten jedoch auch hier erhöhte oder hohe ($> 0,5$ bzw. > 1 kg/ha·a) P-Emissionen auf.

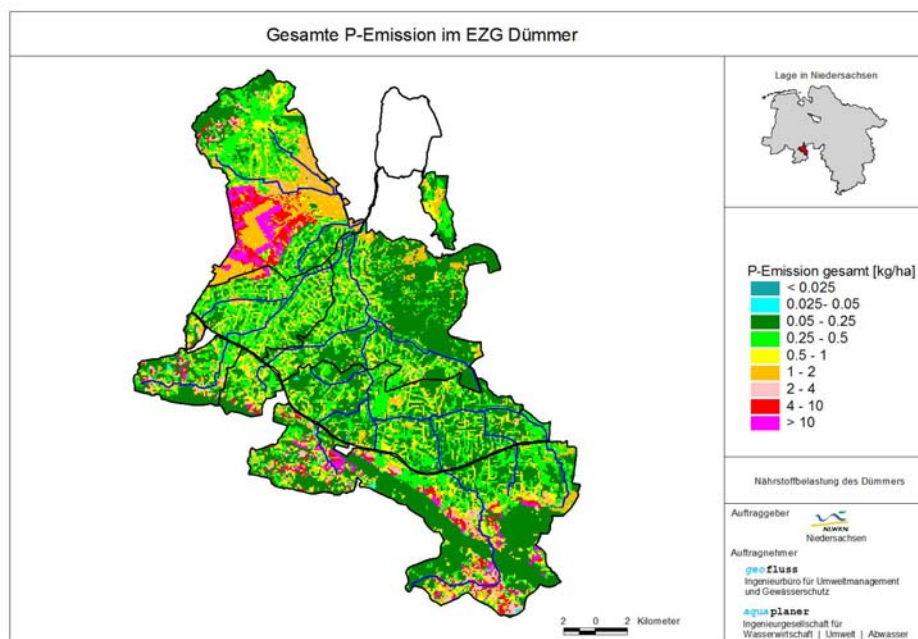


Bild 17: Summe der gesamten P-Emissionen im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen

Bild 18 zeigt die räumliche Verteilung der diffusen P-Emissionen im EZG Dümmer bei mittleren Abflussbedingungen. Abgesehen von den wenigen Bereichen, in denen die P-Emissionen jetzt geringer als in Bild 17 sind (betrifft vor allem die Ortslagen), zeigt sich eine weitgehende Übereinstimmung zwischen den beiden Bildern. Dies belegt, dass die diffusen P-Emissionen die Belastungssituation im EZG Dümmer unter mittleren Abflussbedingungen dominieren.

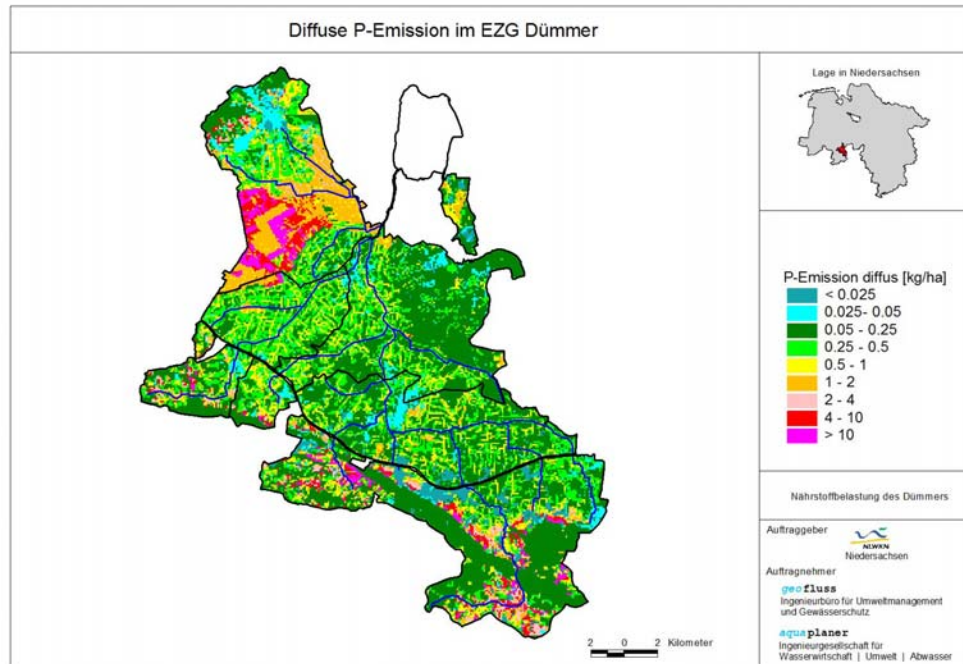


Bild 18: Summe der diffusen P-Emissionen im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen

3.3.1.2 P-Emissionen: relevante diffuse Eintragspfade im EZG Dümmer bei mittleren Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung

Im EZG Dümmer dominieren vor der Bornbachumleitung die P-Emissionen über Erosion und Dränagen. Daneben sind noch die diffusen Eintragspfade Grundwasser und Abschwemmung von Bedeutung. Die räumliche Verteilung der über diese Pfade ermittelten P-Emissionen wird nachfolgend genauer vorgestellt.

Erosion

Die diffusen P-Emissionen über Erosion stellen im EZG Dümmer den wichtigsten Eintragspfad dar. Sie betragen unter mittleren Abflussbedingungen 16,3 t/a und verursachen damit fast 36 % der gesamten P-Emissionen. Wie Bild 19 zeigt, treten hohe erosive P-Emissionen vor allem südlich des Mittellandkanals im Bereich des Wiehengebirges sowie im äußersten Norden des Untersuchungsgebietes im Bereich der Dammer Berge auf.

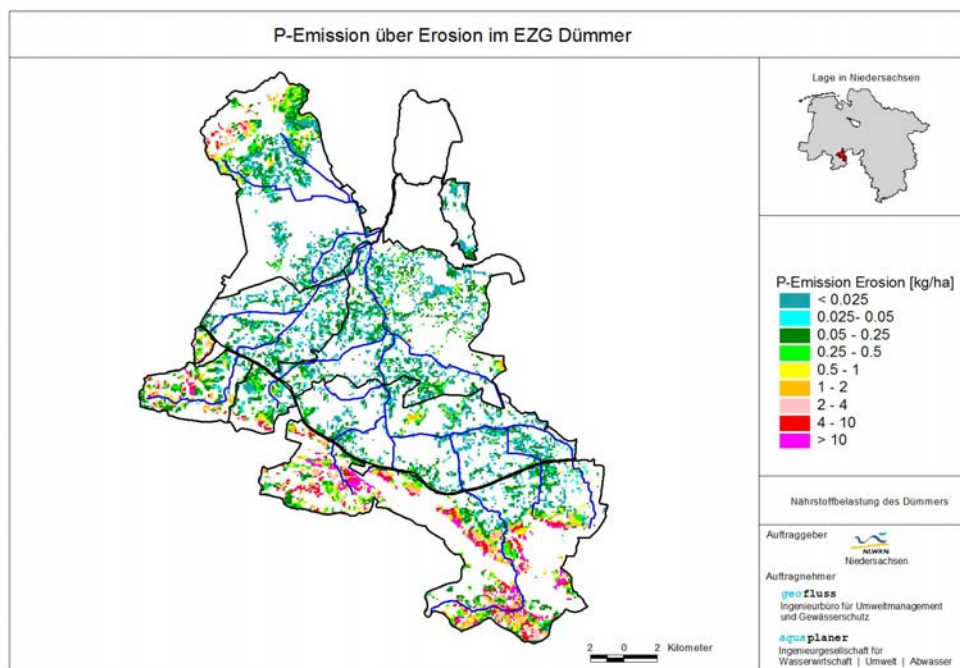


Bild 19: P-Emissionen über Erosion im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen

Ursache hierfür ist eine hinreichende Hangneigung, die für relevante erosive Einträge neben der Landnutzung Acker vorliegen muss. Von den meisten anderen Ackerflächen sind nur eher geringe erosive P-Emissionen zu erwarten. Hierfür ist neben einer geringen Hangneigung oft auch eine geringe Gewässeranbindung (zu große Distanz eines Gewässers zum Ackerschlag) verantwortlich.

Dränageabfluss

Die diffusen P-Emissionen über Dränageabfluss stellen im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung den zweiten sehr wichtigen Eintragspfad dar. Die P-Emissionen über diesen Pfad betragen unter mittleren Abflussbedingungen 11,9 t/a und verursachen somit 26,3 % der gesamten P-Emissionen. Eine Ursache für diese hohen Einträge ist der hohe Anteil dräniert landwirtschaftlicher Nutzflächen im Untersuchungsgebiet, der bei etwa 160 km² liegt. Bild 20 zeigt die räumliche Verteilung der P-Emissionen über Dränagen im EZG Dümmer. Deutlich zu erkennen ist zuerst die weite Verbreitung dräniert Flächen (abgesehen vom südlichen Einzugsgebiet, in dem praktisch keine dräniert Flächen vorliegen). Weiterhin wird deutlich, dass vor allem im EZG des Bornbachs die ermittelten P-Emissionen von dräniert Flächen ungewöhnlich hoch sind. Sie liegen in den landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Hoch- und Niedermooren bei mehr als 4, oftmals sogar mehr als 10 kg/ha·a. In den restlichen Niederungsgebieten sind die ermittelten P-Emissionen über Dränagen mit meist zwischen 0,05 und 0,25 kg/ha·a erheblich geringer. Zurückzuführen sind diese trotz hoher P-Wirtschaftsdüngergaben eher niedrigen P-Emissionen über Dränagen vor allem auf die nach wie vor hohe P-Bindungs Kapazität der Böden. Zumindest für das EZG Elze (TG Hunteburg) kann dieses nach Untersuchungen von Herrn Dr. Schäfer vom LBEG durch hohe Eisengehalte der eher sandigen Böden begründet werden. Zu berücksichtigen ist, dass für das Untersuchungsgebiet außerhalb des Elzegebietes keine entsprechenden Untersuchungsergebnisse vorliegen. Beim Modell Aufbau wurde dennoch davon ausgegangen, dass auch für die-

se Bereiche eine nach wie vor ausreichende P-Bindungskapazität in den Böden vorliegt, so dass auch hier eher geringe P-Emissionen über diesen Pfad vorliegen.

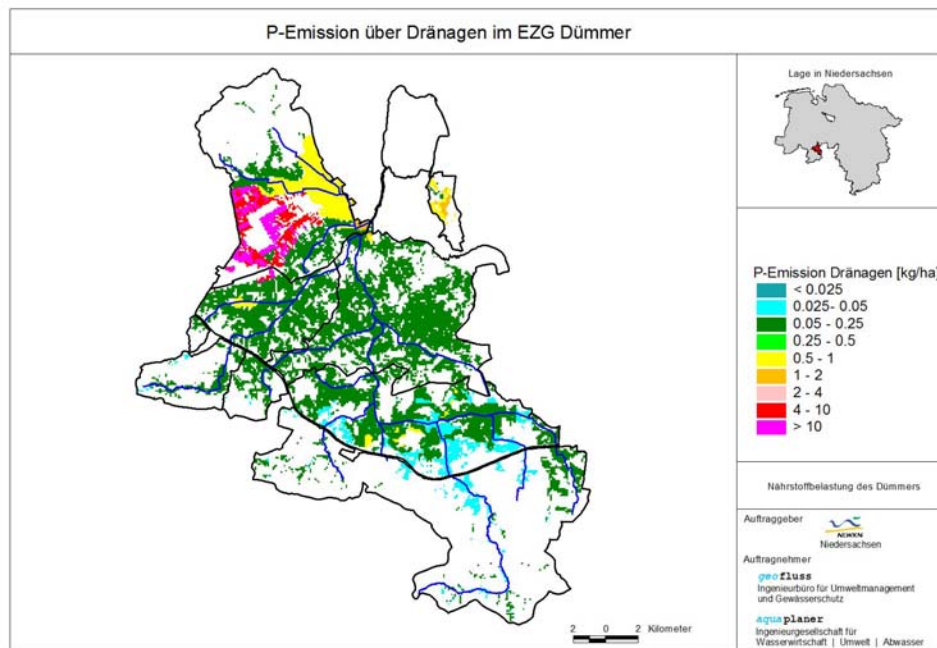


Bild 20: P-Emissionen über Drainageabfluss im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen

Grundwasser

Den nach den Modellergebnissen drittichtigsten P-Eintragspfad im EZG Dümmer stellt das Grundwasser dar. Die P-Emissionen über diesen Pfad betragen unter mittleren Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung 5,4 t/a und verursachen somit 11,9 % der gesamten P-Emissionen. Bild 21 zeigt die räumliche Verteilung der P-Emissionen über Grundwasser im Untersuchungsgebiet Dümmer.

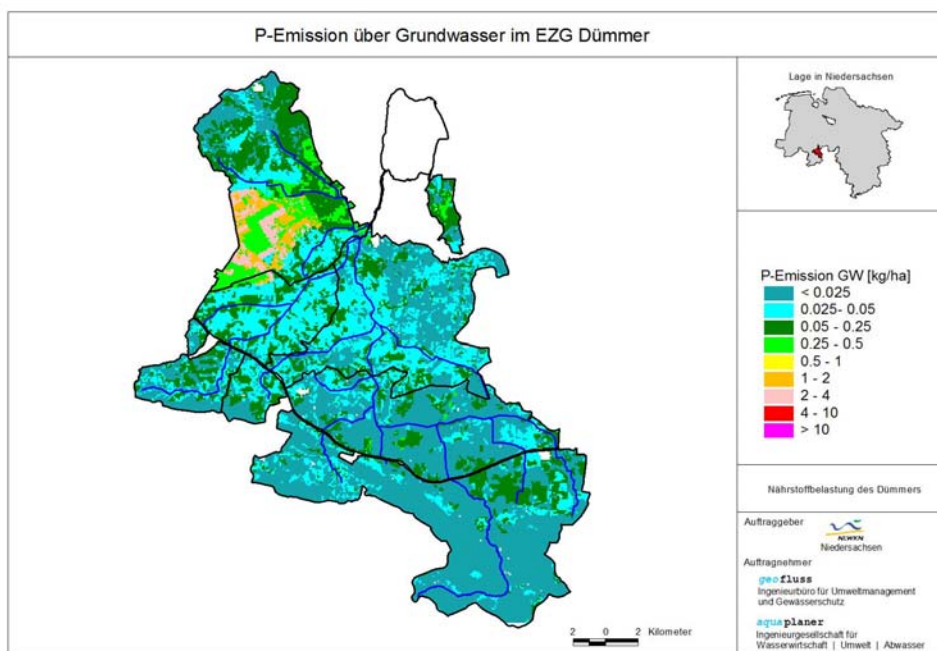


Bild 21: P-Emissionen über Grundwasser im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen

Abgesehen vom TG Bornbach dominieren sehr geringe P-Emissionen von unter 0,05 kg/ha·a. Leicht erhöhte P-Emissionen über Grundwasser von mehr als 0,05 kg/ha·a treten gelegentlich auf, mäßig erhöhte von mehr als 0,25 kg/ha·a sind hier nur vereinzelt zu verzeichnen. Im TG Bornbach zeigt sich dagegen ein anderes Bild. Zwar treten auch hier noch verbreitet leicht erhöhte P-Emissionen von < 0,25 kg/ha·a auf, daneben sind aber ungewöhnlich große Flächenanteile mit erhöhten und hohen P-Emissionen von > 0,25 kg/ha·a und auf relevanten Flächenanteilen > 1 bis etwa 4 kg/ha·a zu verzeichnen.

Abschwemmung

Den vierten wichtigen P-Eintragspfad im EZG Dümmer stellt bei mittleren Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung die Abschwemmung mit etwa 4,8 t/a dar. Bild 22 zeigt die räumliche Verteilung dieser P-Emissionen im EZG Dümmer. Sie betragen für den Großteil des EZG weniger als 0,25 kg/ha·a, oftmals liegen sie sogar unter 0,05 kg/ha·a. Daneben treten recht häufig schmale Bereiche mit durchaus hohen P-Emissionen von über 0,5 kg/ha·a auf. Hierbei handelt es sich ausschließlich um landwirtschaftlich genutzte Flächen in direkter Gewässernähe.

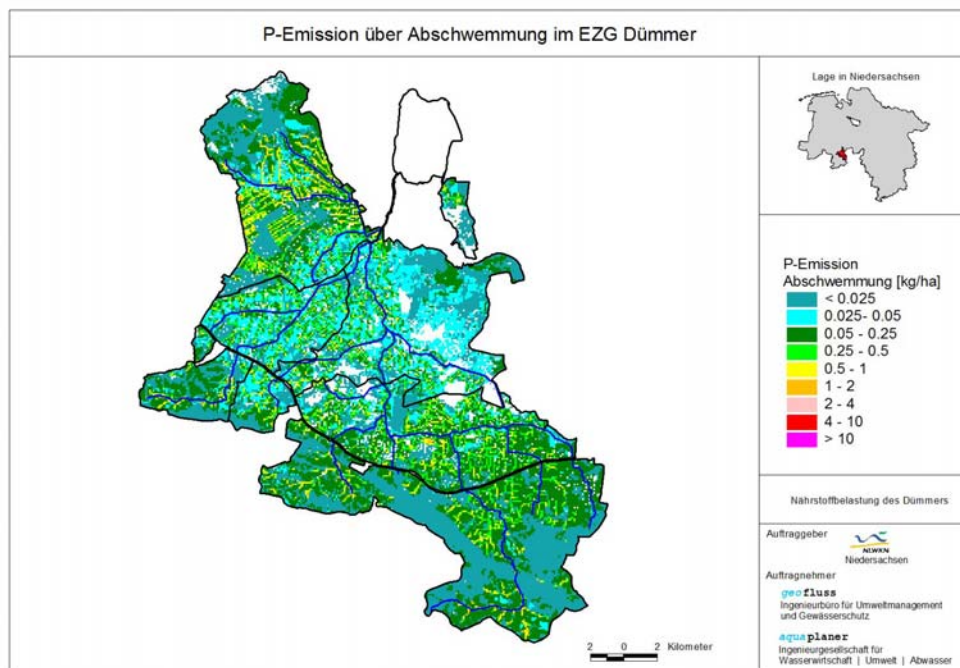


Bild 22: P-Emissionen über Abschwemmung im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen

3.3.1.3 P-Emissionen im EZG Dümmer für 2002 und 2006 im Vergleich zu mittleren Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung

In diesem Abschnitt werden die mit dem Bilanzmodell für die Betrachtungszeiträume 2002 und 2006 berechneten diffusen und punktuellen P-Emissionen für das EZG Dümmer vorgestellt und mit den erzielten Ergebnissen für die mittleren Bedingungen abgeglichen.

Die erzielten Modellergebnisse für die genannten Zeiträume sind Tabelle 24 zu entnehmen.

Tabelle 24: P-Emissionen nach Pfaden im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen sowie die Jahre 2002 und 2006, Bezug Pegel Schäferhof

EZG Dümmer						
Eintragspfad	2002		mittlerer Zustand		2006*	
	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]
Direkteinträge	1,3	2,0	1,0	2,2	0,8	3,1
Abschwemmung	10,6	15,4	4,8	10,6	2,6	10,4
Erosion	25,4	36,8	16,3	35,8	6,5	26,1
Grundwasser	6,6	9,6	5,4	11,9	2,7	11,0
Zwischenabfluss	1,9	2,7	1,4	3,0	0,8	3,3
Dränage	16,2	23,5	11,9	26,3	7,7	30,9
Kläranlagen	1,5	2,1	1,0	2,2	1,5	6,1
Kleinkläranlagen	2,9	4,2	1,9	4,2	1,2	4,7
Urbane Einträge	2,6	3,8	1,7	3,8	1,1	4,2
Summe diffus	62,1	89,9	40,8	89,9	21,1	85,0
Summe punktuell	7,0	10,1	4,6	10,1	3,7	15,0
Summe	69,1	100	45,4	100	24,8	100

*: Erosion berechnet auf Basis der InVeKoS-Daten

Erwartungsgemäß werden aufgrund der unterschiedlichen klimatischen Bedingungen in den betrachteten Zeiträumen für die P-Emissionen unterschiedliche Eintragssummen bilanziert. Die ermittelten P-Emissionen reichen von 24,8 t in 2006 bei geringen Abflüssen bis 69,1 t in 2002 bei hohen Abflüssen und unterscheiden sich somit etwa um den Faktor 2,8.

Für das abflussstarke Jahr 2002 ($4,7 \text{ m}^3/\text{s}$, etwa 50 % über dem langjährigen MQ von $3,09 \text{ m}^3/\text{s}$) ergeben sich demnach als Summe der P-Emissionen 69,1 t/a, was etwa dem 1,5-fachen der für mittlere Bedingungen ermittelten P-Emissionen entspricht. Bezogen auf die Eintragspfade nehmen dabei vor allem die P-Emissionen über Erosion, Abschwemmung und Dränagen zu, die auch die relevantesten Pfade darstellen.

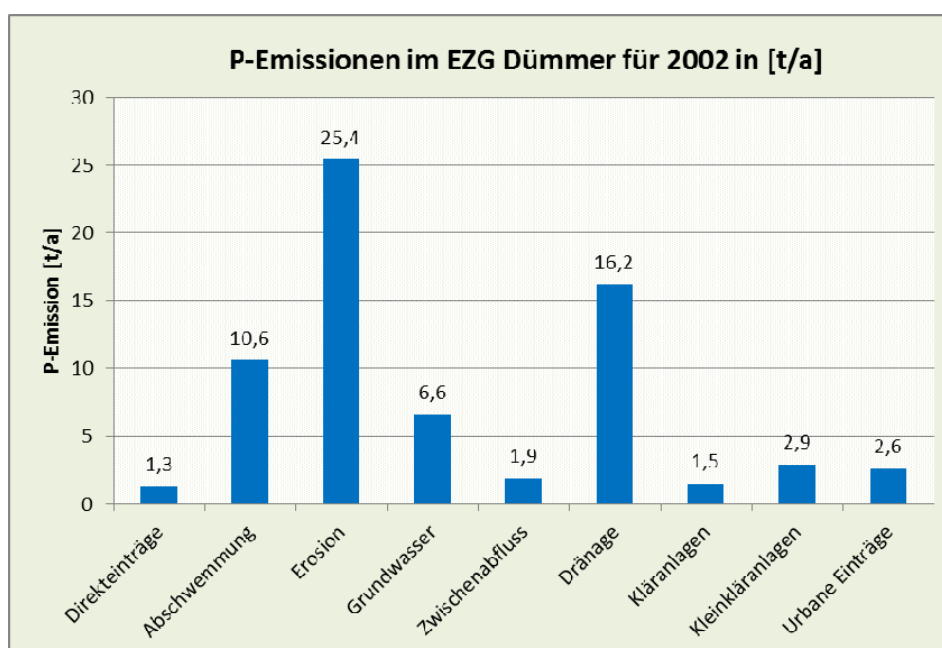


Bild 23: P-Emissionen für 2002 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof

Es dominieren in 2002 die erosiven P-Emissionen mit 25,4 t und einem Anteil von 36,8%, vor den über Dränagen verursachten mit 16,2 t und 23,5 % der gesamten P-Emissionen. Die Eintragspfade Abschwemmung und Grundwasser nehmen mit 10,6 bzw. 6,6 t und in der Summe 26 % die folgenden Plätze ein. Alle restlichen Pfade sind auch in 2002 von untergeordneter Bedeutung (vgl. Bild 23).

Das Jahr 2006 hingegen weist bei geringen Abflüssen ($1,9 \text{ m}^3/\text{s}$, nur ca. 62 % des langjährigen mittleren Abflusses von $3,09 \text{ m}^3/\text{s}$) auf Basis der Modellergebnisse in der Summe lediglich P-Emissionen von 24,8 t auf. Wie Bild 24 zeigt, stellen in 2006, anders als 2002 und für mittlere Abflussbedingungen, die P-Emissionen über Dränagen mit 7,7 t (fast 31 % der gesamten Belastung) vor denen über Erosion (6,5 t bzw. 26,1 %) den dominierenden Eintragspfad dar. Sehr deutlich weisen die durch stärkere Niederschlags- und Abflussereignisse bedingten Eintragspfade Erosion und Abschwemmung in 2006 einen deutlich geringeren Anteil an der gesamten P-Emission auf.

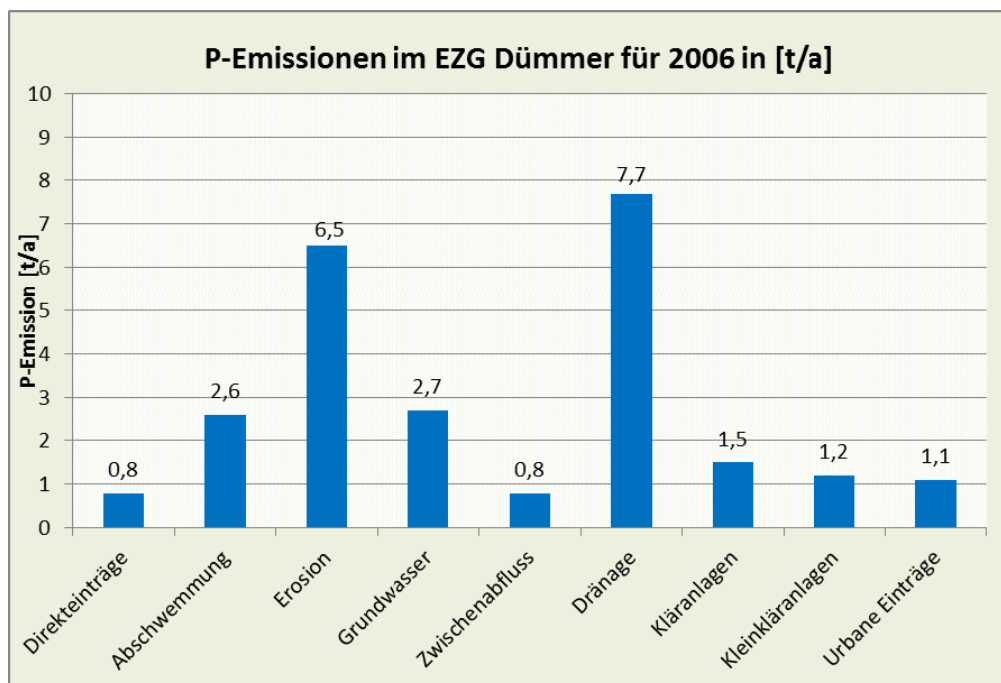


Bild 24: P-Emissionen für 2006 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof; Erosion auf Basis der InVeKoS-Daten ermittelt

Eine zusammenfassende Visualisierung der P-Emissionen für die einzelnen Pfade und die 3 Betrachtungszeiträume vor der Bornbachumleitung im EZG Dümmer ist Bild 25 zu entnehmen.

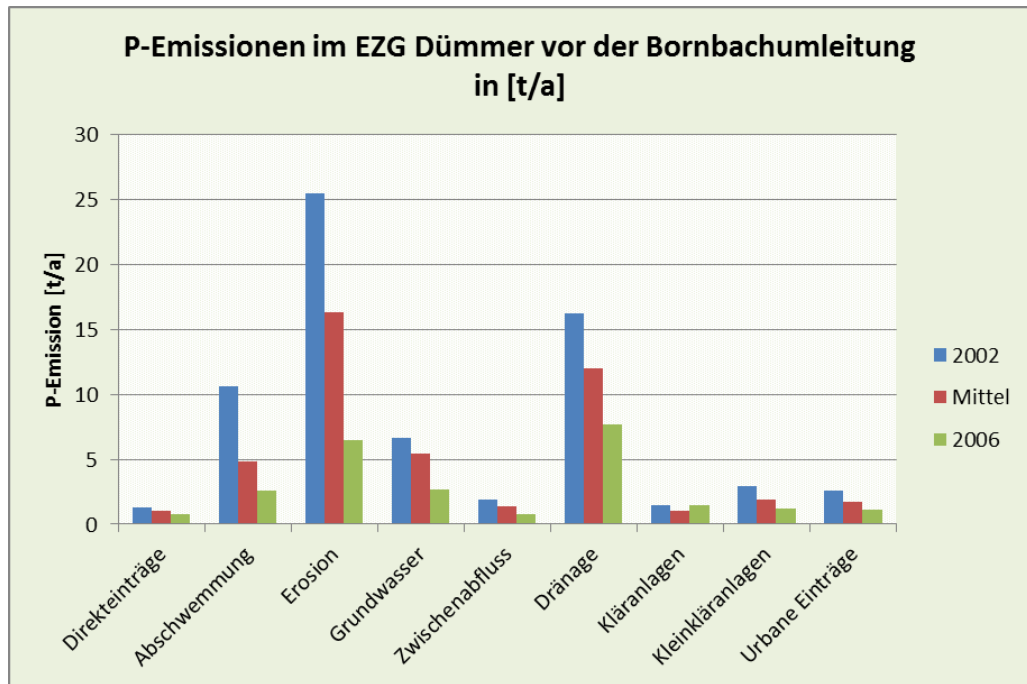


Bild 25: P-Emissionen vor der Bornbachumleitung (bei mittleren Abflussbedingungen sowie den Jahren 2002 und 2006) im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof

3.3.1.4 P-Emissionen im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen sowie für die Jahre 2002 und 2006 pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung

Nachfolgend werden in Tabelle 25 bis Tabelle 27 die P-Emissionen pro Teilgebiet für die 3 betrachteten Zeiträume vor der Bornbachumleitung (mittlere Bedingungen, 2006 und 2002) vorgestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass in allen 3 Zeiträumen vor allem die beiden Teilgebiete Bornbach und Bohmte mit jeweils zusammen etwa 80 % für den Großteil der P-Emissionen verantwortlich sind. Dabei ist zu beachten, dass die flächenbezogene Belastung in kg/ha·a bezogen auf die gesamte Teilgebietsfläche für das TG Bornbach in allen 3 Zeiträumen deutlich am höchsten ist. Ferner zeigt Tabelle 27, dass in einem eher trockenen Jahr wie 2006 - anders als bei den beiden anderen Zeiträumen - die höchste prozentuale Belastung dem TG Bornbach zuzuordnen ist. Begründet ist dies vor allem darin, dass unter den genannten Bedingungen erosiven P-Emissionen, welche maßgeblich für die P-Belastungen im TG Bohmte verantwortlich sind, nicht so eine große Bedeutung zukommt.

Tabelle 25: P-Emissionen pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung bei mittleren Abflussbedingungen

Teilgebiet	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
Bohmte	19,4	42,1	1,08
Schäferhof	4,0	8,6	0,45
Hunteburg	4,3	9,3	0,77
Marler Graben	0,3	0,7	0,50
Bornbach	17,8	38,7	2,26

Tabelle 26: P-Emissionen pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung für 2002

Teilgebiet	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
Bohmte	30,3	43,7	1,69
Schäferhof	6,5	9,4	0,73
Hunteburg	6,9	9,9	1,25
Marler Graben	0,4	0,6	0,68
Bornbach	25,3	36,4	3,21

Tabelle 27: P-Emissionen pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung für 2006

Teilgebiet	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
Bohmte	9,7	38,8	0,54
Schäferhof	1,9	7,5	0,21
Hunteburg	2,3	9,1	0,41
Marler Graben	0,2	0,8	0,33
Bornbach	10,9	43,7	1,38

3.3.2 Phosphorimmissionen im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung

3.3.2.1 P-Immissionen bei mittleren Bedingungen vor der Bornbachumleitung: Überblick

Die Ermittlung der P-Immissionen im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung für mittlere Bedingungen ergibt ein deutlich anderes Bild über die Belastungssituation als das oben vorgestellte Ergebnis der P-Emissionen.

In Bild 26 sind die resultierenden P-Immissionen für mittlere Bedingungen pro Pfad dargestellt. Während bei den entsprechenden P-Emissionen die erosiven P-Emissionen deutlich den relevantesten Pfad markierten, zeigt sich für die P-Immissionen, dass die P-Belastungen über Dränagen mit 8,1 t/a sogar geringfügig höher liegen als die erosiven P-Immissionen mit 7,7 t/a (vgl. Tabelle 28). Diese „Verschiebung“ der Pfadanteile liegt darin begründet, dass die im südlichen EZG liegenden erosiven Flächen in den Höhenzügen des Wiehengebirges zugleich am weitesten vom Dümmer (bzw. Pegel Schäferhof) entfernt liegen. Durch die aufgrund der Entfernung höhere Retention für diese Gebiete verschiebt sich die Bedeutung der Pfade, da die Gebiete mit relevanten P-Immissionen über Dränagen wie insbesondere die Moorflächen im TG Bornbach in deutlich geringerer Entfernung zum Dümmer liegen als die meisten erosiven Flächen (vergl. Bild 29).

Weitere relevante Belastungspfade stellen die P-Immissionen über Grundwasser (3,7 t) und Abschwemmung (2,8 t) dar, alle weiteren Pfade spielen bei den mittleren Bedingungen im EZG Dümmer mit max. 1,1 t eine untergeordnete Rolle.

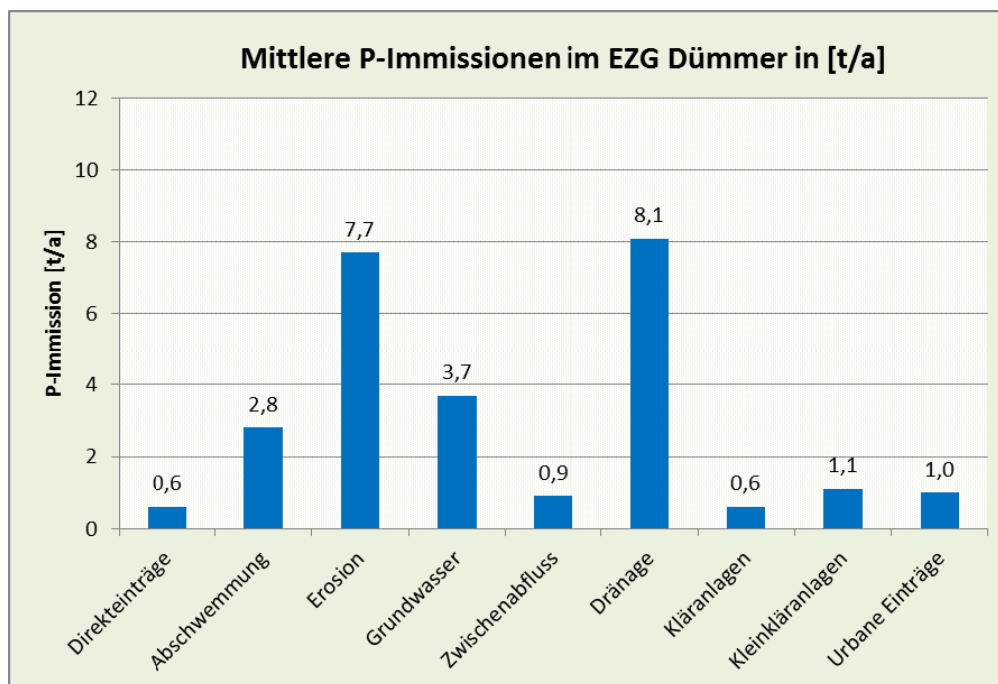


Bild 26: P-Immissionen für mittlere Abflussbedingungen im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof

Tabelle 28 zeigt die P-Emissionen und P-Immissionen für die verschiedenen Eintragspfade im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen (vor der Bornbachumleitung).

Tabelle 28: Vergleich der P-Emissionen und P-Immissionen nach Pfaden im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung, Bezug Pegel Schäferhof

EZG Dümmer, mittlere Bedingungen				
Eintragspfad	Emission		Immission	
	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]
Direkteinträge	1,0	2,2	0,6	2,2
Abschwemmung	4,8	10,6	2,8	10,7
Erosion	16,3	35,8	7,7	29,2
Grundwasser	5,4	11,9	3,7	13,8
Zwischenabfluss	1,4	3,0	0,9	3,3
Dränage	11,9	26,3	8,1	30,8
Kläranlagen	1,0	2,2	0,6	2,3
Kleinkläranlagen	1,9	4,2	1,1	4,0
Urbane Einträge	1,7	3,8	1,0	3,7
Summe diffus	40,8	89,9	23,8	90,1
Summe punktuell	4,6	10,1	2,6	9,9
Summe	45,4	100	26,4	100

Die Ursache für die „Verschiebung“ der Pfadanteile zwischen Erosion und Dränagen wurde bereits oben erläutert. Zu erkennen ist weiterhin, dass der Anteil der P-Immissionen über Grundwasser etwa 2 Prozentpunkte höher liegt als bei den Emissionen; begründet ist dieses erneut in der Lage der Gebietsanteile, die maßgeblich für die P-Belastungen über Grundwasser verantwortlich sind: es sind abermals weitgehend die Mooregebiete im Bornbachgebiet, die somit vergleichsweise dicht am Gebietsauslass Schäferhof liegen und folglich einer

eher geringen Retention unterliegen. Bei allen anderen Pfaden sind die prozentualen Anteile für die P-Emissionen und P-Immissionen sehr ähnlich, was darauf hindeutet, dass die sie verursachenden Flächen weitgehend homogen über das gesamte EZG Dümmer verteilt liegen.

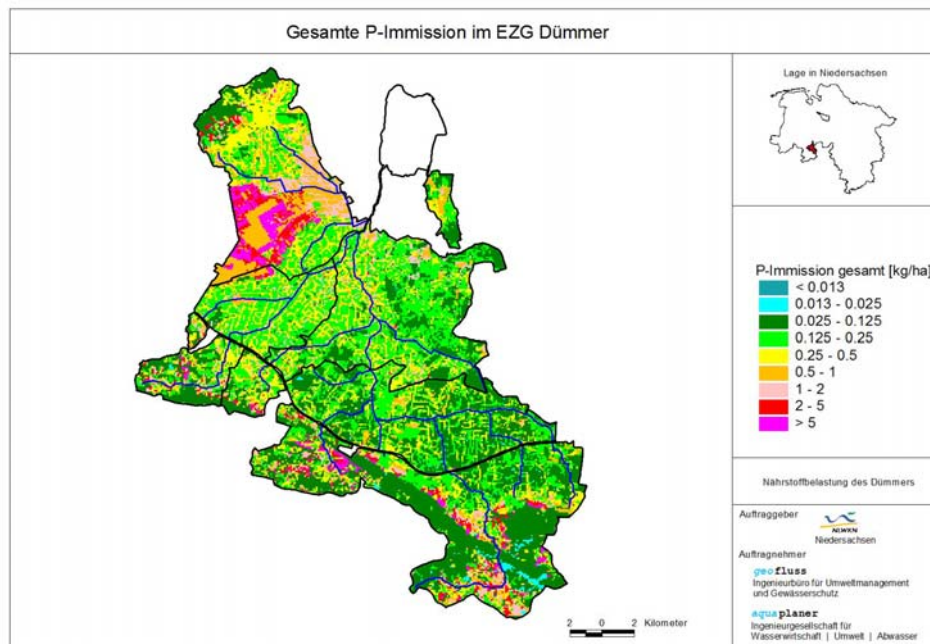


Bild 27: Summe der gesamten P-Immissionen im EZG Dümmer in [kg/ha-a] bei mittleren Abflussbedingungen

In Bild 27 ist die Summe der gesamten P-Immissionen im EZG Dümmer in kg/ha-a bei mittleren Abflussbedingungen dargestellt. Insbesondere das Dammer Moor im TG Bornbach zeigt verbreitet hohe P-Immissionen von > 2 und sogar > 5 kg/ha-a, die vor der Bornbachumleitung im Jahr 2009 maßgeblich zur Belastung des Dümmer beitrugen. Weitere relevante Belastungsschwerpunkte sind im Bereich des Wiehengebirges zu finden, hier liegen Ackerflächen mit hohen erosiven P-Immissionen (die kleinräumig in der Höhe etwa denen der Moorflächen im TG Bornbach entsprechen und vereinzelt sogar deutlich höher liegen, s.u.), die trotz der großen Entfernung zum Dümmer und der entsprechend hohen Retention im Gewässersystem relevant zu einer Belastung des Dümmer beitragen.

Dagegen sind die P-Immissionen in weiten Teilen der Hunteniederung mit meist kleiner 0,25 kg/ha-a deutlich geringer. Erwartungsgemäß sind zudem die P-Immissionen aus den Waldgebieten sehr gering.

Bei der Betrachtung der diffusen unterirdischen P-Immissionen im EZG Dümmer bei mittleren Abflussbedingungen (Bild 28) werden Erosion und Abschwemmung als oberirdische Eintragspfade nicht berücksichtigt. Es zeigt sich, dass das Eintragsniveau besonders im südlichen Gebiet (Erosion), bei den Dammer Bergen im Norden vom TG Bornbach, aber auch im Gebiet nordöstlich und südlich von Bohmte deutlich zurückgeht. Dagegen sind nordwestlich von Bohmte Gebiete mit höherer Belastung vorhanden (u.a. Venner Moor, Cappelner Moor im TG Hunteburg sowie die Moore im TG Bornbach). Deutlich sind zudem die im Vergleich zu Bild 27 geringeren P-Immissionen in der Hunteniederung zu erkennen. Ursache hierfür ist

der in Bild 28 fehlende Anteil der Abschwemmung. Dieser Eintragspfad ist dort folglich durchaus bedeutsam.

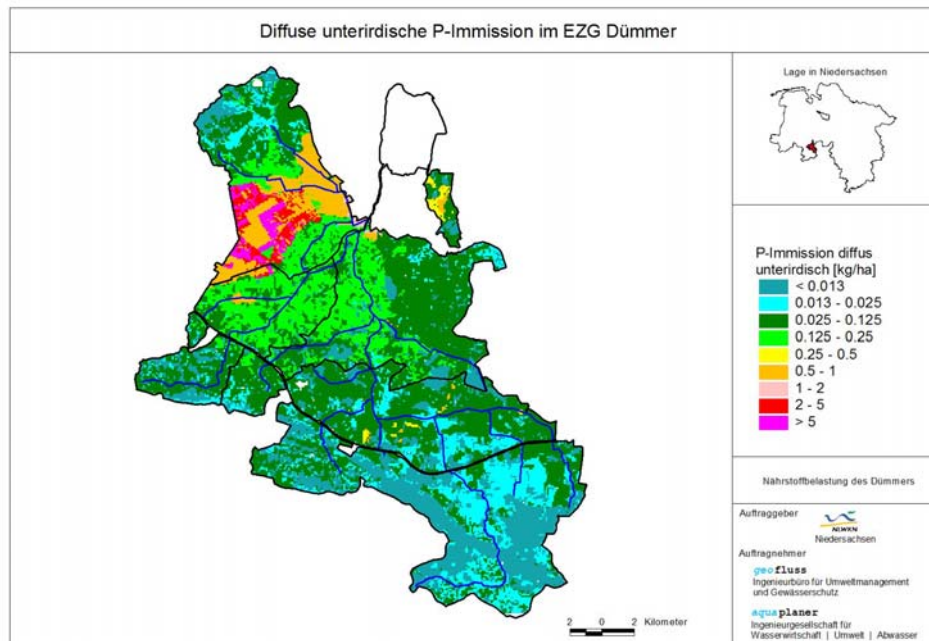


Bild 28: Summe der diffusen unterirdischen P-Immissionen im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen

In dem folgenden Abschnitt werden die hinsichtlich der P-Immissionen relevanten Eintragspfade näher betrachtet.

3.3.2.2 P-Immissionen: relevante diffuse Eintragspfade im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung

Im EZG Dümmer dominieren bei mittleren Bedingungen die P-Immissionen über Dränagen und Erosion. Daneben sind noch die diffusen Eintragspfade Grundwasser und Abschwemmung von Bedeutung. Die über sie ermittelten Immissionen werden nachfolgend genauer vorgestellt.

Dränageabfluss

Die diffusen P-Immissionen über Dränageabfluss stellen im EZG Dümmer zusammen mit den P-Immissionen über Erosion den dominierenden Eintragspfad dar. Die P-Belastungen über diesen Pfad betragen unter mittleren Abflussbedingungen 8,1 t/a und verursachen somit über 30 % der gesamten P-Immissionen. Eine Ursache für diese hohen P-Immissionen ist der hohe Anteil dräniert landwirtschaftlicher Nutzflächen im Untersuchungsgebiet, der bei 54,8 % (52,8 % ohne Bornbach) der landwirtschaftlichen Nutzfläche liegt.

Eintragsrelevante dränierte Flächen sind vor allem landwirtschaftlich genutzte (ehemalige) Moore (Niedermoores und Hochmoore), die nach Untersuchungen von SCHEFFER & BLANKENBURG (2004) sehr hohe P-Austräge verursachen. Sie liegen insbesondere in den Gebieten Dammer Moor (TG Bornbach), Venner Moor (TG Hunteburg) und Cappelner Moor (TG Hunteburg und TG Schäferhof), aber auch am Marler Graben (vgl. Bild 29). Hieraus resultiert in den genannten Gebieten in der Summe eine erheblich höhere P-Immission über Dränagen als beispielsweise im südlich gelegenen TG Bohmte (Bild 29).

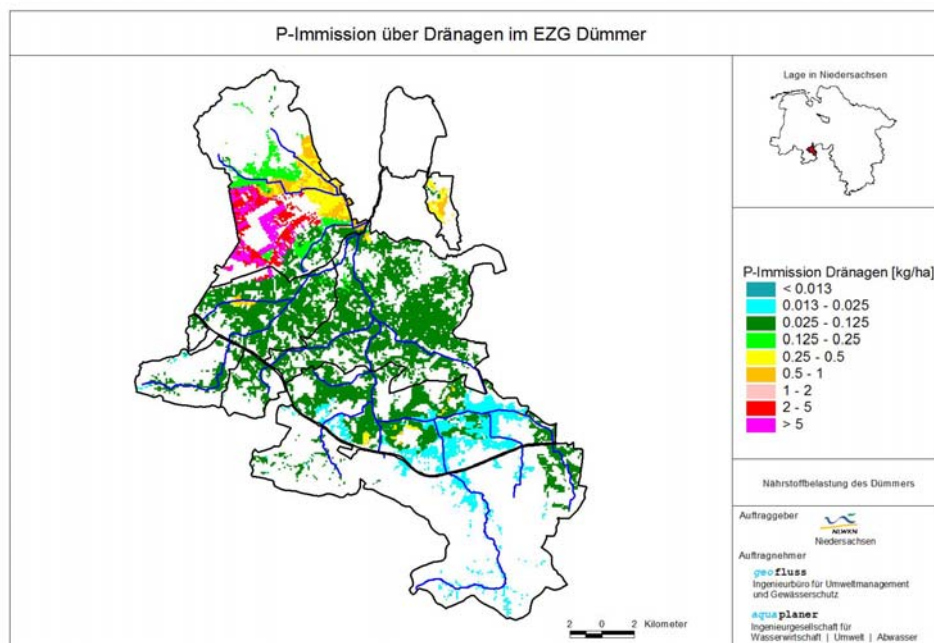


Bild 29: P-Immissionen über Dränageabfluss im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen

Wie Tabelle 29 zeigt, betragen die P-Immissionen über Dränagen im Mittel für alle landwirtschaftlichen Nutzflächen etwa 0,51 kg/ha·a. In der Spitze werden laut der Modellergebnisse vereinzelt sogar P-Immissionen von über 8 kg/ha·a über diesen Pfad erreicht. Derart hohe Belastungen über Dränagen sind erwartungsgemäß nur von ehemaligen Mooren - die jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung sind - ermittelt worden.

Tabelle 29: Kennwerte der P-Immissionen über Dränageabfluss im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen differenziert nach Landnutzung

Landnutzung	EZG Dümmer		
	Mittel [kg/ha·a]	Max [kg/ha·a]	Summe [t/a]
Acker	0,46	8,2	5,6
Grünland	0,72	3,6	2,5
Gesamt	0,51	8,2	8,1

Erosion

Die diffusen P-Immissionen über Erosion stellen im EZG Dümmer neben denen über Dränagen den wichtigsten Eintragspfad dar. Die P-Belastungen über diesen Pfad betragen unter mittleren Abflussbedingungen 7,7 t/a und verursachen damit über 29 % der gesamten P-Immissionen. Wie Bild 30 zeigt, treten hohe erosive P-Immissionen vor allem im Süden des EZG auf. Hier verläuft das Wiehengebirge mit Ackerflächen in Hanglage, die trotz der großen Entfernung zum Dümmer und der damit verbundenen hohen Retention zu einer maßgeblichen Belastung des Dümmer beitragen. Weitere Eintragungsschwerpunkte betreffen für die mittleren Bedingungen den nördlichen Bereich des TG Bornbach bei den Dammer Bergen. In den restlichen Gebieten des EZG Dümmer findet dagegen keine oder nur eine sehr geringe

bis geringe P-Belastung durch Erosion statt. Hauptgrund hierfür ist die verbreitet geringe bis sehr geringe Hangneigung.

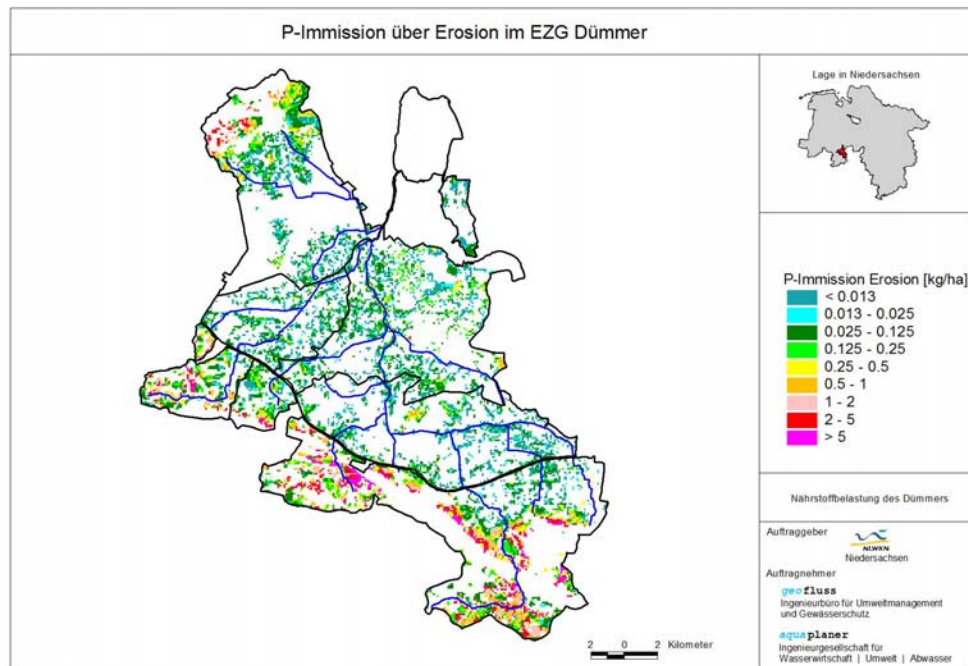


Bild 30: P-Immissionen über Erosion im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen

In Tabelle 30 sind Kennwerte der P-Immissionen über Erosion dargestellt. Sie betragen im Mittel etwa 0,35 kg/ha·a bezogen auf die gesamte Ackerfläche im EZG Dümmer. Maximal werden laut der Modellergebnisse jedoch in der Spitze P-Immissionen von über 23 kg/ha·a über diesen Pfad erreicht.

Tabelle 30: Kennwerte der P-Immissionen über Erosion im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen

Landnutzung	EZG Dümmer		
	Mittel [kg/ha·a]	Max [kg/ha·a]	Summe [t/a]
Acker	0,35	23,7	7,7

Grundwasser

P-Belastungen über Grundwasser stellen für die mittleren Abflussbedingungen im EZG Dümmer (vor der Bornbachumleitung) mit 13,8 % der gesamten P-Immissionen den drittwichtigsten Eintragspfad dar. Die P-Immissionen über diesen Pfad betragen 3,7 t/a. Wie Tabelle 31 zeigt, ist hiervon mit fast 2,1 t ein wesentlicher Anteil auf die Landnutzung Acker zurückzuführen. Daneben ist lediglich noch die Landnutzung Grünland von Bedeutung, von den übrigen Landnutzungen sind die P-Immissionen über Grundwasser eher unbedeutend. Die in Tabelle 31 angegebenen sehr hohen maximalen P-Immissionen sind auf jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung stehende ehemalige Moore zurückzuführen, es handelt sich überwiegend um Flächen im Dammer Moor im TG Bornbach.

Tabelle 31: Kennwerte der P-Immissionen über Grundwasser im EZG Dümmer differenziert nach Landnutzung

Landnutzung	EZG Dümmer		
	Mittel [kg/ha·a]	Max [kg/ha·a]	Summe [t/a]
Acker	0,1	2,6	2,1
Grünland	0,17	1,9	1,2
Wald	< 0,01	0,3	0,04
Siedlung	0,5	1,4	0,14
sonstige	0,8	1,4	0,17
Gesamt	0,09	2,6	3,7

Bild 31 zeigt die räumliche Verteilung der P-Immissionen über Grundwasser im Untersuchungsgebiet Dümmer. Insbesondere im südlichen Bereich dominieren sehr geringe P-Immissionen von unter 0,013 kg/ha·a. Leicht höhere P-Immissionen über Grundwasser von mehr als 0,025 kg/ha·a treten gelegentlich auf, insbesondere im TG Hunteburg, deutlich erhöhte von mehr als 0,25 bis > 2,5 kg/ha·a sind im TG Bornbach zu verzeichnen. Das TG Marler Graben weist teilweise > 0,125 kg/ha·a auf, wobei in diesem Gebiet die mittlere P-Immission bei nur ca. 0,06 kg/ha·a liegt.

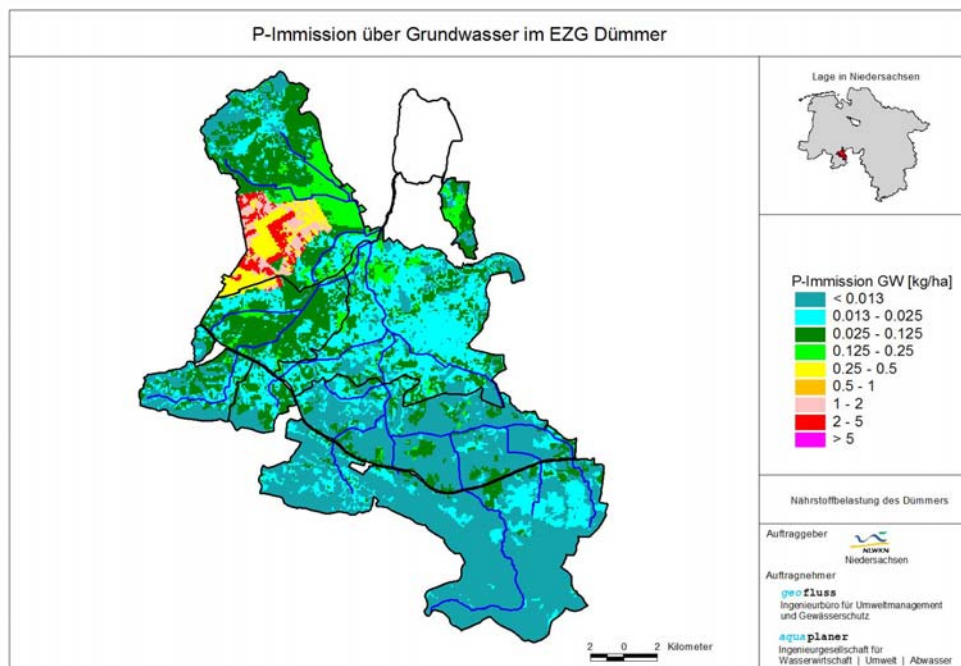


Bild 31: P-Immissionen über Grundwasser im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen

Abschwemmung

Unter Abschwemmung wird der Transport von nicht an Bodenpartikel gebundenes P mit dem Oberflächenabfluss verstanden. Die Abschwemmung ist somit unabhängig von der Erosion der Bodenpartikel. Abgeschwemmt werden überwiegend Phosphate (in Gülle liegt der P-Anteil je nach Viehart bis zu 80 % als Orthophosphat vor), die sich auf der Boden- und Pflanzenoberfläche befinden.

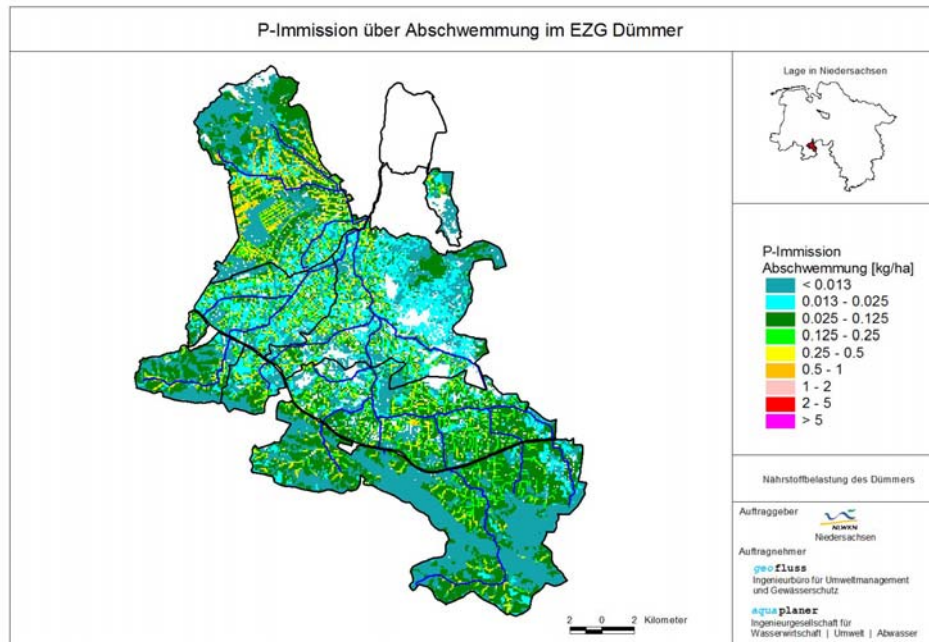


Bild 32: P-Immissionen über Abschwemmung im EZG Dümmer in [kg/ha·a] bei mittleren Abflussbedingungen

Die diffusen P-Immissionen über Abschwemmung stellen im EZG Dümmer mit 10,7 % nach dem Grundwasser bei den mittleren Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung den viertwichtigsten Eintragspfad dar. Insgesamt 2,8 t werden über diesen Pfad entsprechend der Modellergebnisse pro Jahr in den Dümmer eingetragen. In Bild 32 sind die P-Immissionen über Abschwemmung dargestellt. Sie betragen für weite Bereiche des EZG Dümmer weniger als 0,12 kg/ha·a. Deutlich zu erkennen sind zudem die fast überall auftretenden „gelben Streifen“, die P-Immissionen zwischen 0,25 und 0,5 kg/ha·a abbilden. Sie resultieren daraus, dass der Eintragspfad Abschwemmung „Verfrachtungen“ von Wirtschaftsdünger beinhaltet und diese nur für LNF in direkte Gewässernähe zugelassen wurden (vgl. Kap. 2.6.3.1). Nur auf wenigen Flächen sind P-Immissionen > 0,5 kg/ha·a zu verzeichnen; sie liegen überwiegend im TG Bornbach. Im übrigen Gebiet sind bei dieser flächenhaften Übersicht Belastungsschwerpunkte visuell nur schwer auszumachen, weshalb an dieser Stelle auf die später folgenden Auswertungen pro TEZG verwiesen wird.

3.3.2.3 P-Immissionen im EZG Dümmer für 2002 und 2006 im Vergleich zu mittleren Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung

In diesem Abschnitt werden die mit dem Bilanzmodell quantifizierten diffusen und punktuellen P-Immissionen für das EZG Dümmer für die Jahre 2002 und 2006 vorgestellt und mit den erzielten Ergebnissen für die mittleren Bedingungen abgeglichen. Eine Bewertung der Ergebnisse durch einen Frachtabgleich unter Berücksichtigung der Retention in den Gewässern erfolgt in Kap. 3.3.3.

Die nachfolgende Tabelle 32 zeigt die für die Bilanzzeiträume 2002 und 2006 sowie die für mittlere Bedingungen erzielten P-Immissionen im EZG Dümmer nach Eintragspfaden.

Tabelle 32: P-Immissionen nach Pfaden im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung für mittlere Abflussbedingungen sowie die Jahre 2002 und 2006, Bezug Pegel Schäferhof

EZG Dümmer						
Eintragspfad	2002		mittlerer Zustand		2006*	
	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]
Direkteinträge	0,8	2,0	0,6	2,2	0,4	2,9
Abschwemmung	6,7	15,6	2,8	10,7	1,3	9,9
Erosion	13,6	31,7	7,7	29,2	2,5	18,7
Grundwasser	4,6	10,8	3,7	13,8	1,8	13,1
Zwischenabfluss	1,2	2,8	0,9	3,3	0,5	3,8
Dränage	11,5	26,8	8,1	30,8	5,0	37,2
Kläranlagen	1,0	2,4	0,6	2,3	0,8	6,1
Kleinkläranlagen	1,8	4,1	1,1	4,0	0,6	4,3
Urbane Einträge	1,6	3,8	1,0	3,7	0,5	4,0
Summe diffus	38,5	89,8	23,8	90,1	11,5	85,6
Summe punktuell	4,4	10,2	2,6	9,9	1,9	14,4
Summe	42,8	100	26,4	100	13,4	100

*: Erosion berechnet auf Basis der InVeKoS-Daten

Beim Vergleich der erzielten Ergebnisse (alle vor der Bornbachumleitung) fällt die Spannweite der diffusen P-Immissionen auf, die von 11,5 t (2006) bis zu 38,5 t (2002) reicht und folglich um den Faktor 3,4 variiert (Tabelle 28). Ursache hierfür sind u.a. die stark unterschiedlichen Niederschlags- bzw. Abflussbedingungen in den Untersuchungszeiträumen, die das Bilanzmodell berücksichtigt.

Für das abflussstarke Jahr 2002 ($4,7 \text{ m}^3/\text{s}$, etwa 50 % über dem langjährigen MQ von $3,09 \text{ m}^3/\text{s}$) ergeben sich demnach als Summe der P-Immissionen 42,8 t/a, was etwa dem 1,6-fachen der für mittlere Bedingungen ermittelten Fracht entspricht. Bezogen auf die Eintragspfade nehmen dabei vor allem die P-Immissionen über Erosion, Abschwemmung und Dränagen zu, die auch die relevantesten Pfade darstellen. Es dominieren in 2002 die erosiven P-Immissionen mit 13,6 t und einem Anteil von 31,7 %, vor denen über Dränagen verursachten mit 11,5 t und 26,8 % der gesamten P-Immissionen. Die Eintragspfade Abschwemmung und Grundwasser nehmen mit 6,7 bzw. 4,6 t und in der Summe über 26 % die folgenden Plätze ein. Alle restlichen Pfade sind auch in 2002 von untergeordneter Bedeutung (vgl. Bild 33). Im Vergleich zu den P-Emissionen in 2002 haben erneut die P-Immissionen über Dränagen an Bedeutung gewonnen sowie die erosiven verloren (Erläuterung hierzu: vgl. Kap. 3.3.2).

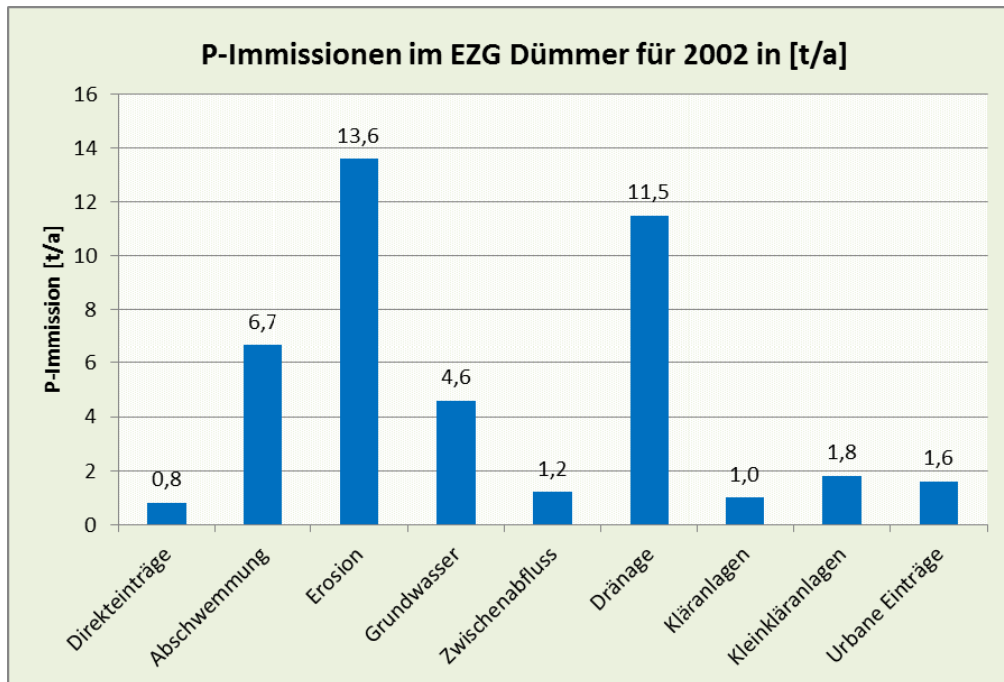


Bild 33: P-Immissionen für 2002 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof

Das Jahr 2006 hingegen weist bei geringen Abflüssen ($1,9 \text{ m}^3/\text{s}$, nur ca. 62 % des langjährigen mittleren Abflusses von $3,09 \text{ m}^3/\text{s}$) auf Basis der Modellergebnisse in der Summe lediglich P-Immissionen von 13,4 t auf. Wie Bild 34 zeigt, stellen in 2006, anders als 2002 und für mittlere Abflussbedingungen, die P-Immissionen über Dränagen mit 5 t (37 % der gesamten Belastung) den deutlich dominierenden Eintragspfad dar.

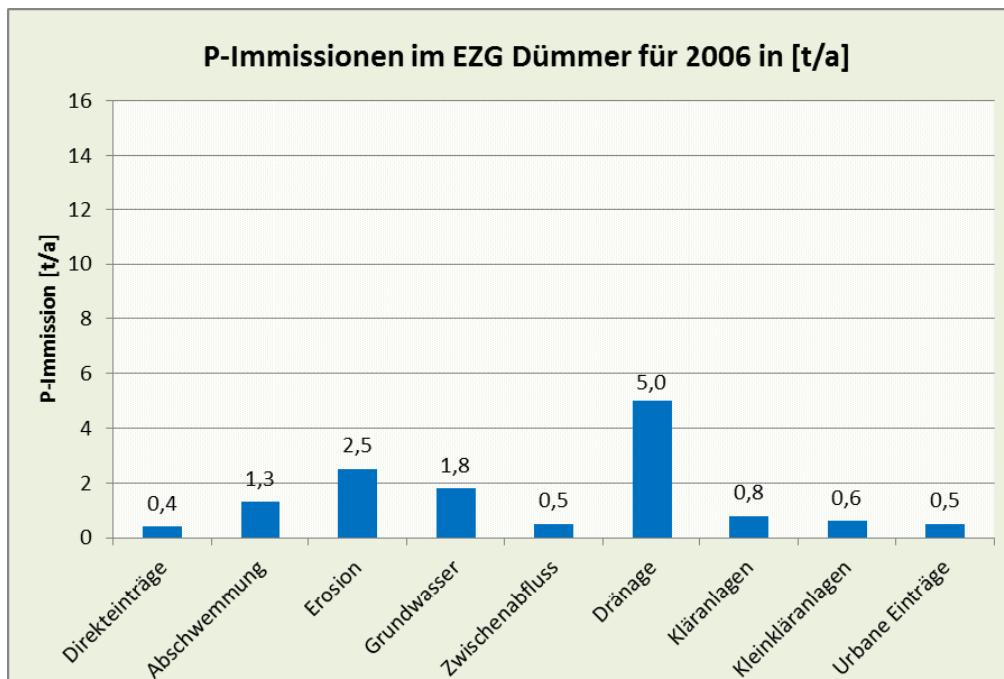


Bild 34: P-Immissionen für 2006 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof; Erosion auf Basis der InVeKoS-Daten ermittelt

Die erosiven P-Immissionen sind in 2006 mit lediglich 2,5 t (18,7 %) erheblich niedriger als im mittleren Zustand und insgesamt von geringerer Bedeutung. Aufgrund der klimatischen Bedingungen in 2006 sind geringe erosive P-Immissionen plausibel, im Vergleich zum mittle-

ren Zustand sind sie jedoch überraschend gering. Eine Ursache hierfür ist u.U. darin zu sehen, dass für 2006 erstmals die InVeKoS-Daten als Grundlage für die Erosionsberechnung verwendet wurden.

Als weitere beachtenswerte Eintragspfade sind auch in 2006 - allerdings in anderer Reihenfolge als zuvor - die Belastungen über Grundwasser und Abschwemmung anzusehen (vgl. Bild 34). Zu beachten ist ferner, dass bei den geringen Abflüssen in 2006 die Bedeutung der punktuellen Immissionen zunimmt, sie liegen bei 14,4 % der P-Gesamtimmission.

In Bild 35 sind die P-Immissionen vor der Bornbachumleitung (bei mittleren Abflussbedingungen sowie den Jahren 2002 und 2006) nochmal vergleichend gegenübergestellt. Es wird abermals deutlich, dass aufgrund der unterschiedlichen Jahreseinflüsse sowohl die Summen der jeweiligen Eintragspfade untereinander als auch ihre Bedeutung zueinander variieren. So ist die über Dränagen verursachte P-Immission in 2006 der mit Abstand dominierende Eintragspfad, während 2002 die erosiven P-Immissionen überwiegen und bei mittleren Abflussbedingungen beide Pfade fast gleichbedeutend sind.

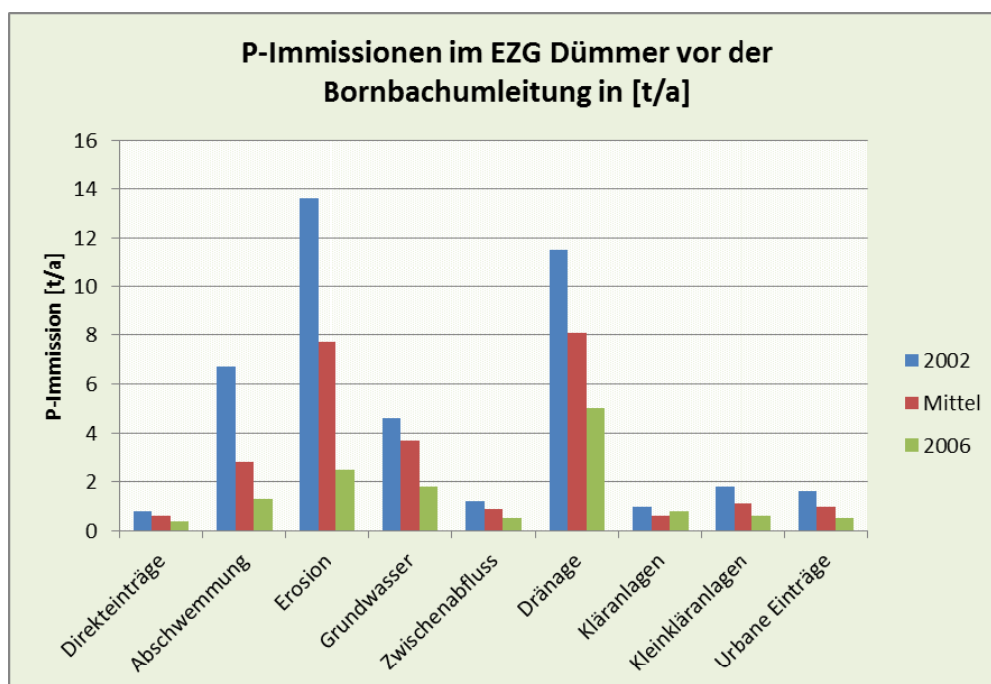


Bild 35: P-Immissionen vor der Bornbachumleitung (bei mittleren Abflussbedingungen sowie den Jahren 2002 und 2006) im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof

3.3.2.4 P-Immissionen im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen sowie für die Jahre 2002 und 2006 pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung

Tabelle 33 bis Tabelle 35 zeigen die P-Immissionen pro Teilgebiet für die 3 betrachteten Zeiträume vor der Bornbachumleitung. Hierbei wird deutlich, dass der Bornbach in Abhängigkeit der jeweils vorherrschenden Bedingungen für einen Anteil der gesamten P-Immissionen - die den Dümmer erreichten - zwischen etwa 42 und 53 % verantwortlich zeichnete.

Somit bestätigen die Modellergebnisse die früheren Erkenntnisse, dass der Bornbach etwa die Hälfte der P-Belastung des Dümmers verursachte.

Weiterhin zeigen Tabelle 33 bis Tabelle 35, dass neben der Gesamtbelastung auch die flächenbezogene Belastung in kg/ha·a in Bezug auf die gesamte Teilgebietsfläche für das TG Bornbach in allen 3 Zeiträumen deutlich am höchsten ist.

Werden diese Ergebnisse mit den in Kap. 3.3.1.4 vorgestellten P-Emissionen pro TG verglichen, zeigen sich deutliche Unterschiede. Erwartungsgemäß sind aufgrund der höheren Retention (große Entfernung zum Pegel Schäferhof) die P-Immissionen aus dem TG Bohmte geringer. Ihr Anteil an der gesamten Belastung beträgt bezogen auf die Immissionen am Beispiel der mittleren Abflussbedingungen 32,8 %, während es bei den Emissionen noch 42,1 % waren. Im Gegenzug nehmen die prozentualen Anteile der dichter am Pegel Schäferhof liegenden TG zu.

Dieses Systemverhalten hat zur Folge, dass bei der Betrachtung der für die P-Belastung des Dümmers relevanten P-Immissionen für alle 3 Zeiträume - anders als bei den P-Emissionen (vgl. Kap. 3.3.1.4) - das TG Bornbach den größten Anteil und somit die höchste P-Belastung aufweist.

Tabelle 33: P-Immissionen pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung bei mittleren Abflussbedingungen

Teilgebiet	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
Bohmte	8,7	32,8	0,49
Schäferhof	2,7	10,0	0,30
Hunteburg	2,7	10,1	0,49
Marler Graben	0,2	0,7	0,31
Bornbach	12,3	46,4	1,56

Tabelle 34: P-Immissionen pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung für 2002

Teilgebiet	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
Bohmte	15,7	36,5	0,88
Schäferhof	4,5	10,4	0,50
Hunteburg	4,5	10,5	0,82
Marler Graben	0,3	0,6	0,44
Bornbach	18,0	41,9	2,29

Tabelle 35: P-Immissionen pro Teilgebiet vor der Bornbachumleitung für 2006

Teilgebiet	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
Bohmte	3,6	26,4	0,20
Schäferhof	1,2	8,8	0,13
Hunteburg	1,5	10,8	0,26
Marler Graben	0,1	0,9	0,19
Bornbach	7,2	53,1	0,91

3.3.3 Bewertung der Modellergebnisse durch Abgleich mit aus Pegeldaten ermittelten Frachten für verschiedene Zeiträume vor der Bornbachumleitung

In diesem Kapitel werden die mit dem Bilanzmodell für die verschiedenen Betrachtungszeiträume im EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung erzielten Ergebnisse der Quantifizierung der diffusen und punktuellen Phosphoreinträge bewertet.

Die Bewertung erfolgt anhand eines Abgleiches der für die Untersuchungsgebiete ermittelten Phosphorimmissionen mit den anhand von Güteuntersuchungen am Auslasspegel hochgerechneten Phosphorfrachten. Die Phosphorimmissionen ergeben sich hierbei direkt aus den Modellergebnissen der Phosphoreinträge (Emissionen) und der modellintern berechneten Retention im Gewässersystem.

Ein solcher Pegelabgleich ist jedoch grundsätzlich mit verschiedenen Problemen behaftet, die sich vor allem auf die meist nur wenigen Güteuntersuchungen (kann zu Ungenauigkeiten bei der Frachtberechnung - vor allem für die P-Fracht - führen), das verwendete Rechenverfahren (hat ebenfalls eine Auswirkung auf die berechnete Fracht) sowie auf die Berücksichtigung der Retention im Fließgewässersystem und die punktuellen Phosphoreinträge beziehen (Details hierzu sind den Kapiteln 2.8 und 2.3 zu entnehmen).

Für den Pegel Schäferhof liegt für den Zeitraum 2003 bis 2011 eine ungewöhnlich gute Messdichte für die Parameter P_{ges} und $PO_4\text{-P}$ vor (beinahe tägliche Messwerte). Auf dieser Grundlage lassen sich die entsprechenden Frachten deutlich zuverlässiger als auf Basis der sonst meist nur vorliegenden monatlichen Messwerte ermitteln. Während gewöhnlich (bei der geringen Datendichte) ein Abgleich der mit dem Bilanzmodell ermittelten Phosphorimmissionen mit den Pegeldaten am Auslasspegel nur auf Basis von Größenordnungen geschehen kann, erlauben die hier recht zuverlässig ermittelten Frachten für den oben genannten Zeitraum einen genaueren Abgleich.

Die Bewertung der Modellergebnisse erfolgt nach KUNST ET AL. (2004) auf Basis der Abweichung der mit dem Bilanzmodell berechneten Frachten von den am Auslasspegel auf Grundlage der Messdaten hochgerechneten Frachten (vgl. Tabelle 36); aus den oben genannten Gründen werden die Anforderungen an die zulässigen Abweichungen der Modellergebnisse erhöht (s. Spalte „Anforderung Dümmer“ in Tabelle 36).

Tabelle 36: Kriterien für die Bewertung der Modellergebnisse der Phosphorfrachten (ergänzt nach KUNST ET AL., 2004)

	Standardwerte	Anforderung Dümmer	
Bewertung	Phosphor	Phosphor	Symbol
	Abweichung [%]	Abweichung [%]	
sehr gut	0 - 15	0 - 10	++
gut	> 15 - 30	> 10 - 20	+
zufriedenstellend	> 30 - 45	> 20 - 35	0
schlecht	> 45 - 60	> 35 - 60	-
sehr schlecht	> 60	> 60	--

Zu beachten ist, dass für diesen Abgleich vor der Bornbachumleitung Modellergebnisse herangezogen werden, die auf unterschiedlichen Datengrundlagen beruhen. Da seit 2006 InVe-KoS-Daten vorliegen, wurden die erosiven P-Emissionen für dieses Jahr unter Berücksichti-

gung der InVeKoS-Daten berechnet. Für 2002 sowie für die mittleren Bedingungen wurden die erosiven P-Emissionen dagegen auf Basis des ursprünglichen Modellansatzes bilanziert (vgl. hierzu auch Kap. 2.6.1).

Im EZG Dümmer wurden für die mittleren Abflussbedingungen insgesamt P-Emissionen von 45,4 t/a ermittelt. Bei einer mittleren Retention von 41,9 % (als Mittel des EZG) folgt hieraus eine Immission von 26,4 t/a, womit die Referenzfracht leicht um 5,7 % unterschätzt wird (vgl. Tabelle 37).

Wie Tabelle 37 weiterhin zeigt, werden neben den mittleren Bedingungen auch die deutlich erhöhten Frachten in 2002 sowie die erheblich geringeren Frachten in 2006 von dem Bilanzmodell für den Auslasspegel Schäferhof mit Abweichungen von lediglich 7,2 % (für 2002) bzw. -9,0 % (für 2006) hervorragend abgebildet.

Tabelle 37: EZG Dümmer: Abgleich der bilanzierten P-Emissionen und berechneten P-Immissionen mit Phosphorfrachten am Gebietsauslass (Pegel Schäferhof) für verschiedene Zeiträume vor der Bornbachumleitung

Gebietsauslass: Pegel Schäferhof			
	2002	mittl. Zustand	2006
Emission [t/a]	69,1	45,4	24,8
Retention [%]	38,0	41,9	46,0
Immission Modell [t/a]	42,8	26,4	13,4
Fracht Pegel [t/a]	40,0	28,0	14,7
Abweichung [%]	7,2	- 5,7	- 9,0
Bewertung Modellgenauigkeit	++	++	++

Fazit:

Die Referenzfrachten vor der Bornbachumleitung werden vom Modell für alle Zeiträume und vor allem für die sehr unterschiedlichen Belastungszustände hervorragend abgebildet. Hieraus lässt sich ableiten, dass das Modell die relevanten landnutzungs- und standortspezifischen Abhängigkeiten, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Höhe des Phosphoreintrages ausüben, berücksichtigt. Insbesondere konnte auch der Einfluss vom TG Bornbach mit seiner eigenen Dynamik sehr gut abgebildet werden. Folglich ist davon auszugehen, dass das Bilanzmodell auch für die Abbildung der Phosphorbilanzen im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung bestens geeignet ist.

3.4 Modellierte Phosphorbelastung im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung

Mit der Umleitung des Bornbachs in 2009 wurde die erste Stufe der Dümmersanierung umgesetzt. Der Bornbach wurde mit der Maßnahme über den Randkanal am Dümmer vorbeigeführt und mündet jetzt unterhalb des Dümmers in die Hunte ein. Somit gehörte das TG Bornbach seitdem nicht mehr zum Einzugsgebiet des Dümmers und wurde folglich bei der Bilanzierung nicht mehr berücksichtigt. Nachfolgend werden die Ergebnisse der mit dem Modell berechneten P-Emissionen und P-Immissionen für die Jahre 2010 und 2011 (jeweils ohne TG Bornbach) vorgestellt und diskutiert.

Die Berechnung der Eintragspfade außer Erosion beruht auf den Angaben zur Landnutzung nach ATKIS, für den Eintragspfad Erosion hingegen wurde ein neuer Ansatz unter Berück-

sichtigung der Angaben zu den Feldblöcken nach InVeKoS implementiert (wie auch bereits für das Jahr 2006).

3.4.1 Phosphoremissionen im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung

Nachdem in Kap. 3.3.1 die ermittelten P-Emissionen vor der Bornbachumleitung vorgestellt wurden, werden in den folgenden Kapiteln die entsprechenden Ergebnisse für den aktuellen Zustand (die Jahre 2010 und 2011) nach der Bornbachumleitung präsentiert.

3.4.1.1 P-Emissionen im EZG Dümmer für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung: Überblick

Die Ergebnisse der Quantifizierung der P-Emissionen für die Jahre 2010 und 2011 auf Basis der zur Verfügung gestellten Daten sind Tabelle 38 zu entnehmen.

Tabelle 38: P-Emissionen nach Pfaden im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung für die Jahre 2010 und 2011, Bezug Pegel Schäferhof

EZG Dümmer				
Eintragspfad	2010		2011	
	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]
Direkteinträge	0,9	3,3	0,7	3,6
Abschwemmung	4,4	16,9	2,9	15,5
Erosion	11,4	44,2	9,0	48,9
Grundwasser	1,4	5,5	0,7	3,9
Zwischenabfluss	0,7	2,9	0,4	2,0
Dränage	2,2	8,7	1,3	6,8
Kläranlagen	1,0	3,9	0,5	2,6
Kleinkläranlagen	2,2	8,5	1,9	10,3
Urbane Einträge	1,6	6,2	1,2	6,5
Summe diffus	21,0	81,5	14,9	80,7
Summe punktuell	4,8	18,5	3,6	19,3
Summe	25,8	100	18,4	100

Erwartungsgemäß sind die gesamten P-Emissionen (jetzt ohne Bornbach), auch wenn das Jahr 2010 leicht überdurchschnittliche Abflüsse aufweist, im Vergleich zum mittleren Zustand vor der Bornbachumleitung (vgl. Bild 16 und Tabelle 24) deutlich zurückgegangen (von ehemals 45,4 auf 25,8 t für 2010). Wird dagegen das Jahr 2006 als Vergleich herangezogen, zeigt sich, dass die P-Emissionen in 2006 trotz des noch angeschlossenen Bornbachs geringfügig niedriger als in 2010 bilanziert wurden. Die Ursache für dieses auf den ersten Blick überraschende Ergebnis ist sicher darin zu sehen, dass das Jahr 2006 durch ungewöhnlich geringe Abflüsse (nur ca. 62 % des langjährigen MQ) geprägt war, so dass als Folge hiervon auch entsprechend geringe P-Emissionen aufgetreten sind.

Das der Bornbach tatsächlich einen großen Einfluss auf die für den Pegel Schäferhof ermittelten Frachten aufwies, lässt sich deutlich anhand der P-Emissionen der Jahre 2010 und 2011 im Vergleich zum mittleren Zustand vor 2009 ablesen. Insbesondere die über unterirdische Pfade resultierenden P-Emissionen (vor allem über Dränagen und Grundwasser) ha-

ben sich massiv verringert: von 18,7 t vor der Bornbachumleitung (mittlerer Zustand) auf etwa 4,3 t in 2010 bzw. 2,4 t in 2011.

Wie in Tabelle 38 ersichtlich ist, dominieren in den Jahren 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung eindeutig die erosiven P-Emissionen; sie betragen 11,4 t (44,2 %) in 2010 bzw. 9,0 t (48,9 % der gesamten P-Emissionen) in 2011. Danach folgen in beiden Jahren die Einträge über Abschwemmung, die in 2010 insgesamt so viel ausmachen wie die Emissionen über Dränagen und Kleinkläranlagen zusammen. Die Verteilung der P-Emissionen der einzelnen Eintragspfade ist für die Jahre 2010 und 2011 Bild 36 zu entnehmen.

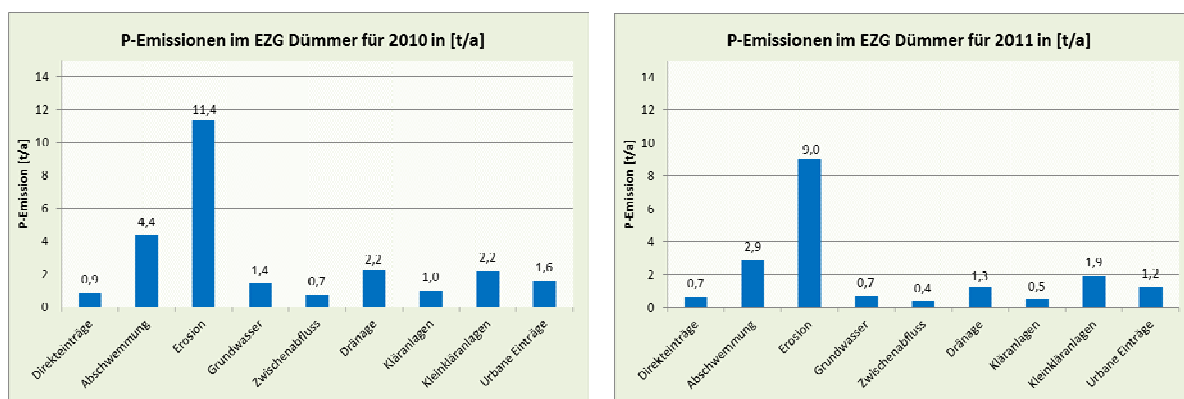


Bild 36: Pfaddifferenzierte P-Emissionen nach der Bornbachumleitung für die Jahre 2010 und 2011 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof

3.4.1.2 P-Emissionen: relevante diffuse Eintragspfade im EZG Dümmer für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung

Im Folgenden wird auf die relevanten diffusen Eintragspfade im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung eingegangen. Hierbei handelt es sich um die P-Emissionen durch Erosion, Abschwemmung und über Dränagen. Diese 3 Pfade dominieren die diffusen P-Emissionen sowohl in 2010 als auch in 2011. Nachfolgend werden exemplarisch die Bedingungen für 2010 (mit höheren P-Emissionen bei höheren Abflüssen als in 2011) vorgestellt.

Erosion

Nach der Bornbachumleitung nimmt die Bedeutung der Erosion im EZG Dümmer prozentual betrachtet zu: der Anteil am Gesamteintrag lag für 2010 bei 44 %, für 2011 bei 49 %, beim mittleren Jahr vor der Bornbachumleitung dagegen nur bei knapp 36 %. Dies liegt darin begründet, dass im Bornbachgebiet die Bedeutung der erosiven Flächen (ganz im Norden im Bereich Dammer Berge, Bild 37) geringer ist als im restlichen EZG (besonders im Bereich des Wiehengebirges). Betrachtet man jedoch die absoluten Mengen, verringern sich die P-Emissionen durch Erosion für 2010 im Vergleich zum mittleren Zustand vor der Bornbachumleitung von 16,3 t auf 11,4 t, d.h. um 30 %. Ursache hierfür ist neben dem Wegfall der erosiven Flächen im Bornbachgebiet die differierende Datengrundlage: im Gegensatz zu der mittleren Betrachtung wurde die Erosionsberechnung für 2010 (ebenso wie für 2006 und 2011) auf Grundlage der InVeKoS-Daten durchgeführt.

Insgesamt resultieren die erosiven P-Emissionen überwiegend aus dem Gebiet südlich des MLK bzw. aus den Hanglagen des Wiehengebirges.

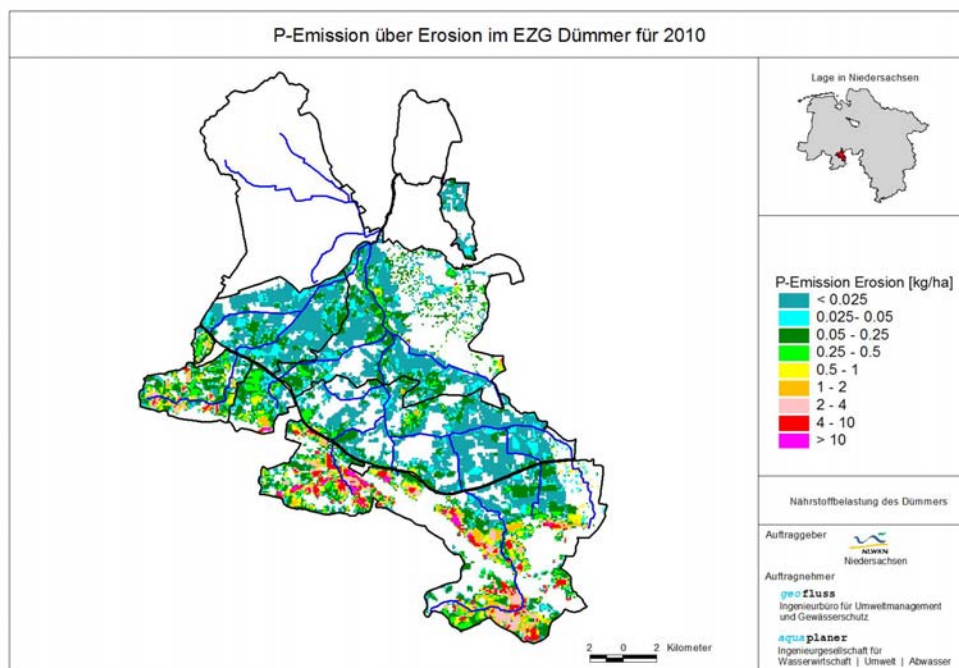


Bild 37: P-Emissionen über Erosion im EZG Dümmer in [kg/ha·a] nach der Bornbachumleitung für 2010

Dränageabfluss

Die diffusen P-Emissionen über Dränagen hatten in den Jahren vor der Bornbachumleitung einen Anteil am Gesamteintrag von 23 (2002) bis 31 % (2006) und stellten somit den zweiten wichtigen Eintragspfad dar. Die P-Emissionen über diesen Pfad betrugen unter mittleren Abflussbedingungen 11,9 t/a und verursachten somit 26,3 % der gesamten P-Emissionen. Durch die Abtrennung des Bornbachs verringerten sich diese Emissionen für 2010 auf vergleichsweise deutlich geringe 2,2 t, die insgesamt nur noch 8,7 % der Gesamteinträge ausmachen; in 2011 betrugen sie 1,3 t bzw. 6,8 %. Diese Verminderung ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass die zahlreichen dränierten Moorflächen des Dammer Moores mit P-Emissionen von verbreitet über 10 kg/ha·a (Bild 20) nun nicht mehr angeschlossen sind. Wie im Vergleich mit Bild 20 zu sehen, zeigt Bild 38 für 2010 nur noch sehr kleinräumig im Vener Moor vergleichbar hohe P-Emissionen von über 10 kg/ha·a. Hohe P-Emissionen von 1 kg/ha·a treten abgesehen vom TEZG Marler Graben nur vereinzelt auf. Dies ist auch der Grund dafür, dass selbst das sehr abflussschwache Jahr 2006 bei den Emissionen über Dränagen mit 7,7 t noch um den Faktor 3,5 höher liegt als das Jahr 2010 (mit leicht erhöhtem Jahresabfluss). Insofern ist davon auszugehen, dass die Umleitung des Bornbachs insbesondere in Bezug auf die Verringerung der P-Emissionen über Dränagen eine hohe Wirkung zeigt, auch wenn langjährige Zeiträume zum Abgleich des mittleren Zustandes nach der Bornbachumleitung noch nicht vorhanden sind.

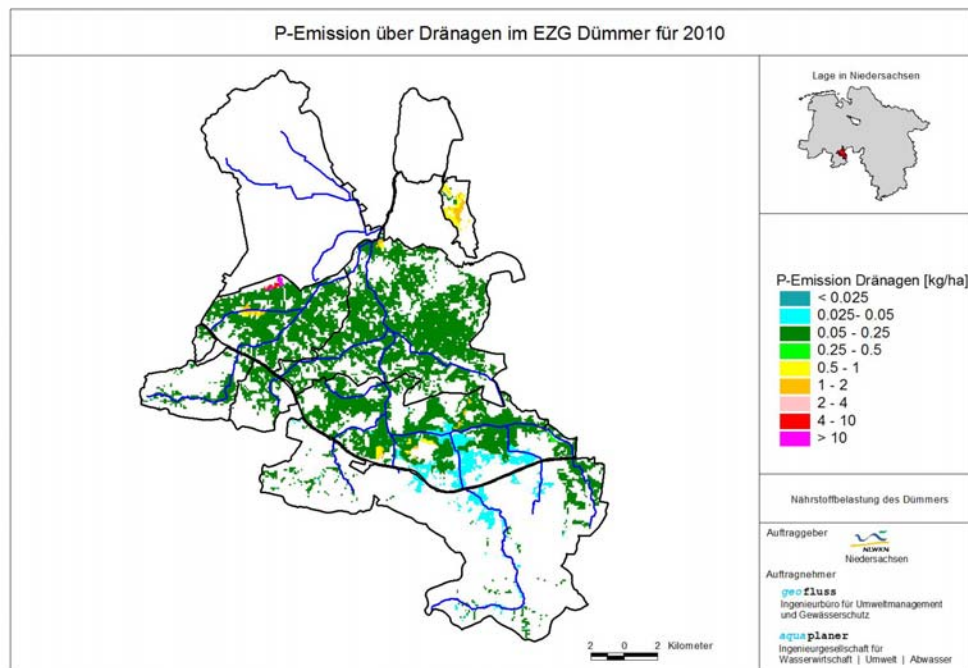


Bild 38: P-Emissionen über Drainageabfluss im EZG Dümmer in [kg/ha·a] nach der Bornbachumleitung für 2010

Abschwemmung

Die P-Emissionen über Abschwemmung liegen nach der Bornbachumleitung für das Jahr 2010 mit 4,4 t geringfügig und für 2011 - vor allem bedingt durch einen geringen Abfluss - mit 2,9 t deutlich niedriger als für das mittlere Jahr (4,8 t vor der Bornbachumleitung).

Bild 39 zeigt die räumliche Verteilung der P-Emissionen über Abschwemmung nach der Bornbachumleitung für 2010.

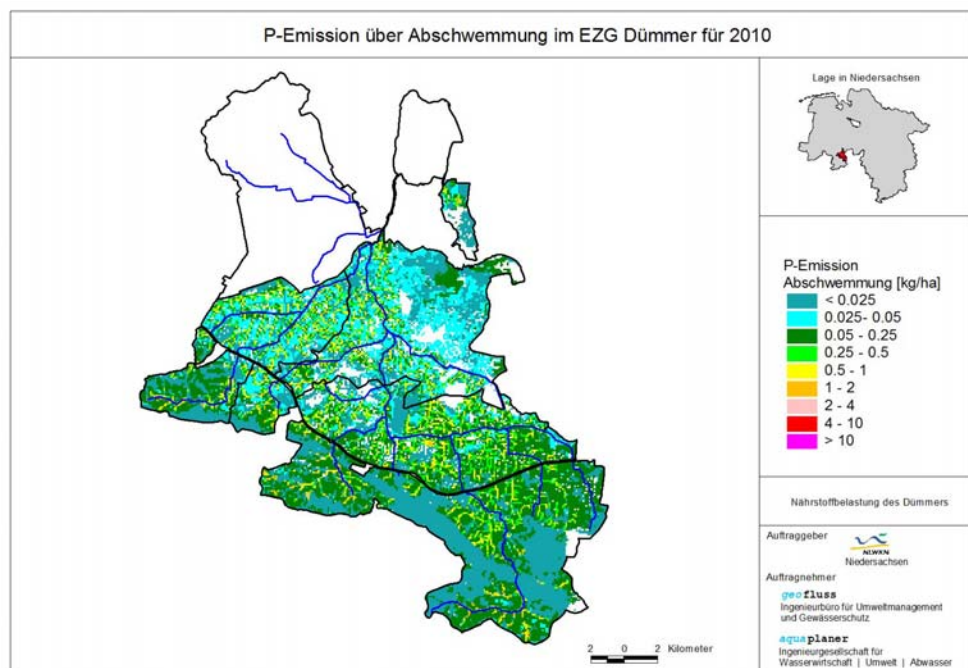


Bild 39: P-Emissionen über Abschwemmung im EZG Dümmer in [kg/ha·a] nach der Bornbachumleitung für 2010

Insgesamt zeigt sich hierbei eine weitgehende Übereinstimmung mit den mittleren Bedingungen: die P-Emissionen über Abschwemmung betragen für den Großteil des EZG weniger als 0,25 kg/ha·a, oftmals liegen sie sogar unter 0,05 kg/ha·a. Daneben treten recht häufig - und bedingt durch die etwas erhöhten Abflüsse öfter als bei mittleren Bedingungen - schmale Bereiche mit durchaus hohen P-Emissionen von über 0,5 kg/ha·a auf. Hierbei handelt es sich ausschließlich um landwirtschaftlich genutzte Flächen in direkter Gewässernähe.

Zu bedenken ist, dass dieser Eintragspfad neben seiner Abhängigkeit vom Niederschlag auch sehr davon beeinflusst ist, zu welchem Zeitpunkt eventuelle Gülleaufbringungen stattfinden. Fallen diese beiden Begebenheiten zusammen, ist bei entsprechender Gewässernähe mit einem u.U. stark erhöhten Eintrag zu rechnen. Eine genaue modelltechnische Abbildung dieses Zusammenhangs war aufgrund fehlender Datengrundlagen (insbesondere zu den tatsächlichen Güllemengen und den genauen Orten und Zeitpunkten der Aufbringung) nicht möglich.

3.4.1.3 P-Emissionen im EZG Dümmer für 2010 und 2011 pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung

Tabelle 39 und Tabelle 40 zeigen die P-Emissionen pro Teilgebiet für die Jahre 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung. Durch den Wegfall des TG Bornbach dominiert nun sehr deutlich das im südlichen EZG Dümmer gelegene TG Bohmte. Es verursacht in diesen beiden Jahren mit 63 bzw. 67 % einen sehr großen Anteil der gesamten P-Emissionen im EZG Dümmer. Dieses ist nicht alleine auf die Größe des TG Bohmte zurückzuführen, da auch die flächenbezogene Belastung in kg/ha·a hier für beide Zeiträume am höchsten ist. Damit deutet sich bereits anhand dieser Ergebnisse an, dass im TG Bohmte wesentliche Belastungsschwerpunkte lokalisiert sind. Ferner zeigen die Ergebnisse für 2010 (Tabelle 39), dass bei leicht erhöhten Abflüssen auch aus dem deutlich kleineren TG Hunteburg hohe flächenbezogene Belastungen, die nur geringfügig niedriger als beim TG Bohmte sind, resultieren. Insofern ist auch im TG Hunteburg mit räumlichen Belastungsschwerpunkten zu rechnen.

Tabelle 39: P-Emissionen pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung für 2010

Teilgebiet	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
Bohmte	16,5	63,1	0,92
Schäferhof	4,7	18,2	0,53
Hunteburg	4,6	17,5	0,82
Marler Graben	0,3	1,3	0,54

Tabelle 40: P-Emissionen pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung für 2011

Teilgebiet	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
Bohmte	12,5	66,8	0,70
Schäferhof	2,9	15,7	0,33
Hunteburg	3,0	16,0	0,54
Marler Graben	0,3	1,4	0,44

3.4.2 Phosphorimmissionen im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung

In den vorherigen Kapiteln wurden die ermittelten P-Emissionen, also die vor Ort resultierenden P-Einträge in die Gewässer, vorgestellt. Diese Informationen erlauben es, die räumlichen Schwerpunkte zu identifizieren, von denen besonders hohe P-Einträge in das Gewässersystem im EZG Dümmer erfolgen. Hinsichtlich einer effektiven Minderung der P-Belastung des Dümmer sind derartige Informationen jedoch nicht ausreichend: entscheidend hierfür ist, die Flächen zu identifizieren, von denen die höchsten Frachtanteile - also die höchsten Immissionen - den Dümmer erreichen. Folglich müssen die Emissionen unter Berücksichtigung der Retention (Abbau und Rückhalt im Gewässersystem) als Immissionen ausgedrückt werden (Details zum flächendifferenzierten Retentionsansatz sind Kap. 2.8.1 zu entnehmen).

Die entsprechenden Ergebnisse für die Jahre 2010 und 2011 werden in den nachfolgenden Kapiteln vorgestellt.

3.4.2.1 P-Immissionen im EZG Dümmer für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung: Überblick

Die gesamten P-Immissionen betragen für das Jahr 2010 als Ergebnis der Modellrechnungen 14,4 t. Sie liegen damit trotz leicht überdurchschnittlicher Abflussmengen (bezogen auf das für 2010 relevante EZG) erheblich unter den P-Immissionen von 26,4 t des mittleren Zustandes vor der Bornbachumleitung (gemäß der Modellergebnisse). Für 2011 wurden P-Immissionen von insgesamt 9,0 t modelliert. Diese Ergebnisse zeigen bereits in den ersten Jahren nach der Bornbachumleitung einen deutlichen Effekt dieser Maßnahme.

Die mit Abstand relevantesten Belastungen erfolgen über den Eintragspfad Erosion: sie betragen 5,8 t in 2010 und 4,0 t in 2011 (40 % bzw. 44 % der gesamten P-Immissionen in diesen Jahren). Zweitwichtigster Pfad ist (im Gegensatz zu den Bedingungen vor der Bornbachumleitung) die Abschwemmung mit nun über 17 % bzw. 15 % der Belastung, was 2,5 bzw. 1,4 t entspricht (vgl. Tabelle 41 und Bild 40).

Tabelle 41: P-Immissionen nach Pfaden im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung für die Jahre 2010 und 2011, Bezug Pegel Schäferhof

EZG Dümmer				
Eintragspfad	2010		2011	
	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]
Direkteinträge	0,5	3,4	0,3	3,8
Abschwemmung	2,5	17,4	1,4	15,0
Erosion	5,8	40,0	4,0	43,9
Grundwasser	0,9	6,2	0,4	4,7
Zwischenabfluss	0,4	3,0	0,2	1,9
Dränage	1,5	10,1	0,8	8,8
Kläranlagen	0,6	4,4	0,3	3,0
Kleinkläranlagen	1,3	8,9	1,0	11,6
Urbane Einträge	0,9	6,5	0,6	7,2
Summe diffus	11,6	80,2	7,1	78,3
Summe punktuell	2,9	19,8	2,0	21,7
Summe	14,4	100	9,0	100

Die P-Immissionen über Dränagen liegen dagegen nur noch bei 1,5 bzw. 0,8 t (der größte Verursacher dieser Immissionen vor 2009 - der Bornbach - entwässert nicht mehr den Dümmer). Vor der Bornbachumleitung betrugen diese über Dränagen verursachten P-Immissionen bei mittleren Abflussbedingungen noch mehr als 8 t und waren für 31 % der P-Gesamtmissionen in den Dümmer verantwortlich. Nun spielen sie mit nur noch etwa 10 % eine ähnliche Rolle wie die Belastung über Kleinkläranlagen mit einem Anteil zwischen 9 % und 12 %. Letzteres ist durch die hohe Anzahl von Kleinkläranlagen in diesem Gebiet bedingt (vgl. Kap. 2.7.2). Auch für den Pfad Grundwasser haben sich nach der Bornbachumleitung die P-Immissionen deutlich verringert: lagen sie zuvor noch (für mittlere Abflussbedingungen) bei 3,7 t (fast 14 % der gesamten P-Immissionen im EZG Dümmer), liegen sie in den beiden Jahren nach der Bornbachumleitung nur noch zwischen 0,4 und 0,9 t und bei einem Anteil von 5 bzw. 6 %.

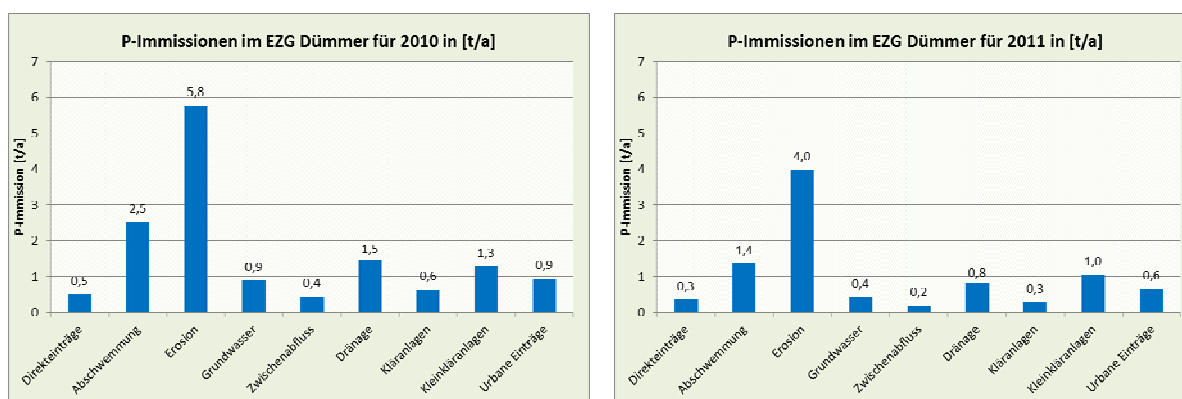


Bild 40: Pfaddifferenzierte P-Immissionen nach der Bornbachumleitung für die Jahre 2010 und 2011 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof

Diese Ergebnisse zeigen den deutlich positiven Effekt der Bornbachumleitung auf die P-Belastungssituation des Dümmer. Erwartungsgemäß haben sich vor allem die über die unterirdischen Pfade Drainage-, Grundwasser- und Zwischenabfluss resultierenden P-Immissionen erheblich vermindert (von vor der Bornbachumleitung in der Summe 12,7 t bei mittleren Abflussbedingungen auf nach der Bornbachumleitung 2,8 t in 2010 bei leicht überdurchschnittlichen Abflussmengen bzw. 1,4 t in 2011 bei geringen Abflussmengen). Verursacht wurden diese hohen unterirdischen P-Immissionen (vor der Bornbachumleitung) durch die großflächigen und in landwirtschaftlicher Nutzung befindlichen Hoch- und Niedermoorflächen im Teilgebiet Bornbach.

Bild 41 zeigt die räumliche Verteilung der gesamten P-Immissionen für das Jahr 2010 im EZG Dümmer. Deutlich zu erkennen sind hohe Belastungen südlich des Mittellandkanals im Bereich des Wiehengebirges, die örtlich höher als 2 und z.T. höher als 5 kg/ha·a liegen und somit trotz der großen Entfernung zum Dümmer und der entsprechend hohen Retention im Gewässersystem relevant zu einer P-Belastung des Dümmer beitragen. Zudem sind - wenn auch kleinräumiger - ähnlich hohe P-Belastungen ganz im Norden des EZG an der Grenze zum ehemaligen TG Bornbach festzustellen.

Dagegen sind die P-Immissionen in weiten Teilen der Hunteniederung mit meist kleiner 0,25 kg/ha·a deutlich geringer. Nur lokal sind hier höhere P-Immissionen zu verzeichnen. Erwartungsgemäß sind zudem die P-Immissionen aus den Waldgebieten sehr gering.

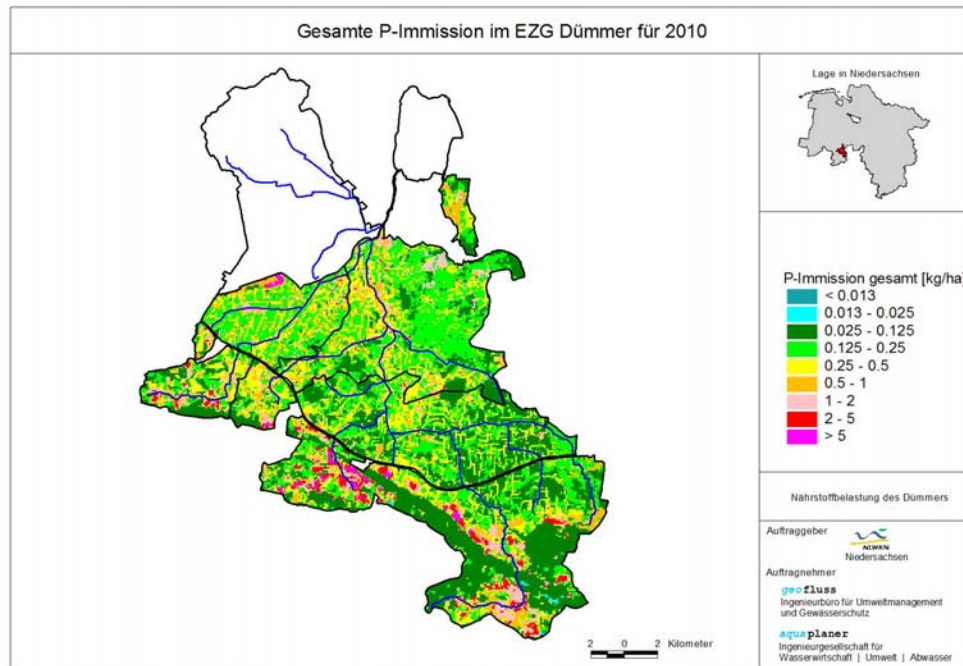


Bild 41: Summe der gesamten P-Immissionen im EZG Dümmer in [kg/ha·a] für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung

Bild 42 zeigt die räumliche Verteilung der diffusen P-Immissionen für das Jahr 2010 im EZG Dümmer. Während für große Bereiche des EZG nur geringe oder keine Unterschiede zwischen den beiden Bildern auszumachen sind, treten vor allem in den Ortschaften erheblich geringere P-Immissionen auf, die entsprechend auf punktuelle Belastungen (Kanalisation) zurückzuführen sind. Daraus ist zu erkennen, dass der überwiegende Teil der P-Immissionen durch diffuse Eintragspfade erfolgt und die punktuellen Immissionen einen eher geringen Anteil (etwa 20 %) der Gesamtbelastung ausmachen.

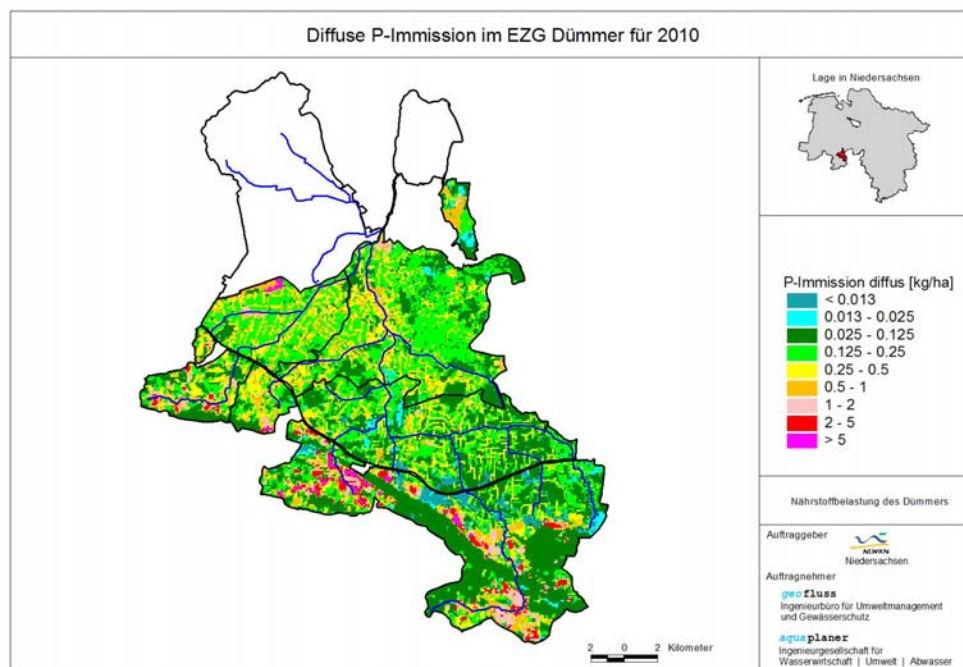


Bild 42: Summe der diffusen P-Immissionen im EZG Dümmer in [kg/ha·a] für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung

3.4.2.2 P-Immissionen: relevante Eintragspfade im EZG Dümmer für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung

Im EZG Dümmer dominieren in 2010 und 2011 die P-Immissionen über Erosion. Daneben ist noch der diffuse Eintragspfad Abschwemmung von nicht unerheblicher Bedeutung. Weitere Pfade, die in einer Größenordnung von etwa 10 % zur Gesamtbelastung betragen, sind Drainageabflüsse und Kleinkläranlagen. Die über sie ermittelten Immissionen werden nachfolgend genauer vorgestellt.

Erosion

Die diffusen P-Immissionen über Erosion stellen im EZG Dümmer für die Jahre 2010 und 2011 den dominierenden Eintragspfad dar. Die P-Belastungen über diesen Pfad betragen 5,8 t in 2010 bzw. 4,0 t in 2011 und verursachen damit 40 % (2010) bzw. 44 % (2011) der gesamten P-Immissionen. Wie Bild 43 anhand der Ergebnisse für 2010 zeigt, treten hohe erosive P-Immissionen vor allem südlich des Mittellandkanals im Bereich des Wiehengebirges auf, Ursache hierfür ist insbesondere die hinreichende Hangneigung und Gewässeranbindung. Dagegen verzeichnen weite Bereiche nördlich des MLK mit relativ geringen Hangneigungen keine oder nur sehr geringe Belastungen über Erosion.

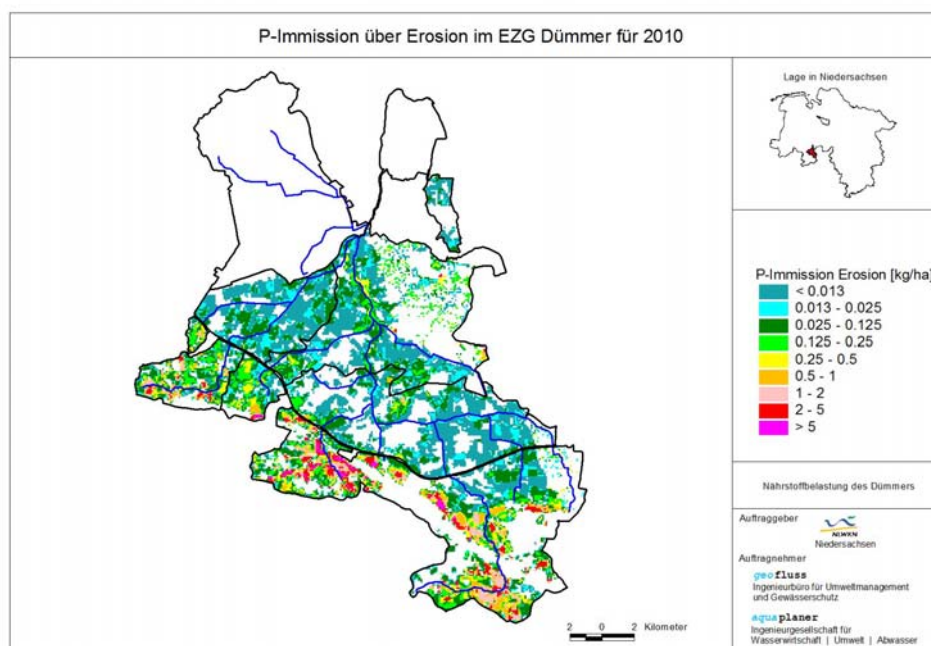


Bild 43: P-Immissionen über Erosion im EZG Dümmer in [kg/ha·a] für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung

Zu beachten ist, dass bei den hier rot und pink gekennzeichneten Flächen mit besonders hohen P-Immissionen über Erosion zwei Bedingungen zusammentreffen: erstens liegt ein hoher Bodenabtrag vor (hohe Erosionsgefährdung der Böden, ggf. in Kombination mit ungünstiger weil zu geringer Bodenbedeckung), zweitens wurde diesen Flächen vor allem auf Grundlage einer sehr geringen Distanz zum nächsten Vorfluter (in der Regel max. 10 m, abgeleitet auf Basis des ATKIS- Gewässernetzes inkl. der Gräben) modellintern eine hohe Anbindung zugeordnet (ist diese in der Realität geringer, sind folglich auch die erosiven P-Immissionen von dem betroffenen Schlag geringer). Dies bedeutet gleichsam, dass z.B. aufgrund fehlender Gräben im ATKIS-Gewässernetz (hier fehlen erfahrungsgemäß nicht wenige

Gräben, dieser Umstand zeigte sich vor Ort auch für das erosionsgefährdete Gebiet im Bereich des Wiehengebirges im EZG Dümmer) und einer daraufhin modellintern nicht vorhandenen Gewässeranbindung für Ackerflächen mit einer hohen oder gar sehr hohen Erosionsgefährdung (und entsprechenden Bodenabträgen) die erosiven P-Immissionen unterschätzt werden können.

Anhand dieser Beispiele wird deutlich, welche immense Bedeutung der im Modellansatz berücksichtigten Gewässeranbindung für die tatsächliche Höhe der erosiven P-Belastung zukommt.

Eine deutliche Erhöhung der Zuverlässigkeit der Modellergebnisse zur P-Belastung über den Pfad Erosion, wie sie für eine schlagbezogene Ausweisung von Belastungsschwerpunkten hinsichtlich der kleinräumigen Zuordnung von Maßnahmen zur effektiven Minderung dieser Belastung wünschenswert ist, kann letztlich nur durch zusätzliche Informationen direkt vor Ort erreicht werden. Von besonderen Interesse sind dabei nach Erkenntnissen von GE-OFLUSS (2009) u.a.:

- die konkrete Entfernung des Vorfluters vom Rand der Ackerschläge,
- der Bewuchs auf diesen Streifen,
- die Berücksichtigung (Kartierung) bisher fehlender Gräben an Ackerschlägen und
- ggf. die Aufnahme linienhafter Erosion.

In Tabelle 42 sind Kennwerte der P-Immissionen über Erosion für das Jahr 2010 dargestellt. Sie betragen im Mittel etwa 0,26 kg/ha·a bezogen auf die gesamte Ackerfläche im EZG Dümmer. Maximal werden P-Immissionen von über 16 kg/ha·a erreicht.

Tabelle 42: Kennwerte der P-Immissionen über Erosion im EZG Dümmer für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung

LN	EZG Dümmer		
	Mittel [kg/ha·a]	Max [kg/ha·a]	Summe [t/a]
Acker	0,26	16	5,8

Abschwemmung

Die diffusen P-Immissionen über Abschwemmung stellen im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung für das Jahr 2010 mit 17,4 % und für 2011 mit 15 % nach der Erosion den zweitwichtigsten Eintragspfad dar. Insgesamt 2,5 t werden über diesen Pfad entsprechend der Modellergebnisse in 2010 in den Dümmer eingetragen (1,4 t in 2011). Abgeschwemmt werden überwiegend Phosphate, die in der Gülle bis zu 80 % als Orthophosphat vorkommen und (im Gegensatz zur Erosion) als gelöstes, nicht partikulär gebundenes P vorliegen. Bild 44 zeigt die räumliche Verteilung der P-Immissionen über Abschwemmung im EZG Dümmer und das Jahr 2010.

Sie betragen für weite Bereiche des EZG Dümmer weniger als 0,12 kg/ha·a. Deutlich zu erkennen sind zudem die fast überall auftretenden „gelben Streifen“, die P-Immissionen zwischen 0,25 und 0,5 kg/ha·a abbilden. Sie resultieren daraus, dass der Eintragspfad Abschwemmung „Verfrachtungen“ von Wirtschaftsdünger beinhaltet und diese nur für LNF in direkte Gewässernähe zugelassen wurden (vgl. Kap. 2.6.3.1). Nur auf wenigen Flächen sind

P-Immissionen > 0,5 kg/ha·a zu verzeichnen. Im übrigen Gebiet sind bei dieser flächenhaften Übersicht Belastungsschwerpunkte visuell nur schwer auszumachen, weshalb wiederum auf die später folgenden Auswertungen pro TEZG verwiesen wird.

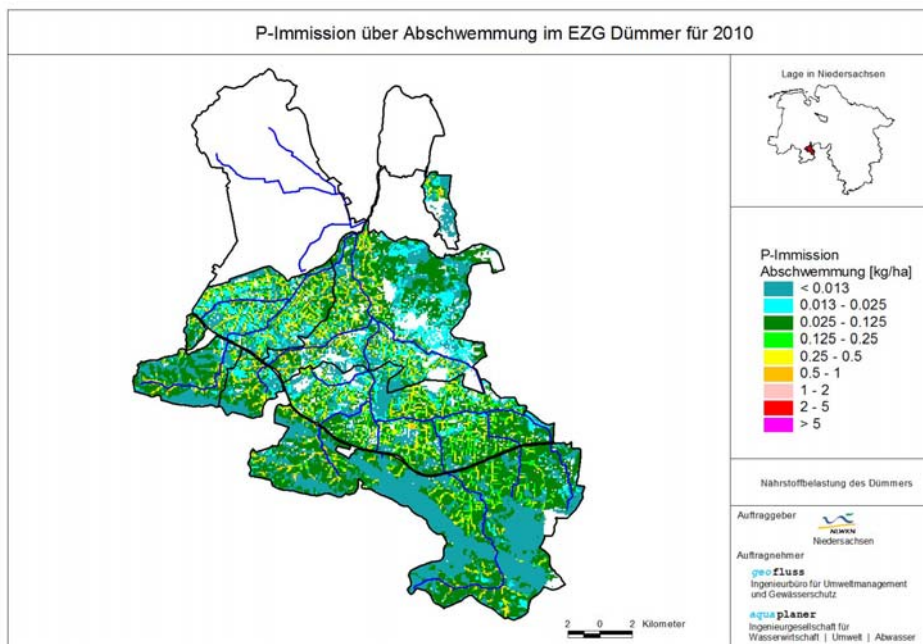


Bild 44: P-Immissionen über Abschwemmung im EZG Dümmer in [kg/ha·a] für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung

Dränageabfluss

P-Immissionen über Dränagen sind nach der Bornbachumleitung mit nur noch 1,5 t in 2010 bzw. 0,8 t in 2011 (vor der Bornbachumleitung bei mittleren Bedingungen 8,1 t) von untergeordneter Bedeutung, ihr Anteil an den gesamten P-Immissionen beträgt lediglich noch etwa 10 % (vor der Bornbachumleitung lag er bei über 30 %).

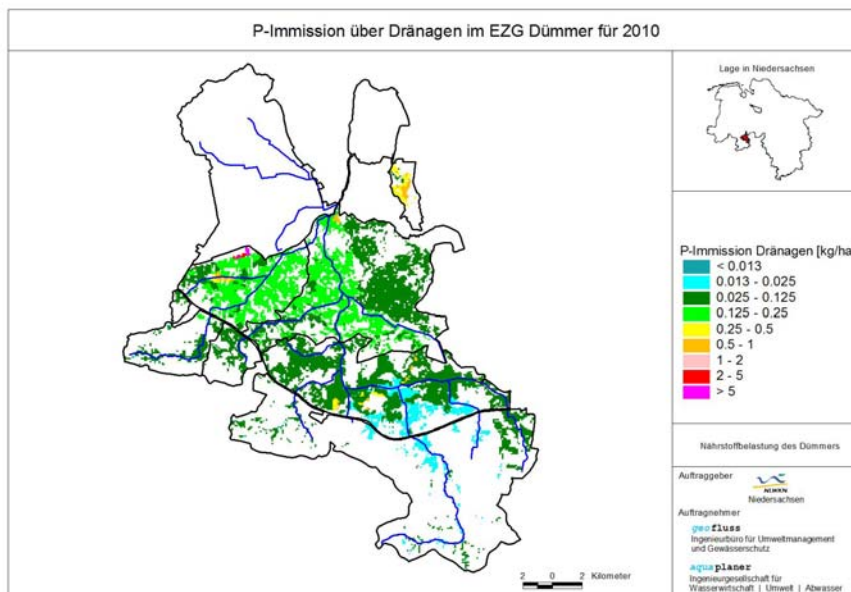


Bild 45: P-Immissionen über Dränageabfluss im EZG Dümmer in [kg/ha·a] für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung

Diese deutliche Verringerung der P-Immissionen über Dränagen liegt vor allem an dem nicht mehr in das EZG Dümmer entwässernde landwirtschaftlich genutzte Dammer Moor. Nur an der nördlichen Grenze des TG Hunteburg sind noch vereinzelt hohe P-Belastungen von über 5 kg/ha·a zu verzeichnen (nördliches Venner Moor an der Grenze zum ehemaligen TG Bornbach, Bild 45).

Im Ergebnis bedeutet dies, dass die Umleitung des Bornbachs hinsichtlich einer Verminderung der P-Immissionen über Dränagen eine hohe Wirkung zeigt (auch wenn langjährige Zeiträume zum Abgleich des mittleren Zustandes nach der Bornbachumleitung noch nicht vorhanden sind).

Wie in Tabelle 43 exemplarisch für das Jahr 2010 dargestellt, betragen die P-Immissionen über Dränagen im Mittel für alle landwirtschaftlichen Nutzflächen etwa 0,12 kg/ha·a; sie liegen damit über 70 % geringer als vor der Bornbachumleitung. Maximal werden laut der Modellergebnisse vereinzelt noch P-Immissionen von über 8 kg/ha·a über diesen Pfad erreicht. Derart hohe Belastungen über Dränagen sind erwartungsgemäß nur von ehemaligen Mooren - die jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung sind - zu verzeichnen.

Tabelle 43: Kennwerte der P-Immissionen über Drainageabfluss im EZG Dümmer für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung

LN	EZG Dümmer		
	Mittel [kg/ha·a]	Max [kg/ha·a]	Summe [t/a]
Acker	0,12	8,6	1,2
Grünland	0,13	3,8	0,3
Gesamt	0,12	8,6	1,5

Kleinkläranlagen

Bild 46 zeigt die Lage der etwa 1750 KKA im EZG Dümmer, über die konkrete Informationen vorlagen (vgl. Kap. 2.7.2). Für die restlichen Gebiete wurden Angaben zur Anzahl der KKA auf Basis von auf Kreisebene vorliegenden Informationen abgeschätzt.

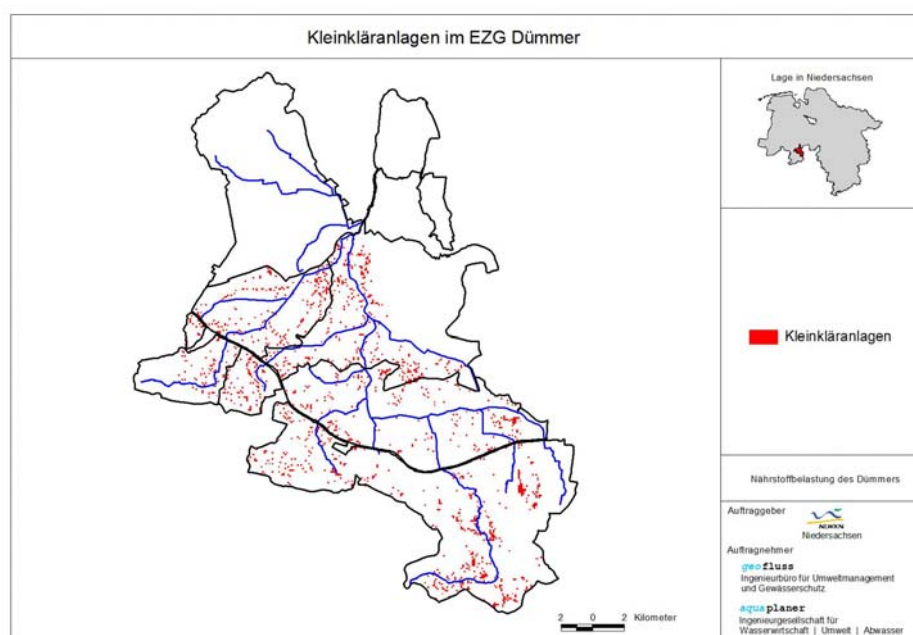


Bild 46: Lage der Kleinkläranlagen im EZG Dümmer

Mit 1,3 t/a stellt dieser Eintragspfad bei den P-Immissionen für das Jahr 2010 knapp 9 % der Gesamteinträge dar (2011: 1 t und fast 12 %) und ist somit nicht unbedeutend. Auch wenn die P-Immissionen u.a. auf Grundlage der Einleitungsart (z.B. macht es einen deutlichen Unterschied für die resultierenden P-Immissionen, ob in das Grundwasser oder direkt in ein Oberflächengewässer eingeleitet wird) ermittelt wurden, lässt sich aus Bild 46 näherungsweise ablesen, in welcher Region derartige Belastungen ggf. eine gewisse Bedeutung haben.

3.4.2.3 P-Immissionen im EZG Dümmer für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung

Tabelle 44 und Tabelle 45 zeigen die P-Immissionen pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung für 2010 und 2011. Ohne den Bornbach weist nun das TG Bohmte mit 56 % den größten Belastungsanteil (Immissionen) auf. Zurückzuführen ist dies auf den hohen Anteil erosiver P-Immissionen aus diesem Gebiet. Die flächenbezogene Belastung liegt in den einzelnen Teilgebieten zwischen 0,34 und 0,53 kg/ha·a in 2010 bzw. zwischen 0,23 und 0,34 kg/ha·a in 2011, und damit weit unter dem Niveau des ehemaligen Bornbachs mit 1,56 kg/ha·a (mittlerer Zustand). Es wird außerdem deutlich, dass anders als bei den P-Emissionen in beiden Jahren das TG Hunteburg die höchste Flächenbelastung (0,53 bzw. 0,34 kg/ha·a) aufweist (und nicht mehr das TG Bohmte). Die Ursache hierfür liegt in den unterschiedlichen Retentionen, die für die Flächen im TG Bohmte aufgrund der größeren Entfernung zum Dümmer höher liegen als für die Flächen im TG Hunteburg.

Tabelle 44: P-Immissionen pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung für 2010

Teilgebiet	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
Bohmte	8,2	56,0	0,46
Schäferhof	3,2	22,3	0,37
Hunteburg	3,0	20,3	0,53
Marler Graben	0,2	1,4	0,34

Tabelle 45: P-Immissionen pro Teilgebiet nach der Bornbachumleitung für 2011

Teilgebiet	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
Bohmte	5,1	55,7	0,29
Schäferhof	2,0	21,9	0,23
Hunteburg	1,9	20,7	0,34
Marler Graben	0,2	1,6	0,25

3.4.3 Bewertung der Modellergebnisse durch Abgleich mit aus Pegeldaten ermittelten Frachten für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung

In diesem Kapitel werden die mit dem Bilanzmodell für die Jahre 2010 und 2011 im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung erzielten Ergebnisse der Quantifizierung der diffusen und punktuellen Phosphoreinträge bewertet; die methodischen Grundlagen hierfür sind Kap. 3.3.3 zu entnehmen.

Im EZG Dümmer wurden für 2010 insgesamt P-Emissionen von 25,8 t ermittelt. Bei einer mittleren Retention von 44,2 % (als Mittel des EZG) folgt hieraus eine Immission von 14,4 t,

womit die auf den täglichen Messungen am Pegel Schäferhof beruhende Referenzfracht von 15,4 t leicht um 6,3 % unterschätzt wird (vgl. Tabelle 46).

Für 2011 wurden P-Emissionen von 18,4 t berechnet. Da die Retention in diesem abflussschwachen Jahr mit 50,8 % deutlich höher liegt, resultieren hieraus P-Immissionen von 9 t. Die Abweichung zur Referenzfracht von 10,3 t beträgt somit lediglich 12,2 %.

Insgesamt wird deutlich, dass das verwendete Bilanzmodell auch den P-Belastungszustand nach der Bornbachumleitung gut bis sehr gut abzubilden vermag. Es liegt somit eine weitgehend belastbare Grundlage für die nachfolgende Ausweisung von Belastungsschwerpunkten vor.

Tabelle 46: EZG Dümmer: Abgleich der bilanzierten P-Emissionen und berechneten P-Immissionen mit Phosphorfrachten am Gebietsauslass (Pegel Schäferhof) für die Jahre 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung

	2010	2011
Emission [t/a]	25,8	18,4
Retention [%]	44,2	50,8
Immission Modell [t/a]	14,4	9,0
Fracht Pegel [t/a]	15,4	10,3
Abweichung [%]	- 6,3	- 12,2
Bewertung Modellgenauigkeit	++	+

3.5 Exkurs: Einträge über Winderosion

Winderosion kann dann verstärkt erfolgen, wenn hohe Windgeschwindigkeiten mit hoher Erodierbarkeit des Bodens, geringer Schutzwirkung durch angebaute Fruchtarten (z.B. Mais oder Hackfrüchte) und durch (fehlende) Windhindernisse einhergehen. GROß (2002) führt an, dass nach SCHÄFER & NEEMANN (1990) Hochrechnungen auf der Basis gemessener Bodenabträge auf winderosionsbedingte Bodenverluste schließen lassen, die denen der Wassererosion gleichkommen können. So entspricht nach KLIK ET. AL. (2000) 1 mm Bodenabtrag pro Hektar 15 Tonnen Abtragsmaterial.

Im Gegensatz zu den zuvor betrachteten Eintragspfaden ist eine Bilanzierung der P-Belastung durch Winderosion zurzeit noch nicht möglich; es kann lediglich eine Gefährdungsabschätzung erfolgen.

Die Ausweisung der Gefährdung durch Winderosion basiert u.a. auf den Daten zur potenziellen Erosionsgefährdung durch Wind (E_{nat}) für Niedersachsen. Die Methodik hierfür ist SCHÄFER ET AL. (2010B) bzw. MÜLLER (2004) zu entnehmen. Es ist zu beachten, dass bei dieser Methodik die angebauten Fruchtarten oder Fruchtfolgen nicht berücksichtigt werden, es sich also um eine potenzielle (maximale) Winderosionsgefährdung handelt. Die in diesen Daten ausgewiesene Nutzung nach Acker und Grünland machte es jedoch möglich, nur die ausgewiesenen Ackerflächen zu berücksichtigen, da davon auszugehen ist, dass bei Dauergrünland mit ganzjähriger Bodenbedeckung Winderosion keine große Rolle spielen dürfte. Zu beachten ist, dass für Gebiete außerhalb von Niedersachsen keine Informationen vorlagen (gilt ebenso für den Marler Graben).

Bild 47 zeigt die Verteilung der Gefährdungsstufen für Ackerflächen im EZG Dümmer. Deutlich sind Bereiche mit hoher (Stufe 4) und sehr hoher Winderosionsgefährdung (Stufe 5) be-

sonders im nordwestlichen EZG zu erkennen. Das liegt darin begründet, dass die Erodierbarkeit der Oberböden ackerbaulich genutzter Moorböden (die hier in hohem Anteil vorhanden sind) grundsätzlich als sehr hoch (Stufe 5) eingestuft wird, auch die Oberböden von Tiefkulturen (wie z.B. im TEZG 27 vorhanden) gelten als hoch erodierbar (MÜLLER, 2004).

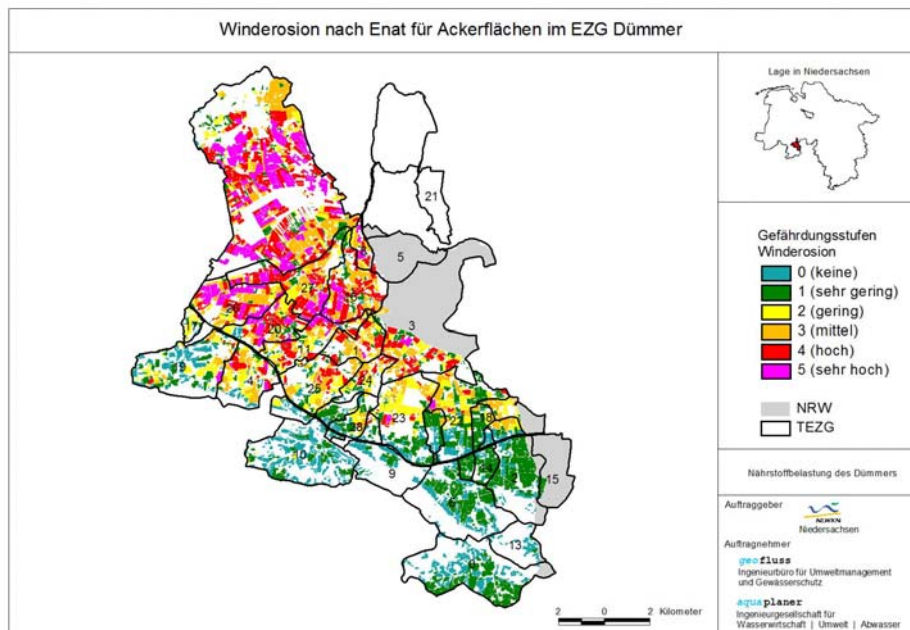


Bild 47: Verteilung der Gefährdungsstufen für Winderosion im EZG Dümmer

Südlich von Bohmte hingegen und insbesondere im Bereich des Wiehengebirges spielt Winderosion keine relevante Rolle.

Bild 48 zeigt die Auswertung der Gefährdungsstufen durch Winderosion bezogen auf die Ackerfläche.

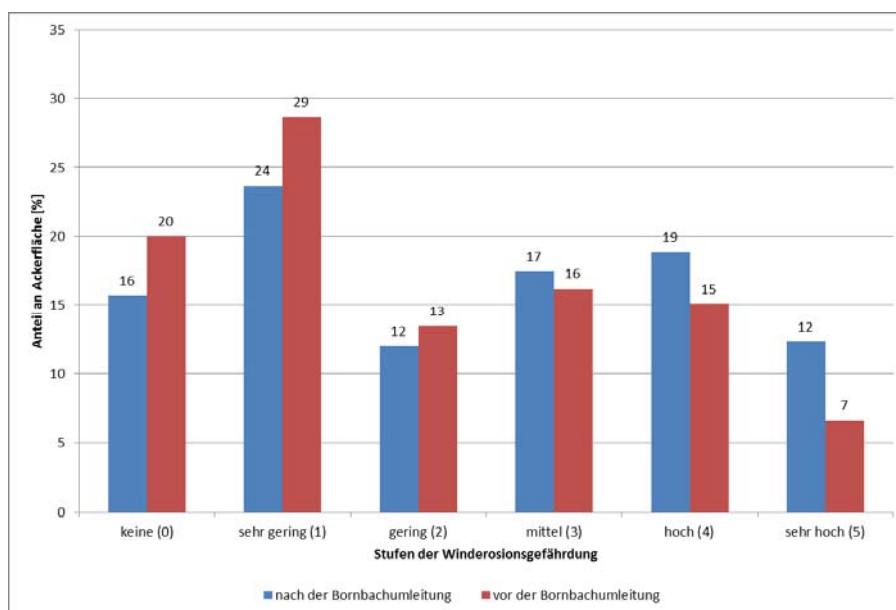


Bild 48: Auswertung der Gefährdungsstufen durch Winderosion pro Ackerfläche

Vor der Bornbachumleitung machte der Anteil der Ackerflächen mit hoher (Stufe 4) bzw. sehr hoher Winderosionsgefährdung (Stufe 5) zusammen 31 % aus (5.978 ha), nach der Bornbachumleitung beläuft sich der Anteil auf 22 % (3.238 ha). Mit der Bornbachumleitung ver-

ringert sich demnach der Anteil von Ackerflächen mit relevanter Erosionsgefährdung erheblich, auch wenn festzustellen ist, dass nach wie vor Winderosion im EZG Dümmer eine Rolle spielen könnte.

Bei der Bewertung der potenziellen Eintragsgefährdung auf der Ebene der TEZG wurde der Anteil der Ackerfläche mit einer relevanten Winderosionsgefährdung (E_{nat} -Stufen 4 und 5) auf die Gewässerdichte im TEZG bezogen (Bild 49). Hintergrund hierfür ist, dass ein Eintrag über Winderosion in das Gewässersystem grundsätzlich umso wahrscheinlicher ist, desto höher die Gewässerdichte ist. Dies betrifft sowohl den direkten Eintrag, als auch die Wahrscheinlichkeit, dass durch Winderosion verfrachtete Partikel über oberflächlich abfließendes Wasser weitertransportiert werden können. Daher wurde hier das vollständige Gewässernetz nach ATKIS, also inkl. der Gräben, berücksichtigt.

Es ist zu erkennen, dass nach der Bornbachumleitung insbesondere die TEZG 26, 27 und 16 hervortreten (für das TEZG 3 ist nur bedingt eine Aussage möglich, da ein großer Anteil in NRW liegt und hier keine Daten vorhanden waren). In diesen TEZG ist sowohl eine hohe Gewässerdichte, als auch ein hoher Anteil an winderosionsgefährdeten Flächen vorhanden, die zu einer Belastung des Dümmers beitragen könnten. Hierbei ist zu beachten, dass wie oben angesprochen die Schutzwirkung durch die Bodenbedeckung der jeweiligen Ackerkulturen nicht berücksichtigt wurde (es handelt sich um die potenzielle Winderosionsgefährdung) und die Grenzen der TEZG als hydrologische Einheiten für Oberflächengewässer insbesondere für windverfrachtete Partikel nicht als absolut feste Grenze zu verstehen sind. Folglich werden hier die Gebiete ausgewiesen, in denen wahrscheinlich mit einer erhöhten Eintragsgefährdung durch Winderosion in den hier lokalisierten Gewässern zu rechnen ist.

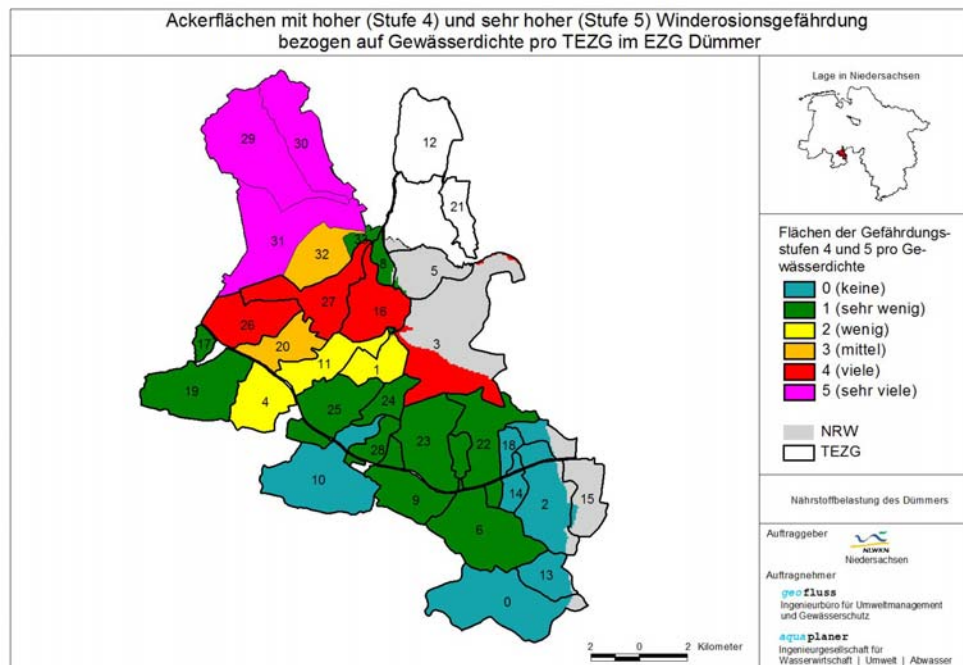


Bild 49: Ackerflächen mit hoher (Stufe 4) und sehr hoher (Stufe 5) Winderosionsgefährdung bezogen auf die Gewässerdichte pro TEZG im EZG Dümmer

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die mit der Bornbachumleitung erzielte Eintragsverminderung für die relevanten diffusen P-Eintragspfade wahrscheinlich auch in hohem Maße für eine Eintragsverminderung bezüglich Winderosion zutrifft (TEZG 29-31). Zwar lie-

gen diese TEZG westlich des Dümmers in Richtung der vorherrschenden Windrichtung zum See, aufgrund der mittleren Entfernung von mehr als 6 km (minimal Entfernung 2,7 km) ist ein direkter Eintrag von dort in den Dümmer jedoch eher unwahrscheinlich. Weiterhin ist festzuhalten, dass insbesondere von den TEZG 26 (Venner Bruchkanal, MLK bis Venner Mühlenbach/Elze), 27 (Elze, Venner Bruchkanal bis Hunte) und 16 (Hunte, Strothkanal bis Elze) eine relevante Belastung für den Dümmer über Winderosion möglich ist. Hier liegen sowohl Flächen mit hoher und sehr hoher Winderosionsgefährdung und eine entsprechende Gewässerdichte vor.

Für weitergehende Untersuchungen dieser Gebiete müsste kleinräumig der Grad der Bodenbedeckung (möglichst für die jeweiligen Schläge) berücksichtigt werden und zudem wäre ein vollständiges Grabensystem hilfreich (beispielsweise durch Kartierung von Gewässern 3. Ordnung vor Ort) da - wie Ortsbegehungen gezeigt haben - die vorhandene Datenlage nicht alle Gewässer erfasst. Auf dieser Grundlage könnten zielgerichtet die Schläge erfasst werden die neben einer hohen Winderosionsgefährdung auch eine entsprechende Entfernung zum Vorfluter aufweisen.

Auf Basis dieser Informationen wäre die gezielte Auswahl von Maßnahmen bezüglich einer Eintragsverminderung durch Winderosion möglich wie beispielsweise die Verringerung der maximal tolerierbaren Feldlänge, Windschutzhindernisse (Windschutzpflanzungen) oder eine entsprechende Bodenbedeckung.

4 Ausweisung von Belastungsschwerpunkten im EZG Dümmer

4.1 Belastungsschwerpunkte nach der Bornbachumleitung

4.1.1 Belastungsschwerpunkte im Jahr 2010

Die Ausweisung der Belastungsschwerpunkte für das Jahr 2010 erfolgt auf Basis der ermittelten P-Immissionen (vgl. Kap. 3.4.2.1). Als räumliche Bewertungsgrößen fungieren die hydrologischen Teileinzugsgebiete, die bereits unter Kap. 2.1 vorgestellt wurden: nach der Umleitung des Bornbachs verbleiben von den ursprünglich 33 (ohne die Seenfläche des Dümmer) noch 28 TEZG.

Im Sinne einer pfadnutzungsbezogenen Belastungsanalyse des EZG Dümmer werden die die P-Immissionen einer mehrstufigen Bewertung unterzogen. Folgende Kriterien finden dabei Berücksichtigung:

1. Summe der gesamten P-Immissionen (P-Fracht) pro TEZG in kg/a.
2. Flächenbezogene Belastung im TEZG durch die gesamten P-Immissionen in kg/ha·a.
3. Summe der diffusen P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in kg/a.
4. Flächenbezogene Belastung von landwirtschaftlichen Nutzflächen im TEZG durch die diffusen P-Immissionen in kg/ha·a.
5. Identifizierung und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte auf Ebene der TEZG nach den Erkenntnissen der Bewertungsschritte 1 bis 4.
6. Pfadbezogene Belastungsanalyse für die identifizierten Belastungsschwerpunkte: Ausweisung der dominierenden und weiteren relevanten Eintragspfade.

Die einzelnen Bewertungsschritte zur pfadbezogenen Ausweisung der Belastungsschwerpunkte für das Jahr 2010 im EZG Dümmer werden nachfolgend vorgestellt. Dabei ist zu beachten, dass die in den folgenden Bildern (Bild 50 bis Bild 53) gewählte Skalierung in erster Linie dazu dient, die relevanten Belastungsunterschiede zwischen den einzelnen TEZG darzustellen. Diese 6-stufigen Skalierungen sind daher nicht identisch mit den abschließenden Bewertungsgrenzen in Schritt 5 (die definierten Bewertungsgrenzen werden dort vorgestellt).

1. Schritt: Bewertung der Summe der gesamten P-Immissionen pro TEZG für 2010

Bild 50 zeigt die gesamten P-Immissionen für die einzelnen TEZG im Jahr 2010. Auch wenn diese Form der Darstellung aufgrund der unterschiedlichen Größe der einzelnen TEZG alleine nur eine eingeschränkte Aussagekraft hat, ermöglicht sie dennoch eine erste grobe Einschätzung darüber, aus welchen Regionen des EZG Dümmer besonders hohe P-Immissionen resultieren. Demnach sind insbesondere der Lecker Mühlenbach (TEZG 10) und der Oberlauf der Hunte (TEZG 0) Bereiche mit sehr hohen P-Immissionen (> 2200 bzw. > 1200 kg). Aber auch der Venner Mühlbach bis zum Mittellandkanal (TEZG 19), die Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte (TEZG 27), der Bereich der Hunte zwischen Glanebach und Wimmerbach (TEZG 6) und der Grenzkanal (TEZG 3) sind für hohe P-Immissionen verantwortlich (jeweils zwischen 800 und 1200 kg). In einem mittleren Bereich bewegen sich nach dieser Darstellung insgesamt 8 TEZG (Nr. 2, 4, 9, 16, 22, 23, 25 und 26 mit P-Immissionen zwischen 400 und 800 kg). Die restlichen TEZG weisen dagegen bezogen auf

die Summe der P-Immissionen geringe bis sehr geringe Werte auf (< 400 bzw. < 200 kg), wobei sie teilweise auch sehr klein sind.

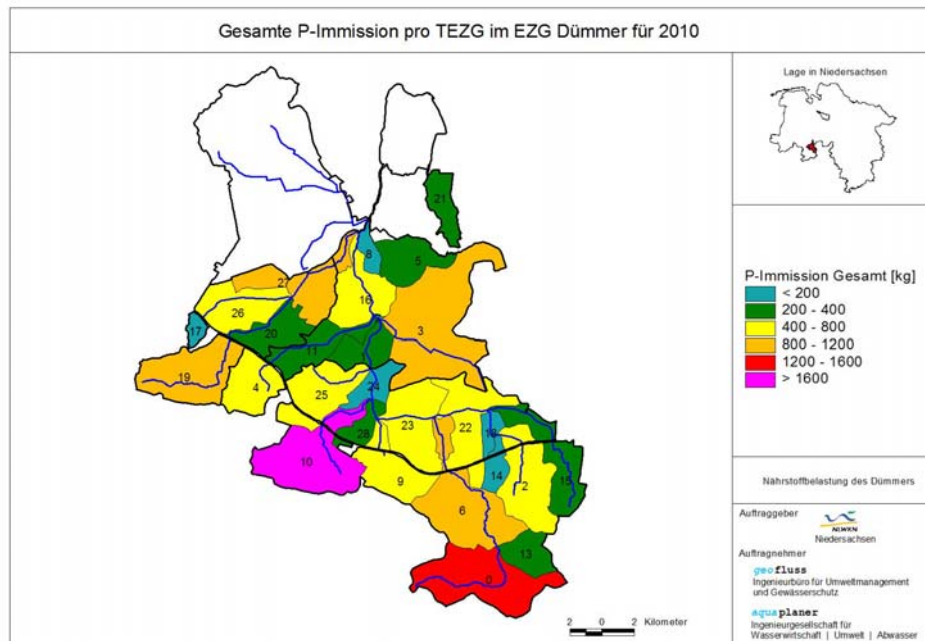


Bild 50: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2010: gesamte P-Immissionen pro TEZG in [kg]

2. Schritt: Bewertung der flächenbezogenen Belastung pro TEZG durch die gesamten P-Immissionen in kg/ha·a für 2010

Im Gegensatz zur Bewertung der gesamten P-Immissionen, die Hinweise auf die TEZG gibt, von denen in der Summe die höchste Belastung ausgeht, liefert die Bewertung der flächenbezogenen Belastung pro TEZG erste Hinweise darauf, wo mögliche Maßnahmen besonders effektiv anzusetzen sind (je höher die P-Immissionen pro ha, desto effektiver kann dort auf kleiner Fläche die Belastung reduziert werden).

Die Ergebnisse der Bewertung der flächenbezogenen Belastung im TEZG durch die gesamten P-Immissionen in kg/ha·a ist Bild 51 zu entnehmen.

Die höchsten flächenbezogenen Belastungen mit mehr als 0,6 kg/ha·a weisen die Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte (TEZG 27) und erneut der Lecker Mühlbach (TEZG 10, knapp unter 1 kg/ha·a) auf. Erhöhte flächenbezogene P-Immissionen zwischen 0,4 und 0,6 kg/ha·a weisen insgesamt 9 TEZG auf: der Venner Mühlbach bis zum Mittellandkanal (TEZG 19), der Oberlauf der Hunte (TEZG 0), der Bereich der Hunte zwischen Glanebach und Wimmerbach (TEZG 6), die Hunte im Bereich Alte Hunte bis Lecker Mühlbach (TEZG 28), die Hunte zwischen Strothkanal und Elze (TEZG 16), die Hunte zwischen Elze und Bornbach (TEZG 8), der Strothbach bis zum MLK (TEZG 4), der Venner Bruchgraben bis zum MLK (TEZG 17) und der Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach (TEZG 9). Somit treten in 3 eher kleinen TEZG deutlich erhöhte flächenbezogene P-Immissionen auf, die bezogen auf die gesamten P-Immissionen nur sehr geringe oder geringe Belastungen aufwiesen (TEZG 8, 17 und 28).

In einem mittleren Bereich bewegen sich nach dieser Darstellung insgesamt 9 TEZG (Nr. 1, 5, 11, 13, 20, 21, 22, 25 und 26 mit flächenbezogenen P-Immissionen zwischen 0,3 und 0,4

kg/ha·a). Die restlichen TEZG weisen hinsichtlich der flächenbezogenen P-Immissionen geringe bis sehr geringe Werte auf ($< 0,3$ bzw. $< 0,2$ kg/ha·a).

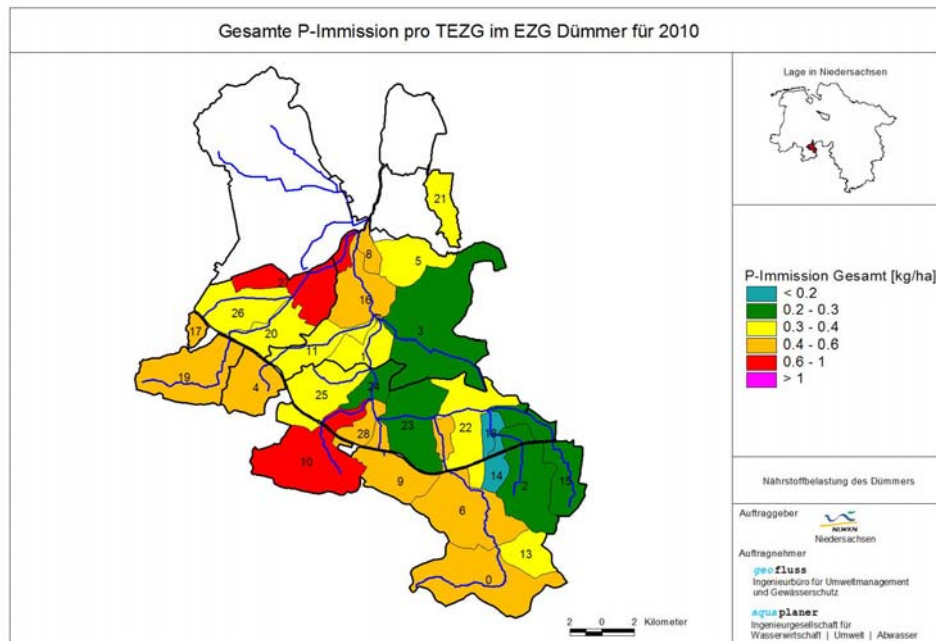


Bild 51: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2010: gesamte P-Immissionen pro TEZG in [kg/ha·a]

3. Schritt: Bewertung der Summe der diffusen P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG für 2010

Da im EZG Dümmer, wie die Ergebnisse aus Kap. 3.4.2 zeigen, die diffusen P-Immissionen überwiegen (sie liegen je nach Betrachtungszeitraum zwischen etwa 80 und 90 %), liegt in ihnen ein besonders hohes Minderungspotenzial. Es werden daher nachfolgend die gesamten diffusen P-Immissionen von den landwirtschaftlichen Nutzflächen (da von ihnen die höchsten P-Immissionen ausgehen) pro TEZG bewertet. Die entsprechenden Ergebnisse der Bewertung sind in Bild 52 dargestellt. Zu beachten ist dabei, dass hier die gleiche Skalierung wie bei den gesamten P-Immissionen gewählt wurde; somit weisen gleiche Klassen (Farben!) für dieselben TEZG in Bild 50 und Bild 52 darauf hin, dass der Anteil der diffusen Belastung von den landwirtschaftlichen Nutzflächen (LNF) an der gesamten P-Immission in diesen TEZG sehr hoch ist (und alle weiteren Belastungen folglich eine untergeordnete Rolle spielen).

Die deutlich höchsten diffusen P-Immissionen von LNF resultieren demnach erneut aus dem Gebiet Lecker Mühlenbach (TEZG 10, etwa 1800 kg). Danach folgen mit über 900 kg die TEZG 0 und 6 (Hunte Oberlauf und Hunte zwischen Glanebach und Wimmerbach). Im mittleren Bereich mit jeweils über 600 kg folgen die Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte (TEZG 27), der Venner Mühlenbach bis zum MLK (TEZG 19) und der Grenzkanal (TEZG 3). Ebenfalls noch im mittleren Bereich liegt das TEZG 9 (Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach). Relativ knapp unter der hier festgelegten Klassengrenze von 400 kg liegen die TEZG 4, 16, 25 und 26. Durchaus noch relevante diffuse P-Immissionen von LNF von über 250 kg sind von den TEZG 2, 11 und 23 zu verzeichnen. In allem anderen TEZG liegen die diffusen P-Immissionen mehr oder weniger deutlich darunter und sind somit hinsichtlich der P-Belastung des Dümmer nur noch eingeschränkt von Bedeutung.

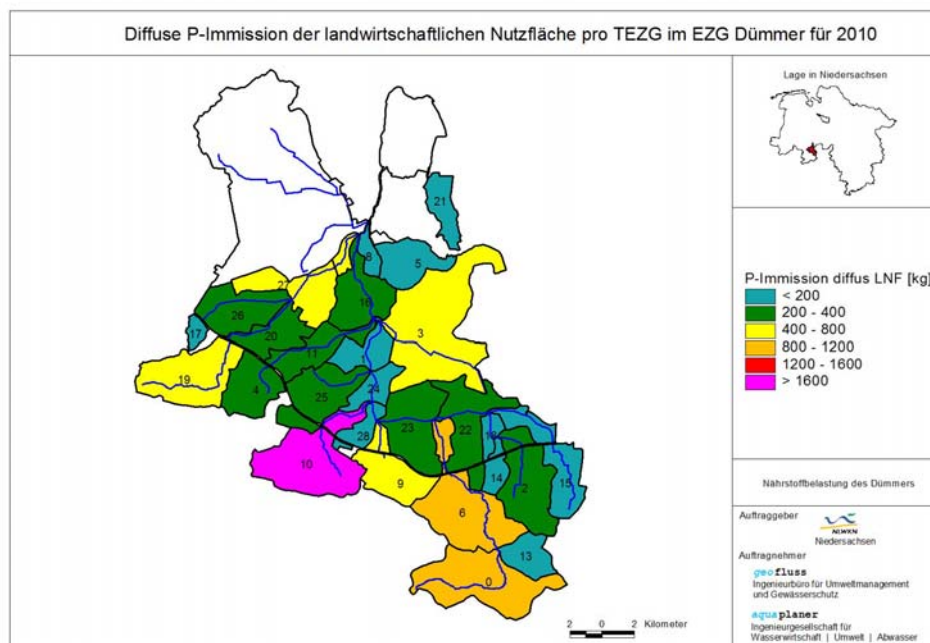


Bild 52: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2010: gesamte diffuse P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in [kg]

4. Schritt: Bewertung der flächenbezogenen Belastung von landwirtschaftlichen Nutzflächen im TEZG durch diffuse P-Immissionen in kg/ha·a für 2010

Die Bewertung der flächenbezogenen Belastung von landwirtschaftlichen Nutzflächen durch diffuse P-Immissionen ermöglicht die Ausweisung der TEZG, in denen Maßnahmen zur Minderung diffuser Belastungen besonders effektiv eingesetzt werden können.

Wie Bild 53 zu entnehmen ist, weist neben dem TEZG 9 (Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach) auch für dieses Bewertungskriterium erneut der Lecker Mühlenbach (TEZG 10) die höchste Belastung auf. Besonders hohe diffuse P-Immissionen von den LNF sind weiterhin im Bereich des Hunte Oberlaufes (TEZG 0), im weiteren Verlauf der Hunte (TEZG 6, Hunte zwischen Glanebach und Wimmerbach), in den Bereichen Glanebach (TEZG 13) und Venner Mühlenbach bis zum MLK (TEZG 19) sowie an der Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte zu verzeichnen. Relativ hohe flächenbezogene diffuse Belastungen von LNF treten ferner am Strothbach bis zum MLK (TEZG 4), am Venner Bruchgraben bis zum MLK (TEZG 17) und im TEZG 8 (Hunte zwischen Elze und dem ehemaligen Zulauf des Bornbachs) auf.

In diesen TEZG können folglich Maßnahmen zur Minderung diffuser Belastungen von LNF besonders effektiv eingesetzt werden.

In 7 weiteren TEZG sind mittelhohe diffuse P-Immissionen von LNF zu verzeichnen (TEZG 1, 11, 16, 20, 21 und 26). In den restlichen TEZG, die im Wesentlichen die Hunteniederung ausmachen, sind dagegen nur geringe oder sehr geringe diffuse P-Immissionen von LNF festzustellen.

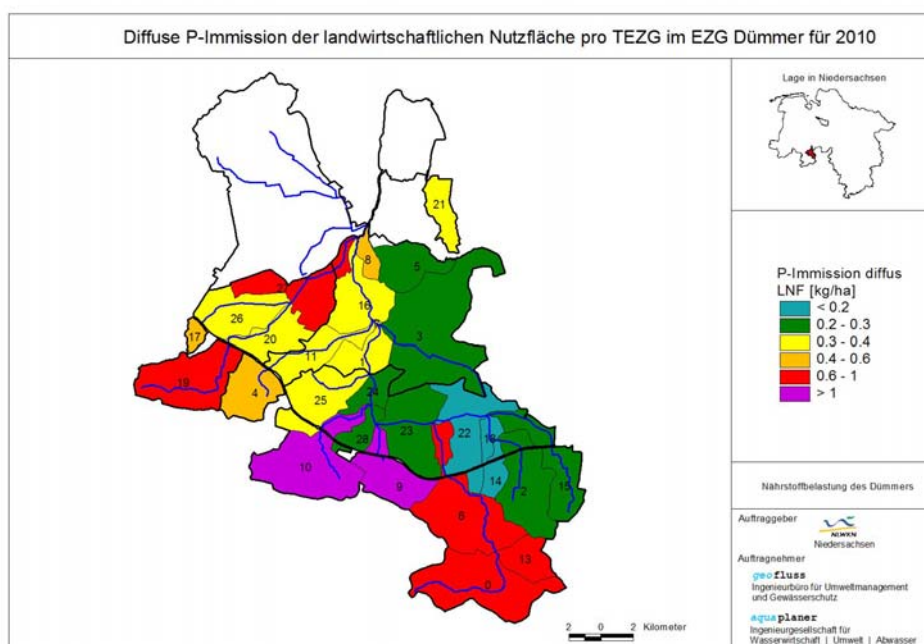


Bild 53: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2010: gesamte diffuse P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in [kg/ha·a]

5. Schritt: Identifizierung und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte auf Ebene der TEZG nach den Erkenntnissen der Bewertungsschritte 1 bis 4 für 2010

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Bewertungsschritte 1 bis 4 erfolgt in diesem Abschnitt die Identifizierung und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für das Jahr 2010 auf Ebene der TEZG. Wie bereits oben angemerkt, finden hierzu definierte Kriterien Anwendung:

- die Bewertung der gesamten sowie der diffusen P-Immissionen der LNF pro TEZG erfolgt in Abhängigkeit ihres prozentualen Anteils an den jeweiligen Belastungen im gesamten EZG Dümmer gemäß Tabelle 47 und
- die Bewertung der flächenbezogenen gesamten und diffusen P-Immissionen der LNF pro TEZG erfolgt über definierte Grenzwerte gemäß Tabelle 48.

Tabelle 47: Identifizierung von Belastungsschwerpunkten: Bewertung der gesamten sowie der diffusen P-Immissionen der LNF pro TEZG in Abhängigkeit ihres prozentualen Anteils an den jeweiligen Belastungen im gesamten EZG Dümmer

Prozentualer Anteil der P-Immission des TEZG		Bedeutung für die P-Belastung des Dümmer
von	bis	
0	1	sehr gering
1	2,5	gering
2,5	5	mittel
5	7,5	hoch
7,5	15	sehr hoch
15	100	extrem hoch

Tabelle 48: Identifizierung von Belastungsschwerpunkten: Grenzwerte für die Bewertung der flächenbezogenen gesamten und diffusen P-Immissionen der LNF pro TEZG

Grenzwert P-Immission in kg/ha·a		Bedeutung für die P-Belastung des Dümmers
von	bis	
0	0,15	sehr gering
0,15	0,3	gering
0,3	0,5	mittel
0,5	0,75	hoch
0,75	3	sehr hoch
3	10	extrem hoch

Die nachfolgende Tabelle 49 zeigt das Ergebnis dieser Bewertung zur Identifizierung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer und das Jahr 2010.

Tabelle 49: Identifizierung von Belastungsschwerpunkten: Ergebnis der Bewertung für die Bewertungskriterien 1 bis 4 und das Jahr 2010

TEZG	Belastung durch gesamte P-Immissionen		Belastung durch diffuse P-Immissionen der LNF	
	gesamt in [kg]	flächenhaft in [kg/ha·a]	diffus in [kg]	flächenhaft in [kg/ha·a]
0	sehr hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch
1	gering	mittel	gering	mittel
2	mittel	gering	mittel	gering
3	hoch	gering	hoch	gering
4	mittel	hoch	mittel	hoch
5	gering	mittel	gering	gering
6	sehr hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch
7	sehr gering	mittel	sehr gering	mittel
8	gering	hoch	gering	mittel
9	mittel	hoch	mittel	sehr hoch
10	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch
11	mittel	mittel	mittel	mittel
12	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering
13	gering	mittel	gering	sehr hoch
14	sehr gering	gering	sehr gering	gering
15	gering	gering	gering	gering
16	mittel	mittel	mittel	mittel
17	sehr gering	mittel	sehr gering	hoch
18	sehr gering	gering	sehr gering	gering
19	hoch	mittel	hoch	hoch
20	gering	mittel	gering	mittel
21	gering	mittel	gering	mittel
22	mittel	mittel	gering	gering
23	mittel	gering	mittel	gering
24	gering	gering	sehr gering	gering
25	mittel	mittel	mittel	mittel
26	mittel	mittel	mittel	mittel
27	sehr hoch	sehr hoch	hoch	hoch
28	gering	hoch	sehr gering	gering

Anhand dieser Informationen lassen sich die wesentlichen Belastungsschwerpunkte durch Verknüpfung der 4 einzelnen Bewertungskriterien identifizieren und hinsichtlich ihrer Bedeutung für die P-Belastung des Dümmers in Form eines Rankings darstellen. Zu beachten ist dabei, dass das Kriterium „flächenbezogene diffuse Belastung von LNF“ aufgrund seiner Bedeutung für zielgerichtete und effektive Maßnahmen doppelt gewichtet in die Bewertung ein-

fließt. Tabelle 50 zeigt das Ergebnis dieser abschließenden Bewertung zur Identifizierung und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für 2010. Demnach lassen sich für das Jahr 2010 auf Ebene der TEZG insgesamt 8 Belastungsschwerpunkte lokalisieren. Die in Tabelle 50 ausgewiesene Priorität für Maßnahmen weist darauf hin, in welchen dieser TEZG durch entsprechende Maßnahmen eine besonders große Verminderung der P-Belastung des Dümmers auf vergleichsweise kleiner Fläche erreicht werden kann.

Tabelle 50: Ausweisung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für das Jahr 2010:
Ranking der relevanten TEZG und Bewertung der Priorität für Maßnahmen

Nr. TEZG	Bezeichnung TEZG	Rang	Priorität für Maßnahmen
10	Lecker Mühlenbach	1	sehr hoch
0	Hunte, Quelle bis Glanebach	2	sehr hoch
6	Hunte, Glanebach bis Wimmerbach	3	sehr hoch
27	Elze, Venner Bruchkanal bis Hunte	4	hoch bis sehr hoch
9	Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach	5	hoch
19	Venner Mühlenbach, Quelle bis Mittellandkanal	6	hoch
13	Glanebach	7	mittel bis hoch
4	Strothbach, Quelle bis MLK	8	mittel bis hoch

Die Priorität „sehr hoch“ zeigt dabei an, dass einerseits die P-Belastungen aus diesen TEZG besonders hoch sind. Andererseits ist hier zudem die Flächenbelastung vor allem für die diffusen P-Immissionen von LNF am höchsten, so dass durch flächenbezogene Maßnahmen bereits auf vergleichsweise kleiner Fläche ein großer Effekt hinsichtlich einer Minderung der P-Belastung des Dümmers erzielt werden kann.

Im TEZG 27 wurde die Priorität für Maßnahmen mit „hoch bis sehr hoch“ bewertet. Aus diesem TEZG resultieren auf der einen Seite vergleichbar hohe gesamte P-Immissionen wie aus denen der Ränge 1 bis 3, auf der anderen Seite ist die diffuse Flächenbelastung (deutlich) geringer, so dass hier entsprechende Maßnahmen auf gleicher Fläche eine geringere Effektivität für die Verminderung der P-Belastung aufweisen. Zu beachten ist, dass das TEZG 27 (Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte) der einzige auf Ebene der TEZG ausgewiesene Belastungsschwerpunkt ist, bei dem punktuelle Belastungen aus KA und KKA eine relevante Bedeutung haben; insgesamt verursachen die punktuellen P-Immissionen in TEZG 27 auf Basis der Modellergebnisse einen Anteil von 30 % an den gesamten P-Immissionen.

Den TEZG 9, 19, und 4 wurde eine hohe Priorität für Maßnahmen zugeordnet. Hier sind sowohl die gesamten P-Immissionen mit etwa 600 bis 900 kg pro TEZG als auch die flächenbezogenen Belastungen als hoch (die diffusen flächenbezogenen in TEZG 9 sogar als sehr hoch) einzuordnen. Ebenfalls sehr hoch sind die flächenbezogenen diffusen P-Belastungen aus dem TEZG 13, so dass mögliche Maßnahmen sehr effektiv wären; allerdings resultieren aus diesem eher kleinen TEZG mit ca. 200 kg erheblich niedrigere P-Immissionen, wodurch ein möglicher Effekt auf die Minderung P-Belastung des Dümmers vergleichsweise gering ist, weshalb die Priorität für Maßnahmen nur mit „mittel bis hoch“ eingestuft wurde.

Nicht als Belastungsschwerpunkt wurde das TEZG 3 ausgewiesen, obwohl von dort P-Immissionen von über 900 kg erfolgen. Ursache hierfür ist, dass dieses TEZG mit fast 37 km² das größte im EZG Dümmer ist und folglich die flächenbezogene P-Belastung gering ist.

6. Schritt: pfadbezogene Belastungsanalyse für die identifizierten Belastungsschwerpunkte: Ausweisung der dominierenden und relevanten Eintragspfade für 2010

Im nachfolgenden 6. und letzten Schritt erfolgt auf Grundlage einer pfadbezogenen Belastungsanalyse die Ausweisung der dominierenden sowie ggf. weiterer relevanter Eintragspfade für die oben identifizierten Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für das Jahr 2010. Zuvor werden jedoch zunächst Ergebnisse ausgewählter Eintragspfade auf Ebene der TEZG vorgestellt.

Bild 54 zeigt die modelltechnisch ermittelten erosiven P-Immissionen pro TEZG für 2010. Mit Abstand die höchsten Werte werden mit gut 1,8 t für das TEZG 10 (Lecker Mühlenbach) erzielt, gefolgt von den TEZG 0 und 6 (Hunte zwischen Quelle und Glanebach sowie der weitere Verlauf der Hunte zwischen Glanebach und Wimmerbach) mit über 900 bzw. über 800 kg. Weiterhin sind von den TEZG 19 und 9 (Venner Bruchgraben zwischen Quelle und MLK sowie Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach) hohe erosive P-Immissionen von fast 500 bzw. über 400 kg zu verzeichnen. Erwartungsgemäß liegen somit alle für erosive P-Belastungen relevanten TEZG in dem hügeligen Bereich des Wiehengebirges.

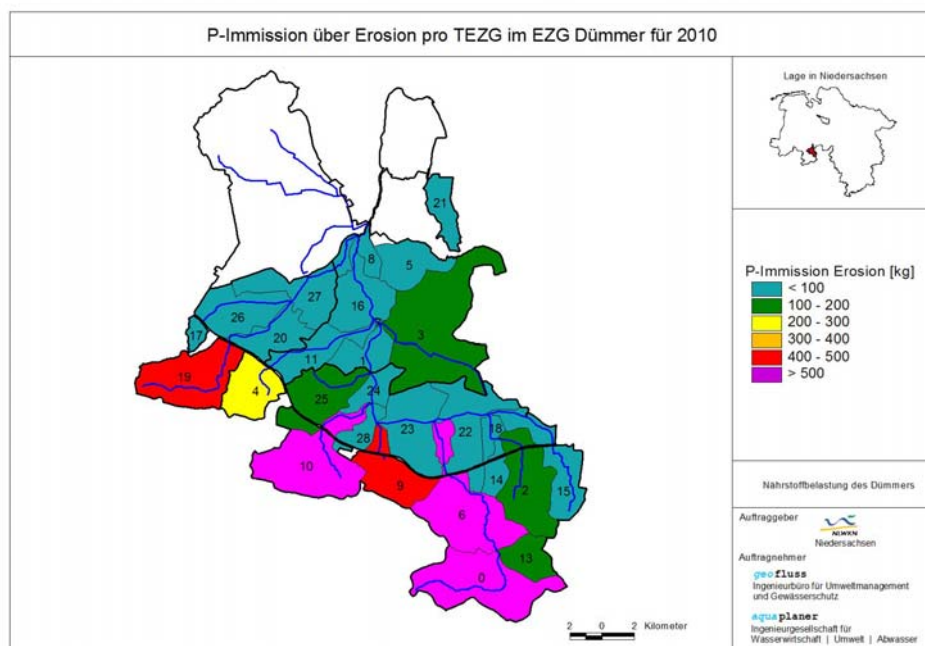


Bild 54: Pfadbezogene Belastungsanalyse im EZG Dümmer im Jahr 2010: erosive P-Immissionen pro TEZG in [kg]

In Bild 55 sind die ermittelten P-Immissionen über den Pfad Abschwemmung dargestellt. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist folgendes unbedingt zu berücksichtigen:

- neben der eigentlichen Abschwemmung, die stark von der vorliegenden Hangneigung abhängt, beinhaltet dieser Pfad zudem eine Verfrachtung von Wirtschaftsdünger (Gülle) in die Gewässer (vgl. Kap. 2.6.3.1),
- zur modelltechnischen Abbildung dieser Verfrachtung lagen leider keine flächenscharfen Angaben zur ausgebrachten Menge an Wirtschaftsdünger vor,

- folglich ist die räumliche Aussagegenauigkeit zu diesen P-Belastungen eingeschränkt, erhöhte Belastungen werden weitgehend in den Gebieten ausgewiesen, in denen besonders viele LNF direkt an Gewässer angrenzen.

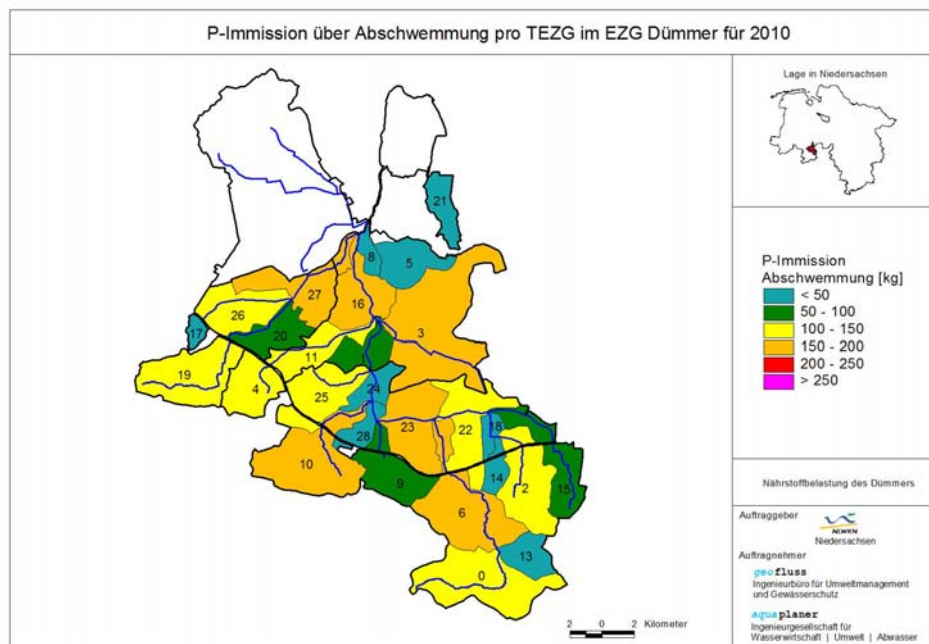


Bild 55: Pfadbezogene Belastungsanalyse im EZG Dümmer im Jahr 2010: P-Immissionen über Abschwemmung pro TEZG in [kg]

Bild 56 sind die P-Immissionen über Dränagen pro TEZG für den Zeitraum 2010 zu entnehmen. Hierbei zeigen sich lediglich im nördlichen EZG des Dümmer einige TEZG mit erhöhten oder gar hohen P-Immissionen für diesen Pfad. Die höchsten P-Immissionen über Dränagen resultieren demnach aus dem TEZG 27 (Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte), verursacht werden sie größtenteils von den ganz im Norden des TEZG gelegenen Hochmoorflächen in landwirtschaftlicher Nutzung. Die in der Summe hohen P-Immissionen aus dem TEZG 3 (Grenzkanal) resultieren in erster Linie aus der Größe des TEZG sowie aus dem hohen Dränageanteil; die flächenbezogenen Immissionen sind dagegen - anders als im TEZG 27 - gering.

In den anderen TEZG spielen P-Immissionen über Dränagen gemäß der Modellergebnisse trotz der hohen Wirtschaftsdüngergaben eine untergeordnete Rolle. Hierfür sind vor allem folgende Ursachen verantwortlich:

- Basierend auf den Erkenntnissen von Herrn Schäfer vom LBEG (der überwiegend sehr geringe P-Konzentrationen in den Dränageabläufen im Gebiet Elze gemessen hat und diese durch hohe Eisenkonzentrationen in den Böden - woraus eine sehr hohe Bindungskapazität für Phosphor resultiert - plausibel erklären konnte) wurde für vergleichbare Böden im gesamten EZG Dümmer eine hohe Bindungskapazität für Phosphor angesetzt.
- Den vor allem in der Hunteniederung weitverbreiteten Böden mit erhöhtem Ton- und Schluffgehalt wird zudem modellintern in Abhängigkeit des tatsächlichen Anteils dieser Fraktionen seit jeher eine erhöhte bis hohe Bindungskapazität für Phosphor zugeordnet; dies erfolgt differenziert für die einzelnen Bodenarten.

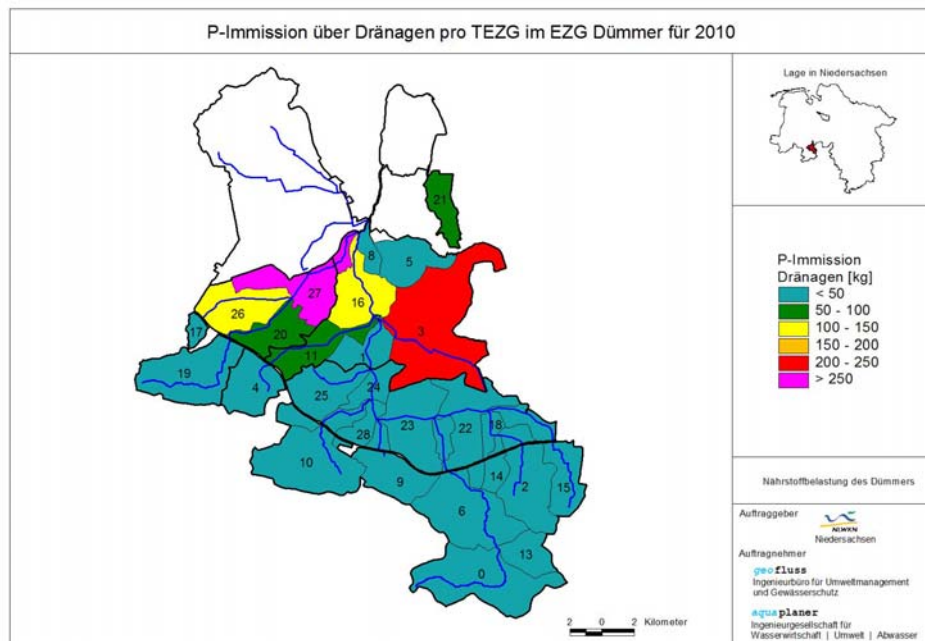


Bild 56: Pfadbezogene Belastungsanalyse im EZG Dümmer im Jahr 2010: P-Immissionen über Dränagen pro TEZG in [kg]

Pfadbezogene Belastungsanalyse 2010

Tabelle 51 zeigt das Ergebnis der pfadbezogenen Belastungsanalyse für die TEZG, die als Belastungsschwerpunkte ausgewiesen wurden. Zu beachten ist dabei, dass als weitere relevante Eintragspfade nur die benannt wurden, die für mindestens 1 % der gesamten im EZG Dümmer ermittelten P-Immissionen verantwortlich zeichnen (entspricht für 2010 mehr als 140 kg, vgl. Tabelle 53). Der dominierende Eintragspfad ist in 7 der 8 Hauptbelastungsgebiete der Pfad Erosion. Die erosiven P-Immissionen dieser 7 TEZG machen mit fast 5 t über 85 % der gesamten erosiven P-Immissionen und etwa 1/3 aller P-Immissionen im EZG Dümmer aus.

Tabelle 51: Pfadbezogene Belastungsanalyse für die als Belastungsschwerpunkte ausgewiesenen TEZG, Bezug 2010

Nr. TEZG	Bezeichnung TEZG	Rang	dominierender Eintragspfad	weitere relevante Eintragspfade
10	Lecker Mühlenbach	1	Erosion	ggf. Abschwemmung
0	Hunte, Quelle bis Glanebach	2	Erosion	keine
6	Hunte, Glanebach bis Wimmerbach	3	Erosion	ggf. Abschwemmung
27	Elze, Venner Bruchkanal bis Hunte	4	Dränagen	ggf. Abschwemmung, Grundwasser, KA, ggf. KKA
9	Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach	5	Erosion	keine
19	Venner Mühlenbach, Quelle bis MLK	6	Erosion	ggf. Abschwemmung
4	Strothbach, Quelle bis MLK	7	Erosion	keine
13	Glanebach	8	Erosion	keine

Detaillierte Modellergebnisse für die P-Immissionen der TEZG für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung

Nachfolgend werden die detaillierten Modellergebnisse für die P-Immissionen der TEZG für das Jahr 2010 nach der Bornbachumleitung, die die Grundlage für die oben durchgeführte pfadbezogene Belastungsanalyse dargestellt haben, vorgestellt.

Sie werden in Tabelle 52 jeweils als Summe in t/a, als Anteil an den gesamten P-Immissionen im EZG Dümmer in % sowie als flächenbezogene Belastung in kg/ha·a angegeben.

Tabelle 52: Gesamte P-Immissionen pro Teileinzugsgebiet nach der Bornbachumleitung für das Jahr 2010

TEZG	Bezeichnung TEZG	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
0	Hunte, Quelle bis Glanebach	1,24	9,9	1,24
1	Hunte, Gräfte bis Grenzkanal	0,24	1,5	0,24
2	Wimmerbach, Quelle bis Mündung Alte Hunte Rabber	0,44	3,0	0,44
3	Grenzkanal	0,95	6,3	0,95
4	Strothbach, Quelle bis MLK	0,62	3,7	0,62
5	Hunte, Bornbach bis Dümmer	0,36	1,5	0,36
6	Hunte, Glanebach bis Wimmerbach	1,16	9,1	1,16
7	Hunte, Grenzkanal bis Strothbach	0,01	0,0	0,01
8	Hunte, Elze bis Bornbach	0,16	1,0	0,16
9	Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach	0,61	4,2	0,61
10	Lecker Mühlenbach	2,27	18,1	2,27
11	Strothkanal, MLK bis Hunte	0,37	2,6	0,37
13	Glanebach	0,20	1,4	0,20
14	Alte Hunte Rabber	0,06	0,4	0,06
15	Heithöfer Bach	0,34	1,9	0,34
16	Hunte, Strothkanal bis Elze	0,54	3,5	0,54
17	Venner Bruchgraben, Quelle bis MLK	0,09	0,6	0,09
18	Wimmerbach, Mündung Alte Hunte Rabber bis Heithöfer Bach	0,05	0,4	0,05
19	Venner Mühlenbach, Quelle bis MLK	0,88	6,7	0,88
20	Venner Mühlenbach, MLK bis Venner Bruchkanal	0,31	2,2	0,31
21	Marler Graben	0,21	1,3	0,21
22	Wimmerbach, Mündung Heithöfer Bach bis Hunte	0,48	2,0	0,48
23	Hunte, Wimmerbach bis Alte Hunte	0,42	2,8	0,42
24	Hunte, Lecker Mühlenbach bis Gräfte	0,15	0,8	0,15
25	Gräfte	0,48	3,4	0,48
26	Venner Bruchkanal, MLK bis Venner Mühlenbach/Elze	0,48	3,6	0,48
27	Elze, Venner Bruchkanal bis Hunte	1,20	6,8	1,20
28	Hunte, Alte Hunte bis Lecker Mühlenbach	0,25	0,7	0,25

In Tabelle 53 sind als Ergänzung zu Tabelle 52 die Modellergebnisse für die P-Immissionen der TEZG pro Eintragspfad für das Jahr 2010 (nach der Bornbachumleitung) dargestellt.

Tabelle 53: Gesamte P-Immissionen nach Eintragspfaden pro Teileinzugsgebiet nach der Bornbachumleitung für das Jahr 2010

TEZG	P-Immission in kg								
	GW	ZW	Dränage	Erosion	Abschw.	Direkt	KA	KKA	Urban
0	10	29	4	940	127	31	0	83	17
1	23	8	50	15	68	16	0	40	17
2	24	13	8	189	103	11	0	45	43
3	106	51	216	134	152	44	0	118	129
4	42	12	34	215	101	24	89	79	23
5	30	17	49	34	24	4	0	14	187
6	15	20	13	831	155	23	0	51	50
7	0	0	2	2	1	0	0	1	0
8	26	3	31	4	47	5	0	43	1
9	10	8	4	426	53	17	0	17	72
10	25	30	14	1821	178	44	16	105	39
11	37	7	72	33	126	28	0	62	5
13	1	7	0	162	14	12	0	3	3
14	6	2	1	7	32	3	0	6	9
15	24	18	45	52	54	9	0	41	99
16	54	8	117	65	155	23	0	91	31
17	4	5	5	41	14	3	0	17	1
18	2	1	6	2	29	2	0	3	0
19	44	28	32	496	148	38	0	63	29
20	37	14	75	14	92	18	0	51	11
21	42	19	84	4	22	4	0	0	33
22	28	6	43	10	140	15	215	15	12
23	33	12	46	46	179	28	0	31	41
24	16	4	24	13	35	7	0	30	22
25	28	9	49	168	116	33	0	52	22
26	78	25	136	15	138	24	0	55	12
27	173	64	354	27	195	23	173	150	40
28	10	2	24	5	35	5	137	19	18

Charakterisierung der als Hauptbelastungsschwerpunkte ausgewiesenen TEZG

Rang 1: Lecker Mühlenbach (TEZG 10)

Das TEZG Lecker Mühlenbach weist eine Größe von 22,9 km² auf. Es liegt im Bereich des Wiehengebirges und zeichnet sich daher durch verbreitet recht steile Hanglagen aus, welche oftmals in landwirtschaftlicher Nutzung sind. Die LNF beträgt 13,5 km². Hiervon wiederum sind 77 % den 3 höchsten Erosionsgefährdungsstufen 4, 5.1 und 5.2 (Einstufung nach DIN 19708, vgl. SCHÄFER ET AL., 2010A) zuzuordnen; der Anteil der beiden höchsten Stufen beträgt dabei ca. 58 % der gesamten LNF. Bei einem Anteil an Ackerland von ca. 75 % der LNF (etwa 10 km²) wird ersichtlich, dass auch viele Ackerflächen den höchsten Erosionsgefährdungsstufen zuzurechnen sind. Dieses ist der Grund dafür, dass der Eintragspfad Erosion in diesem TEZG deutlich dominiert: etwa 1,8 t P-Immissionen wurden für das Jahr 2010 allein für diesen Pfad bilanziert (entspricht 80 % der gesamten P-Immissionen aus diesem TEZG). Insgesamt wurden in diesem TEZG mit fast 2,3 t die deutlich höchsten P-Immissionen ermittelt, wobei punktuelle P-Immissionen mit weniger als 0,2 t kaum eine Rolle spielen.

Fazit: Der Eintragspfad Erosion dominiert die P-Belastungen im TEZG Lecker Mühlenbach sehr deutlich. Gemäß der Modellergebnisse verursacht er etwa 12 % der gesamten P-

Immissionen aus dem EZG Dümmer. Entsprechend sind im TEZG Lecker Mühlenbach insbesondere Maßnahmen zur Minderung erosiver P-Belastungen zu empfehlen. Da die deutlich höchsten und für den Dümmer besonders relevanten P-Frachten überwiegend in den Wintermonaten (Dezember bis Februar) resultieren, erscheinen Maßnahmen, die die Bodenbedeckung in diesem Zeitraum erhöhen und somit Bodenabträge sehr effektiv mindern (wie z.B. Zwischenfruchtanbau oder Mulch- und Direktsaatverfahren), besonders zielführend. Alternativ können erosive Belastungen auch durch ausreichend dimensionierte Randstreifen (Breite und Ausprägung stark von den örtlichen Bedingungen abhängig) zurückgehalten werden.

Rang 2: Hunte, von der Quelle bis zum Glanebach (TEZG 0)

Das TEZG Hunte (von der Quelle bis zum Glanebach) ist mit 23,1 km² fast genauso groß wie TEZG 10 (Lecker Mühlenbach). Es liegt ganz im Süden des Untersuchungsgebietes ebenfalls im Bereich des Wiehengebirges. Die LNF ist mit 11,8 km² etwas geringer als im TEZG 10. Die Erosionsgefährdung auf der LNF ist noch höher als im TEZG 10. Demnach ist mit 97 % fast die gesamte LNF den 3 höchsten Erosionsgefährdungsstufen 4, 5.1 und 5.2 zuzuordnen; allein 66 % entfallen auf die beiden höchsten Stufen. Insofern kann eine relevante erosive P-Immission aus diesem TEZG nicht überraschen. Folglich sind auf Basis der Modellergebnisse mit über 0,9 t etwa 75 % der gesamten und ca. 82 % der diffusen P-Immissionen dieses TEZG dem Pfad Erosion zuzuschreiben. Bei Betrachtung der Erosionsgefährdung in diesem Gebiet mag es überraschen, dass die erosive Belastung nur halb so hoch wie in TEZG 10 ist. Ein Grund hierfür ist in den in TEZG 0 etablierten Maßnahmen zur Minderung erosiver P-Einträge in die Gewässer zu sehen: NAU-Maßnahmen zum Zwischenfruchtanbau wurden 2010 auf etwa doppelt so großer Fläche wie in TEZG 10 durchgeführt, zudem sind nach Auskunft des zuständigen Unterhaltungsverbandes entlang der oberen Hunte verbreitet Randstreifen etabliert. Auch wenn weitere Ursachen für die unterschiedlichen P-Immissionen aus TEZG 0 und 10 verantwortlich sind (wie z.B. die örtlichen Anbaustrukturen und vor allem die Gewässeranbindung), kann dies als Hinweis darauf verstanden werden, dass zusätzliche und effektive Maßnahmen zu einer relevanten Verminderung der erosiven P-Immissionen beitragen werden.

Fazit: Der Eintragspfad Erosion dominiert die P-Belastungen im TEZG Hunte zwischen der Quelle und dem Glanebach sehr deutlich. Gemäß der Modellergebnisse werden über ihn etwa 6,5 % der gesamten P-Immissionen aus dem EZG Dümmer verursacht. Entsprechend sind im TEZG 0 insbesondere Maßnahmen zur Minderung erosiver P-Belastungen zu empfehlen. Nähere Details hierzu sind den obigen Angaben bei Rang 1 (Lecker Mühlenbach) zu entnehmen.

Rang 3: Hunte, vom Glanebach bis zum Wimmerbach (TEZG 6)

Das TEZG der Hunte zwischen Glanebach und Wimmerbach umfasst wie das TEZG 0 ebenfalls 23,1 km². Es grenzt direkt nördlich an das TEZG 0 an und stellt daher bereits einen gewissen Übergang zwischen Wiehengebirge und Hunteniederung dar. Die LNF beträgt 11,6 km², wobei die Ackernutzung mit 92 % deutlich dominiert. Die Erosionsgefährdung auf der LNF ist aufgrund der Lage erheblich geringer als in den TEZG 10 und 0; der Anteil der 3 höchsten Erosionsgefährdungsstufen 4, 5.1 und 5.2 an der gesamten LNF liegt bei 39,5 %,

auf die beiden höchsten Stufen entfallen 25 %. Dennoch wurden hier erosive P-Immissionen in Höhe von 830 kg bilanziert, was gut 72 % der gesamten P-Immissionen aus diesem TEZG entspricht.

Fazit: Der Eintragspfad Erosion dominiert die P-Belastungen im TEZG Hunte zwischen Glanebach und Wimmerbach sehr deutlich. Gemäß der Modellergebnisse verursacht er etwa 5,7 % der gesamten P-Immissionen aus dem EZG Dümmer. Entsprechend sind im TEZG 6 insbesondere Maßnahmen zur Minderung erosiver P-Belastungen zu empfehlen. Nähere Details hierzu sind den obigen Angaben bei Rang 1 (Lecker Mühlenbach) zu entnehmen.

Rang 4: Elze, vom Venner Bruchkanal bis zur Hunte (TEZG 27)

Das TEZG Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte hat eine Ausdehnung von 14,4 km², die LNF umfassen fast 11 km², wobei die Ackerfläche mit 9,7 km² dominiert. Im Gegensatz zu allen anderen ausgewiesenen Belastungsschwerpunkten spielen erosive P-Immissionen in diesem TEZG keine Rolle. Hier dominieren die unterirdischen Eintragspfade Dränagen und Grundwasser sowie, ebenfalls anders als bei den anderen Belastungsschwerpunkten, punktuelle Belastungen über KA und KKA.

Fazit: Den dominierenden Eintragspfad im TEZG Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte stellen die Dränagen dar. Gemäß der Modellergebnisse werden über sie etwa 2,5 % der gesamten P-Immissionen aus dem EZG Dümmer verursacht. Sie resultieren weitgehend aus den ehemaligen Mooren, die jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung sind (vor allem ganz im Norden des TEZG, angrenzend zum TG Bornbach). Um diese P-Immissionen über Dränagen zu vermindern, ist es angeraten, die intensive und dränbedürftige Bewirtschaftung dieser Flächen infrage zu stellen. Eine grundsätzliche Stilllegung oder eine extensive Bewirtschaftung mit Stilllegung der Dränage sind hier als Maßnahmen zu überprüfen. Alternativ kann über die Sammlung und gezielte Behandlung der Dränageabläufe, wie z.B. in Bodenfiltern, eine Verminderung der P-Immissionen erfolgen. Eine weitere und hier aufgrund der Lage der betroffenen Flächen möglicherweise naheliegende Maßnahme besteht darin, die Gräben, die die stark belasteten Dränageabflüsse aufnehmen, in das Bornbacheinzugsgebiet umzuleiten. Damit würden sie nicht mehr dem Dümmer zugeführt.

Rang 5: Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach (TEZG 9)

Das TEZG Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach hat eine Fläche von lediglich 11,9 km², wovon 3,9 km² LNF sind (Ackeranteil: 80 %). Die Erosionsgefährdung der LNF ist hier deutlich geringer als in den TEZG 13, 0 und 10. Der Anteil der 3 höchsten Erosionsgefährdungsstufen liegt bei 48 %, auf die beiden höchsten entfallen immerhin 35,6 %. Entsprechend liegen auch im TEZG 9 relevante erosive P-Immissionen vor. Sie betragen über 400 kg und verursachen 70 % der gesamten P-Immissionen aus TEZG 9.

Fazit: Der Eintragspfad Erosion dominiert die P-Belastungen im TEZG Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach sehr deutlich. Gemäß der Modellergebnisse verursacht er etwa 3 % der gesamten P-Immissionen aus dem EZG Dümmer. Entsprechend sind im TEZG 9 insbesondere Maßnahmen zur Minderung erosiver P-Belastungen zu emp-

fehlen. Nähere Details hierzu sind den obigen Angaben bei Rang 1 (Lecker Mühlenbach) zu entnehmen.

Rang 6: Venner Mühlenbach, von der Quelle bis zum Mittellandkanal (TEZG 19)

Das TEZG Venner Mühlenbach zwischen Quelle und MLK ist 18,1 km² groß, der Anteil der LNF liegt bei gut 10,5 km², wovon 77 % Ackerland sind. Der Anteil der 3 höchsten Erosionsgefährdungsstufen liegt mit 49 % fast genauso hoch wie in TEZG 9, der Anteil der beiden höchsten Stufen ist jedoch mit 20 % deutlich geringer. Auch wenn die erosiven P-Immissionen in diesem TEZG mit etwa 500 kg höher sind als in TEZG 9, sind die flächenbezogenen Immissionen aufgrund der deutlich größeren Ackerfläche erheblich geringer. Eine wesentliche Ursache hierfür ist sicher in den relativ weit verbreitet umgesetzten Erosionsschutzmaßnahmen für 2010 (Zwischenfruchtanbau) im TEZG 19 zu sehen. Der entsprechende Anteil an der Ackerfläche ist der höchste aller TEZG im EZG Dümmer (vgl. Kap. 5).

Fazit: Der Eintragspfad Erosion dominiert die P-Belastungen auch im TEZG Venner Mühlenbach zwischen Quelle und MLK deutlich. Allerdings ist der Anteil im Vergleich zu den anderen TEZG (außer TEZG 27, s.o.) mit 56 % eher gering, was u.a. auf die bereits etablierten Maßnahmen zurückzuführen ist. Gemäß der Modellergebnisse werden über Erosion etwa 3,5 % der gesamten P-Immissionen aus dem EZG Dümmer verursacht. Folglich sind im TEZG 19 weitere Maßnahmen zur Minderung erosiver P-Belastungen zu empfehlen. Nähere Details hierzu sind den obigen Angaben bei Rang 1 (Lecker Mühlenbach) zu entnehmen.

Rang 7: Glanebach (TEZG 13)

Das TEZG Glanebach ist mit einer Fläche von nur 6,6 km² vergleichsweise klein. LNF nehmen dabei einen Raum von 1,4 km² ein, wobei der Anteil an Ackerland mit 81 % bedeutend ist. Charakteristisch für dieses TEZG ist die außergewöhnlich hohe Erosionsgefährdung auf den LNF. Auf fast der gesamten Fläche (98,5 %) treten die 3 höchsten Erosionsgefährdungsstufen 4, 5.1 und 5.2 auf, auf über 90 % sogar nur die beiden höchsten. Entsprechend ist es keine Überraschung, dass in diesem TEZG zusammen mit TEZG 10 die höchsten flächenbezogenen erosiven P-Belastungen vorliegen. Daher können erosionsmindernde Maßnahmen in diesem TEZG, auch wenn die Summe der Immissionen aufgrund der geringen Größe des TEZG „nur“ gut 160 kg beträgt (der Anteil an den gesamten P-Immissionen hingegen 80 %), besonders effektiv sein.

Fazit: Der Eintragspfad Erosion dominiert die P-Belastungen auch im TEZG Glanebach sehr deutlich. Gemäß der Modellergebnisse verursachen die erosiven P-Immissionen aus dem TEZG Glanebach zwar nur etwas über 1 % der gesamten P-Immissionen im EZG Dümmer. Dennoch erscheinen Maßnahmen zur Minderung erosiver P-Belastungen hier aufgrund der sehr hohen erosiven Flächenbelastung sehr empfehlenswert, da sie auf kleiner Fläche besonders effektiv wären. Nähere Details hierzu sind den obigen Angaben bei Rang 1 (Lecker Mühlenbach) zu entnehmen.

Rang 8: Strothbach, von der Quelle bis zum Mittellandkanal (TEZG 4)

Das TEZG Strothbach von der Quelle bis zum MLK umfasst 10,4 km², die Ackerfläche beträgt 5,3 km² (LNF: 7 km²). Der Anteil der 3 höchsten Erosionsgefährdungsstufen 4, 5.1 und

5.2 an der LNF ist mit 11,8 % ebenso erheblich geringer als bei den anderen Belastungsschwerpunkten (Ausnahme: TEZG 27) wie der der beiden höchsten Stufen (nur 6,1 %). Dennoch liegen die erosiven P-Immissionen gemäß der Modellergebnisse bei über 200 kg in 2010 und tragen demnach zu gut 35 % zu den gesamten P-Immissionen des TEZG bei. Zu beachten ist, dass für das TEZG Strothbach (zwischen Quelle und MLK) insgesamt fast 200 kg punktuelle P-Immissionen bilanziert wurden, wobei die beiden Pfade KA und KKA zu 90 bzw. 80 kg beitragen.

Fazit: Auch wenn der Eintragspfad Erosion die P-Belastungen im TEZG Strothbach (zwischen Quelle und MLK) bei weitem nicht so dominiert wie in den anderen Belastungsschwerpunkten (Ausnahme: TEZG 27), verursachen sie gemäß der Modellergebnisse etwa 1,5 % der gesamten P-Immissionen im EZG Dümmer. Daher erscheinen Maßnahmen zur Minderung erosiver P-Belastungen aufgrund der relativ hohen erosiven Flächenbelastung empfehlenswert, da sie auf relativ kleiner Fläche durchaus effektiv wären. Nähere Details hierzu sind den obigen Angaben bei Rang 1 (Lecker Mühlentbach) zu entnehmen.

4.1.2 Belastungsschwerpunkte im Jahr 2011

Die Ausweisung der Belastungsschwerpunkte für das Jahr 2011 erfolgt analog zum Vorgehen für 2010 (vgl. Kap. 4.1.1) und basiert erneut auf den ermittelten P-Immissionen (vgl. Kap. 3.4.2.1). Die räumlichen Bewertungsgrößen sind wiederum die hydrologischen Teileinzugsgebiete.

1. Schritt: Bewertung der Summe der gesamten P-Immissionen pro TEZG für 2011

In Bild 57 sind die gesamten P-Immissionen pro TEZG für 2011 dargestellt.

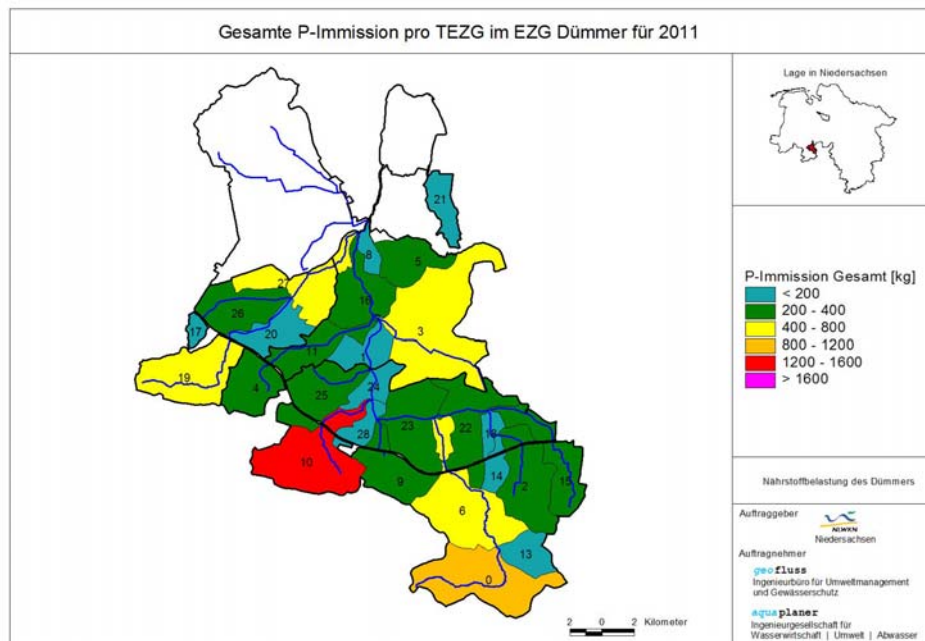


Bild 57: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2011: gesamte P-Immissionen pro TEZG in [kg]

Im Vergleich zu 2010 wird deutlich (s. Bild 50), dass die P-Belastung in 2011 erheblich geringer ist (bedingt vor allem durch die niedrigeren Niederschläge und Abflüsse in 2011). Eine sehr hohe Belastung von über 1200 kg weist nur noch der Lecker Mühlenbach (TEZG 10), eine hohe Belastung zwischen 800 und 1200 kg lediglich der Oberlauf der Hunte (TEZG 0) auf.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die meisten TEZG in dieser Darstellungsform in 2011 eine Belastungsstufe geringer als in 2010 einzustufen sind.

2. Schritt: Bewertung der flächenbezogenen Belastung pro TEZG durch die gesamten P-Immissionen in kg/ha·a für 2011

Die Ergebnisse der Bewertung der flächenbezogenen Belastung pro TEZG durch die gesamten P-Immissionen in kg/ha·a für das Jahr 2011 sind Bild 58 zu entnehmen. Während in 2010 für insgesamt 11 TEZG hohe flächenbezogene P-Immissionen von über 0,4 kg/ha·a verzeichnet wurden (s. Bild 51), sind es in 2011 nur noch die TEZG 10 (Lecker Mühlbach), 27 (Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte) und 0 (Oberlauf der Hunte). Sehr hohe flächenbezogene P-Immissionen von über 0,6 kg/ha·a treten in 2011 gar nicht auf. Wie bereits bei den gesamten P-Immissionen in kg sind auch hier fast alle TEZG um eine Belastungsstufe geringer als in 2010 einzustufen.

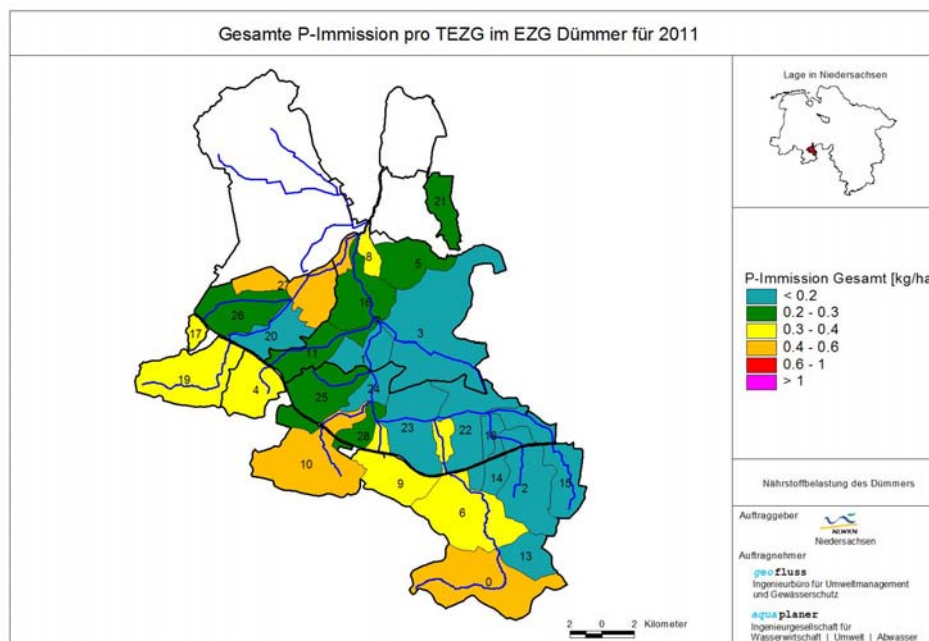


Bild 58: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2011: gesamte P-Immissionen pro TEZG in [kg/ha·a]

3. Schritt: Bewertung der Summe der diffusen P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG für 2011

Die Ergebnisse der Bewertung der gesamten diffusen P-Immissionen von den landwirtschaftlichen Nutzflächen (von denen im EZG Dümmer die höchsten P-Immissionen ausgehen) pro TEZG sind in Bild 59 dargestellt. Zu beachten ist dabei, dass hier die gleiche Skalierung wie bei den gesamten P-Immissionen gewählt wurde; somit weisen gleiche Klassen (Farben!) für dieselben TEZG in Bild 57 und Bild 59 darauf hin, dass der Anteil der diffusen Belastung von

den landwirtschaftlichen Nutzflächen (LNF) an der gesamten P-Immission in diesen TEZG sehr hoch ist (und alle weiteren Belastungen folglich eine untergeordnete Rolle spielen).

Die höchsten diffusen P-Immissionen von LNF resultieren demnach mit fast 1000 kg erneut aus dem Gebiet Lecker Mühlenbach (TEZG 10). Allerdings sind sie in 2011 fast 800 kg geringer als in 2010. Ebenfalls sehr hohe diffuse P-Immissionen von LNF von etwa 850 kg sind im TEZG 0 (Oberlauf der Hunte) zu verzeichnen.

Im mittleren Bereich mit über 600 kg folgt das TEZG 6 (Hunte zwischen Glanebach und Wimmerbach). Ebenfalls noch im mittleren Bereich (über 400 kg) liegen die TEZG 19 und 27 (Venner Mühlenbach bis zum MLK und Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte). Alle anderen TEZG verzeichnen bei den geringen Abflüssen in 2011 diffuse P-Immissionen von LNF von weniger als 400 kg, die meisten davon sogar weniger als 200 kg. Insbesondere letztere sind somit hinsichtlich der P-Belastung des Dümmers nur eingeschränkt von Bedeutung.

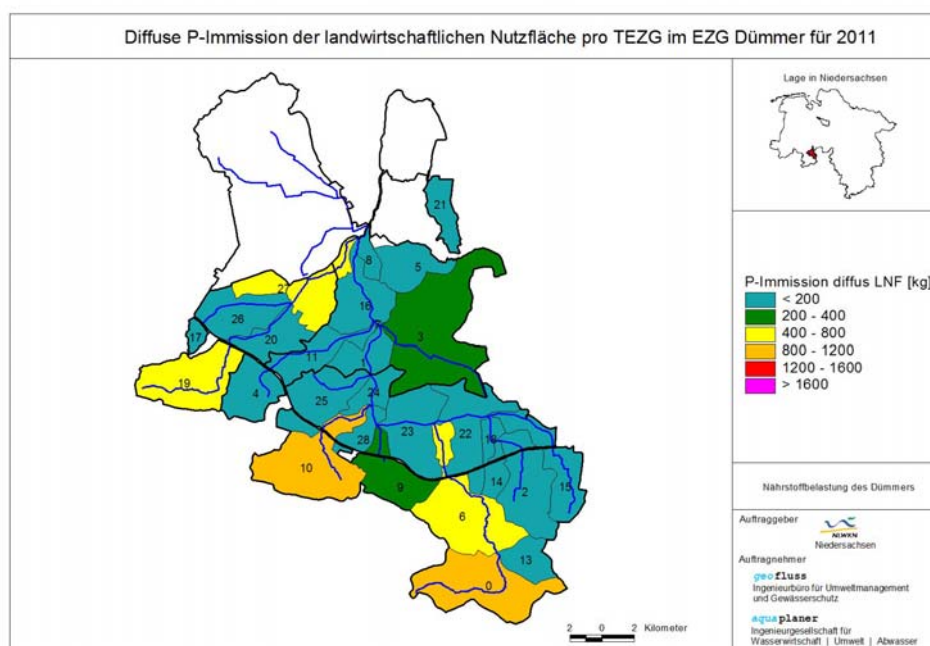


Bild 59: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmmer im Jahr 2011: gesamte diffuse P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in [kg]

4. Schritt: Bewertung der flächenbezogenen Belastung von landwirtschaftlichen Nutzflächen im TEZG durch diffuse P-Immissionen in kg/ha·a für 2011

Durch die Bewertung der flächenbezogenen Belastung von landwirtschaftlichen Nutzflächen durch diffuse P-Immissionen wird eine Ausweisung der TEZG, in denen Maßnahmen zur Minderung diffuser Belastungen besonders effektiv eingesetzt werden können, ermöglicht.

Wie Bild 60 zeigt, sind die höchsten flächenbezogenen P-Immissionen von LNF von über 0,6 kg/ha·a in den TEZG 0, 10 und 9 festzustellen (Oberlauf der Hunte, Lecker Mühlenbach und Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach). Während dieses Ergebnis nach den Erkenntnissen von Schritt 3 für die TEZG 0 und 10 folgerichtig ist (da diese TEZG bereits dort die höchste Belastung aufwiesen), überrascht auf den ersten Blick die Einstufung für TEZG 9 (welches nach Schritt 3 vergleichsweise geringe P-Immissionen von LNF verzeichnet). Begründet ist sie darin, dass in TEZG 9 der Anteil LNF vergleichsweise gering ist, wodurch die flächenbezogene Belastung trotz eher geringer gesamter P-Immissionen von LNF hoch ist.

Weiterhin sind für 2011 relativ hohe flächenbezogene diffuse Belastungen von LNF von über 0,4 kg/ha-a in den TEZG 6, 13 und 19 (Hunte zwischen Glanebach und Wimmerbach, Glanebach und Venner Mühlenbach bis zum MLK) zu verzeichnen. Somit sind bei diesem Bewertungsschritt trotz der geringen Abflüsse und der damit verbundenen eher geringen P-Immissionen in 2011 mehrere TEZG zu identifizieren, in denen auch unter diesen Bedingungen hohe flächenbezogene diffuse Belastungen von LNF auftreten. Auffällig ist jedoch, dass insbesondere im EZG der Elze die entsprechenden Belastungen in 2011 verbreitet erheblich geringer als in 2010 sind. Insgesamt sind für 2011 fast in der gesamten Hunteniederung nur sehr geringe diffuse P-Immissionen von LNF festzustellen.

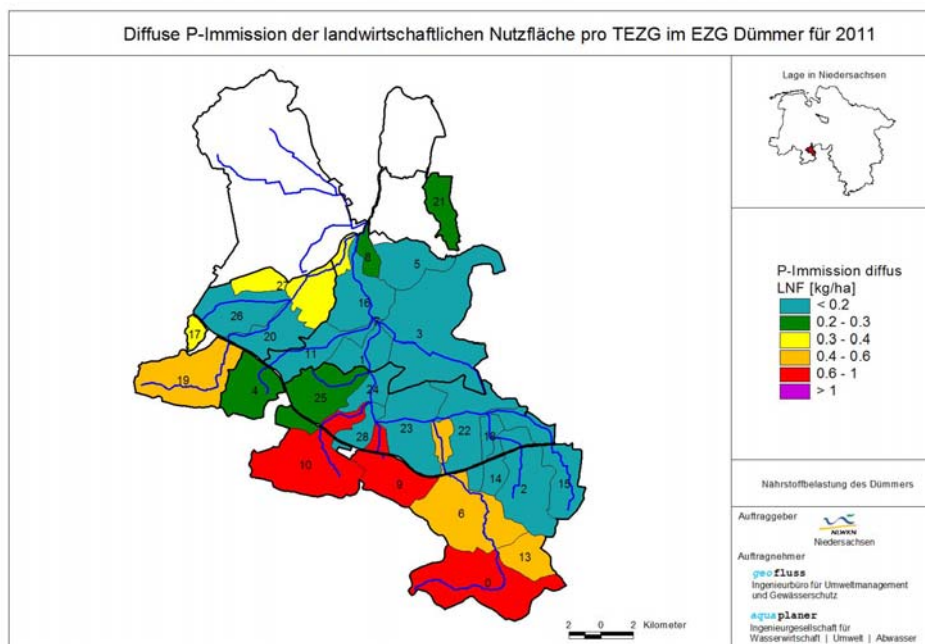


Bild 60: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer im Jahr 2011: gesamte diffuse P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in [kg/ha-a]

5. Schritt: Identifizierung und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte auf Ebene der TEZG nach den Erkenntnissen der Bewertungsschritte 1 bis 4 für 2011

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Bewertungsschritte 1 bis 4 erfolgt in diesem Abschnitt die Identifizierung und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für das Jahr 2011 auf Ebene der TEZG. Die hierbei verwendeten Bewertungskriterien wurden bereits oben erläutert.

Das Ergebnis dieser Bewertung für das Jahr 2011 ist Tabelle 54 zu entnehmen. Dabei wird deutlich, dass trotz der geringeren Frachten in 2011 nach wie vor relativ häufig - wenn auch in erheblich kleinerer Anzahl als 2010 - hohe und sehr hohe Belastungen zu verzeichnen sind. Insbesondere die Bewertung der flächenbezogenen P-Immissionen ergibt erwartungsgemäß häufig niedrigere Belastungen als 2010.

Werden die in Tabelle 54 dargestellten Informationen durch Verknüpfung der 4 einzelnen Bewertungskriterien zusammengefasst, lassen sich die wesentlichen Belastungsschwerpunkte identifizieren und hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Belastung des Dümmer in Form eines Rankings darstellen.

Die nachfolgende Tabelle 55 zeigt das Ergebnis dieser abschließenden Bewertung zur Identifizierung und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für 2011. Dem-

nach lassen sich für das Jahr 2011 auf Ebene der TEZG insgesamt 6 Belastungsschwerpunkte - und damit 2 weniger als 2010 - lokalisieren. Die in Tabelle 55 ausgewiesene Priorität für Maßnahmen weist darauf hin, in welchen dieser TEZG durch entsprechende Maßnahmen eine besonders große Verminderung der P-Belastung des Dümmers erreicht werden kann.

Tabelle 54: Identifizierung von Belastungsschwerpunkten: Ergebnis der Bewertung für die Bewertungskriterien 1 bis 4 und das Jahr 2011

TEZG	Belastung durch gesamte P-Immissionen		Belastung durch diffuse P-Immissionen der LNF	
	gesamt in [kg]	flächenhaft in [kg/ha·a]	diffus in [kg]	flächenhaft in [kg/ha·a]
0	sehr hoch	mittel	sehr hoch	hoch
1	gering	gering	gering	gering
2	mittel	gering	mittel	gering
3	hoch	gering	hoch	sehr gering
4	mittel	mittel	mittel	gering
5	mittel	gering	gering	sehr gering
6	sehr hoch	mittel	sehr hoch	hoch
7	sehr gering	gering	sehr gering	gering
8	gering	mittel	sehr gering	gering
9	mittel	mittel	mittel	hoch
10	sehr hoch	hoch	sehr hoch	hoch
11	gering	gering	gering	gering
12	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering
13	gering	gering	gering	hoch
14	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering
15	gering	sehr gering	gering	sehr gering
16	mittel	gering	mittel	gering
17	sehr gering	mittel	sehr gering	mittel
18	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering
19	hoch	mittel	sehr hoch	mittel
20	gering	gering	gering	gering
21	gering	gering	gering	gering
22	mittel	sehr gering	gering	sehr gering
23	mittel	gering	mittel	sehr gering
24	sehr gering	gering	sehr gering	sehr gering
25	mittel	gering	mittel	gering
26	mittel	gering	mittel	gering
27	sehr hoch	hoch	hoch	mittel
28	gering	gering	sehr gering	sehr gering

Tabelle 55: Ausweisung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmen für das Jahr 2011: Ranking der relevanten TEZG und Bewertung der Priorität für Maßnahmen

Nr. TEZG	Bezeichnung TEZG	Rang	Priorität für Maßnahmen
10	Lecker Mühlenbach	1	hoch bis sehr hoch
0	Hunte, Quelle bis Glanebach	2	hoch bis sehr hoch
6	Hunte, Glanebach bis Wimmerbach	3	hoch bis sehr hoch
27	Elze, Venner Bruchkanal bis Hunte	4	hoch
19	Venner Mühlenbach, Quelle bis Mittellandkanal	5	mittel bis hoch
9	Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach	6	mittel bis hoch

Die Priorität „hoch bis sehr hoch“ zeigt dabei an, dass einerseits die P-Belastungen aus diesen TEZG besonders hoch sind. Andererseits ist hier zudem die Flächenbelastung vor allem für die diffusen P-Immissionen von LNF am höchsten, so dass durch flächenbezogene Maßnahmen bereits auf vergleichsweise kleiner Fläche ein großer Effekt hinsichtlich einer Minderung der P-Belastung erzielt werden kann.

Im TEZG 27 wurde die Priorität für Maßnahmen mit „hoch“ bewertet. Aus diesem TEZG resultieren auf der einen Seite vergleichbar hohe gesamte P-Immissionen wie aus denen der Ränge 1 bis 3, auf der anderen Seite ist die diffuse Flächenbelastung deutlich geringer, so dass hier entsprechende Maßnahmen auf gleicher Fläche eine geringere Effektivität aufweisen. Zu beachten ist, dass das TEZG 27 (Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte) der einzige auf Ebene der TEZG ausgewiesene Belastungsschwerpunkt ist, bei dem punktuelle Belastungen aus KA und KKA eine relevante Bedeutung haben; insgesamt weisen die punktuellen P-Immissionen in TEZG 27 auf Basis der Modellergebnisse für 2011 einen Anteil von fast 30 % der gesamten P-Immissionen auf.

Den TEZG 9 und 19 wurde eine mittlere bis hohe Priorität für Maßnahmen zugeordnet. Hier sind entweder die gesamten P-Immissionen mit etwa 600 kg bzw. die diffusen P-Immissionen mit 450 kg hoch bzw. sehr hoch (TEZG 19) oder die diffusen flächenbezogenen Belastungen sind hoch (TEZG 9).

Hohe flächenbezogene diffuse P-Belastungen sind auch aus dem TEZG 13 zu verzeichnen, so dass mögliche Maßnahmen dort effektiv wären; allerdings resultieren aus diesem eher kleinen TEZG in 2011 mit ca. 100 kg nur eher unbedeutende P-Immissionen, wodurch ein möglicher Effekt auf die Minderung der P-Belastung des Dümmers gering ist. Daher wurde das TEZG 13 für 2011 nicht als Belastungsschwerpunkt ausgewiesen. Ebenfalls kein Belastungsschwerpunkt für 2011 ist das TEZG 4.

6. Schritt: pfadbezogene Belastungsanalyse für die identifizierten Belastungsschwerpunkte: Ausweisung der dominierenden und relevanten Eintragspfade für 2011

Im 6. und letzten Schritt erfolgt auf Grundlage einer pfadbezogenen Belastungsanalyse die Ausweisung der dominierenden sowie ggf. weiterer relevanter Eintragspfade für die oben identifizierten Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmers für das Jahr 2011.

Da einerseits die P-Belastungen in 2011 deutlich geringer als in 2010 sind und andererseits die relevanten Belastungsschwerpunkte weitgehend die gleichen sind, wird an dieser Stelle auf die bildliche Darstellung der Ergebnisse der wichtigen Eintragspfade verzichtet und auf den entsprechenden Abschnitt in Kap. 4.1.1 verwiesen.

Die nachfolgende Tabelle 56 zeigt das Endergebnis der pfadbezogenen Belastungsanalyse für die TEZG, die als Belastungsschwerpunkte ausgewiesen wurden. Zu beachten ist dabei, dass als weitere relevante Eintragspfade nur die benannt wurden, die für mindestens 1 % der gesamten im EZG Dümmers ermittelten P-Immissionen verantwortlich zeichnen (entspricht für das Jahr 2011 mehr als 90 kg, vgl. Tabelle 60). Der dominierende Eintragspfad ist in 5 der 6 Hauptbelastungsgebiete der Pfad Erosion. Die erosiven P-Immissionen dieser 5 TEZG machen mit 3 t 77 % der gesamten erosiven P-Immissionen und etwa 1/3 aller P-Immissionen im EZG Dümmers aus.

Tabelle 56: Pfadbezogene Belastungsanalyse für die als Belastungsschwerpunkte ausgewiesenen TEZG, Bezug 2011

Nr. TEZG	Bezeichnung TEZG	Rang	dominierender Eintragspfad	weitere relevante Eintragspfade
10	Lecker Mühlenbach	1	Erosion	ggf. Abschwemmung
0	Hunte, Quelle bis Glanebach	2	Erosion	keine
6	Hunte, Glanebach bis Wimmerbach	3	Erosion	keine
27	Elze, Venner Bruchkanal bis Hunte	4	Dränagen	ggf. Abschwemmung, Grundwasser, ggf. KKA
19	Venner Mühlenbach, Quelle bis MLK	5	Erosion	keine
9	Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach	6	Erosion	keine

Detaillierte Modellergebnisse für die P-Immissionen der TEZG für das Jahr 2011 nach der Bornbachumleitung

Die detaillierten Modellergebnisse für die P-Immissionen der TEZG für das Jahr 2011 nach der Bornbachumleitung, die die Grundlage für die oben durchgeführte pfadbezogene Belastungsanalyse dargestellt haben, werden nachfolgend vorgestellt.

Sie werden in Tabelle 57 jeweils als Summe in t/a, als Anteil an den gesamten P-Immissionen im EZG Dümmer in % sowie als flächenbezogene Belastung in kg/ha·a angegeben.

Tabelle 57: Gesamte P-Immissionen pro Teileinzugsgebiet nach der Bornbachumleitung für das Jahr 2011

TEZG	Bezeichnung TEZG	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
0	Hunte, Quelle bis Glanebach	1,04	11,7	0,45
1	Hunte, Gräfte bis Grenzkanal	0,13	1,5	0,19
2	Wimmerbach, Quelle bis Mündung Alte Hunte Rabber	0,29	3,2	0,17
3	Grenzkanal	0,56	6,2	0,15
4	Strothbach, Quelle bis MLK	0,35	4,0	0,34
5	Hunte, Bornbach bis Dümmer	0,23	2,5	0,23
6	Hunte, Glanebach bis Wimmerbach	0,77	8,6	0,33
7	Hunte, Grenzkanal bis Strothbach	0,00	0,0	0,24
8	Hunte, Elze bis Bornbach	0,10	1,1	0,36
9	Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach	0,36	4,0	0,30
10	Lecker Mühlenbach	1,26	14,1	0,55
11	Strothkanal, MLK bis Hunte	0,20	2,3	0,22
13	Glanebach	0,10	1,2	0,16
14	Alte Hunte Rabber	0,04	0,4	0,10
15	Heithöfer Bach	0,20	2,3	0,15
16	Hunte, Strothkanal bis Elze	0,31	3,5	0,25
17	Venner Bruchgraben, Quelle bis MLK	0,06	0,6	0,30
18	Wimmerbach, Mündung Alte Hunte Rabber bis Heithöfer Bach	0,02	0,3	0,09
19	Venner Mühlenbach, Quelle bis MLK	0,60	6,8	0,33
20	Venner Mühlenbach, MLK bis Venner Bruchkanal	0,17	1,9	0,20
21	Marler Graben	0,16	1,8	0,26
22	Wimmerbach, Mündung Heithöfer Bach bis Hunte	0,23	2,5	0,15
23	Hunte, Wimmerbach bis Alte Hunte	0,24	2,7	0,15
24	Hunte, Lecker Mühlenbach bis Gräfte	0,08	0,9	0,16
25	Gräfte	0,29	3,3	0,21
26	Venner Bruchkanal, MLK bis Venner Mühlenbach/Elze	0,28	3,1	0,22
27	Elze, Venner Bruchkanal bis Hunte	0,73	8,2	0,51
28	Hunte, Alte Hunte bis Lecker Mühlenbach	0,12	1,4	0,28

In Tabelle 58 sind als Ergänzung zu Tabelle 57 die Modellergebnisse für die P-Immissionen der TEZG pro Eintragspfad für das Jahr 2011 (nach der Bornbachumleitung) dargestellt.

Für eine nähere Charakterisierung der als Hauptbelastungsschwerpunkte für 2011 ausgewiesenen TEZG wird auf Kap. 4.1.1 verwiesen.

Tabelle 58: Gesamte P-Immissionen nach Eintragspfaden pro Teileinzugsgebiet nach der Bornbachumleitung für das Jahr 2011

TEZG	P-Immission in kg								
	GW	ZW	Dränage	Erosion	Abschw.	Direkt	KA	KKA	Urban
0	5	12	2	859	66	23	0	64	11
1	9	3	22	10	34	11	0	33	11
2	10	4	3	140	58	9	0	35	28
3	45	21	105	91	78	34	0	95	89
4	20	3	16	111	52	16	56	64	16
5	15	6	25	23	13	3	0	11	129
6	6	8	5	576	87	18	0	39	33
7	0	0	1	1	0	0	0	1	0
8	12	0	19	3	23	3	0	35	1
9	5	3	2	249	29	13	0	13	47
10	12	11	6	987	92	28	15	81	25
11	14	2	33	20	64	18	0	50	4
13	1	3	0	80	7	9	0	2	2
14	2	1	0	4	18	2	0	4	6
15	10	7	19	35	30	6	0	31	65
16	19	2	53	47	77	16	0	74	21
17	2	2	2	26	7	3	0	13	1
18	1	0	2	1	16	1	0	2	0
19	21	9	14	382	79	28	0	51	20
20	14	5	34	13	47	11	0	41	8
21	30	13	68	4	14	3	0	0	24
22	11	2	20	8	78	10	77	12	8
23	16	6	24	28	97	17	0	24	27
24	6	1	10	7	17	4	0	23	14
25	11	3	21	127	57	21	0	40	15
26	38	13	77	10	71	15	0	44	8
27	104	43	244	15	98	14	62	121	28
28	5	1	14	4	18	3	53	14	12

4.2 Belastungsschwerpunkte vor der Bornbachumleitung

Nachdem in Kap. 4.1 die aktuellen Belastungsschwerpunkte nach der Bornbachumleitung vorgestellt wurden, wird im folgenden Kapitel kurz die entsprechende Situation vor der Bornbachumleitung erläutert. Dies erfolgt beispielhaft anhand der für die mittleren Abflussbedingungen erzielten Ergebnisse.

4.2.1 Belastungsschwerpunkte bei mittleren Abflussbedingungen

Die Ausweisung der Belastungsschwerpunkte für mittlere Abflussbedingungen und die 33 TEZG vor der Bornbachumleitung erfolgt analog zum Vorgehen für 2010 (vgl. Kap. 4.1.1).

1. Schritt: Bewertung der Summe der gesamten P-Immissionen pro TEZG für mittlere Bedingungen vor der Bornbachumleitung

In Bild 61 ist die Summe der gesamten P-Immissionen pro TEZG für die mittleren Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung dargestellt.

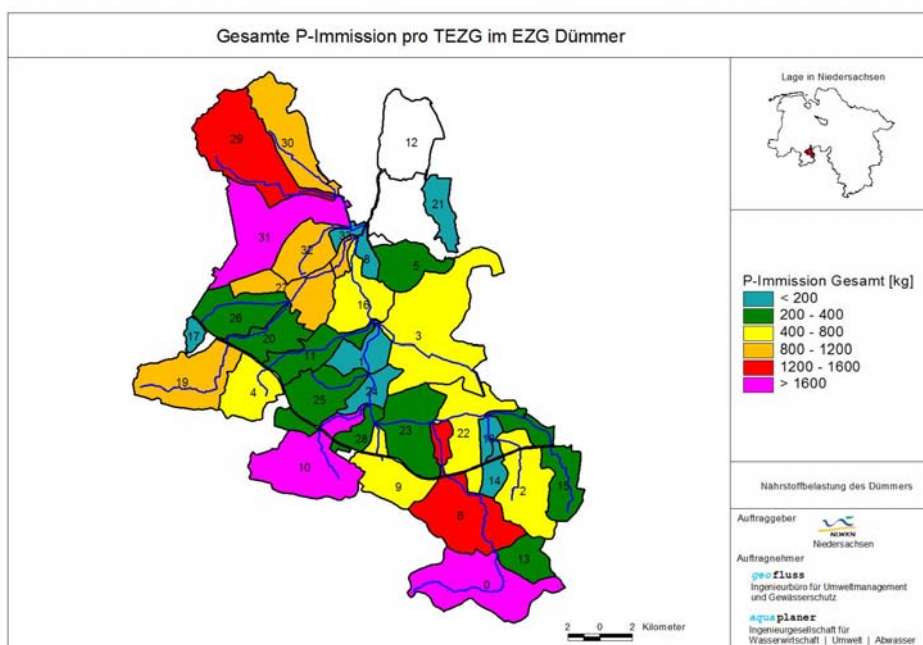


Bild 61: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung: gesamte P-Immissionen pro TEZG in [kg]

Deutlich zu erkennen ist hierbei, dass im Bereich des Bornbachs (TEZG 29 bis 33) ausschließlich hohe bis extrem hohe Belastungen vorliegen. Dabei ist zu beachten, dass alleine auf das TEZG 31 (Bornbach zwischen Wasserzug Nr. 28 und Schweger Marschkanal) ca. 33 % der gesamten P-Immissionen des EZG Dümmer vor der Bornbachumleitung entfallen; dies entspricht 8,9 t. Im restlichen Gebiet (ohne Bornbach) ist die Belastung in vielen TEZG eine Stufe geringer als 2010, was auch durch die geringeren Abflüsse der mittleren Bedingungen im Vergleich zu 2010 zu erwarten war. In 2 TEZG (0 und 6) ist die P-Belastung bezogen auf die gesamten Immissionen im Mittel sogar höher als 2010: die Ursache hierfür ist vor allem in den unterschiedlichen Grunddaten (z.B. wurden in 2010 die Informationen aus InVeKoS genutzt, für die mittleren Bedingungen nicht) für die Erosionsberechnung zu sehen.

2. Schritt: Bewertung der flächenbezogenen Belastung pro TEZG durch die gesamten P-Immissionen in kg/ha·a für mittlere Bedingungen vor der Bornbachumleitung

Die Ergebnisse der Bewertung der flächenbezogenen Belastung pro TEZG durch die gesamten P-Immissionen in kg/ha·a für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung ist Bild 62 zu entnehmen.

Die deutlich höchste flächenbezogene Belastung mit mehr als 3,6 kg/ha·a weist das TEZG 31 (Bornbach zwischen Wasserzug Nr. 28 und Schweger Marschkanal) auf. Mit deutlichem Abstand und dennoch in der höchsten ausgewiesenen Stufe folgen die TEZG 10 und 0 mit jeweils etwa 1 kg/ha·a.

Im restlichen Gebiet (ohne Bornbach) ist auch die flächenbezogene Belastung in vielen TEZG eine Stufe geringer als 2010 (erneut bedingt durch die geringeren Abflüsse der mittleren Bedingungen im Vergleich zu 2010).

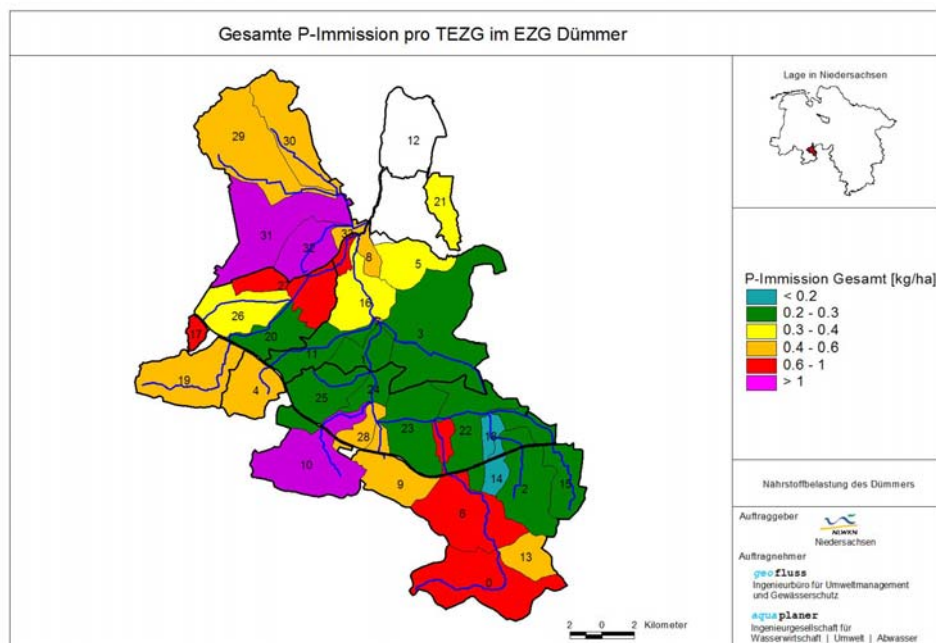


Bild 62: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung: gesamte P-Immissionen pro TEZG in [kg/ha·a]

3. Schritt: Bewertung der Summe der diffusen P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG für mittlere Bedingungen vor der Bornbachumleitung

Die Ergebnisse der Bewertung der Summe der diffusen P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung sind in Bild 63 dargestellt. Auch hier ist wiederum zu beachten, dass das TEZG 31 aufgrund seiner extrem hohen diffusen P-Immissionen von fast 8,3 t (ca. 34 % der gesamten diffusen P-Immissionen) genau genommen eine eigene zusätzliche Darstellungsstufe benötigte, um die Unterschiede zu den 3 anderen TEZG (10, 0 und 6 mit maximal 2,7 t) angemessenen darzustellen. Die Ursache für diese immensen P-Immissionen von TEZG 31 liegt in den landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Hoch- und Niedermooren. Sie machen einen Großteil der Gesamtfläche aus, die P-Immissionen erfolgen vor allem über Dränagen und zu einem weiteren relevanten Anteil über Grundwasser.

Bild 63 zeigt weiterhin, dass sich in den stark erosionsgefährdeten TEZG im Bereich des Wiehengebirges für die mittleren Bedingungen überwiegend höhere diffuse P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen als in 2010 (trotz der dort höheren Abflüsse) ergeben. Die Ursache hierfür ist wie bereits bei den gesamten P-Immissionen (Bild 61) vor allem in dem Erosionsanteil zu sehen (für die Erosionsberechnung wurden in 2010 die Informationen aus InVeKoS genutzt, für die mittleren Bedingungen nicht; folglich resultieren diese Unterschiede aus den nicht einheitlichen Grunddaten).

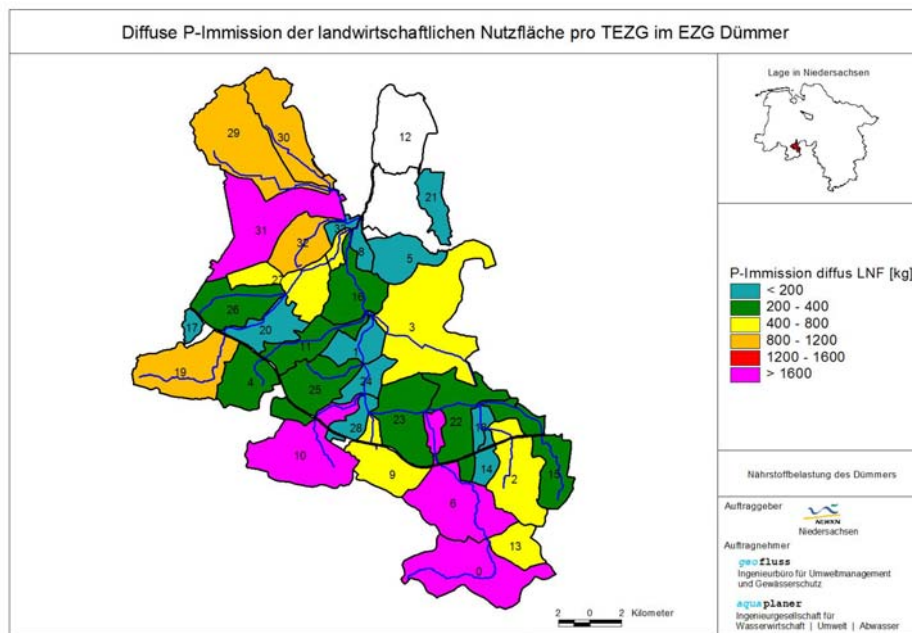


Bild 63: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung: gesamte diffuse P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in [kg]

4. Schritt: Bewertung der flächenbezogenen Belastung von landwirtschaftlichen Nutzflächen im TEZG durch diffuse P-Immissionen in kg/ha·a für mittlere Bedingungen vor der Bornbachumleitung

Die Bewertung der flächenbezogenen Belastung von landwirtschaftlichen Nutzflächen durch diffuse P-Immissionen ermöglicht die Ausweisung der TEZG, in denen Maßnahmen zur Minderung diffuser Belastungen besonders effektiv eingesetzt werden können.

Wie Bild 64 zu entnehmen ist, werden alleine 7 TEZG mit flächenbezogenen diffusen P-Immissionen von LNF von mehr als 1 kg/ha·a ausgewiesen. Den mit weitem Abstand höchsten Wert von mehr als 5 kg/ha·a weist dabei erwartungsgemäß das TEZG 31 auf. Im Vergleich zu 2010 fällt auf, dass die im Bereich des Wiehengebirges gelegenen TEZG meist in einer um eine Stufe höheren Klasse dargestellt sind. Ursache hierfür sind in erster Linie die unterschiedlichen Methoden der Erosionsberechnung

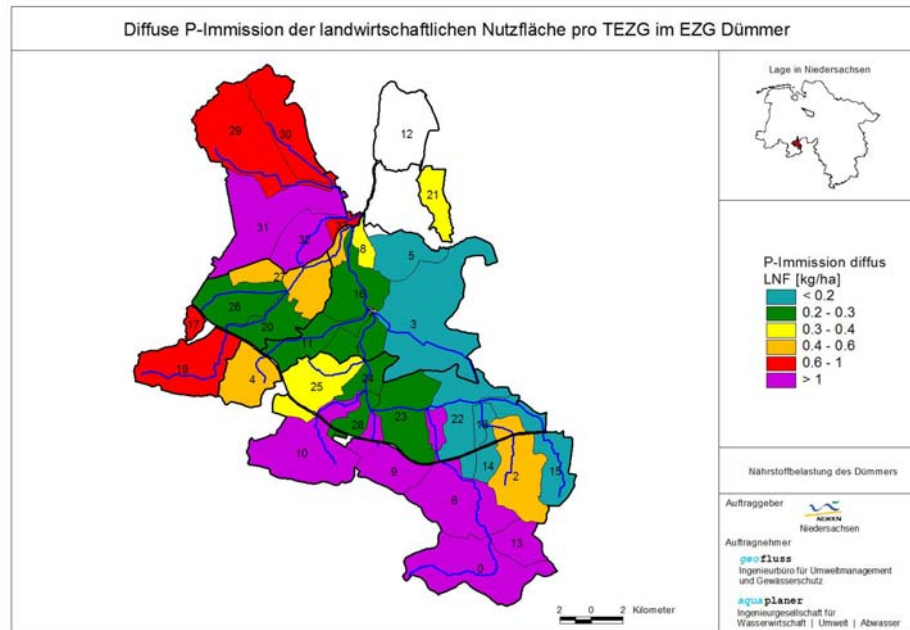


Bild 64: Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung: gesamte diffuse P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in [kg/ha-a]

5. Schritt: Identifizierung und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte auf Ebene der TEZG nach den Erkenntnissen der Bewertungsschritte 1 bis 4 für mittlere Bedingungen vor der Bornbachumleitung

Aufbauend auf den Erkenntnissen der Bewertungsschritte 1 bis 4 erfolgt in diesem Abschnitt die Identifizierung und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung auf Ebene der TEZG. Wiederum finden hierzu die bereits in Kap. 4.1.1 definierten Kriterien Anwendung.

Die nachfolgende Tabelle 60 zeigt das Ergebnis dieser Bewertung zur Identifizierung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung.

Dabei wird deutlich, dass die Bewertungsergebnisse für die TEZG 0 bis 28 (also ohne den Bornbach) weitgehend den Ergebnissen von 2010 entsprechen. Da 2010 fast mittlere Abflussbedingungen aufweist (der Abfluss liegt etwa 10 % über dem zu erwartenden mittleren Abfluss nach der Bornbachumleitung), ist dieser Sachverhalt als Bestätigung für die 2010 erzielten Ergebnisse zu bewerten.

Wie die Ausführungen zu den Schritten 1 bis 4 gezeigt haben, liegen im TEZG 31 extrem hohe Belastungen vor.

Tabelle 60: Identifizierung von Belastungsschwerpunkten: Ergebnis der Bewertung für die Bewertungskriterien 1 bis 4 für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung (TEZG des Bornbachs sind **blau** hervorgehoben)

TEZG	Belastung durch gesamte P-Immissionen		Belastung durch diffuse P-Immissionen der LNF	
	gesamt in [kg]	flächenhaft in [kg/ha·a]	diffus in [kg]	flächenhaft in [kg/ha·a]
0	hoch	hoch	hoch	sehr hoch
1	sehr gering	gering	sehr gering	gering
2	gering	gering	gering	mittel
3	mittel	gering	gering	gering
4	gering	hoch	gering	mittel
5	gering	mittel	sehr gering	gering
6	hoch	hoch	hoch	sehr hoch
7	sehr gering	mittel	sehr gering	mittel
8	sehr gering	mittel	sehr gering	mittel
9	gering	mittel	gering	sehr hoch
10	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch
11	gering	gering	sehr gering	gering
12	sehr gering	sehr gering	sehr gering	sehr gering
13	gering	hoch	gering	sehr hoch
14	sehr gering	sehr gering	sehr gering	gering
15	gering	gering	sehr gering	gering
16	gering	mittel	gering	gering
17	sehr gering	hoch	sehr gering	hoch
18	sehr gering	sehr gering	sehr gering	gering
19	mittel	hoch	mittel	hoch
20	sehr gering	gering	sehr gering	gering
21	sehr gering	mittel	sehr gering	mittel
22	gering	gering	sehr gering	gering
23	gering	gering	gering	gering
24	sehr gering	gering	sehr gering	gering
25	gering	gering	gering	mittel
26	gering	mittel	gering	gering
27	mittel	hoch	mittel	hoch
28	sehr gering	hoch	sehr gering	gering
29	hoch	hoch	mittel	hoch
30	mittel	hoch	mittel	hoch
31	extrem hoch	extrem hoch	extrem hoch	extrem hoch
32	mittel	sehr hoch	mittel	sehr hoch
33	sehr gering	hoch	sehr gering	hoch

Detaillierte Modellergebnisse für die P-Immissionen der TEZG für mittlere Abflussbedingungen vor der Bornbachumleitung

Nachfolgend werden die detaillierten Modellergebnisse für die P-Immissionen der TEZG für mittlere Bedingungen vor der Bornbachumleitung vorgestellt.

Sie werden in Tabelle 59 jeweils als Summe in t/a, als Anteil an den gesamten P-Immissionen im EZG Dümmer in % sowie als flächenbezogene Belastung in kg/ha·a angegeben.

Tabelle 59: Gesamte P-Immissionen pro Teileinzugsgebiet vor der Bornbachumleitung bei mittleren Abflussbedingungen

TEZG	Bezeichnung TEZG	P [t/a]	P [%]	P [kg/ha·a]
0	Hunte, Quelle bis Glanebach	1,61	6,0	0,70
1	Hunte, Gräfte bis Grenzkanal	0,18	0,7	0,26
2	Wimmerbach, Quelle bis Mündung Alte Hunte Rabber	0,50	1,9	0,30
3	Grenzkanal	0,78	2,9	0,21
4	Strothbach, Quelle bis MLK	0,57	2,1	0,55
5	Hunte, Bornbach bis Dümmer	0,30	1,1	0,30
6	Hunte, Glanebach bis Wimmerbach	1,44	5,4	0,62
7	Hunte, Grenzkanal bis Strothbach	0,01	0,0	0,40
8	Hunte, Elze bis Bornbach	0,13	0,5	0,46
9	Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach	0,56	2,1	0,47
10	Lecker Mühlenbach	2,39	9,0	1,05
11	Strothkanal, MLK bis Hunte	0,28	1,0	0,29
12	Dümmer	0,00	0,0	0,00
13	Glanebach	0,37	1,4	0,55
14	Alte Hunte Rabber	0,05	0,2	0,15
15	Heithöfer Bach	0,28	1,1	0,21
16	Hunte, Strothkanal bis Elze	0,41	1,6	0,33
17	Venner Bruchgraben, Quelle bis MLK	0,11	0,4	0,61
18	Wimmerbach, Mündung Alte Hunte Rabber bis Heithöfer Bach	0,04	0,1	0,14
19	Venner Mühlenbach, Quelle bis Mittellandkanal	0,93	3,5	0,52
20	Venner Mühlenbach, MLK bis Venner Bruchkanal	0,25	0,9	0,28
21	Marler Graben	0,19	0,7	0,31
22	Wimmerbach, Mündung Heithöfer Bach bis Hunte	0,42	1,6	0,28
23	Hunte, Wimmerbach bis Alte Hunte	0,35	1,3	0,22
24	Hunte, Lecker Mühlenbach bis Gräfte	0,11	0,4	0,22
25	Gräfte	0,36	1,4	0,25
26	Venner Bruchkanal, MLK bis Venner Mühlenbach/Elze	0,39	1,4	0,31
27	Elze, Venner Bruchkanal bis Hunte	1,01	3,8	0,70
28	Hunte, Alte Hunte bis Lecker Mühlenbach	0,23	0,9	0,53
29	von den Quellen bis Wasserzug Nr. 28	1,33	5,0	0,51
30	von den Quellen bis zum Bornbach	0,89	3,4	0,54
31	von Wasserzug Nr. 28 bis Schweger Marschkanal	8,87	33,3	3,64
32	von den Quellen bis zum Bornbach	1,11	4,2	1,09
33	von Schweger Marschkanal bis zur Hunte	0,10	0,4	0,59

Als Ergänzung zu Tabelle 59 sind in Tabelle 60 die Modellergebnisse für die P-Immissionen der TEZG pro Eintragspfad für mittlere Abflussbedingungen (vor der Bornbachumleitung) dargestellt.

Tabelle 60: Gesamte P-Immissionen nach Eintragspfaden pro Teileinzugsgebiet vor der Bornbachumleitung bei mittleren Abflussbedingungen

TEZG	P-Immission in kg								
	GW	ZW	Dränage	Erosion	Abschw.	Direkt	KA	KKA	Urban
0	8	25	2	1360	100	28	0	70	15
1	18	6	40	11	46	13	0	33	13
2	20	11	6	287	87	10	0	38	36
3	84	41	181	119	111	38	0	96	105
4	38	7	29	237	71	19	85	65	19
5	26	13	42	31	20	3	0	12	153
6	13	17	9	1161	131	22	0	43	42
7	0	0	1	2	0	0	0	1	0
8	23	1	26	6	32	4	0	35	1
9	9	6	3	405	44	16	0	14	61
10	22	24	9	2032	136	35	15	89	33
11	30	4	60	21	86	22	0	51	4
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	6	0	333	11	11	0	3	3
14	5	1	1	6	27	2	0	5	7
15	18	14	29	51	45	8	0	34	83
16	43	4	94	49	105	19	0	75	25
17	4	4	4	74	10	3	0	13	1
18	2	1	4	2	25	2	0	2	0
19	37	20	27	634	108	33	0	51	23
20	29	11	64	14	63	14	0	42	9
21	39	17	76	6	18	4	0	0	28
22	24	4	30	11	116	14	199	13	10
23	29	9	32	49	144	25	0	26	34
24	14	3	16	5	26	5	0	25	18
25	24	7	32	124	85	26	0	44	19
26	66	19	116	15	95	19	0	45	10
27	151	55	300	25	133	18	172	123	32
28	8	1	16	20	27	3	126	16	15
29	187	30	278	431	246	49	0	0	113
30	148	7	248	171	210	44	0	0	65
31	2268	405	5758	13	348	61	0	0	15
32	279	74	613	12	107	16	0	0	13
33	18	0	51	3	25	1	0	0	3

5 Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen im EZG Dümmer

Die erarbeiteten Erkenntnisse über die relevanten Eintragspfade und räumliche Differenzierung von Belastungsschwerpunkten stellen die Basis für die Planung effektiver Maßnahmen zur Belastungsminderung für den Dümmer dar. Nachfolgend werden geeignete Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen für den Dümmer vorgestellt und hinsichtlich ihrer Effektivität bewertet.

Bei der Ableitung zielgerichteter Maßnahmen zur Belastungsminderung für den Dümmer können grundsätzlich drei Ansätze unterschieden werden:

- a) Reduzierung der Emission am Ort der Entstehung - Ursachenbehebung
- b) Rückhalt der stofflichen Belastungen vor Erreichen des Gewässers
- c) Rückhalt der stofflichen Belastungen, die sich bereits im Gewässer befinden

So ist bei dem Ansatz a) sehr entscheidend, auf welchem Pfad die Belastung den Weg in das Gewässer findet. Eine genaue Kenntnis über die relevanten Pfade ist daher eine wesentliche Voraussetzung um effektive Maßnahmen ergreifen zu können. Diese Maßnahmen sind als nachhaltig zu bezeichnen, zumal sie z.B. bei Maßnahmen zur Erosionsminderung zusätzlich eine langfristige Erhaltung der Ertragsfähigkeit der Böden sichern. Dieses sollte insbesondere auf den Ackerflächen, die Belastungsschwerpunkte und folglich durch hohe Bodenverluste charakterisiert sind, dazu beitragen, dass die Landwirte ein eigenes Interesse am Bodenerhalt haben; hierdurch kann eine erhöhte Akzeptanz für Maßnahmen von Seiten der Landwirtschaft erwartet werden.

Beim Ansatz b) werden die Maßnahmen noch auf dem bzw. am Rand der eintragsrelevanten Flächen angesetzt, so dass hier ebenfalls der relevante Eintragspfad eine Rolle spielt. Insbesondere für die Verminderung erosionsbürtiger Phosphorbelastungen bzw. von Belastungen aus Dränagen bietet sich der Ansatz b) an, wenn mit dem Maßnahmenansatz a) die gesteckten Ziele nicht im gebotenen Maß erreicht werden können.

Hingegen spielt für den Ansatz c) die genaue Kenntnis des Eintragspfades nur bedingt eine Rolle. Hier haben die verschiedenen Phosphorfraktionen (gebunden oder gelöst) und die zeitliche Differenzierung des Auftretens Einfluss auf die Auswahl geeigneter Verfahren zur Belastungsminderung. Die hier angesprochenen Maßnahmen erfordern eine Behandlung von Teilströmen oder des gesamten Abflusses in einem belasteten Gewässer. Verortet werden diese Maßnahmen zentral oder dezentral, also in Nähe des Zuflusses zum zu schützenden Gewässer, bzw. in besonders belasteten Zuflüssen weiter oben im Einzugsgebiet. Darüber hinaus können auch hierzu Maßnahmen zählen, die über eine Bewirtschaftung der Abflüsse in das Abflussgeschehen von Fließgewässer eingreifen. Hierzu zählen Maßnahmen, wie die bereits 2009 umgesetzte Umleitung des Bornbachs oder ein gezielter Abschlag von besonders belasteten Abflussspitzen in den Mittellandkanal. Diese Maßnahmen setzen nicht an der Quelle bzw. den Ursachen der Gewässerbelastungen an, stellen aber - trotz ihres nicht nachhaltigen Ansatzes - mitunter eine pragmatische Lösung dar.

Nachfolgend werden vorrangig für den Maßnahmenansatz a) Maßnahmen aufgezeigt, die zu einer Belastungsminderung führen können. Dieses geschieht zusammenfassend für die relevanten Eintragspfade der Nährstoffbelastung des Dümmer, die für die Belastungsschwer-

punkte verantwortlich sind. Entsprechend der herausragenden Bedeutung des Eintragspfads Erosion (Quelle für ca. 40 % der P-Immissionen) wird ein Schwerpunkt auf die hier ansetzenden Maßnahmen zur Belastungsminderung gelegt.

5.1 Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen nach Eintragspfaden

5.1.1 Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen über den Pfad Erosion

Zur Verminderung von Phosphoreinträgen in das Gewässersystem im Einzugsgebiet des Dümmers über den Pfad Erosion steht eine Vielzahl von Maßnahmen zur Verfügung.

Die Maßnahmen des Ansatzes a) - und hierbei insbesondere die, die sich durch eine hohe Effektivität und Akzeptanz bei überschaubaren Kosten auszeichnen - sind als prioritäre Maßnahmen einzuordnen. Tabelle 61 gibt eine Übersicht über Maßnahmen (Verminderung von Bodenabträgen im Sinne einer Ursachenbehebung) und enthält zudem eine Bewertung der einzelnen Maßnahmen anhand der Kriterien Effektivität, Akzeptanz, Kosten und erforderlicher Zeitbedarf zur Umsetzung der Maßnahmen.

Tabelle 61: Ansatz a): Maßnahmen zur Verminderung von Bodenabträgen im Sinne einer Ursachenbehebung. Bewertung der Maßnahmen

Maßnahme	Effektivität	Akzeptanz	Kosten	Zeitbedarf	Rang
	sehr hoch = 5	sehr hoch = 5	sehr gering = 5	sehr gering = 5	
	sehr gering = 1	sehr gering = 1	sehr hoch = 1	sehr hoch = 1	
Konservierende Bodenbearbeitung	4	4	4	5	1
Mulchsaat	4	4	4	5	1
Flächenumnutzung, Aufforstung	5	1	1	1	4
Flächenumnutzung, Dauerbegrünung	5	2	2	2	3
Zwischenfruchtanbau	4	4	4	5	1
Überjährige Untersaat	4	4	4	5	1
Fruchtfolgeänderung	4	2	variabel	5	3
Verkleinerung der Schlaggröße mit Landschaftsstrukturen	4	2	3	2	4
Unterteilung großer Hanglängen (Halbierung)	3	2	4	5	3
Bearbeitung quer zum Hang	2	4	5	5	2
Querstreifeneinsaat	2	2	5	5	3
Begrünte Abflussmulden	3	2	4	4	3
Verminderung Oberflächenabfluss	4	2	3	4	3

Hieraus lassen sich folgende prioritären Maßnahmen zur Minderung der Einträge über Wassererosion ableiten:

- Mulchsaat,
- konservierende Bodenbearbeitung,
- Zwischenfruchtanbau und
- (überjährige) Untersaaten.

Gemeinsam ist diesen Maßnahmen, dass sie für eine möglichst weitgehende und langanhaltende Bodenbedeckung sorgen (bewirkt eine geringere Oberflächenverschlammungsanfälligkeit, da Bodenaggregate vor Regentropfenaufschlag geschützt sind). Der Anbau von Zwischenfrüchten, die im Herbst ausgesät werden, bewirkt, dass der Boden über den Winter bis zur Aussaat von (erosionsanfälligen) Sommerkulturen wie Mais, Kartoffeln oder Zuckerrüben bedeckt bleibt. Noch wirksamer ist das Belassen von Pflanzenrückständen als Mulchschicht auf der Bodenoberfläche und eine Einsaat der Folgefrucht in den mulchbedeckten Boden. Dies wird am besten durch konservierende (d.h. pfluglose) Bodenbearbeitungssysteme, kombiniert mit Mulchsaat, erreicht (SCHMID & NITZSCHE, 2004).

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Maßnahmen nach dem Ansatz a) grundsätzlich als die prioritären anzusehen sind, da nur durch sie die Ursache der Phosphorbelastung der Gewässer behoben werden kann. Die Erfahrung zeigt allerdings, dass derartige Bewirtschaftungsmaßnahmen nicht bei allen Landwirten auf Akzeptanz treffen. Gründe hierfür sind u.a. im Bereich Kosten und Mehraufwand zu sehen. Daher hat sich in der Praxis ein Kostenausgleich bewährt, der z.B. über die Agrarumweltmaßnahmen geschehen kann (seit 2010 greifen erweiterte Agrarumweltmaßnahmen, die ohne Gebietskulisse, d.h. flächendeckend, die Förderung von Zwischenfruchtanbau und Untersaaten - zwei sehr effektive Maßnahmen zur Verminderung von Wasser- und Winderosion - ermöglichen). Weiterhin erscheint, insbesondere zur Steigerung der Akzeptanz der Maßnahmen, eine erweiterte Beratung (z.B. durch die Landwirtschaftskammer) erforderlich, die ggf. durch umfassende Information eine erhöhte Motivation der Landwirte für den Gewässerschutz erreichen könnte. Als Vorbild können hier die erfolgreichen Kooperationsmodelle aus dem Bereich Trinkwasserschutz dienen. Bei dem geschilderten Vorgehen erscheinen Maßnahmen des Ansatzes a) kurzfristig oder zumindest mittelfristig für die relevanten Ackerflächen umsetzbar.

Überall dort, wo Maßnahmen nach dem Ansatz a) nicht kurzfristig oder gar nicht umsetzbar sind bzw. nicht ausreichend sind, stehen für eine (weitere) Reduzierung der Phosphoreinträge im Einzugsgebiet des Dümmlers die Maßnahmen der Ansätze b) und c) zur Verfügung. In den genannten Fällen sind hierbei die Maßnahmen nach dem Ansatz b) (s. Tabelle 62), sofern umsetzbar, zu bevorzugen, da durch sie zumindest der Phosphoreintrag in das Gewässersystem weitestgehend reduziert werden kann. Dies gilt insbesondere für Gewässerrandstreifen, die bei ausreichender Breite und angepasstem Bewuchs für einen fast vollständigen Sedimentrückhalt - und so Phosphorrückhalt - sorgen können. Zu berücksichtigen ist, dass die erforderliche Breite von Gewässerrandstreifen für einen weitgehenden Rückhalt stark von den örtlichen Randbedingungen abhängig ist.

Tabelle 62: Ansatz b): Maßnahmen zum Rückhalt von Bodenabträgen außerhalb des Gewässersystems. Bewertung der Maßnahmen

Maßnahme	Effektivität	Akzeptanz	Kosten	Zeitbedarf
	sehr hoch = 5	sehr hoch = 5	sehr gering = 5	sehr gering = 5
	sehr gering = 1	sehr gering = 1	sehr hoch = 1	sehr hoch = 1
Hecken, Gebüschpflanzung	2	4	3	2
Gewässerrandstreifen, schmal	2	4	4	4
Gewässerrandstreifen, mittel	3,5	3	3	4
Gewässerrandstreifen, breit	5	2	2	4
gewässerparallele Ausmuldung	4	4	3	4
Aufbau Ufergehölze	1	4,5	4	2

Wesentliche Einflussparameter auf die erforderliche Breite von Gewässerrandstreifen sind: die Erosionsform (liegt Rinnenerosion vor, muss der Randstreifen sehr breit werden, um ein punktuell Durchbrechen zu verhindern), die Hangneigung (liegt ein erhöhtes Gefälle zum Gewässerrand hin vor, muss der Randstreifen breiter sein, ggf. ist in den beiden genannten Fällen eine gewässerparallele Ausmuldung zu bevorzugen). Darüber hinaus hat auch die Vegetation auf dem Gewässerrandstreifen einen großen Einfluss auf die Filterwirkung gegen Wassererosion (s. Tabelle 63).

Tabelle 63: Vegetationsformen am Ufer und Uferstrandstreifen und ihre Filterwirkung gegen Wassererosion (aus LUNG, 2002)

Art der Vegetation	Wirksam gegen Wassererosionseintrag
Flächen mit Mahdnutzung	gut
Stauden, Hochstauden, Laubgebüsche < 1,5 m Höhe	mäßig
Laubgebüsche > 1,5 m Höhe	nein
mit Unterwuchs (s.u.)	gut
Gehölze vereinzelt oder mehrzeilig	nein
mit Unterwuchs (s.u.)	gut
Unterwuchs (Gräser, Stauden)	mäßig
mit winterharten, dichtem Grasbestand	gut
Wege oder Fahrspuren	nein
mit funktionsfähigen Straßengräben	gut
mit mehrzeiligen Randbepflanzungen	nein

Insgesamt können die Maßnahmen des Ansatzes b), insbesondere Gewässerrandstreifen (wenn bei der Ausgestaltung - Breite und Bewuchs - die oben genannten Einflussfaktoren Berücksichtigung finden) und gewässerparallele Ausmuldungen Einträge über Wassererosion in das Gewässernetz sehr effektiv vermindern. Breit angelegte Gewässerrandstreifen bieten zudem einen Raum zur Gewässerentwicklung (Laufverlängerung, dadurch ggf. Minderung gewässerinterner Erosion und Erhöhung gewässerinterner Retention).

Sind die Maßnahmen nach den Ansätzen a) und b) (lokal) nicht umsetzbar, können Phosphorfrachten auch im Gewässer zurückgehalten werden. Alle hier zuzuordnenden Maßnahmen beruhen auf einer Retention von abfließenden Phosphorfrachten im und am Gewässer. Die Naturnähe eines Gewässers alleine ist schon ein wichtiger Faktor für das Retentionspotenzial transportierter Nährstofffrachten. Dieser, auch als Selbstreinigung eines Gewässers zu bezeichnende Effekt kann für die Hunte und deren Nebengewässer eine wichtige Rolle spielen, da die Hunte in vielen Abschnitten kanalartig ausgebaut wurde und so nur eine ver-

minderte Retentionsleistung - insbesondere auch für zumeist partikelgebundene Belastungen wie Phosphor - aufweist. Abschnittsweise wurde dieses Vorgehen auch bereits umgesetzt.

Darüber hinaus können noch vergleichsweise technischere Verfahrensweisen zum Einsatz kommen, wie Schilfpolder oder Sedimentationsbecken. Diese Maßnahmen können prinzipiell eher dezentral durch z.B. Schilfpolder im Entwässerungsgraben bzw. nahe am Schlag und/oder zentral, also zur Behandlung größerer Gewässer/Abflüsse in der Nähe des Dümmers angewandt werden. Auf eine weitere Diskussion zu diesem Maßnahmenansatz wird hier verzichtet und auf das Gutachten von Herrn Dr. Wolter zum Schilfpolder verwiesen.

5.1.2 Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen über Dränagen

Für die Reduzierung von Phosphoraussträgen über Dränagen, die auch und insbesondere im TEZG 27 (Elze, zwischen Venner Bruchkanal und Hunte) als ein Hauptbelastungsschwerpunkt ausgewiesen wurden, ist eine genauere Betrachtung der dränierten Flächen erforderlich. Die für die Belastung des Dümmers als Hauptbelastungsschwerpunkt ausgewiesenen Standorte sind ehemalige Moorstandorte, die durch Drainage bewirtschaftbar gemacht wurden.

Für eine Verbesserung der Belastungssituation über diesen Eintragspfad ist es angeraten, die intensive und dränbedürftige Bewirtschaftung dieser Flächen infrage zu stellen (Ansatz a). Eine grundsätzliche Stilllegung oder eine extensive Bewirtschaftung mit Stilllegung der Drainage sind hier als Maßnahmen zu überprüfen.

Alternativ kann über die Sammlung und gezielte Behandlung der Drainageabläufe z.B. in Bodenfiltern eine deutliche Verminderung der P-Immissionen erfolgen. Dieser Ansatz, der der Gruppe b) zuzuordnen ist, erfordert die Inanspruchnahme von Flächen, die nahe an den landwirtschaftlichen Nutzflächen liegen, was bei der Umsetzung zu berücksichtigen ist.

Eine weitere und hier aufgrund der Lage der betroffenen Flächen möglicherweise naheliegende Maßnahme besteht darin, die Gräben, die die stark belasteten Drainageabflüsse aufnehmen, in das Bornbacheinzugsgebiet umzuleiten. Damit würden sie nicht mehr dem Dümmers zugeführt. Formal kann diese Maßnahme der Gruppe c) zugeordnet werden.

Mit den hier genannten Maßnahmen kann eine sehr gute Wirkung erzielt werden. Die Belastungen aus diesen Flächen für den Dümmers können so erheblich vermindert werden.

5.1.3 Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen über den Pfad Abschwemmung

Eine Verminderung der Phosphorbelastung durch direkte Abschwemmungen von Wirtschaftsdünger von gewässernahen Flächen kann nur durch die Anpassung der Düngepraxis erreicht werden.

Die wesentlichen Maßnahmen, die dem Ansatz a) zuzuordnen sind, betreffen hier die zeitliche Beschränkung der Aufbringung von Wirtschaftsdünger und die Einrichtung von Schutzstreifen mit Verzicht auf Düngeinsatz bzw. mit reduzierter Düngeintensität oder bis hin zu einer Flächenumwandlung/-stilllegung in Gewässernähe (Einrichtung eines Gewässerrandstreifens).

Eine genauere Quantifizierung der Wirkung dieser Maßnahmen ist kaum durchführbar, da für die Abschwemmung von Dünger bzw. Gülle bestimmte Ereignisse zusammentreffen müssen, deren Vorhersage kaum möglich ist. Zudem sind die relevanten Flächen schwer abzugrenzen. So ist es entscheidend, ob in Verbindung mit Niederschlags- bzw. Abflussereignissen verfrachtbare Düngermengen auf den relevanten gewässernahen Flächen vorhanden sind.

Wenn die oben beschriebenen Maßnahmen zur Anwendung kommen, kann von einer deutlichen Verminderung - bis hin zu einer vollständigen Vermeidung - der Phosphoreinträge in die Gewässer über diesen Pfad ausgegangen werden.

5.1.4 Maßnahmen für weitere Pfade

Die punktuellen Einträge, die dem Dümmer über Entwässerungssysteme und kommunale Kläranlagen zufließen sind von untergeordneter Bedeutung. Hinsichtlich von Maßnahmen zur Eintragsminimierung sind diese punktförmigen Quellen vergleichsweise gut zu fassen, aber aufgrund der vielerorts bereits umgesetzten Maßnahmen, wie z.B. die Anwendung von Verfahren zur weitergehenden Phosphorelimination, weitgehend ausgereizt. Die P-Austräge aus KKA, die mit ca. 10 % an den P-Belastungen des Dümmer beteiligt sind, bieten ein gewisses Verminderungspotential. Aufgrund der dezentral verorteten KKA ist eine Situationsverbesserung nur vergleichsweise langfristig und mit größerem Aufwand zu erreichen. Die Ertüchtigung und die Sicherstellung des fachgerechten Betriebes über regelmäßige Wartung sind hier ein möglicher Weg. Darüber hinausgehende Verbesserungen sind nur mit sehr großem Aufwand zu erreichen.

5.2 Effektivität der Maßnahmen

Um eine sinnvolle Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Belastungsminimierung des Dümmer treffen zu können, ist es wichtig, sich zu vergegenwärtigen, in welchem Maße die einzelnen vorgestellten Maßnahmen zu einer Belastungsminimierung führen.

Die Effektivität von Maßnahmen zur Verminderung von Phosphoreinträgen über den Pfad Wassererosion ist sehr unterschiedlich. Sie reicht von wenigen Prozent (z.B. Spurlockerung) bis zu fast vollständiger Eindämmung der Erosion (z.B. Dauerbegrünung). Auch wenn der konkrete Effekt einer Maßnahme stark von standörtlichen Randbedingungen abhängig ist, lassen sich für viele Maßnahmen die unteren und oberen Grenzen ihres Verminderungspotenzials angeben. Eine entsprechende Bewertung der Effektivität der Maßnahmen erfolgte u.a. nach VDLUFA (2001), NITZSCHE ET AL. (2004), KLIK (2003) und KLIK ET AL. (2000), FELDWISCH (2004), BECKER ET AL. (2004), MOSIMANN ET AL. (1990) und NLWKN (2008), die Wirkungsweise der Maßnahmen, der Bereich ihres Wirkungsgrades und der anzusetzende mittlere Wert sowie eine Einstufung der Effektivität (von ++ = sehr hoch bis -- = sehr gering) ist Tabelle 64 zu entnehmen.

Tabelle 64: Effektivität von Maßnahmen zur Verminderung von Phosphoreinträgen über Wassererosion. Ergänzt nach VDLUFA (2001)

Maßnahme	Erosions- schutz	Gewässer- schutz	Verminderung [%]			Effektivität *
			von	bis	Wert	
Mulchsaat	ja	indirekt	50	80	70	+
überjährige Untersaat	ja	indirekt	50	70	60	+
konservierende Bodenbearbeitung	ja	indirekt	20	70	50	+
Niederdruckbereifung	ja	indirekt	10	30	20	-
Spurlockerung	ja	indirekt	10	10	10	--
Kartoffelvorkeimung	ja	indirekt	10	10	10	--
Querstreifeneinsaat	ja	indirekt	5	5	5	--
Flächenumnutzung, Aufforstung	ja	indirekt	99	99	99	++
Flächenumnutzung, Dauerbegrünung	ja	indirekt	98	98	98	++
Fruchtfolgeänderung	ja	indirekt	30	70	50	+
Zwischenfruchtanbau	ja	indirekt	unterschiedlich			meist +
Verkl. der Schlaggröße mit Landschaftsstrukt.	ja	indirekt	20	50	35	+
Unterteilung großer Hanglängen (Halbierung)	ja	indirekt	20	40	30	o
Bearbeitung quer zum Hang	ja	indirekt	10	30	20	-
Hecken, Gebüschanpflanzungen	ja	indirekt	eher gering			- bis o
Verminderung Oberflächenabfluss	ja	indirekt	oft hoch			+
begrünte Abflussmulden	ja	indirekt	50	70	60	+
Gewässerrandstreifen, schmal	nein	ja	10	30	15	-
Gewässerrandstreifen, mittel	nein	ja	25	75	50	+
Gewässerrandstreifen, breit	nein	ja	80	95	90	++
Sedimentationsbecken	nein	ja	50	70	60	+
gewässerparallele Ausmuldung	nein	ja	hoch			+
Sandfang im Graben	nein	(ja)	hoch			+
Sandfang im Bach	nein	(ja)	hoch			+

*: ++: sehr hoch, +: hoch, o: mittel, -: gering, --: sehr gering

Effektivität von Maßnahmenbündeln

Viele Maßnahmen zur Verminderung von Phosphoreinträgen führen nur zu einer teilweisen Verminderung der Belastung. Daher ist es oftmals erforderlich verschiedene Maßnahmen miteinander zu kombinieren, um den gewünschten Effekt einer weitgehenden Eintragsverminderung zu erzielen.

VDLUFA (2001) gibt eine einfache Methodik an, mit der die Wirksamkeit, d.h. der Verminderungsgrad kombinierter Maßnahmen ermittelt und prozentual angegeben werden kann:

$$\text{Verminderung} = 100 - (100 - w_1) \cdot \frac{(100 - w_2)}{100} \cdot \dots \cdot \frac{(100 - w_n)}{100}$$

wobei w_1 bis w_n die Wirksamkeit der n Einzelmaßnahmen aus Tabelle 64 repräsentiert.

Ein Beispiel:

Werden Mulchsaat (Einzeleffektivität 70 %) und eine Fruchtfolgeänderung (von weniger bodendeckenden Fruchtarten wie Mais zu besser bodendeckenden wie z.B. Wintergerste, Einzeleffektivität von 50 %) kombiniert, ergibt sich ein rechnerisches (mittleres) Verminderungspotenzial von 85 %.

5.3 Ableitung und räumliche Zuweisung prioritärer Maßnahmen zur Verminderung der Phosphorbelastung des Dümmer

Entsprechend der ermittelten dominierenden Eintragspfade und der Hauptbelastungsschwerpunkte für Phosphorbelastungen im Einzugsgebiet des Dümmer können Maßnahmen abgeleitet werden, die zu einer relevanten Entlastung des Dümmer führen. Insbesondere für den Eintragspfad Erosion, der aktuell für ca. 40 % der Phosphorimmissionen in den Dümmer verantwortlich ist, muss eine Verbesserung erreicht werden. Aus den Modellierungen können die hierfür relevanten Flächen gut lokalisiert und abgegrenzt werden. Gleiches gilt für den ebenfalls relevanten diffusen Eintragspfad „Dränage“.

Zusammenfassend werden nachfolgend für die einzelnen Hauptbelastungsschwerpunkte bzw. -pfade Maßnahmen vorgeschlagen, die zu einer deutlichen Situationsverbesserung - d.h. zu einer P-Belastungsverminderung für den Dümmer - führen können. Die Grundlage hierfür stellen die Erkenntnisse der Belastungsanalyse dar (vgl. Kap. 4); sie ermöglichen es nicht nur, die räumlichen Belastungsschwerpunkte auf Ebene der TEZG auszuweisen, sondern erlauben zudem die dominierenden Eintragspfade zu identifizieren sowie die relevantesten Flächen mit den höchsten Belastungen für den Dümmer zu lokalisieren. Auf dieser Datenbasis lassen sich folglich räumlich gut abgrenzbare, effektive und somit zielführende Maßnahmen zuweisen.

5.3.1 Räumliche Zuordnung von Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen über den Pfad Erosion

Wie die Ergebnisse der Belastungsanalyse in Kap. 4 gezeigt haben, lassen sich im EZG Dümmer mehrere räumliche Belastungsschwerpunkte lokalisieren. Für das Jahr 2010 waren dies 8 TEZG (Hot Spots). In 7 der 8 TEZG stellen dabei erosive P-Immissionen den dominierenden Eintragspfad dar (vgl. Tabelle 51). Die erosiven P-Immissionen dieser 7 TEZG verursachen auf Basis der Modellergebnisse mit fast 5 t über 85 % der gesamten erosiven P-Immissionen und etwa 33 % aller P-Immissionen im EZG Dümmer für das Jahr 2010.

Tabelle 65: Feldblöcke mit besonders hohen erosiven P-Immissionen innerhalb der Belastungsschwerpunkte für das Jahr 2010; Angabe der Flächenanteile und zugehörigen P-Immissionen für verschiedene Belastungen

TEZG	Belastung > 1 kg/ha pro Feldblock*		Belastung > 2 kg/ha pro Feldblock*		Belastung > 3 kg/ha pro Feldblock*	
	Fläche [ha]	P-Immission [kg]	Fläche [ha]	P-Immission [kg]	Fläche [ha]	P-Immission [kg]
0	340	753	139	474	65	295
4	24	115	8	97	8	97
6	209	667	117	529	75	422
9	89	384	59	337	42	298
10	352	1.689	260	1.552	214	1.438
13	41	146	36	138	14	82
19	180	383	93	263	24	98
Summe	1.235	4.137	712	3.390	442	2.730

* nur für Niedersachsen

Werden in diesen 7 TEZG die Flächenanteile identifiziert, die besonders hohe erosive P-Belastungen verursachen, können die Zielflächen lokalisiert werden, auf denen Maßnahmen zur Minderung der P-Belastung des Dümmers besonders effektiv durchzuführen sind. Eine entsprechende Auswertung ist Tabelle 65 zu entnehmen. Demnach resultieren auf Basis der Modellergebnisse 2,7 t und damit fast 18 % der gesamten P-Immissionen im EZG Dümmers von lediglich 4,4 km² (knapp 1,5 % der Gebietsfläche, Feldblöcke mit erosiven P-Immissionen > 3 kg/ha).

Davon ausgehend, dass sich durch geeignete Maßnahmen auf und an den LNF eine Verminderung erosiver P-Immissionen von etwa 80 % erreichen ließe, könnte auf Basis der Belastungsanalyse für das Jahr 2010 in den 7 Hot Spots bereits auf 4,4 km² LNF die P-Belastung des Dümmers um etwa 2,2 t verringert werden. Entsprechend ließe sich (rein rechnerisch) auf weiteren 7,9 km² (mit erosiven P-Immissionen zwischen 1 und 3 kg/ha) eine zusätzliche Verminderung der P-Belastung des Dümmers um 1,1 t erzielen. Somit könnte allein in den 7 Hauptbelastungsgebieten die P-Belastung des Dümmers über den Pfad Erosion um bis zu 3,3 t auf vergleichsweise geringer Fläche reduziert werden.

Da die deutlich höchsten und für den Dümmers besonders relevanten P-Belastungen überwiegend in den Wintermonaten (Dezember bis Februar) zu beobachten sind, erscheinen erosionsmindernde Maßnahmen, die die Bodenbedeckung in diesem Zeitraum erhöhen und somit Bodenabträge sehr effektiv mindern (wie z.B. Zwischenfruchtanbau oder Mulch- und Direktsaatverfahren) besonders zielführend. Alternativ können erosive Belastungen auch durch ausreichend dimensionierte Randstreifen (notwendige Breite und Ausprägung stark von den örtlichen Bedingungen abhängig) zurückgehalten werden (vgl. Kap. 5.1.1).

Welche Maßnahme für welchen Feldblock die geeignetste ist, lässt sich letztlich nur anhand der konkreten Bedingungen vor Ort entscheiden und ist u.a. davon abhängig, welche Kulturart aktuell angebaut wird und welche Maßnahme überhaupt umgesetzt werden kann (Akzeptanz bei den Betroffenen).

5.3.2 Räumliche Zuordnung von Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen über Dränagen

Im TEZG 27 (Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte) dominieren P-Immissionen über Dränagen und Grundwasser. Verursacht werden sie weitgehend von den ganz im Norden des TEZG gelegenen Hochmoorflächen in landwirtschaftlicher Nutzung. Zumindest die über Dränagen resultierenden P-Immissionen von ca. 330 kg/a für das Jahr 2010 könnten durch einen weitgehenden Rückbau der Dränagen auf den betroffenen Flächen oder durch eine Umleitung der stark belasteten Drainageabflüsse in das Bornbacheinzugsgebiet minimiert bzw. hinsichtlich der Belastung des Dümmers vollständig verhindert werden.

5.3.3 Konkrete Maßnahmen zur Verminderung von Phosphorbelastungen über den Pfad Abschwemmung

Die P-Immissionen für den Dümmers, die aus dem Eintragspfad Abschwemmung herrühren, sind schwer räumlich zu differenzieren. Zur Minderung dieser P-Immissionen für den Dümmers, die überwiegend auf einer Verfrachtung von Wirtschaftsdünger (Gülle) von den LNF in

die Gewässer zurückzuführen sind, wird empfohlen, die Einhaltung eines Mindestabstandes von 30 m zum Gewässer bzw. Graben bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger sicherzustellen. Da die kritische Zeit für P-Belastungen insbesondere das Frühjahr betrifft, wäre zumindest eine spätere Aufbringung von Wirtschaftsdünger als bisher hilfreich. Insgesamt gibt es im EZG Dümmer etwa 23,5 km² landwirtschaftliche Nutzfläche, die innerhalb eines 30 m-Streifens zu einem Gewässer liegt. Eine genaue Aussage, welche dieser Flächen die wirklich relevanten sind oder die quantitative Benennung des Verminderungspotenzials für die Einträge in die Gewässer, ist jedoch kaum möglich. Eine konsequente Beachtung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden („gute fachliche Praxis“) und die Beachtung der entsprechenden Auflagen, wie sie z.B. in der Gülleverordnung dargelegt sind, werden hier zu einer merkba- ren Minderung der P-Immissionen für den Dümmer führen.

5.3.4 Erreichbare Belastungsverminderung

Alleine die für den Eintragspfad Erosion für die Belastungsschwerpunkte vorgestellten Maßnahmen beinhalten bereits ein vergleichsweise effektiv umsetzbares Verminderungspotenzial der P-Immissionen für den Dümmer von mehr als 3 Tonnen (Bezug 2010). Damit wird deutlich, dass das zukünftige Ziel einer Reduzierung der P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen im EZG des Dümmers um 30 % durchaus erreicht werden kann. Wenn darüber hinaus auch die weiteren ca. 1,7 t Phosphor, die durch Erosion auf den restlichen LNF anfallen und die P-Immissionen aus der Abschwemmung von den heutigen 2,5 t halbiert werden können, so ist auch eine Verminderung der P-Immissionen für den Dümmer von insgesamt 5 t möglich. Dies entspricht etwa einer Verminderung um 50 % der gesamten P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen (auf das Jahr 2010 bezogen). Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist allerdings eine starke Akzeptanz und Beteiligung seitens der Landwirtschaft. Das gilt nicht nur für die Umsetzung von Maßnahmen, sondern auch schon für die räumliche Identifizierung bzw. Verifizierung der lokalen Belastungsschwerpunkte.

Um den Aufwand für die vorgeschlagen Maßnahmen ermitteln und bewerten zu können wurden Kosten recherchiert. Über das Agrar-Umweltprogramm (NAU/BAU) oder aus Trinkwasserschutzkooperationen (NLWKN 2011, sowie mündl. Auskünfte aus dem Dümmereinzugsgebiet) gibt es Erfahrungen, wie flächenbezogene Maßnahmen ohne Gebietskulisse gefördert werden, um Emissionen aus den landwirtschaftlichen Nutzflächen zu reduzieren. Für die beispielhaft für das Dümmergebiet vorgeschlagenen Maßnahmen sind in Tabelle 66 Faustwerte für die Kosten dargestellt.

Für eine Verminderung der P-Immissionen über den dominierenden Eintragspfad Erosion kann demnach schon mit einfachen und kostengünstigen Maßnahmen, wie dem Anbau von Zwischenfrüchten und durch Mulchsaat viel erreicht werden. Auch für den Eintragspfad Abschwemmung gibt es über die Maßnahmen zur angepassten Ausbringung von Wirtschaftsdünger ein nicht übermäßig kostenintensives Potenzial für eine Verminderung der P-Belastungen des Dümmers.

Tabelle 66: Zugrunde gelegte Kosten für angepasste Bewirtschaftungsmethoden in der Landwirtschaft

Maßnahme	Kosten in €/ha*	Quelle	Anwendung für welchen Eintragspfad
Zwischenfrucht	110*	NAU/BAU	Erosion
Randstreifen mit Bewirtschaftungsauflagen (ohne Düngung)	540*	NAU/BAU	Erosion Abschwemmung
Mulchsaat	40*	NAU/BAU	Erosion
Zeitliche Beschränkung bei Gülleausbringung	40*	NLWKN 2011	Erosion Abschwemmung
Verzicht auf Ausbringung von tierischem Wirtschaftsdünger	250*	NLWKN 2011 Koop Melle/ Wittlage	Abschwemmung Dränage
Flächenstilllegung über Flächenankauf	50.000**	mdl. Aussage	Dränage

* :jährlicher Förderungsbetrag für 5/10 Jahre Verpflichtung

** :einmaliger Betrag

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der Dümmer ist aufgrund jahrzehntelanger hoher Nährstoffzufuhren stark eutrophiert, wodurch es in den letzten Jahren mehrfach zu Blaualgenblüten verbunden mit Nutzungseinschränkungen gekommen ist. Ursache hierfür ist u.a. die intensive landwirtschaftliche Nutzung im Einzugsgebiet verbunden mit umfangreichen Meliorationsmaßnahmen insbesondere an Hoch- und Niedermoorstandorten, wodurch der Hauptzufluss Hunte relativ hohe Nährstofffrachten aufweist. Das wesentliche Ziel dieses Gutachtens bestand darin, aktuelle Erkenntnisse über die Belastungssituation und insbesondere die räumlichen Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer zu erlangen. Es erfolgte daher mit einem von den Auftragnehmern entwickelten Bilanzmodell für das EZG Dümmer eine Bilanzierung der P-Belastung für verschiedene Belastungszustände (Zeiträume). Hierauf aufbauend wurde eine pfadnutzungsspezifische Belastungsanalyse zur räumlichen Identifizierung und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte durchgeführt. Anhand der dabei erzielten Erkenntnisse wurden räumlich differenzierte, und hinsichtlich einer Verminderung der P-Belastung des Dümmers effektive und zielführende Maßnahmen abgeleitet.

P-Belastung des Dümmers vor der Bornbachumleitung

In einem ersten Schritt wurde die Belastungssituation des Dümmers für folgende Belastungszustände ermittelt:

- mittlerer Zustand (langjähriger mittlerer Abfluss und mittlere Fracht),
- hohe Belastung (Jahr 2002, hoher Abfluss und hohe P-Fracht) und
- geringe Belastung (Jahr 2006, geringer Abfluss und geringe P-Fracht).

Diese ersten Bilanzierungen erfolgten für Zeiträume vor der Bornbachumleitung in 2009, da einerseits die gewünschten Belastungszustände nur hier definiert werden konnten und andererseits so zudem Aussagen über die Effektivität der Sanierungsmaßnahme Bornbachumleitung für den Dümmer ermöglicht werden. Weiterhin sind die genannten Belastungszustände dazu geeignet, das verwendete Bilanzmodell hinsichtlich seiner Fähigkeit diese sehr unterschiedlichen Belastungssituationen im EZG Dümmer abzubilden zu bewerten.

Die ausgewählten Bilanzzeiträume sowie die zugehörigen Referenzabflüsse und -frachten auf Basis der Pegeldata sind Tabelle 67 zu entnehmen.

Tabelle 67: Bilanzzeiträume sowie die zugehörigen Referenzabflüsse und -frachten auf Basis der Pegeldata für den Zustand vor der Bornbachumleitung

Zeitraum	Referenzen auf Basis der Pegeldata	
	Abfluss [m ³ /s]	P-Fracht [t]
Mittel	3,09	28,0
2002	4,70	40,0
2006	1,95	14,7

Im EZG Dümmer wurden bei der Bilanzierung für die mittleren Abflussbedingungen P-Emissionen von insgesamt 45,4 t/a ermittelt. Bei einer mittleren Retention von 41,9 % (als Mittel des EZG) folgt hieraus eine Immission von 26,4 t/a, womit die Referenzfracht leicht um 5,7 % unterschätzt wird (vgl. Tabelle 37).

Wie Tabelle 37 weiterhin zeigt, werden neben den mittleren Bedingungen auch die deutlich erhöhten Frachten in 2002 sowie die erheblich geringeren Frachten in 2006 von dem Bilanzmodell für den Auslasspegel Schäferhof mit Abweichungen von lediglich 7,2 % (für 2002) bzw. -9,0 % (für 2006) hervorragend abgebildet.

Tabelle 68: EZG Dümmer: Abgleich der bilanzierten P-Emissionen und berechneten P-Immissionen mit Phosphorfrachten am Gebietsauslass (Pegel Schäferhof) für verschiedene Zeiträume vor der Bornbachumleitung

Gebietsauslass: Pegel Schäferhof			
	2002	mittl. Zustand	2006
Emission [t/a]	69,1	45,4	24,8
Retention [%]	38,0	41,9	46,0
Immission Modell [t/a]	42,8	26,4	13,4
Fracht Pegel [t/a]	40,0	28,0	14,7
Abweichung [%]	7,2	- 5,7	- 9,0
Bewertung Modellgenauigkeit	++	++	++

Somit lässt sich festhalten, dass die Referenzfrachten vor der Bornbachumleitung vom Bilanzmodell für alle Zeiträume und vor allem für die sehr unterschiedlichen Belastungszustände hervorragend abgebildet werden. Hieraus lässt sich ableiten, dass das Modell die relevanten landnutzungs- und standortspezifischen Abhängigkeiten, die einen maßgeblichen Einfluss auf die Höhe des Phosphoreintrages ausüben, berücksichtigt. Das Bilanzmodell erscheint daher auch bestens geeignet, die Belastungszustände nach der Bornbachumleitung zuverlässig abzubilden.

Das nachfolgende Bild 65 zeigt die mit dem Bilanzmodell für die 3 Zeiträume vor der Bornbachumleitung erzielten Ergebnisse für die P-Immissionen (resultierende Frachten am Auslasspegel Schäferhof) pro Pfad.

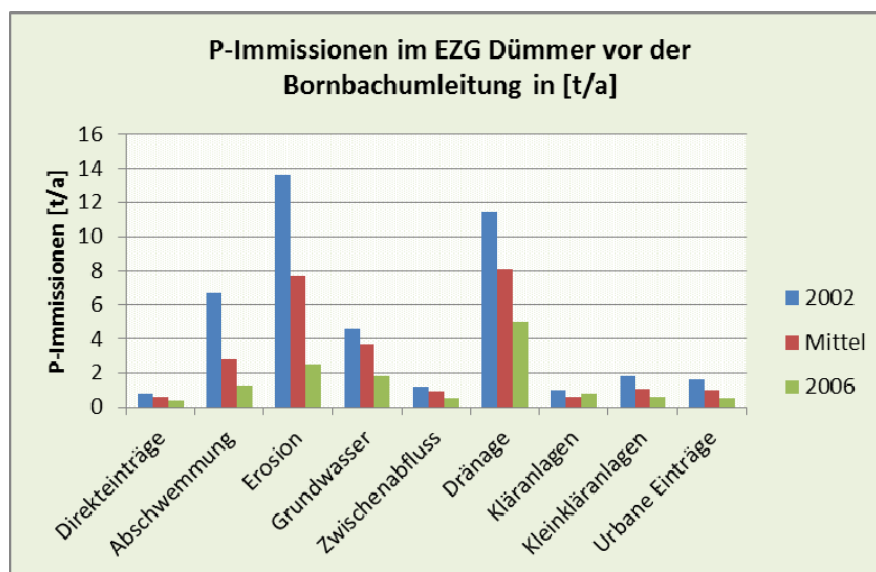


Bild 65: Pfaddifferenzierte P-Immissionen vor der Bornbachumleitung (bei mittleren Abflussbedingungen sowie den Jahren 2002 und 2006) im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof

Es wird deutlich, dass vor der Bornbachumleitung aufgrund der unterschiedlichen Jahreseinflüsse sowohl die Summen der jeweiligen Eintragspfade untereinander als auch ihre Bedeutung zueinander variieren. So ist z.B. die über Dränagen verursachte P-Immission in 2006 der mit Abstand dominierende Eintragspfad, während 2002 die Erosion überwiegt. Beim mittleren Zustand dagegen sind diese beiden Pfade fast gleichbedeutend. Insgesamt kann den diffusen Eintragspfaden mit Anteilen zwischen etwa 85 und 90 % die Hauptbelastung zugeordnet werden.

Eine Auswertung auf Ebene der Teilgebiete hat weiterhin gezeigt, dass die Bornbachumleitung eine sehr effektive Maßnahme gewesen ist. Der aus dem Gebiet des Bornbachs resultierende Frachtanteil an der gesamten P-Belastung des Dümmers lag für die 3 betrachteten Zeiträume zwischen etwa 42 und 53 %. Folglich ist für den Zeitraum nach der Bornbachumleitung von einer erheblich verminderten P-Belastung für den Dümmers auszugehen.

Eine detaillierte Darstellung und Interpretation der erzielten Ergebnisse für die Bilanzierung der P-Belastungen vor der Bornbachumleitung ist Kap. 3.3, Angaben zu Belastungsschwerpunkten sind für diesen Zeitraum Kap. 4.2 zu entnehmen.

P-Belastung des Dümmers nach der Bornbachumleitung

Für die Zeit nach der Bornbachumleitung wurden die beiden aktuellen Jahre 2010 und 2011 berechnet.

Wie Tabelle 69 zeigt, vermag es das Modell auch den P-Belastungszustand nach der Bornbachumleitung gut bis sehr gut abzubilden. Die auf den täglichen Messungen am Pegel Schäferhof beruhende Referenzfracht wird lediglich um 6,3 % bzw. 12,2 % unterschätzt.

Tabelle 69: EZG Dümmers: Abgleich der bilanzierten P-Emissionen und berechneten P-Immissionen mit Phosphorfrachten am Gebietsauslass (Pegel Schäferhof) für die Jahre 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung

	2010	2011
Emission [t/a]	25,8	18,4
Retention [%]	44,2	50,8
Immission Modell [t/a]	14,4	9,0
Fracht Pegel [t/a]	15,4	10,3
Abweichung [%]	- 6,3	- 12,2
Bewertung Modellgenauigkeit	++	+

Das Bilanzmodell erscheint daher sehr gut geeignet, die Belastungsschwerpunkte nach der Bornbachumleitung zuverlässig abzubilden.

Das nachfolgende Bild 66 zeigt die mit dem Bilanzmodell für 2010 und 2011 (nach der Bornbachumleitung) erzielten Ergebnisse für die P-Immissionen (resultierende Frachten am Auslasspegel Schäferhof) pro Pfad.

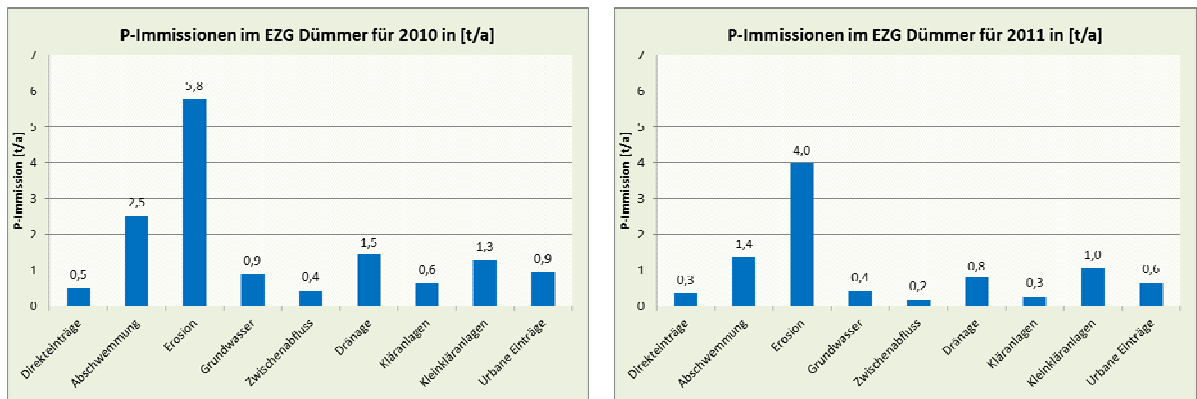


Bild 66: Pfaddifferenzierte P-Immissionen nach der Bornbachumleitung für die Jahre 2010 und 2011 im EZG Dümmer in [t/a], Bezug Auslasspegel Schäferhof

Hieran lässt sich der Effekt der Bornbachumleitung auf die P-Belastung des Dümmer sehr gut ablesen. Die zuvor sehr hohen P-Immissionen über Dränagen haben ebenso markant abgenommen wie die zuvor hohen P-Immissionen über Grundwasser. Sie resultierten aus den im Bornbachgebiet großflächig vorliegenden Hoch- und Niedermooren in landwirtschaftlicher Nutzung. In Folge dessen dominieren in 2010 und 2011 gemäß der Modellergebnisse eindeutig die erosiven P-Belastungen, die überwiegend aus den hügeligen Gebieten südlich des Mittellandkanals im Bereich des Wiehengebirges stammen. Daneben haben noch P-Immissionen über Abschwemmung eine Bedeutung; hierzu tragen zu einem großen Anteil P-Belastungen, die auf die Ausbringung von Wirtschaftsdünger (Gülle) in Gewässernähe zurückzuführen sind, bei (vgl. Kap. 2.6.3.1).

Eine detaillierte Darstellung und Interpretation der erzielten Ergebnisse für die Bilanzierung der P-Belastungen nach der Bornbachumleitung ist Kap. 3.4 zu entnehmen.

Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für 2010 und 2011 nach der Bornbachumleitung

Die Ausweisung der Belastungsschwerpunkte für die Jahre 2010 und 2011 erfolgte auf Basis der ermittelten P-Immissionen (vgl. Kap. 3.4.2.1). Als räumliche Bewertungsgrößen fungierten die 28 hydrologischen Teileinzugsgebiete (TEZG).

Im Sinne einer pfadnutzungsbezogenen Belastungsanalyse des EZG Dümmer wurden die P-Immissionen einer mehrstufigen Bewertung unterzogen. Folgende Kriterien wurden dabei berücksichtigt:

1. Summe der gesamten P-Immissionen pro TEZG in kg/a.
2. Flächenbezogene Belastung im TEZG durch die gesamten P-Immissionen in kg/ha·a.
3. Summe der diffusen P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen pro TEZG in kg/a.
4. Flächenbezogene Belastung von landwirtschaftlichen Nutzflächen im TEZG durch die diffusen P-Immissionen in kg/ha·a.
5. Identifizierung und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte auf Ebene der TEZG nach den Erkenntnissen der Bewertungsschritte 1 bis 4.
6. Pfadbezogene Belastungsanalyse für die identifizierten Belastungsschwerpunkte: Ausweisung der dominierenden und weiteren relevanten Eintragspfade.

Als Ergebnis der Belastungsanalyse ergeben sich für das EZG Dümmer und das Jahr 2010 die in Bild 67 dargestellten 8 TEZG als Belastungsschwerpunkte (Hot Spots für die P-Belastung des Dümmer). Ebenfalls Bild 67 ist das Ranking der relevanten TEZG sowie die Bewertung der Priorität für Maßnahmen zu entnehmen.

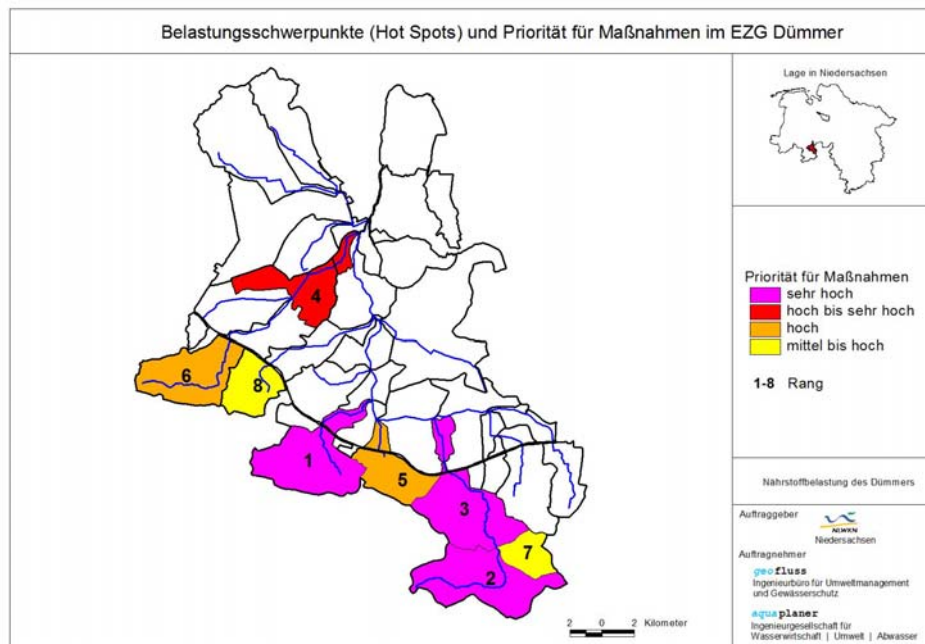


Bild 67: Ausweisung der Belastungsschwerpunkte im EZG Dümmer für das Jahr 2010: Ranking der relevanten TEZG und Bewertung der Priorität für Maßnahmen

Die pfadbezogene Belastungsanalyse für die Belastungsschwerpunkte ergab, dass in 7 der 8 räumlichen Belastungsschwerpunkte der Pfad Erosion der dominierende Eintragspfad ist (vgl. Tabelle 70). Die erosiven P-Immissionen dieser 7 TEZG machen mit fast 5 t über 85 % der gesamten erosiven P-Immissionen und etwa 1/3 aller P-Immissionen im EZG Dümmer für das Jahr 2010 aus. Lediglich im TEZG Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte dominieren P-Immissionen über Dränagen.

Tabelle 70: Pfadbezogene Belastungsanalyse für die als Belastungsschwerpunkte ausgewiesenen TEZG, Bezug 2010

Nr. TEZG	Bezeichnung TEZG	Rang	dominierender Eintragspfad	weitere relevante Eintragspfade
10	Lecker Mühlenbach	1	Erosion	ggf. Abschwemmung
0	Hunte, Quelle bis Glanebach	2	Erosion	keine
6	Hunte, Glanebach bis Wimmerbach	3	Erosion	ggf. Abschwemmung
27	Elze, Venner Bruchkanal bis Hunte	4	Dränagen	ggf. Abschwemmung, Grundwasser, KA, ggf. KKA
9	Westerbach/Wehrendorfer Mühlbach	5	Erosion	keine
19	Venner Mühlenbach, Quelle bis MLK	6	Erosion	ggf. Abschwemmung
4	Strothbach, Quelle bis MLK	7	Erosion	keine
13	Glanebach	8	Erosion	keine

Empfehlungen zur Minderung der P-Belastung des Dümmers

Basierend auf der pfadnutzungsbezogenen Analyse der Belastungssituation im EZG Dümmer nach der Bornbachumleitung können folgende Empfehlungen zur Minderung der P-Belastung des Dümmers gegeben werden:

1. In den ausgewiesenen Belastungsschwerpunkten dominieren weitgehend die erosiven P-Immissionen. Entsprechend sind dort insbesondere Maßnahmen zur Minderung erosiver P-Belastungen zu empfehlen. Da die deutlich höchsten und für den Dümmer besonders relevanten P-Frachten überwiegend in den Wintermonaten (Dezember bis Februar) resultieren, erscheinen Maßnahmen, die die Bodenbedeckung in diesem Zeitraum erhöhen und somit Bodenabträge sehr effektiv mindern (wie z.B. Zwischenfruchtanbau oder Mulch- und Direktsaatverfahren), besonders zielführend. Alternativ können erosive Belastungen auch durch ausreichend dimensionierte Randstreifen (erforderliche Breite und Ausprägung stark von den örtlichen Bedingungen abhängig) zurückgehalten werden.
2. Im TEZG Elze zwischen Venner Bruchkanal und Hunte dominieren P-Immissionen über Dränagen und Grundwasser. Verursacht werden sie weitgehend von den ganz im Norden des TEZG gelegenen Hochmoorflächen in landwirtschaftlicher Nutzung. Zumindest die über Dränagen resultierenden P-Immissionen von ca. 330 kg/a könnten durch einen weitgehenden Rückbau der Dränagen auf den betroffenen Flächen minimiert werden. Eine weitere und hier aufgrund der Lage der betroffenen Flächen möglicherweise naheliegende Maßnahme besteht darin, die Gräben, die die stark belasteten Drainageabflüsse aufnehmen, in das Bornbacheinzugsgebiet umzuleiten. Damit würden sie nicht mehr dem Dümmer zugeführt.
3. Zur Minderung der unter dem Pfad Abschwemmung erfassten P-Immissionen, die auf einer Verfrachtung von Wirtschaftsdünger (Gülle) in die Gewässer zurückzuführen sind, wird empfohlen, die Einhaltung eines Mindestabstandes von 30 m zum Gewässer bzw. Graben bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger sicherzustellen. Da die kritische Zeit für P-Belastungen insbesondere das Frühjahr betrifft, wäre zumindest eine spätere Aufbringung von Wirtschaftsdünger als bisher hilfreich. Insgesamt gibt es im EZG Dümmer etwa 23,5 km² landwirtschaftliche Nutzfläche, die innerhalb eines 30 m-Streifens zu einem Gewässer liegt. Eine genaue Aussage, welche dieser Flächen die wirklich relevanten sind oder die quantitative Benennung des Verminderungspotenzials für die Einträge in die Gewässer, ist jedoch kaum möglich. Eine konsequente Beachtung nachhaltiger Bewirtschaftungsmethoden („gute fachliche Praxis“) und die Beachtung der entsprechenden Auflagen, wie sie z.B. in der Gülleverordnung dargelegt sind, werden hier zu einer merkbaren Minderung der P-Immissionen für den Dümmer führen.
4. Neben den genannten Maßnahmen können darüber hinaus vergleichsweise technischere Verfahrensweisen zum Einsatz kommen, wie Schilfpolder oder Sedimentationsbecken. Diese Maßnahmen können prinzipiell eher dezentral durch z.B. Schilfpolder im Entwässerungsgraben bzw. nahe am Schlag und/oder zentral, also zur Behandlung größerer Gewässer/Abflüsse in der Nähe des Dümmers angewandt werden. In diesem Zusammenhang wird auf das Gutachten von Herrn Dr. Wolter zum Schilfpolder verwiesen.

5. Es sollte geprüft werden, inwieweit die vor allem durch wenige Einzelereignisse verursachten erosiven P-Belastungen über die vorhandenen Hochwasserentlastungsanlagen gezielt in den Mittellandkanal abgeschlagen werden können. Geschähe dies ereignisabhängig, könnten relevante P-Belastungen für den Dümmer effektiv vermieden werden. Zumindest bis zur Etablierung weiterer Maßnahmen könnte so kurzfristig insbesondere die P-Belastung des Dümmers im Winterhalbjahr deutlich reduziert werden.

Erreichbare Verminderung der P-Belastung des Dümmers durch Bewirtschaftungsmaßnahmen

Alleine die für den Eintragspfad Erosion für die Belastungsschwerpunkte vorgestellten Bewirtschaftungsmaßnahmen beinhalten bereits ein vergleichsweise effektiv umsetzbares Verminderungspotenzial der P-Immissionen für den Dümmer von mehr als 3 Tonnen (2,2 t auf lediglich 4,4 km², weitere 1,1 t auf zusätzlichen 7,9 km², Bezug 2010, vgl. Kap. 5.3.1). Damit wird deutlich, dass das zukünftige Ziel einer Reduzierung der P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen im EZG des Dümmers um 30 % durchaus erreicht werden kann. Wenn darüber hinaus auch die weiteren ca. 1,7 t Phosphor, die durch Erosion auf den restlichen LNF anfallen und die P-Immissionen aus der Abschwemmung von den heutigen 2,5 t halbiert werden können, so ist auch eine Verminderung der P-Immissionen für den Dümmer von insgesamt 5 t möglich. Dies entspricht etwa einer Verminderung um 50 % der gesamten P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen (auf das Jahr 2010 bezogen, vgl. Kap. 5.3.4). Eine wesentliche Voraussetzung hierfür ist allerdings eine starke Akzeptanz und Beteiligung seitens der Landwirtschaft. Das gilt nicht nur für die Umsetzung von Maßnahmen, sondern auch schon für die räumliche Identifizierung bzw. Verifizierung der lokalen Belastungsschwerpunkte.

Die genannten Zahlen zeigen, dass der vom NLWKN genannte tolerable Zielwert einer Phosphorbelastung für den Dümmer von etwa 3,8 t pro Jahr alleine durch Bewirtschaftungsmaßnahmen auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche kaum oder nur sehr schwer erreicht werden kann. Es werden daher weitere Maßnahmen erforderlich sein, zielführende Beispiele für solche Maßnahmen wurden bereits oben genannt.

Zu berücksichtigen ist ferner unbedingt, dass aktuelle Daten und Untersuchungen zu P-Belastungen des Dümmers bei sehr hohen Abflüssen (die erwartungsgemäß mit stark erhöhten P-Frachten einhergehen werden) noch nicht vorliegen. Für solche Bedingungen erscheinen weitere Untersuchungen empfehlenswert. Hierbei sollte insbesondere betrachtet werden, welche (weiteren) räumlichen Belastungsschwerpunkte dann zu verzeichnen sind und in welchem Umfang zusätzliche Bewirtschaftungsmaßnahmen erforderlich sind, um zumindest das Ziel einer Reduzierung der P-Immissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen im EZG des Dümmers um 30 % auch bei stark erhöhten P-Frachten zu erreichen.

Zur messtechnischen Überprüfung der in diesem Gutachten auf Basis von Modellergebnissen ausgewiesenen räumlichen Belastungsschwerpunkte wird ferner empfohlen, tägliche Messungen für die Parameter P_{ges} und $\text{PO}_4\text{-P}$ (als Tagesmischproben) sowie falls möglich für den Abfluss an den Gebietsauslässen der ausgewiesenen Hot Spots durchzuführen. Ein solches Monitoring, das auch die auf Regenereignissen basierenden Frachten erfasst, ermög-

lichte eine zuverlässige Bewertung der Bedeutung der tatsächlichen Frachten aus den ausgewiesenen Belastungsschwerpunkten für die P-Belastung des Dämmers.

7 Literatur

- AD-HOC-AG-BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. 5. Auflage. Schweizerbart, Stuttgart.
- ATV-DVWK (2002): Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. Merkblatt ATV-DVWK M 504, Hennef.
- AUERSWALD, K. (1989a): Prognose des P-Eintrags durch Bodenerosion in die Oberflächen-gewässer der BRD. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 59 (II).
- AUERSWALD, K. (1989b): Predicting nutrient enrichment from long term average soil loss. Soil Techn. 2.
- BECKER, A., LAHMER, W., BEHRENDT, H., KRÖNERT, R., NITZSCHE, O., QUAST, J., SCHWARZE, R. & WENDLAND, F. (2004): Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flussland-schaft. Weißensee-Verlag, Berlin.
- BEHRENDT, H., HUBER, P., KORNILCH, M., OPITZ, D., SCHMOLL, O., SCHOLZ, G. & UEBE, R. (1999): Nährstoffbilanzierung der Flußgebiete Deutschlands. Berlin, Institut f. Gewäs-serökologie und Binnenschiffferei im Forschungsverbund Berlin e.V.: 288.
- BEHRENDT, H. & D. OPITZ (1999): Retention of nutrients in river systems: Dependence on specific runoff and hydraulic load. Hydrobiologia Vol. 410: 111-122.
- BOGENA, H., KUNKEL, R., SCHÖBEL, T., SCHREY, H. P. & WENDLAND, F. (2003): Die Grundwas-serneubildung in Nordrhein-Westfalen. Schriften des Forschungszentrums Jülich - Reihe Umwelt/Environment, Bd. 37. Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich.
- BROMBACH, H. & MICHELBACH, S. (1998): Abschätzung des einwohnerbezogenen Nährstoff-austrags aus Regenentlastungen im Einzugsgebiet des Bodensees. Bericht Int. Ge-wässerschutzkommission für den Bodensee, 49.
- DÖRHÖFER, G. & JOSOPAIT, V. (1980): Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. Geologisches Jahrbuch, Reihe C, Heft 27, Hannover.
- DUTTMANN, R. (1999): Partikuläre Stoffverlagerung in Landschaften. Ansätze zur flächenhaf-ten Vorhersage von Transportpfaden und Stoffumlagerungen auf verschiedenen Maßstabsebenen unter besonderer Berücksichtigung räumlich-zeitlicher Änderung der Bodenfeuchte. Geosynthesis 10. Abteilung Physische Geographie und Land-schaftsökologie der Universität Hannover.
- FELDWISCH, N. (2004): Materialien zur Altlastensanierung und zum Bodenschutz. Landes-umweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen.
- FOGELBERG, S. (2003): Modelling nitrogen retention at the catchment scale. Comparison be-tween HBV-N and MONERIS. Uppsala Technical University. Master thesis.
- GABRIEL, B. & ZIEGLER, G. (1989): Lithofaziesseinheiten - ein neues Konzept zur Berechnung der Grundwasserneubildung im Festgesteinsbereich. Wasserwirtschaft-Wasser-technik Heft 7: 163-165.

- GEOFLUSS (2009): Studie zur Ermittlung von Feinsedimenteinträgen in den Oberlauf der Luhe und deren Nebengewässern - Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Niedersachsen. Teil 2: Detailbetrachtung. Erstellt im Auftrag der Gebietskooperation 28, Lüneburg.
- GOLF, W. (1981): Ermittlung der Wasserressourcen im Mittelgebirge. Wasserwirtschaft-Wassertechnik 31: 93-95. Berlin.
- GROß, J. (2002): Quantifizierung winderosionsbedingter Staubausträge in Agrarlandschaften Niedersachsens. Physische Geographie und Landschaftsökologie. Universität Hannover. Dissertation.
- HENNINGS, V. (1994): Methodendokumentation Bodenkunde. Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. Geologisches Jahrbuch Reihe F (Heft 31). Hannover.
- KLIK, A. (2003): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Oberflächenabfluss, Bodenabtrag sowie Nährstoff- und Pestizidausträge. Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 5-6, 55. Jahrgang, S. 89-96.
- KLIK, A., HEBEL, B., ROSNER, J. (2000): Erosionsschutz in der Landwirtschaft - Erfolgreiche Maßnahmen gegen Bodenerosion auf ackerbaulich genutzten Flächen. LAKO (Landwirtschaftliche Koordinierungsstelle für Bildung und Forschung) und Land-Impulse. 48 S. Wien.
- KRETZSCHMAR, R. (1977): Stofftransport in ländlichen Entwässerungsgräben und Vorflutern. In: Landwirtschaftliche Forschung 30.
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (1998): Der Landschaftswasserhaushalt im Flusseinzugsgebiet der Elbe. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Band 12, Jülich.
- KUNST, S., SCHEER, C. & PANCKOW, N. (2004): Signifikante Nährstoffeinträge aus der Fläche. F & E-Projekt im Auftrag der LAWA. ATV-DVWK-Themen, Hennef.
- LBEG (2009): Flächenverbrauch und Bodenversiegelung in Niedersachsen. GeoBerichte 14, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- LBEG (2008): Grundwasserneubildung in Niedersachsen. Ein Vergleich der Methoden Dörhöfer & Josopait und GROWA06V2. GeoBerichte 10, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- LBEG (2007): Diffuse Nitrat- und Phosphatbelastung. Ergebnisse der Bestandsaufnahme der EUWRRL in Niedersachsen. GeoBerichte 2, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- LITTLEWOOD, I.G. (1995): Hydrological regimes, sampling strategies and assessment of errors in mass load estimates for United Kingdom rivers. Environment International 21, 2.
- LUNG (2002): Bodenerosion. Beiträge zum Bodenschutz in Mecklenburg-Vorpommern. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie in Mecklenburg-Vorpommern.

- MOSIMANN, T., CROLE-REES, A., MAILLARD, A., NEYROUD, J.-A., THÖNI, M., MUSY, A. & ROHR, W. (1990): Bodenerosion im Schweizer Mittelland. Nationales Forschungsprogramm Boden, Liebenfeld-Bern.
- MOSIMANN, T. & RÜTTIMANN, M. (1996): Abschätzung der Bodenerosion und Beurteilung der Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit: Grundlagen zum Schlüssel für Betriebsleiter und Berater mit den Schätztabelle für Südniedersachsen. Geosynthesis Heft 9. Abteilung Physische Geographie und Landschaftsökologie am Geographischen Institut der Universität Hannover. Hannover.
- MÜLLER, U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Arbeitshefte Boden, Heft 2004/2. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). Hannover.
- NLWKN (2011): Trinkwasserschutzkooperationen in Niedersachsen - Grundlagen des Kooperationsmodells und Darstellung der Ergebnisse), Grundwasser Band 13, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, 33 S.
- NLWKN (2008): Wasserrahmenrichtlinie Band 2: Leitfaden Maßnahmenplanung Oberflächengewässer, Teil A: Fließgewässer-Hydromorphologie.
- NITZSCHE, O., KRÜCK, S., ZIMMERLING, B. & SCHMIDT, W. (2004): Innovative Bodenbearbeitungsverfahren zur Minderung von Bodenerosion und Nährstoffeinträgen in Gewässer. In: BECKER, A. & LAHMER, W. (HRSG.): Wasser- und Nährstoffhaushalt im Elbegebiet und Möglichkeiten zur Stoffeintragsminderung. - Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Band 1, Weißensee Verlag Berlin.
- OSPAR (1996): (OSLO-PARIS-KOMMISSION): Principles of the comprehensive study of riverine inputs and direct discharges (RID).
- PANCKOW, N. (2008): Entscheidungsunterstützungssystem im Flussgebietsmanagement: Emissionsmodellierung signifikanter Nährstoffeinträge aus der Fläche. Dissertation an der Fakultät für Architektur und Landschaft der Leibniz Universität Hannover.
- PRASUHN, V., SPIESS, E. & BRAUN, M. (1996): Methoden zur Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in den Bodensee Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Bericht Nr. 45.
- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1996): Berechnung der Verdunstungsjahresnummern einzelner Jahre. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft Heft 238: 47. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft. Bonn.
- RÖDER, M. (1997): Erfassung und Bewertung anthropogen bedingter Änderungen des Landschaftswasserhaushaltes - dargestellt am Beispiel der Westlausitz. TU Dresden. Dissertation.
- SCHÄFER, W. & NEEMANN, W. (1990): Bodenerosion durch Wind in Niedersachsen. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 31, 72-81.
- SCHÄFER, W., SBRESNY, J. & THIERMANN, A. (2010A): Methodik zur Einteilung von landwirtschaftlichen Flächen nach dem Grad ihrer Erosionsgefährdung durch Wasser gemäß

- § 2 Abs. 1 der Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung in Niedersachsen. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- SCHÄFER, W., SBRESNY, J. & THIERMANN, A. (2010B): Methodik zur Einteilung von landwirtschaftlichen Flächen nach dem Grad ihrer Erosionsgefährdung durch Wind gemäß § 2 Abs. 1 der Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung in Niedersachsen. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- SCHEER, C. (2005): Quantifizierung diffuser Nährstoffeinträge - Vergleichende Bewertung mesoskaliger Modelle. Dissertation im Fachbereich Bauingenieur - und Vermessungswesen der Universität Hannover.
- SCHEER, C. & PANCKOW, N. (2012): Weiterführende Modelloptimierung zur Quantifizierung diffuser Nährstoff-einträge als Instrument zur Umsetzung der EG-WRRL - Anpassung für Niedersachsen und Implementierung von Bewirtschaftungsmaßnahmen. F+E-Vorhaben im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums.
- SCHEER, C., PANCKOW, N. & KUNST, S. (2007): Entwicklung eines optimierten Bilanzierungsmodells zur Quantifizierung diffuser Nährstoffeinträge als Instrument zur Umsetzung der EG-WRRL. Abschlussbericht zum gleichnamigen F+E-Vorhaben im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums. Institut für Freiraumentwicklung, Leibniz Universität Hannover. Nicht veröffentlicht.
- SCHEFFER, B. & BLANKENBURG, J. (2004): Diffuse Nährstoffeinträge aus nordwestdeutschen Niederungsgebieten in Fließgewässer. Wasserwirtschaft Band 94, (Heft 3): 28-32.
- SCHEFFER, B. & SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg, Berlin.
- SCHMID, W. & NITZSCHE, O. (2004): Mögliche Maßnahmen der Landwirtschaft zur Minderung diffuser Stoffeinträge. In: BECKER, A. & LAHMER, W. (HRSG.): Wasser- und Nährstoffhaushalt im Elbegebiet und Möglichkeiten zur Stoffeintragsminderung. - Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, Band 1, Weißensee Verlag Berlin.
- SCHWARZE, R., HERRMANN, A., MÜNCH, A., GRÜNWALD, U. & SCHÖNE, M. (1991): Rechnergestützte Analyse von Abflußkomponenten und Verweilzeiten in kleinen Einzugsgebieten. 2: 143-184. Acta hydrophys. 35.
- SCHWERTMANN, U., VOGEL, W. & KAINZ, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser - Vorhersagen des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart.
- TETZLAFF, B. (2006): Die Phosphatbelastung großer Flusseinzugsgebiete aus diffusen und punktuellen Quellen. Schriften des Forschungszentrums Jülich - Reihe Umwelt/Environment, Bd. 65. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Jülich.
- VDLUFA (2001): Mögliche ökologische Folgen hoher Phosphatgehalte im Boden und Wege zu ihrer Verminderung. Standpunkt des VDLUFA, 10.12.2001, Darmstadt. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

- VENOHR, M., I. DONOHUE, S. FOGELBERG, B. ARHEIMER, K. IRVINE und H. BEHRENDT (2005): Nitrogen retention in a river system and the effects of river morphology and lakes. *Water Science & Technology* Vol. 51 (No. 3-4): 19-29.
- VOGES, J. (1999): Empirisches Modell für die mittlere Maßstabsebene zur GIS-gestützten Bestimmung der Anbindung erosionsgefährdeter Ackerflächen an Fließgewässern. Universität Hannover. Dissertation.

