

Modellierung von Phosphor- und Stickstoff- einträgen in Oberflächen- und Grundwasser im Einzugsgebiet des Bederkesaer Sees und Ausweisung der Belastungsschwerpunkte

April 2016

Auftraggeber:

NLWKN

Betriebsstelle Sulingen

Hans-Heinrich Schuster

Am Bahnhof 1

27232 Sulingen

Auftragnehmer:

geofluss

Ingenieurbüro für Umweltmanagement und Gewässerschutz

Zur Bettfedernfabrik 1

30451 Hannover

www.geofluss.de

Bearbeiter:

Dr.-Ing. Carsten Scheer

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Bildverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Aufbau des Berichtes	1
2 Methodik	3
2.1 Untersuchungsgebiet Bederkesaer See	3
2.1.1 Besonderheit im TEZG Falkenburger Bach	4
2.2 Bilanzmodell	5
2.3 Betrachtete Zeiträume	7
2.4 Nährstofffrachten aus Pegeldaten	7
2.5 Retention im Gewässersystem	8
2.6 Methodik zur Ausweisung der Zielkulissen	9
3 Stickstoff- und Phosphoreinträge in Grund- und Oberflächengewässer im Bearbeitungsgebiet des Bederkesaer Sees	11
3.1 Mittlere Stickstoffeinträge im EZG des Bederkesaer Sees	11
3.2 Stickstoffeinträge im EZG des Bederkesaer Sees für 2011	15
3.3 Stickstoffeinträge im EZG des Bederkesaer Sees für 2001	18
3.4 N-Bilanzüberschüsse im EZG des Bederkesaer Sees	22
3.5 Herkunft der Stickstoffeinträge im EZG des Bederkesaer Sees	22
3.5.1 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Ankeloher Randkanal	22
3.5.2 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Falkenburger Bach	24
3.5.3 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Russengraben	25
3.5.4 Übersicht zu den Stickstoffeinträgen aus den einzelnen TEZG	26
3.6 Mittlere Phosphoreinträge im EZG des Bederkesaer Sees	27
3.7 Phosphoreinträge im EZG des Bederkesaer Sees für 2011	32
3.8 Phosphoreinträge im EZG des Bederkesaer Sees für 2001	36
3.9 Herkunft der Phosphoreinträge im EZG des Bederkesaer Sees	39
3.9.1 Phosphoreinträge aus dem TEZG Ankeloher Randkanal	39
3.9.2 Phosphoreinträge aus dem TEZG Falkenburger Bach	40
3.9.3 Phosphoreinträge aus dem TEZG Russengraben	42
3.9.4 Übersicht zu den Phosphoreinträgen aus den einzelnen TEZG	43
3.10 Wasserbilanz im EZG des Bederkesaer Sees	44
3.11 Bewertung der Modellergebnisse zu den Nährstofffrachten im EZG des Bederkesaer Sees	45

4	Ziel- und Maßnahmenkulissen für Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet des Bederkesaer Sees	52
4.1	Vorschläge für Zielkulissen im EZG des Bederkesaer Sees bei mittleren Bedingungen	52
4.1.1	Zielkulissen für die abflussstarken Jahre 2011 und 2001	54
5	Zusammenfassung	56
6	Literatur	59

Bildverzeichnis

Bild 1: EZG des Bederkesaer Sees: Landnutzung nach ATKIS	3
Bild 2: Unterteilung des Untersuchungsgebietes Bederkesaer See	4
Bild 3: Datenfluss und wesentliche Berechnungsschritte im Bilanzmodell	6
Bild 4: Schematische Darstellung der 3 modellintern berücksichtigten Retentionsansätze	8
Bild 5: Modellergebnisse zu den mittleren N-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km ²) in [kg/a]	12
Bild 6: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren diffusen N-Einträge über Zwischenabfluss (links) und für die mittleren diffusen N-Einträge über Dränageabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	12
Bild 7: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren diffusen N-Einträge über Grundwasserabfluss (links) und für die mittleren diffusen N-Einträge über den gesamten unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	13
Bild 8: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die Summe der mittleren diffusen N-Einträge in [kg/ha]	14
Bild 9: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren urbanen N-Einträge in [kg/ha].....	15
Bild 10: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die Summe der mittleren gesamten N-Einträge in [kg/ha]	15
Bild 11: Modellergebnisse zu den N-Emissionen nach Pfaden für das EZG des Bederkesaer Sees für den mittleren Zustand (links) und im Vergleich für 2011 (rechts), jeweils in [kg/a]	16
Bild 12: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die diffusen N-Einträge über Zwischenabfluss (links) und für die diffusen N-Einträge über Dränageabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	17
Bild 13: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die diffusen N-Einträge über Grundwasserabfluss (links) und für die diffusen N-Einträge über den gesamten unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	17
Bild 14: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die Summe der diffusen N-Einträge in [kg/ha]	18
Bild 15: Modellergebnisse zu den N-Emissionen nach Pfaden für das EZG des Bederkesaer Sees für den mittleren Zustand (links) und im Vergleich für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]	19
Bild 16: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die diffusen N-Einträge über Zwischenabfluss (links) und für die diffusen N-Einträge über Dränageabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	20
Bild 17: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die diffusen N-Einträge über Grundwasserabfluss (links) und für die diffusen N-Einträge über den gesamten unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	20
Bild 18: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die Summe der diffusen N-Einträge in [kg/ha]	21
Bild 19: N-Saldo (N-Bilanzüberschuss) im EZG des Bederkesaer Sees für die Jahre 2011 und 2001, jeweils in [kg/ha].....	22
Bild 20: Modellergebnisse zu den mittleren N-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km ² , links) und für das TEZG Ankeloher Randkanal (19,8 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	23
Bild 21: Modellergebnisse zu den N-Emissionen nach Pfaden für das TEZG Ankeloher Randkanal für 2011 (links) und für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]	23
Bild 22: Modellergebnisse zu den mittleren N-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km ² , links) und für das TEZG Falkenburger Bach (2,5 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	24

Bild 23: Modellergebnisse zu den N-Emissionen nach Pfaden für das TEZG Falkenburger Bach für 2011 (links) und für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]	25
Bild 24: Modellergebnisse zu den mittleren N-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km ² , links) und für das TEZG Russengraben (2 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	25
Bild 25: Modellergebnisse zu den N-Emissionen nach Pfaden für das TEZG Russengraben für 2011 (links) und für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]	26
Bild 26: Herkunft der N-Emissionen im EZG Bederkesaer See. Modellergebnisse für die einzelnen TEZG, gesamte N-Emissionen (links) und diffuse N-Emissionen (rechts), jeweils in [%]	26
Bild 27: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km ² , links) und das Untersuchungsgebiet Bederkesaer See (26,4 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	28
Bild 28: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren diffusen P-Einträge über Drainageabfluss (links) und für die mittleren diffusen P-Einträge über Grundwasserabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	29
Bild 29: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren diffusen P-Einträge über Zwischenabfluss (links) und für die mittleren diffusen P-Einträge über unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	30
Bild 30: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren diffusen P-Einträge über Erosion (links) und für die mittleren diffusen P-Einträge über Direkteintrag (rechts), jeweils in [kg/ha].....	30
Bild 31: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die Summe der mittleren diffusen P-Einträge in [kg/ha]	31
Bild 32: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren urbanen P-Einträge in [kg/ha].....	31
Bild 33: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die Summe der mittleren gesamten P-Einträge in [kg/ha].....	32
Bild 34: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das EZG des Bederkesaer Sees für den mittleren Zustand (links) und im Vergleich für 2011 (rechts), jeweils in [kg/a]	33
Bild 35: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die diffusen P-Einträge über Drainageabfluss (links) und für die diffusen P-Einträge über Grundwasserabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	33
Bild 36: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die diffusen P-Einträge über Zwischenabfluss (links) und für die diffusen P-Einträge über unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	34
Bild 37: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die Summe der diffusen P-Einträge in [kg/ha]	35
Bild 38: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die Summe der gesamten P-Einträge in [kg/ha]	35
Bild 39: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das EZG des Bederkesaer Sees für den mittleren Zustand (links) und im Vergleich für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]	36
Bild 40: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die diffusen P-Einträge über Drainageabfluss (links) und für die diffusen P-Einträge über Grundwasserabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	37
Bild 41: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die diffusen P-Einträge über Zwischenabfluss (links) und für die diffusen P-Einträge über unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha].....	37
Bild 42: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die Summe der diffusen P-Einträge in [kg/ha]	38
Bild 43: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die Summe der gesamten P-Einträge in [kg/ha]	39

Bild 44: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km ² , links) und das TEZG Ankeloher Randkanal (19,8 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	40
Bild 45: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das TEZG Ankeloher Randkanal für 2011 (links) und für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]	40
Bild 46: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km ² , links) und das TEZG Falkenburger Bach (2,5 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	41
Bild 47: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das TEZG Falkenburger Bach für 2011 (links) und für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]	42
Bild 48: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km ² , links) und das TEZG Russengraben (2,0 km ² , rechts), jeweils in [kg/a].....	42
Bild 49: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das TEZG Russengraben für 2011 (links) und für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]	43
Bild 50: Herkunft der P-Emissionen im EZG Bederkesaer See. Modellergebnisse für die einzelnen TEZG, gesamte P-Emissionen (links) und diffuse P-Emissionen (rechts), jeweils in [%].....	43
Bild 51: Abfluss im EZG des Bederkesaer Sees: Vergleich der Modellergebnisse mit den vom NLWKN berechneten Abflüssen für 2011	45
Bild 52: EZG des Bederkesaer Sees: mittlere diffuse N-Belastung der TEZG. Links Bewertung der Konzentration pro TEZG [mg/l], rechts Bewertung der Flächenbelastung pro TEZG [kg/ha] .	52
Bild 53: EZG des Bederkesaer Sees: mittlere diffuse N-Belastung der TEZG - kombinierte Bewertung	53
Bild 54: EZG des Bederkesaer Sees: mittlere diffuse P-Belastung der TEZG. Links Bewertung der Konzentration pro TEZG [mg/l], rechts Bewertung der Flächenbelastung pro TEZG [kg/ha] .	53
Bild 55: EZG des Bederkesaer Sees: mittlere diffuse P-Belastung der TEZG - kombinierte Bewertung	54
Bild 56: EZG des Bederkesaer Sees: diffuse N-Belastung der TEZG - kombinierte Bewertung. Links Bewertung für 2011, rechts Bewertung für 2001	55
Bild 57: EZG des Bederkesaer Sees: diffuse P-Belastung der TEZG - kombinierte Bewertung. Links Bewertung für 2011, rechts Bewertung für 2001	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: TEZG im Untersuchungsgebiet Bederkesaer See	4
Tabelle 2: Wesentliche Eingangsdaten für das Bilanzmodell	6
Tabelle 3: Ausweisung von Zielkulissen: erforderliche Bewertungsparameter und resultierende Bewertungsgrößen (blau markiert) für das EZG des Bederkesaer Sees.....	9
Tabelle 4: Stufeneinteilung zur Ausweisung von Zielkulissen für Oberflächengewässer	10
Tabelle 5: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden im EZG des Bederkesaer Sees und im UG Bederkesaer See für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014	11
Tabelle 6: N-Einträge nach Pfaden im EZG des Bederkesaer Sees für 2011	16
Tabelle 7: N-Einträge nach Pfaden im EZG des Bederkesaer Sees für 2001	19
Tabelle 8: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden in den Bilanzgebieten im EZG des Bederkesaer Sees für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014	27

Tabelle 9: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden im EZG des Bederkesaer Sees und im UG Bederkesaer See für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014	27
Tabelle 10: P-Einträge nach Bodentyp im EZG des Bederkesaer Sees für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014 für wichtige Eintragspfade.....	28
Tabelle 11: P-Einträge nach Pfaden im EZG des Bederkesaer Sees für 2011	32
Tabelle 12: P-Einträge nach Pfaden im EZG des Bederkesaer Sees für 2001	36
Tabelle 13: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden in den Bilanzgebieten im EZG des Bederkesaer Sees für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014	44
Tabelle 14: Ergebnisse des Moduls Wasserbilanz für das EZG des Bederkesaer Sees für mittlere Klima- und Abflussbedingungen (Zeitraum 1981 bis 2010).....	45
Tabelle 15: Kriterien für die Bewertung der Modellergebnisse der Nährstofffrachten (nach KUNST ET AL., 2004).....	46
Tabelle 16: Bewertung der Modellergebnisse (N-Immissionen) anhand der berechneten Stickstofffrachten für das TEZG Falkenburger Bach und verschiedene Zeiträume bzw. verschieden Frachtberechnungsmethoden	47
Tabelle 17: Bewertung der Modellergebnisse (N-Immissionen) anhand der berechneten Stickstofffrachten für das TEZG Russengraben und verschiedene Zeiträume bzw. verschieden Frachtberechnungsmethoden	47
Tabelle 18: Bewertung der Modellergebnisse (N-Immissionen) anhand der berechneten Stickstofffrachten für das TEZG Ankeloher Randkanal und verschiedene Zeiträume bzw. verschieden Frachtberechnungsmethoden	47
Tabelle 19: Bewertung der Modellergebnisse (N-Immissionen) anhand der berechneten Stickstofffrachten für das EZG Bederkesaer See und verschiedene Zeiträume bzw. verschieden Frachtberechnungsmethoden	48
Tabelle 20: Bewertung der Modellergebnisse (P-Immissionen) anhand der berechneten Phosphorfrachten für das EZG Bederkesaer See und verschiedene Zeiträume bzw. verschieden Frachtberechnungsmethoden	49
Tabelle 21: Bewertung der Modellergebnisse (P-Immissionen) anhand der berechneten Phosphorfrachten für das TEZG Ankeloher Randkanal und verschiedene Zeiträume bzw. verschieden Frachtberechnungsmethoden	49
Tabelle 22: Bewertung der Modellergebnisse (P-Immissionen) anhand der berechneten Phosphorfrachten für das TEZG Falkenburger Bach und verschiedene Zeiträume bzw. verschieden Frachtberechnungsmethoden	49
Tabelle 23: Bewertung der Modellergebnisse (P-Immissionen) anhand der berechneten Phosphorfrachten für das TEZG Russengraben und verschiedene Zeiträume bzw. verschieden Frachtberechnungsmethoden	50

1 Einleitung

Der Bederkesaer See wird über seine Zuflüsse erheblich mit Nährstoffen belastet. Zur Ursache und Herkunft dieser (diffusen) Nährstoffeinträge liegen bisher keine flächendifferenzierten Angaben aus dem oberirdischen Einzugsgebiet vor. Diese Wissenslücke soll durch eine Modellierung der Phosphor- und Stickstoffeinträge in Oberflächen- und Grundwasser im Einzugsgebiet des Bederkesaer Sees geschlossen werden.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Modellierung sollen Vorschläge für eine Ziel- und Maßnahmenkulisse abgeleitet werden. Diese sollen dem Ziel „Schutz der Oberflächengewässer vor Nährstoffausträgen aus diffusen Quellen, differenziert für P und N“ dienen.

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 wurde Anfang 2012 fertiggestellt (Bearbeiter Dr. Carsten Scheer und Dr. Nikolai Panckow - Ingenieurbüro geofluss).

Um aktuelle Erkenntnisse über die Belastungssituation insbesondere der Oberflächengewässer zu bekommen, wurde daher zunächst das Bearbeitungsgebiet des Bederkesaer Sees mit dem LUH-Bilanzmodell modelliert. Die hierbei durch eine Analyse der pfadnutzungsspezifischen Belastungssituation der diffusen Nährstoffeinträge erzielten Ergebnisse sollen die Grundlage für die zu erfolgende Ausweisung von Ziel- und Maßnahmenkulissen darstellen.

Die Ausweisung von Ziel- und Maßnahmenkulissen für das EZG des Bederkesaer Sees soll dabei differenziert für N- und P-Belastungen erfolgen.

Zu beachten ist, dass bei den Modellierungen keine bereits im Untersuchungsgebiet etablierten Maßnahmen zur Verminderung von Nährstoffeinträgen in Oberflächengewässer berücksichtigt wurden.

1.1 Aufbau des Berichtes

Der Aufbau des vorliegenden Berichtes stellt sich wie folgt dar.

Nach einer kurzen Beschreibung des Untersuchungsgebietes (Kap. 2.1) folgen Angaben zum verwendeten Bilanzmodell, zu den betrachteten Zeiträumen sowie zur Ermittlung von Nährstofffrachten und zur Retention im Gewässersystem (Kap. 2.2 bis 2.5).

Weiterhin wird in Kap. 2.6 die entwickelte Methodik zur Ausweisung von Zielkulissen für Oberflächengewässer vorgestellt. Kap. 3 sind die Ergebnisse der Modellanwendungen für das EZG des Bederkesaer Sees zu entnehmen. Sie werden eintragspfadspezifisch und differenziert für die verschiedenen Teileinzugsgebiete (TEZG) und verschiedene Zeiträume vorgestellt und eingeordnet.

Von besonderer Bedeutung für die in diesem Projekt verfolgten Ziele sind die Kap. 3.5 und 3.9, in denen im Sinne einer pfadnutzungsbezogenen Belastungsanalyse des betrachteten

Einzugsgebietes des Bederkesaer Sees die Belastungsschwerpunkte für die Stickstoff- und Phosphoreinträge vorgestellt werden; diese Angabe ermöglicht es zielgerichtete Maßnahmen zur effektiven Verminderung der Nährstoffbelastung abzuleiten. In Kap. 4 werden die mit dem Bilanzmodell ermittelten Nährstoffbelastungen einer mehrstufigen Bewertung unterzogen; dieses Vorgehen ermöglicht eine Ausweisung von Ziel- und Maßnahmenkulissen für das EZG des Bederkesaer Sees. Als räumliche Bewertungsgrößen fungieren dabei die hydrologischen Teileinzugsgebiete.

Abschließend erfolgt in Kap. 5 eine kurze Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse dieses Vorhabens.

2 Methodik

2.1 Untersuchungsgebiet Bederkesaer See

Das Untersuchungsgebiet Bederkesaer See gehört zum Bearbeitungsgebiet 31 (Hadeln) und liegt im Landkreis Cuxhaven in der Gemeinde Bederkesa, etwa 20 km nordöstlich von Bremerhaven und 25 km nordwestlich von Bremervörde. Naturräumlich gehört der Bederkesaer See, der 1958 - 1960 eingedeicht wurde, zur Stader Geest. Das Einzugsgebiet des Bederkesaer Sees beträgt laut NLWKN (2010) 27,7 km². Zuläufe sind der Ankeloher Randkanal (TEZG 19,8 km², prioritäres Fließgewässer mit Priorität 5) von Nordosten, der direkt in den See mündet, der Falkenburger Bach (TEZG 2,5 km²) von Südosten, der über ein Schöpfwerk in den See entwässert und der Russengraben (TEZG 2,0 km²) von Norden, der die Flächen des Holzburgurger Waldes entwässert (NLWKN, 2013).

Bild 1 zeigt die Landnutzung nach ATKIS DLM 3 im Untersuchungsgebiet des Bederkesaer Sees. Deutlich zu erkennen ist die Seefläche des Bederkesaer Sees, die 6,3 % des gesamten Untersuchungsgebietes (UG) ausmacht. Wird dagegen nur das Einzugsgebiet (EZG) des Bederkesaer Sees betrachtet, zeigt sich eine sehr starke landwirtschaftliche Nutzung, wobei Grünlandflächen mit einem Anteil von fast 58 % deutlich dominieren, Ackerflächen machen zudem weitere fast 19 % der Gesamtfläche des EZG aus. Weitere relevante Landnutzungen im EZG stellen Waldflächen mit 11 %, Siedlungen mit 6,1 % und (weitgehend intakte) Moorflächen mit 3,6 % dar.

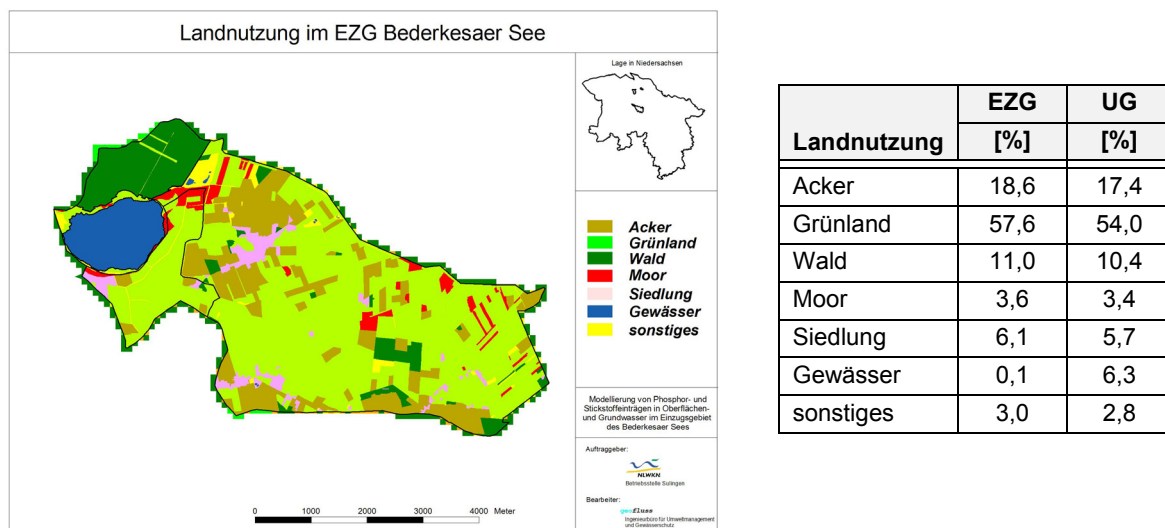


Bild 1: EZG des Bederkesaer Sees: Landnutzung nach ATKIS

Besonders zu beachten sind im EZG des Bederkesaer Sees die flächenmäßig sehr bedeutenden (ehemaligen) Moorflächen; sie nehmen laut BÜK 50 ein Gebiet von etwa 9,5 km² ein. Lediglich in dem kleinen nördlich des Bederkesaer Sees gelegenen TEZG Russengraben herrscht auf diesen ehemaligen Moorflächen die Landnutzung (LN) Wald vor, ansonsten werden diese Flächen weitestgehend landwirtschaftlich genutzt, vor allem als Grünland. Zudem sind gut 90 ha laut ATKIS aktuell Moorflächen.

Aufgrund der räumlich ausgeprägten landwirtschaftlichen Nutzung ist im Untersuchungsgebiet des Bederkesaer Sees mit relevanten diffusen Nährstoffeinträgen zu rechnen.

Auf Grundlage der im Untersuchungsgebiet des Bederkesaer Sees vorhandenen oberirdischen Teileinzugsgebiete (TEZG) wurde das Gebiet in vier zufließende Teilgebiete unterteilt

(s. Bild 2 und Tabelle 1). Das flächenmäßig deutlich größte Teilgebiet ist das TEZG Ankeloher Randkanal im Osten des Bederkesaer Sees mit etwa 20 km². Die TEZG Falkenburger Bach und Russengraben weisen ca. 2,5 bzw. 2 km² auf, das Rand-EZG ist dagegen lediglich etwa 0,4 km² groß. Weiterhin ist zu beachten, dass der Bederkesaer See selbst als Bilanzgebiet betrachtet wurde, da hier zumindest Nährstoffeinträge über atmosphärische Deposition zu erwarten sind.

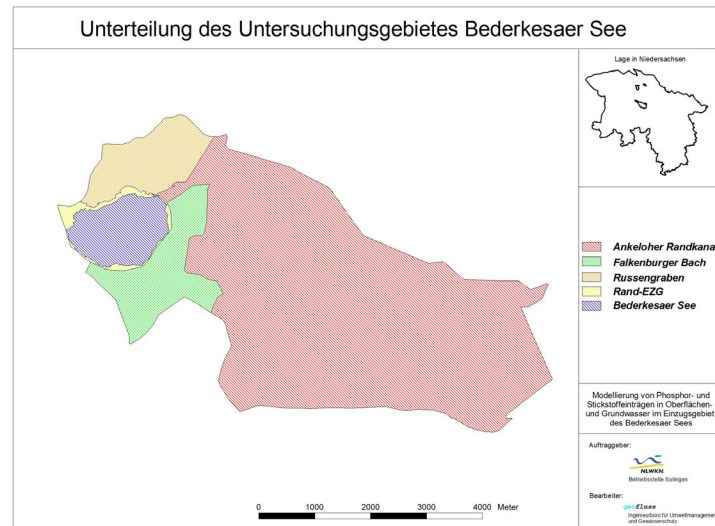


Bild 2: Unterteilung des Untersuchungsgebietes Bederkesaer See

Tabelle 1: TEZG im Untersuchungsgebiet Bederkesaer See

Bilanzgebiet	TEZG-Nr.	Größe [ha]	Lage
Ankeloher Randkanal	1	1983	im Osten des Sees
Falkenburger Bach	2	250	im Südosten des Sees
Russengraben	3	203	im Norden des Sees
Rand-EZG	4	36	um den See herum
Bederkesaer See	-	171	-

2.1.1 Besonderheit im TEZG Falkenburger Bach

Das TEZG Falkenburger Bach entwässert über ein Schöpfwerk in den Bederkesaer See. Dazu wird das Wasser aufgestaut und ab einem festgelegten Wasserstand (der tagsüber häufig 5 cm höher als nachts liegt) wird gepumpt (nach Angaben des UHV Hadeln etwa zu 55 % nachts und zu 45 % tagsüber; nach Angaben von NLWKN (2013) „überwiegend nachts“). Die Auswertung der Pumpleistungen ergibt dabei, dass regelmäßig ein Mehrfaches der zu erwartenden Wassermenge gepumpt wird (vgl. NLWKN, 2013). Dieses „zu viel“ gepumpte Wasser stammt wahrscheinlich a) aus dem angrenzenden TEZG Ankeloher Randkanal und b) aus dem Bederkesaer See selbst (genauer ist nicht bekannt; insbesondere das Grundwasser aus dem TEZG Ankeloher Randkanal bringt dabei wahrscheinlich eine durchaus relevante P-Fracht mit; mit einer relevanten N-Fracht ist aufgrund der guten Denitrifikationsbedingungen in den Grundwasserleitern nicht zu rechnen). Dieser unnatürliche Zustand des „Pumpens“ kann modelltechnisch nicht abgebildet werden. Da das gesamte TEZG Falkenburger Bach jedoch durch die geschilderten Pumpvorgänge täglich entwässert wird,

wurde modelltechnisch die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche als künstlich entwässert (also dräniert) angesetzt.

Darüber hinaus zeigen insbesondere die Phosphormesswerte im TEZG Falkenburger Bach häufig sehr hohe Werte ($> 0,5$ oder auch > 1 mg/l). Parallel zu diesen hohen P_{Ges} -Werten sind oftmals sehr geringe Messwerte für Sauerstoff und für die Sauerstoffsättigung zu verzeichnen; es erscheint daher durchaus möglich, dass zumindest lokal P-Rücklöseprozesse stattfinden und für sehr hohe P-Konzentrationen verantwortlich sind. Als mögliche Ursache hierfür lässt sich die Aufstauung des Wassers benennen. Zu berücksichtigen ist, dass die genannten sehr hohen P-Messwerte immer tagsüber gemessen wurden. Was für P-Konzentrationen nachts - wenn Wasser von außerhalb des TEZG Falkenburger Bach gepumpt wird - vorliegen, ist unbekannt (zu vermuten ist, dass diese dann (deutlich) niedriger liegen).

2.2 Bilanzmodell

Das LUH-Bilanzierungsmodell wurde ursprünglich im Auftrag des Niedersächsischen Umweltministeriums entwickelt (SCHEER ET AL., 2007; PANCKOW, 2008). Eine Weiterentwicklung und niedersachsenweite Anpassung des Modells im Auftrag des NLWKN wurde Anfang 2012 fertiggestellt (Bearbeiter Dr. Carsten Scheer und Dr. Nikolai Panckow - Ingenieurbüro geofluss). Dieser Modellansatz stellt die Berechnungsgrundlage für die Bearbeitung der Fragestellung dar.

Das Bilanzmodell arbeitet auf Rasterbasis mit einer Auflösung von 1 ha und ermittelt die Stickstoff- und Phosphoreinträge sowie die Wasserflüsse für jedes Raster. Darüber hinaus wird die Retention im Gewässersystem berücksichtigt. Berechnet werden die diffusen Eintragspfade Grundwasser, Zwischenabfluss, Dränageabfluss, Erosion, Abschwemmung und Direkteintrag, welche jeweils differenziert für die verschiedenen Landnutzungen (Ackerland, Grünland, Wald, städtische Flächen usw.) abgebildet werden. Berücksichtigung finden darüber hinaus auch die Punktquellen. Sie sind für die Gesamtbilanzierung am Gebietsauslass erforderlich. Für die weiterführende Analyse der Eintragssituation sind im Bilanzmodell diverse Auswertungen implementiert. Sie erlauben es die Wasser- und Stoffflüsse nach Bilanzgebiet, Kreis, Gemeinde, Ackerschlag, Raster oder Landnutzung auszuwerten. Insgesamt ermöglichen die Bewertungsroutinen eine Ausweisung von Hot Spots und liefern somit wertvolle Grundlagen für eine effektive Maßnahmenplanung. Weiterhin ist in das Bilanzierungsmodell ein Szenarienmodul implementiert, welches es erlaubt, mit direktem räumlichen Bezug zu den Belastungsschwerpunkten und unter Berücksichtigung der jeweils relevanten Eintragspfade gezielt differenzierte Szenarien (Bewirtschaftungsmaßnahmen) zur Verminderung der Nährstoffeinträge in die Gewässer zu berechnen. Derartige Szenarien ermöglichen Prognosen über die Effektivität der Maßnahmen und über den erforderlichen Zeitraum bis zur Zielerreichung gemäß der EG-WRRL.

Die wesentlichen Modelleigenschaften bestehen in der kleinräumigen Berücksichtigung von eintragsrelevanten Standorteigenschaften für eine pfadnutzungsdifferenzierte Ermittlung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge zur Ausweisung von Belastungsschwerpunkten. Der Datenfluss und wesentliche Berechnungsschritte im Bilanzmodell sind in Bild 3 schematisch dargestellt.

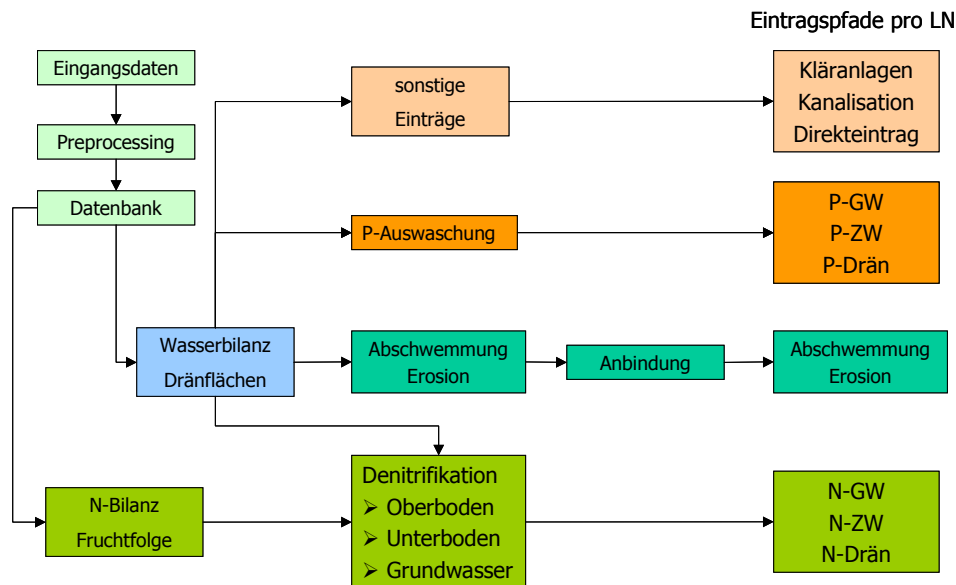


Bild 3: Datenfluss und wesentliche Berechnungsschritte im Bilanzmodell

Die Modellanwendung erfordert detaillierte Eingangsdaten in Form von digitalen Karten sowie tabellarische Daten. Eine Übersicht der für die Modellanwendung wesentlichen Eingangsdaten ist in Tabelle 2 aufgeführt. Hierzu ist anzumerken, dass die Anbauflächen der Kulturarten auf Basis von SLA-Daten der Jahre 2011 und 2013 ermittelt wurden.

Tabelle 2: Wesentliche Eingangsdaten für das Bilanzmodell

Eingangsdaten	Format
Flächenaufgelöste Boden-Datenbank nach BÜK50n u.a. mit Horizontdaten	Datenbank und Shape
Pegeldaten für das Gesamtgebiet und Teilgebiete (Lage)	Shape
Anbauflächen und Erträge der Kulturarten pro Gemeinde	Tabelle
Viehzahlen pro Gemeinde nach Viehzählung 2010	Tabelle
Gebietsgrenzen (EZG, Bundesland, Gemeinde, Kreis, TEZG, Grundwasserkörper)	Shape
Regionalisierte langjährige Klimadaten (Niederschlag, Verdunstung)	Shape
Landnutzung nach ATKIS (Objektart-Nr., VEG-Nr., FKT.-Nr.)	Shape
Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum	Shape
DGM 5 bzw. 50 (hieraus Ableitung der Ausrichtung und Hangneigung)	Shape
Angaben zu Drainageflächen (sonst modellinterne Ableitung)	(Shape)
Kenndaten der Kleinkläranlagen (Lage, Art)	Tabelle
Kenndaten der Bilanzgebiete (u.a. Lage, Gewässerlängen, Abflüsse, Seenfläche)	Shape, Tabelle
Kenndaten Gemeinde (u.a. Einwohner, Flächenanteile außerhalb des EZG)	Shape, Tabelle
Kenndaten Kläranlagen (Abwassermenge, Ablaufwerte, Lage)	Shape, Tabelle
Kenndaten Kreise (z.B. Anteil Mischkanalisation)	Tabelle
an Kläranlagen angeschlossene Einwohner pro TEZG	Tabelle
Gewässernetz (Hauptgewässer, Nebengewässer und Gräben)	Shape

Mit dem LUH-Bilanzmodell steht ein anwendungsfreundliches Instrument zu Verfügung, mit dem wesentliche Anforderungen der WRRL und der wasserwirtschaftlichen Praxis erfüllt werden können.

Eine ausführliche Dokumentation der Modellgrundlagen und integrierten Berechnungsansätze ist SCHEER ET AL. (2007), PANCKOW, N. (2008) und SCHEER, C. & PANCKOW, N. (2012) zu entnehmen.

2.3 Betrachtete Zeiträume

Für das Untersuchungsgebiet des Bederkesaer Sees wurde die Nährstoffeintragssituation für insgesamt drei Zeiträume berechnet. Dabei handelt es sich einerseits um die mittlere Nährstoffeintragssituation (als Betrachtungszeitraum dienen die Jahre 2010 bis 2014, da aus diesem Zeitraum die verwendeten Agrardaten zu den Anbauflächen der Kulturarten und den Viehzahlen stammen, vgl. Kap. 2.2) und andererseits um die Nährstoffeintragssituation für die Jahre 2001 und 2011, für die - im Gegensatz zum mittleren Zustand - Referenzfrachten vorliegen. Dabei liegen die Abflüsse in 2011 etwa 30 % und in 2001 sogar fast 60 % über den mittleren Abflüssen.

2.4 Nährstofffrachten aus Pegeldaten

Im EZG des Bederkesaer Sees liegen für die Jahre 2001 und 2011 Nährstofffrachten für die drei TEZG Ankeloher Randkanal, Falkenburger Bach und Russengraben beim NLWKN in Stade vor. Ermittelt wurden sie aus (abgeleiteten) täglichen Abflüssen und Messwerten zu den Nährstoffkonzentrationen (monatlich bzw. in 2011 auch häufiger) unter Verwendung korrelierter Zwischenwerte.

Für 2011 lagen die zugrunde liegenden Messdaten auch dem Auftragnehmer vor, der daraus ebenfalls die Nährstofffrachten ermittelt hat.

Zur Bestimmung der Nährstofffrachten der drei TEZG und das Jahr 2011 wurde dabei auf eine Methodik nach OSPAR (1996) zurückgegriffen:

$$L_{J,P} = \frac{Q_{TGL}}{Q_{ME\beta}} \cdot \left(\frac{1}{J} \cdot \sum_{n=1}^J CT_{P,n} \cdot Q_t \cdot U_f \right)$$

- Mit:
- $L_{J,P}$ = jährliche Phosphorfracht [g/s],
 - Q_{TGL} = mittlerer jährlicher Abfluss täglicher Durchflussmessungen [m^3/s],
 - $Q_{ME\beta}$ = 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).

Ermittlung der Referenzfracht für den mittleren Zustand

Eine mittlere Referenzfracht konnte mangels verfügbarer Daten zu den Abflüssen und Nährstoffkonzentrationen nicht ermittelt werden.

2.5 Retention im Gewässersystem

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).

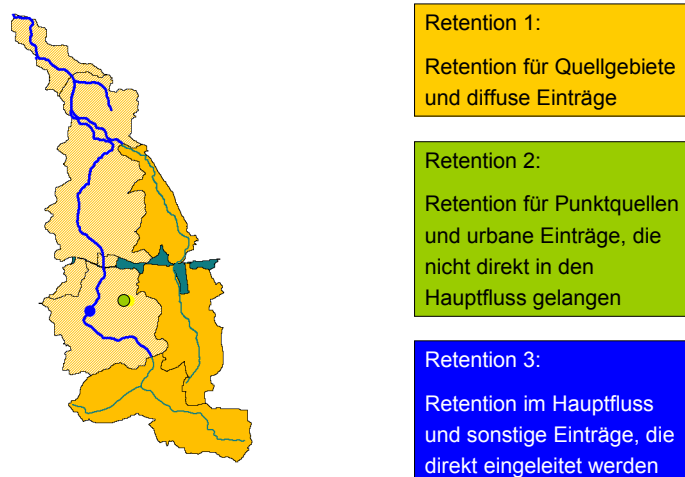


Bild 4: Schematische Darstellung der 3 modellinternen berücksichtigten Retentionsansätze

Anhand von Bild 4 werden im Folgenden die verschiedenen Retentionsansätze erläutert:

Zuerst werden die Bilanzgebiete in Quellgebiete (der Hauptflüsse, dunkelorange in Bild 4) und sonstige Gebiete (hellorange in Bild 4) 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.

2.6 Methodik zur Ausweisung der Zielkulissen

Die Methodik zur Ausweisung von Zielkulissen für Oberflächengewässer wurde vom Auftragnehmer in enger Abstimmung mit dem NLWKN Hannover entwickelt. Als entscheidende Bewertungskriterien fungieren hierbei Zielkonzentrationen für die Parameter N-Gesamt und P-Gesamt. Diese **Zielkonzentrationen** (als Immissionen) wurden vom NLWKN mit **2,8 mg/l für N-Gesamt** und **0,05 mg/l für P-Gesamt** vorgegeben.

Auf Basis dieser Zielkonzentrationen wurden als zusätzliche Bewertungskriterien (unter Berücksichtigung der langjährigen mittleren Abflüsse sowie der Einzugsgebietsgrößen) pro Pegelinzugsgebiet **Zielfrachten** für die Parameter **N und P in kg/ha** (als Immissionen) ermittelt. Das Vorgehen hierbei ist der nachstehenden Formel zu entnehmen:

$$\text{Zielfracht [kg/ha]} = \frac{\text{Zielkonzentration [mg/l]} \cdot \text{Abfluss [l]}}{\text{EZG [ha]} \cdot 1.000.000}$$

Insgesamt stehen somit 4 Bewertungskriterien zur Ausweisung von Zielkulissen für Oberflächengewässer zur Verfügung.

Tabelle 3: Ausweisung von Zielkulissen: erforderliche Bewertungsparameter und resultierende Bewertungsgrößen (blau markiert) für das EZG des Bederkesaer Sees

Immission						
TEZG	Größe [ha]	Abfluss [m³/s]	Ziel Konz. N [mg/l]	Ziel Konz. P [mg/l]	Ziel Fracht N [kg/ha]	Ziel Fracht P [kg/ha]
Ankeloher Randkanal	1982,7	0,246	2,8	0,05	10,94	0,20
Falkenburger Bach	249,5	0,033	2,8	0,05	11,55	0,21
Russengraben	202,6	0,021	2,8	0,05	9,00	0,16
Rand-EZG	36,5	0,005	2,8	0,05	11,92	0,21
Emission						
TEZG	Retentionsfaktor N	Retentionsfaktor P	Ziel Konz. N [mg/l]	Ziel Konz. P [mg/l]	Ziel Fracht N [kg/ha]	Ziel Fracht P [kg/ha]
Ankeloher Randkanal	0,8636	0,8860	3,24	0,056	12,66	0,22
Falkenburger Bach	0,8537	0,8683	3,28	0,058	13,53	0,24
Russengraben	0,9414	0,9813	2,97	0,051	9,56	0,16
Rand-EZG	0,9716	0,9609	2,88	0,052	12,27	0,22

Um eine räumlich angemessen hohe Auflösung zu erreichen, wurden als räumliche Bewertungsgrößen die hydrologischen TEZG ausgewählt.

Die räumlich differenzierte Ausweisung der Zielkulissen für Oberflächengewässer erfolgt auf Grundlage der im Rahmen dieses Projektes erzielten Modellergebnisse (s. Kap. 4) für die jeweiligen hydrologischen TEZG des Einzugsgebietes. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die hochaufgelöste Ausweisung der N- und P-Belastungen vom Modell jeweils als Emission erfolgt. Es war daher erforderlich, die oben vorgestellten Bewertungskriterien (die als Immissionen definiert wurden) in jeweils gebietstypische Emissionen umzurechnen. Dieses geschieht unter Berücksichtigung der vom verwendeten Modellansatz pro Bilanzgebiet ermittelten mittleren Retention (Emissionswert = Immissionswert / Retentionsfaktor, zur Methodik der Retentionsberechnung s. Kap. 2.5). Da die Retentionsfaktoren der einzelnen Bilanzgebiete innerhalb eines EZG unterschiedliche Werte aufweisen (je weiter oberhalb ein BG liegt, desto höher ist in der Regel die Retention und desto kleiner wird folglich der Retentionsfak-

tor), ergeben sich in Abhängigkeit der Lage der Bilanzgebiete im EZG differenzierte Zielwerte für die Emissionen.

Alle erforderlichen Bewertungsparameter sind für das EZG des Bederkesaer Sees in Tabelle 3 dargestellt.

Die abschließende Bewertung der Belastungssituation sowie die Ausweisung von (Vorschlägen für) Zielkulissen wurde pro Einzugsgebiet auf räumlicher Ebene der TEZG unter Berücksichtigung der Modellergebnisse, der in Tabelle 3 vorgestellten Bewertungskriterien sowie unter Verwendung der in Tabelle 4 dargestellten Stufeneinteilung durchgeführt.

Tabelle 4: Stufeneinteilung zur Ausweisung von Zielkulissen für Oberflächengewässer

Stufe	Belastung	Zielkulisse	Bewertungsbereich
1	sehr gering	nein	bis Faktor 0,5 des Zielwertes
2	gering	nein	bis Faktor 1,33 des Zielwertes
3	mäßig	ja	bis Faktor 2,0 des Zielwertes
4	hoch	ja	bis Faktor 4,0 des Zielwertes
5	sehr hoch	ja	mehr als Faktor 4 des Zielwertes

Hierbei wurden zunächst (jeweils für N und P) die einzelnen Parameter Konzentration in mg/l und Flächenbelastung in kg/ha nach den oben genannten Kriterien bewertet. Zur Ausweisung der (Vorschläge für) Zielkulissen für Oberflächengewässer wurden abschließend die zuvor erzielten Ergebnisse der Einzelbewertungen für die Konzentration und die Flächenbelastung zu einer kombinierten Bewertung zusammengefasst, wobei die schlechtere Einzelbewertung eine erhöhte Bedeutung bekommt. Diese erhöhte Bedeutung wird anhand der folgenden Beispiele erläutert:

- die Einzelbewertungen weisen die Stufen 2 und 3 auf, die kombinierte Bewertung die Stufe 3,
- die Einzelbewertungen weisen die Stufen 2 und 5 auf, die kombinierte Bewertung die Stufe 4.

Zu beachten ist hierbei der Bewertungsbereich von Stufe 2 (geringe Belastung, noch keine Zielkulisse erforderlich): er reicht nicht genau bis zum Zielwert (also den vorgegebenen Ziel- bzw. Grenzkonzentrationen von 2,8 mg/l für N-Gesamt und 0,05 mg/l für P-Gesamt und den hieraus ermittelten Ziel- bzw. Grenzfrachten), sondern bis zum 1,33-fachen des Zielwertes (s. Tabelle 4). Diese Erhöhung ist folgendermaßen begründet:

- eine geringfügige Überschreitung des Zielwertes pro TEZG kann akzeptiert werden und muss nicht sofort zur Ausweisung einer Zielkulisse führen,
- die Ausweisung der Zielkulissen erfolgt auf Basis von Modellergebnissen. Es ist daher geboten gewisse Modellunsicherheiten in die Bewertung einzubeziehen.

Die für die einzelnen Betrachtungsräume vorgeschlagenen Zielkulissen für Oberflächengewässer sind dem Kap. 4 zu entnehmen.

3 Stickstoff- und Phosphoreinträge in Grund- und Oberflächengewässer im Bearbeitungsgebiet des Bederkesaer Sees

Nachfolgend werden die unter Verwendung der zur Verfügung gestellten Daten erzielten Modellergebnisse für die diffusen und punktuellen Stickstoff- und Phosphoreinträge in Grund- und Oberflächengewässer im Bearbeitungsgebiet des Bederkesaer Sees vorgestellt. Berücksichtigung finden dabei die berechneten Nährstoffeinträge für mittlere Bedingungen (im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014) sowie für die Jahre 2001 und 2011. Zu beachten ist dabei erstens, dass es sich bei diesen Ergebnissen um Emissionen handelt (und nicht um Immissionen; diese werden in Kap. 3.11 vorgestellt). Zweitens werden die Modellergebnisse grundsätzlich - sofern nicht ausdrücklich anders angegeben - auf das EZG des Bederkesaer Sees bezogen und nicht auf die gesamte Fläche des Untersuchungsgebietes inkl. der Wasserfläche des Bederkesaer Sees.

3.1 Mittlere Stickstoffeinträge im EZG des Bederkesaer Sees

Die erzielten Ergebnisse der Quantifizierung der diffusen und punktuellen Stickstoffeinträge bei mittleren Bedingungen für das EZG des Bederkesaer Sees im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014 sind Tabelle 5 zu entnehmen. Demnach betragen die N-Emissionen im EZG des Bederkesaer Sees in der Summe 47.070 kg/a. Hiervon entfallen 45.766 kg/a (97,2 %) auf die diffusen N-Einträge; die punktuellen N-Einträge sind dagegen in diesem EZG mit lediglich 1.304 kg/a (2,8 %) nahezu unbedeutend.

Wird das gesamte Untersuchungsgebiet betrachtet, also inkl. der Wasserfläche des Bederkesaer Sees, erhöhen sich die N-Einträge lediglich um 4,3 t/a. Verursacht wird diese Zunahme ausschließlich durch Direkteinträge über atmosphärische N-Deposition direkt auf die Seefläche des Bederkesaer Sees.

Tabelle 5: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden im EZG des Bederkesaer Sees und im UG Bederkesaer See für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014

Eintragspfad	EZG Bederkesaer See		UG Bederk. See (EZG inkl. Seefläche)	
	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]
Direkteinträge	505	1,1	4.805	9,4
Abschwemmung	124	0,3	124	0,2
Erosion	379	0,8	379	0,7
Grundwasser	5.216	11,1	5.216	10,2
Zwischenabfluss	21.763	46,2	21.763	42,4
Dränagen	17.778	37,8	17.778	34,6
Kleinkläranlagen	0	0,0	0	0,0
Urbane Einträge	1.304	2,8	1.304	2,5
Summe diffus	45.766	97,2	50.066	97,5
Summe punktuell	1.304	2,8	1.304	2,5
Summe	47.070	100	51.370	100

Bild 5 zeigt die N-Emissionen nach Pfaden für das EZG des Bederkesaer Sees in kg/a. Deutlich zu erkennen ist, dass die N-Emissionen über die Eintragspfade Zwischen- und Drainageabfluss eindeutig die Eintragssituation dominieren: über diese Pfade resultieren gemäß der

Modellergebnisse gut 39,5 t/a, was ca. 84 % der gesamten N-Emissionen im EZG des Bederkesaer Sees entspricht. Ein weiterer relevanter Eintragspfad ist demnach der Grundwasserabfluss mit 5,2 t/a. Diese 3 unterirdischen Pfade verursachen im EZG des Bederkesaer Sees somit etwa 95 % aller N-Emissionen. Die weiteren diffusen Eintragspfade sind folglich von keiner relevanten Bedeutung. Letzteres gilt auch für die punktuellen N-Einträge, die vor allem auf N-Einträge über Kanalisationen (inkl. der Abschwemmungen von versiegelten Flächen) zurückzuführen sind: diese betragen ca. 1,3 t/a und somit etwa 3 % der gesamten N-Emissionen im EZG.

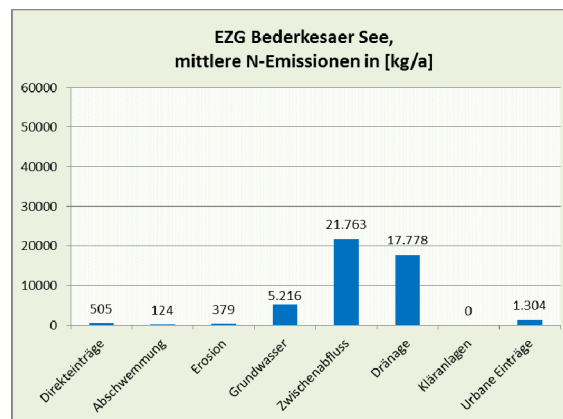


Bild 5: Modellergebnisse zu den mittleren N-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km²) in [kg/a]

Bild 6 zeigt die räumliche Verteilung der N-Einträge über die beiden dominierenden und schnell abfließenden Eintragspfade Zwischen- und Dränageabfluss im EZG des Bederkesaer Sees bei mittleren Abflussbedingungen.

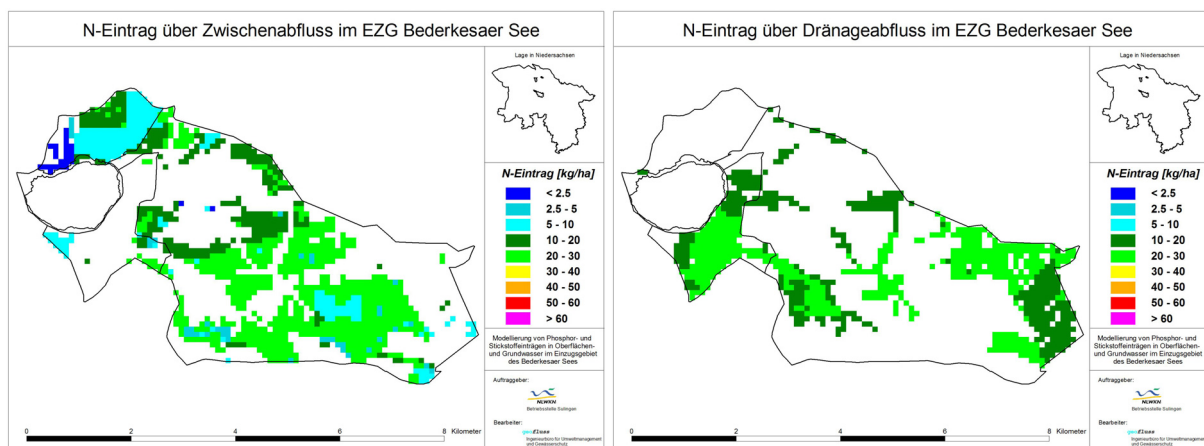


Bild 6: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren diffusen N-Einträge über Zwischenabfluss (links) und für die mittleren diffusen N-Einträge über Dränageabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Die N-Einträge über Dränagen (Bild 6 rechts) weisen dabei eine Spannweite von 10 bis etwa 28 kg/ha·a auf, wobei über 96 % der N-Emissionen über diesen Pfad von der Landnutzung (LN) Grünland erfolgen, die restlichen knapp 4 % von Ackerflächen. Insgesamt sind auf Basis der Modellergebnisse über 760 ha dräniert (in den weiß dargestellten Bereichen in Bild 6 rechts liegen keine dränierten Flächen vor, folglich sind hier auch keine N-Einträge über diesen Pfad zu verzeichnen). Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang, dass keine Informationen über die konkrete Lage von Dränagen vorlagen. In solchen Fällen werden drä-

nierte landwirtschaftliche Nutzflächen modellintern u.a. anhand der Dränbedürftigkeit ausgewiesen. Inwieweit diese Flächen tatsächlich dräniert sind, kann nur vor Ort ermittelt werden. Bild 6 links zeigt die N-Belastungen über Zwischenabfluss. Sie weisen eine Spannweite von 1,7 bis etwa 29 kg/ha·a auf, wobei ca. 65 % der N-Emissionen über diesen Pfad von der LN Grünland erfolgen, weitere gut 23 % von Ackerflächen und fast 9 % von Waldflächen.

Die deutlichen Unterschiede der ermittelten N-Emissionen werden weitgehend durch die drei Bilanzterme N-Bilanzüberschuss, Denitrifikation im Oberboden und Anteil des Drainage- bzw. Zwischenabflusses am Gesamtabfluss verursacht.

Bild 7 links zeigt die räumliche Herkunft der N-Einträge über den Pfad Grundwasser. Deutlich zu erkennen sind große Bereiche, von denen nur geringe N-Einträge von zumeist deutlich unter 2,5 kg/ha·a über Grundwasser ausgehen (sehr häufig sind die N-Einträge hier < 1 kg/ha·a). Dabei handelt es sich - unabhängig von der Landnutzung - zumeist um Gebiete, die relativ weit von den grundwasserrelevanten Vorflutern entfernt liegen. Kombiniert mit den eher geringen Abstandsgeschwindigkeiten in EZG des Bederkesaer Sees resultieren daraus relativ hohe Grundwasserverweilzeiten. Zusammen mit den guten Denitrifikationsbedingungen in den Grundwasserkörpern folgt daraus für diese Gebiete - auch bei hohen N-Einträgen in das Grundwasser - ein weitgehender N-Abbau. Erhöhte N-Einträge über den Pfad Grundwasser von über 10 kg/ha·a treten im EZG des Bederkesaer Sees folglich nur von den Flächen auf, die relativ dicht an den grundwasserwirksamen Vorflutern liegen (geringe Grundwasserverweilzeit, wodurch selbst bei guten Denitrifikationsbedingungen im Grundwasser nur ein geringer Nitratabbau stattfindet).

Besonders in den Waldgebieten können daneben auch geringe N-Überschüsse ursächlich für die geringen N-Einträge über Grundwasser sein.

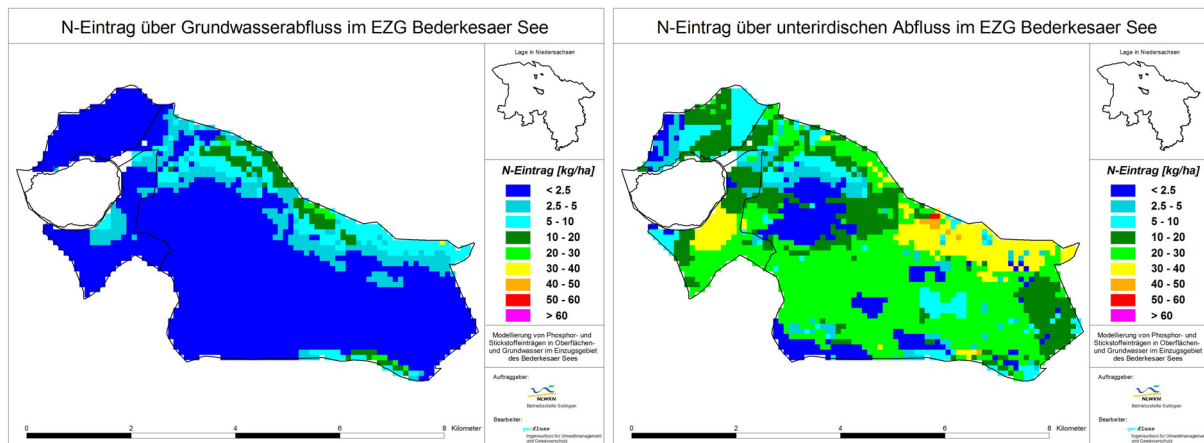


Bild 7: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren diffusen N-Einträge über Grundwasserabfluss (links) und für die mittleren diffusen N-Einträge über den gesamten unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Bild 7 rechts zeigt die räumliche Herkunft der summierten N-Einträge über die drei unterirdischen Eintragspfade. Hierbei wird deutlich, dass in einem großen Teil des EZG die N-Einträge über unterirdische Pfade höher als 20 kg/ha·a sind. Hohe N-Einträge von über 30 kg/ha·a sind sowohl im TEZG Falkenburger Bach (auf Grünland, vor allem durch Dränagen verursacht) als auch im TEZG Ankeloher Randkanal zu verzeichnen (vor allem auf Grünland, verursacht insbesondere durch Dränagen oder Zwischenabfluss); in diesem TEZG treten vereinzelt auch sehr hohe N-Einträge von über 40 kg/ha·a auf (hier sind neben hohen N-

Einträgen über Drainage- oder Zwischenabfluss auch erhöhte N-Einträge über Grundwasserabfluss zu verzeichnen).

Die räumliche Verteilung der Summe der diffusen N-Einträge im Untersuchungsgebiet des Bederkesaer Sees ist Bild 8 zu entnehmen (aufgrund der Dominanz der drei unterirdischen N-Eintragspfade ähnelt dieses Bild sehr dem Bild 7 rechts). Für die diffusen N-Einträge ergibt sich eine sehr weitreichende Differenzierung der Eintragungssituation, die von kleiner 0,1 bis 62 kg/ha-a reicht. Sowohl für die sehr niedrigen als auch für die sehr hohen N-Einträge ist eine Vielzahl von Einflussfaktoren verantwortlich. Hohe N-Einträge von z.T. deutlich über 25 kg/ha-a werden über die Eintragsfade Drainage-, Zwischen- und Grundwasserabfluss verursacht. Die sehr hohen N-Einträge zwischen zumeist 35 und 50 kg/ha-a resultieren aus der Kombination Drainage- oder Zwischenabfluss und Grundwasserabfluss. In allen Fällen handelt es sich dabei um landwirtschaftliche Nutzflächen, bei denen besonders hohe N-Bilanzüberschüsse und/oder geringe Denitrifikation im Oberboden (bzw. im Grundwasser) auftreten.

Niedrige und sehr niedrige N-Einträge ergeben sich dagegen vor allem dort, wo:

- ein geringer N-Bilanzüberschuss vorherrscht (Waldgebiete und Siedlungen),
- kein Direktabfluss stattfindet,
- die Denitrifikationsverluste im Oberboden und insbesondere im Grundwasser sehr hoch sind.

Insgesamt fällt auf, dass hohe diffuse N-Einträge von verbreitet über 30 kg/ha-a ausschließlich in den beiden TEZG Falkenburger Bach und Ankeloher Randkanal auftreten. Im TEZG Ankeloher Randkanal sind zudem vereinzelt besonders hohe N-Einträge von über 40 kg/ha-a zu verzeichnen.

Die grün dargestellten diffusen N-Einträge für die Wasserfläche des Bederkesaer Sees sind auf atmosphärische N-Deposition zurückzuführen.

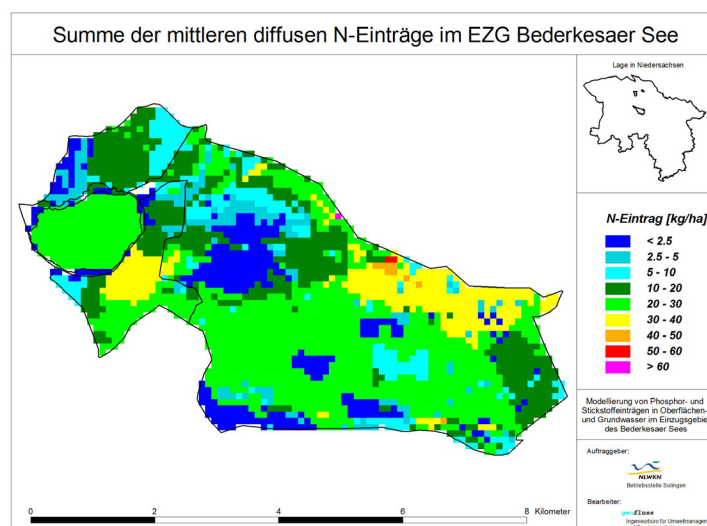


Bild 8: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die Summe der mittleren diffusen N-Einträge in [kg/ha]

In Bild 9 sind die Modellergebnisse zu den urbanen N-Einträgen dargestellt. In den Ortschaften sind deutlich erhöhte Werte von > 5 kg/ha-a zu verzeichnen; sie stellen die N-Einträge über Kanalisationen dar. Im restlichen EZG werden flächendeckend N-Einträge von zumeist

deutlich unter 2,5 kg/ha-a ausgewiesen. Sie bilden die N-Einträge über Kleinkläranlagen im EZG ab, deren genaue Lage nicht bekannt ist.

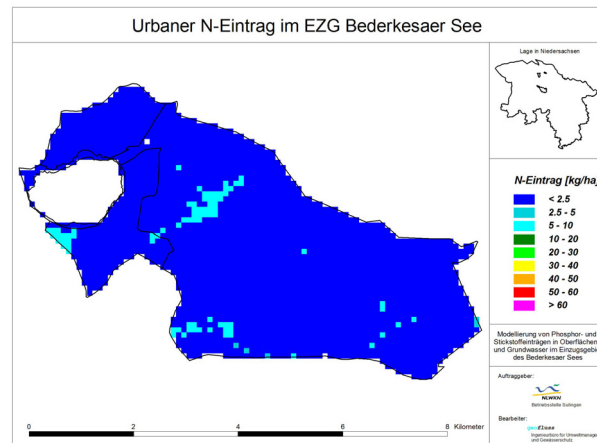


Bild 9: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren urbanen N-Einträge in [kg/ha]

Bild 10 zeigt die Summe der gesamten N-Einträge im EZG des Bederkesaer Sees. Aufgrund der geringen Bedeutung der punktuellen N-Emissionen entspricht diese Darstellung in weiten Bereichen der diffusen N-Belastung in Bild 8. Lediglich in den Ortslagen zeigen sich bei Bild 10 relevant höhere N-Emissionen als bei den diffusen Einträgen.

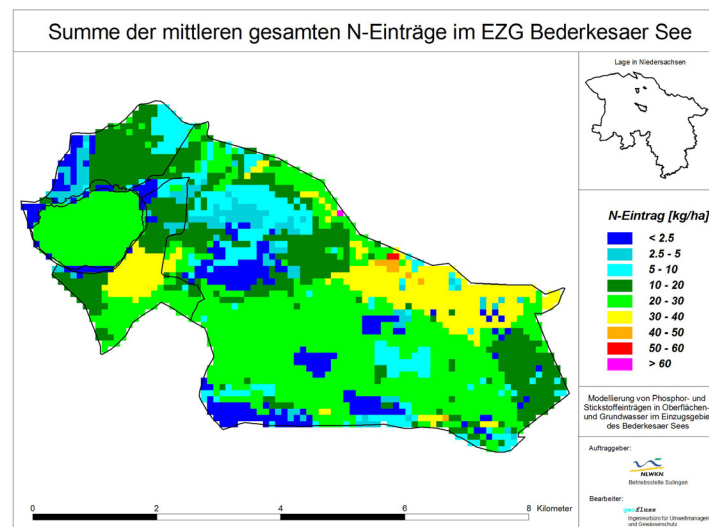


Bild 10: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die Summe der mittleren gesamten N-Einträge in [kg/ha]

3.2 Stickstoffeinträge im EZG des Bederkesaer Sees für 2011

Neben den mittleren Stickstoffeinträgen wurden auch die Stickstoffeinträge für das abflussreiche Jahr 2011 im EZG des Bederkesaer Sees berechnet (der Gesamtabfluss liegt in 2011 etwa 30 % über dem mittleren Zustand). Hierbei wurden die in Tabelle 6 und Bild 11 dargestellten Ergebnisse für die N-Einträge im EZG des Bederkesaer Sees erzielt.

Demnach erhöhen sich die N-Emissionen in 2011 im gesamten Einzugsgebiet im Vergleich zum mittleren Zustand um etwa 17,5 t und somit um ca. 37 %. Besonders deutlich nehmen in

2011 die N-Emissionen über Zwischenabfluss zu; sie steigen um gut 11,1 t und somit um ca. 51 %. Die N-Einträge über Dränagen erhöhen sich im Vergleich zum mittleren Zustand in 2011 um etwa 5 t, was einer Zunahme von ca. 28 % entspricht. Somit ist die deutliche Zunahme der N-Emissionen in 2011 (im Vergleich zu den mittleren N-Einträgen) von 17,5 t vor allem auf die beiden genannten schnellen unterirdischen Abflusspfade zurückzuführen (sie nehmen um 16,1 t zu, ihr Anteil an der gesamten Zunahme der N-Einträge in 2011 beträgt 92 %). Folglich zeigen sich bei den restlichen Eintragspfaden in 2011 nur vergleichsweise geringe Änderungen im Vergleich zum mittleren Zustand.

Tabelle 6: N-Einträge nach Pfaden im EZG des Bederkesaer Sees für 2011

Eintragspfad	Mittlerer Eintrag		2011	
	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]
Direkteinträge	505	1,1	505	0,8
Abschwemmung	124	0,3	155	0,2
Erosion	379	0,8	430	0,7
Grundwasser	5.216	11,1	6.074	9,4
Zwischenabfluss	21.763	46,2	32.884	50,9
Dränagen	17.778	37,8	22.761	35,2
Kläranlagen	0	0,0	0	0,0
Urbane Einträge	1.304	2,8	1.783	2,8
Summe diffus	45.766	97,2	62.809	97,2
Summe punktuell	1.304	2,8	1.783	2,8
Summe	47.070	100	64.592	100

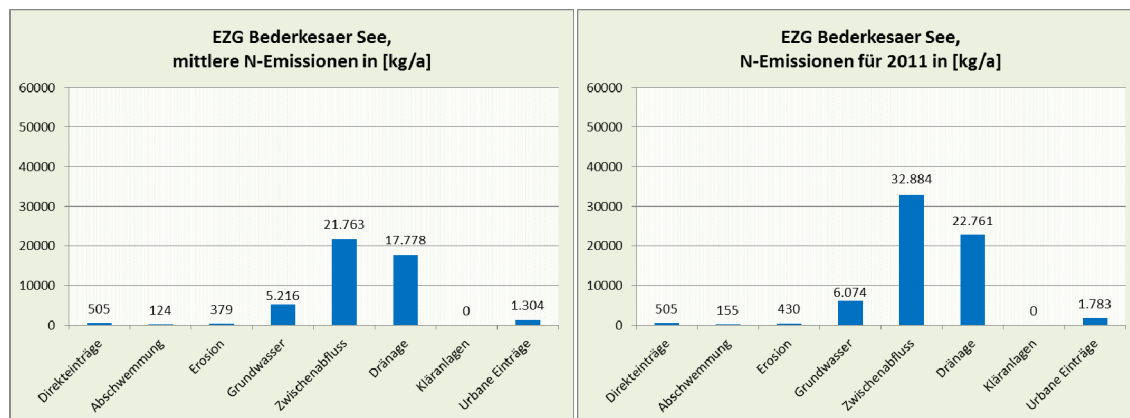


Bild 11: Modellergebnisse zu den N-Emissionen nach Pfaden für das EZG des Bederkesaer Sees für den mittleren Zustand (links) und im Vergleich für 2011 (rechts), jeweils in [kg/a]

Bild 12 zeigt die räumliche Verteilung der N-Emissionen über die beiden dominierenden und schnell abfließenden Eintragspfade Zwischen- und Dränageabfluss im EZG des Bederkesaer Sees für 2011. Im Vergleich zum mittleren Zustand (s. Bild 6) ist die erhebliche Zunahme der N-Emissionen über diese beiden Pfade gut zu erkennen. Die N-Einträge über Zwischenabfluss (Bild 12, links) weisen für 2011 eine Spannweite von etwa 3 bis über 62 kg/ha·a auf und liegen damit erheblich über den Werten bei mittleren Bedingungen (die bei ca. 1,7 bis etwa 29 kg/ha·a liegen). Auch die N-Emissionen über Dränagen (Bild 12, rechts) sind in 2011 deutlich höher als bei mittleren Bedingungen: die Spannweite liegt für 2011 bei 16 bis über 36 kg/ha·a (bei mittleren Bedingungen betragen sie 10 bis etwa 28 kg/ha·a).

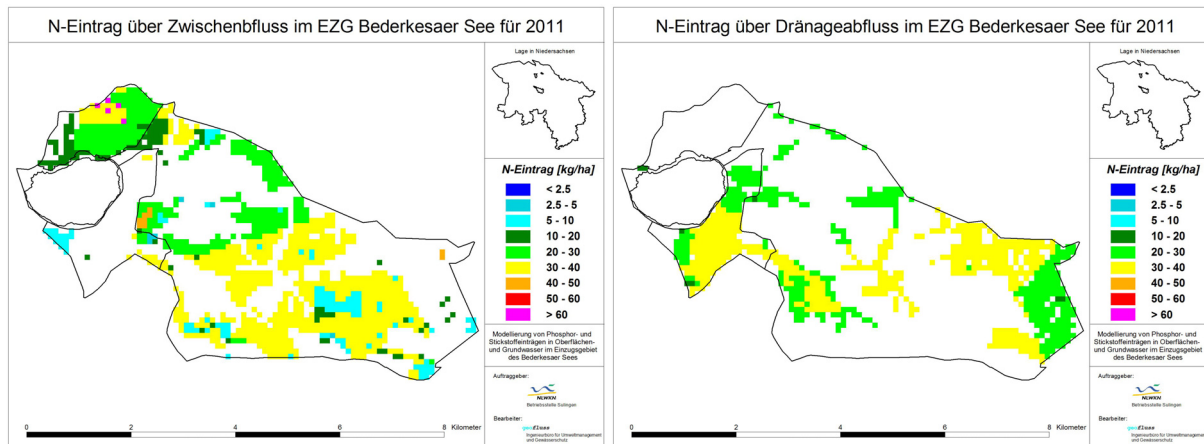


Bild 12: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die diffusen N-Einträge über Zwischenabfluss (links) und für die diffusen N-Einträge über Drainageabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Bild 13 links zeigt die räumliche Herkunft der N-Einträge über den Pfad Grundwasser für 2011. Im Vergleich zum mittleren Zustand sind hier erwartungsgemäß nur geringe Änderungen zu verzeichnen (begründet durch die sehr guten Denitrifikationsbedingungen im Grundwasserleiter sowie die zumeist recht hohen Grundwasserverweilzeiten).

Bild 13 rechts zeigt die räumliche Herkunft der summierten N-Einträge über die drei unterirdischen Eintragspfade für 2011. Während beim mittleren Zustand am häufigsten N-Einträge über diese Pfade zwischen 20 und 30 kg/ha·a zu verzeichnen waren (vgl. Bild 7, rechts), dominieren nun N-Emissionen zwischen 30 und 40 kg/ha·a. Sehr hohe N-Einträge von über 40 kg/ha·a sind sowohl im TEZG Falkenburger Bach (auf Grünland, vor allem durch Dränagen verursacht) als auch im TEZG Ankeloher Randkanal zu verzeichnen (vor allem auf Grünland, verursacht insbesondere durch Dränagen oder Zwischenabfluss); in diesem TEZG treten vereinzelt auch extrem hohe N-Einträge von über 50 kg/ha·a auf.

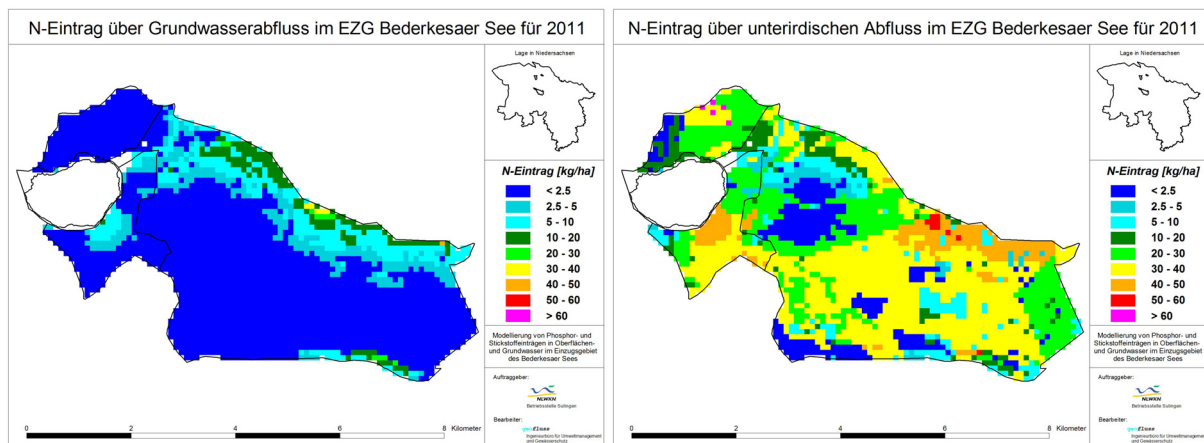


Bild 13: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die diffusen N-Einträge über Grundwasserabfluss (links) und für die diffusen N-Einträge über den gesamten unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Die räumliche Verteilung der Summe der diffusen N-Einträge im Untersuchungsgebiet des Bederkesaer Sees für 2011 ist Bild 14 zu entnehmen (aufgrund der Dominanz der drei unterirdischen N-Eintragspfade ähnelt dieses Bild sehr dem Bild 13 rechts). Insgesamt weisen die diffusen N-Einträge für 2011 Werte von kleiner 0,1 bis 71 kg/ha·a auf.

Hohe N-Einträge von häufig deutlich über 30 kg/ha·a werden meist über die Eintragsfade Dränage- und Zwischenabfluss verursacht, besonders im nördlichen TEZG Ankeloher Randkanal und in einigen Bereichen des TEZG Falkenburger Bach sind zudem N-Einträge über Grundwasserabfluss daran beteiligt (die N-Einträge liegen dann häufig über 40 und vereinzelt sogar über 50 kg/ha·a).

In allen Fällen handelt es sich dabei um landwirtschaftliche Nutzflächen, bei denen besonders hohe N-Bilanzüberschüsse und/oder geringe Denitrifikation im Oberboden (bzw. im Grundwasser) auftreten.

Die grün dargestellten diffusen N-Einträge für die Wasserfläche des Bederkesaer Sees sind auf atmosphärische N-Deposition zurückzuführen.

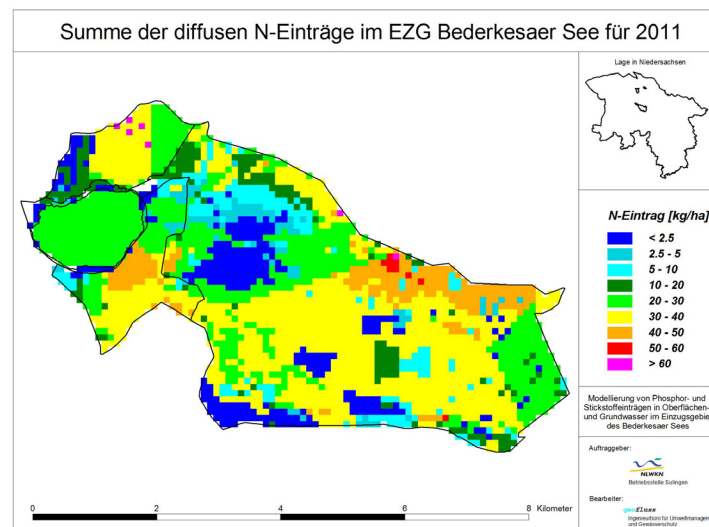


Bild 14: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die Summe der diffusen N-Einträge in [kg/ha]

Aufgrund der geringen Bedeutung der punktuellen N-Emissionen entsprechen die gesamten N-Emissionen in 2011 weitgehend den in Bild 14 dargestellten diffusen N-Einträgen für 2011 (Ausnahme: in den Ortslagen zeigen sich höhere N-Emissionen).

3.3 Stickstoffeinträge im EZG des Bederkesaer Sees für 2001

Zusätzlich zum mittleren Zustand und dem abflussreichen Jahr 2011 wurden die Stickstoffeinträge im EZG des Bederkesaer Sees auch für das sehr abflussreiche Jahr 2001 berechnet. In 2001 waren die Abflüsse nochmals etwa 20 % höher als in 2011, sodass der Gesamtabfluss in 2001 fast 60 % höher als unter mittleren Bedingungen ist. Die für 2001 erzielten Ergebnisse zu den Stickstoffeinträgen im EZG des Bederkesaer Sees sind Tabelle 7 und Bild 15 zu entnehmen.

Im Vergleich zum mittleren Zustand erhöhen sich die N-Emissionen in 2001 im gesamten Einzugsgebiet um etwa 42 t/a und somit um ca. 90 %. Besonders deutlich nehmen die N-Emissionen von den beiden schnellen unterirdischen Abflusspfaden Zwischen- und Dränageabfluss zu (vgl. Bild 15). Über den Zwischenabfluss erfolgen in 2001 gut 47 t/a und somit über 25 t/a mehr als beim mittleren Zustand, die Zunahme beträgt fast 117 %. Für den Dränageabfluss ergibt sich in 2001 eine Steigerung der N-Einträge von 13 t/a, was einer Zunahme von ca. 73 % entspricht. Die N-Emissionen über den Pfad Grundwasser erhöhen sich um gut 61 % (fast 3,2 t/a). Auch bei den urbanen N-Einträgen zeigt sich eine Erhöhung der

N-Emissionen: im Vergleich zum mittleren Zustand nehmen sie um gut 0,8 t/a zu (64 %). Für die restlichen Eintragspfade ergeben sich in 2001 im Vergleich zum mittleren Zustand nur sehr geringfügige Veränderungen.

Tabelle 7: N-Einträge nach Pfaden im EZG des Bederkesaer Sees für 2001

Eintragspfad	Mittlerer Eintrag		2001	
	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]
Direkteinträge	505	1,1	570	0,6
Abschwemmung	124	0,3	216	0,2
Erosion	379	0,8	459	0,5
Grundwasser	5.216	11,1	8.406	9,4
Zwischenabfluss	21.763	46,2	47.130	52,5
Dränagen	17.778	37,8	30.775	34,3
Kläranlagen	0	0,0	0	0,0
Urbane Einträge	1.304	2,8	2.139	2,4
Summe diffus	45.766	97,2	87.554	97,6
Summe punktuell	1.304	2,8	2.139	2,4
Summe	47.070	100	89.693	100

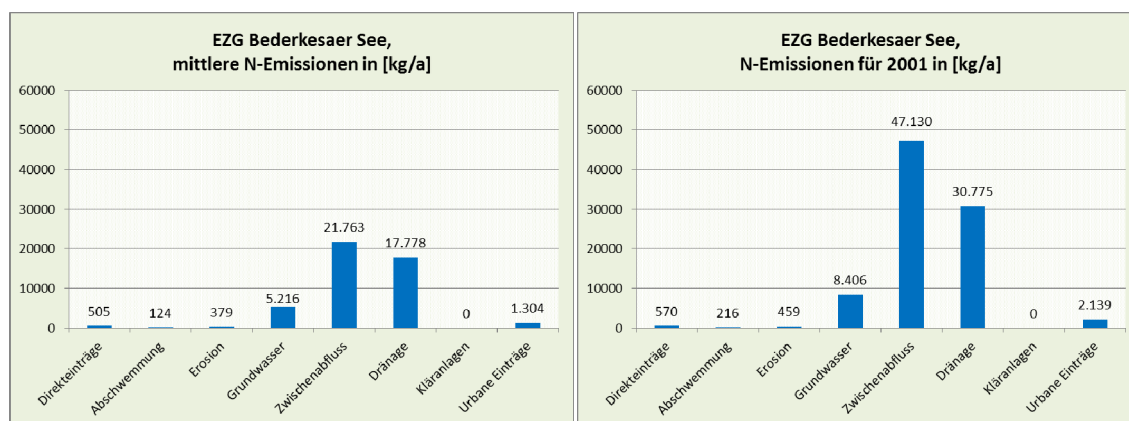


Bild 15: Modellergebnisse zu den N-Emissionen nach Pfaden für das EZG des Bederkesaer Sees für den mittleren Zustand (links) und im Vergleich für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]

Bild 16 zeigt die räumliche Verteilung der N-Emissionen über die beiden dominierenden und schnell abfließenden Eintragspfade Zwischen- und Drainageabfluss im EZG des Bederkesaer Sees für 2001. Im Vergleich zum mittleren Zustand (s. Bild 6) ist die sehr deutliche Zunahme der N-Emissionen über diese beiden Pfade gut zu erkennen. Die N-Einträge über Zwischenabfluss (Bild 12, links) weisen für 2001 eine Spannweite von etwa 5 bis über 100 kg/ha·a auf. Sie liegen damit nochmals erheblich über den bereits hohen Werten von 2011 (3 bis etwa 62 kg/ha·a). Im Vergleich zu den berechneten N-Einträgen über diesen Pfad bei mittleren Bedingungen - die bei ca. 1,7 bis etwa 29 kg/ha·a liegen - sind die N-Emissionen für 2001 extrem hoch. Auch die N-Emissionen über Dränagen (Bild 12, rechts) sind in 2001 deutlich höher als bei mittleren Bedingungen: die Spannweite liegt für 2001 bei etwa 22 bis über 46 kg/ha·a (bei mittleren Bedingungen betragen sie 10 bis etwa 28 kg/ha·a, in 2011 liegen sie bei 16 bis über 36 kg/ha·a).

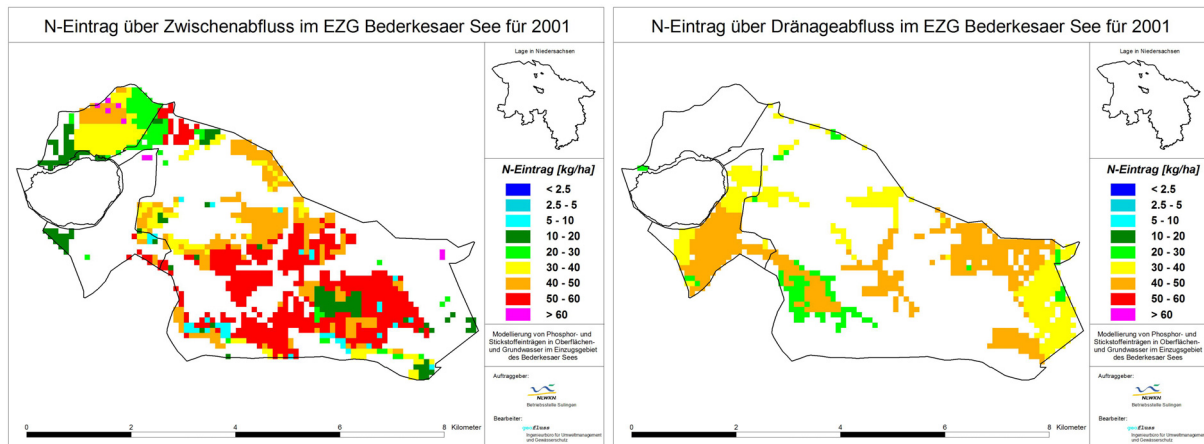


Bild 16: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die diffusen N-Einträge über Zwischenabfluss (links) und für die diffusen N-Einträge über Dränageabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Die deutlichen Unterschiede bei den ermittelten N-Emissionen werden auch in 2001 weitgehend durch die drei Bilanzterme N-Bilanzüberschuss, Denitrifikation im Oberboden und Anteil des Dränage- bzw. Zwischenabflusses am Gesamtabfluss verursacht.

Bild 17 links zeigt die räumliche Herkunft der N-Einträge über den Pfad Grundwasser. Selbst bei den hohen N-Bilanzüberschüssen in 2001 (vgl. Bild 19) entspricht diese Darstellung größtenteils der für mittlere Bedingungen, lediglich im nördlichen Teil des TEZG Ankeloher Randkanal sowie in Teilen des TEZG Falkenburger Bach sind (deutlich) höhere N-Einträge über Grundwasser zu verzeichnen (sie liegen zumeist zwischen 10 und 30 kg/ha·a, vereinzelt aber auch deutlich höher). Im Großteil des restlichen Gebietes liegen auch für 2001 nur geringe N-Einträge über Grundwasser von zumeist sehr deutlich unter 2,5 kg/ha·a vor (sehr häufig sind die N-Einträge hier < 1 kg/ha·a). Die Ursachen für die verbreitet sehr geringen N-Emissionen über den Pfad Grundwasser wurden bereits in Kap. 3.1 erläutert.

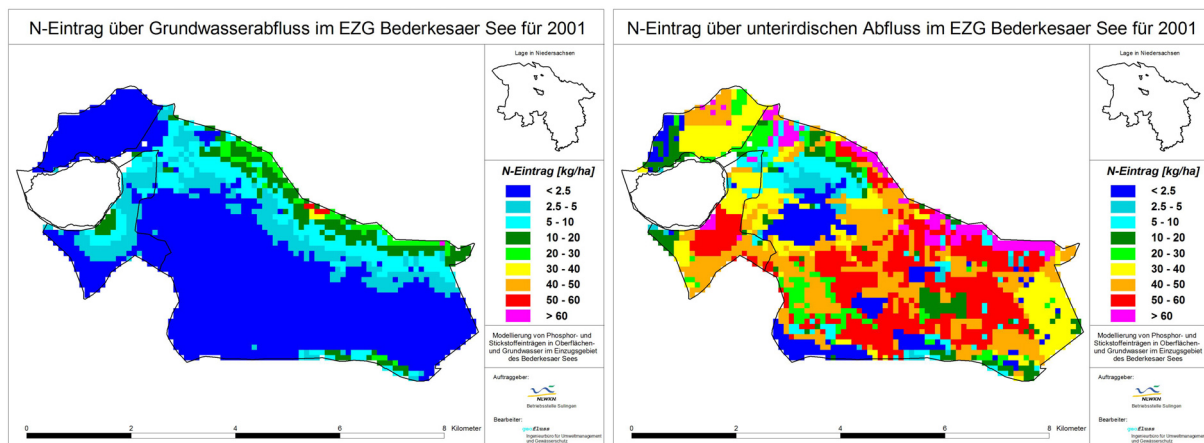


Bild 17: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die diffusen N-Einträge über Grundwasserabfluss (links) und für die diffusen N-Einträge über den gesamten unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Bild 17 rechts zeigt die räumliche Herkunft der summierten N-Einträge über die drei unterirdischen Eintragspfade für 2001. Bei dieser Darstellung sind die Unterschiede zu den beiden anderen Zeiträumen besonders deutlich zu erkennen. Während unter mittleren Bedingungen N-Emissionen über diese Pfade von über 30 kg/ha·a noch eher die Ausnahme sind (vgl. Bild

Die räumliche Verteilung der Summe der diffusen N-Einträge im Untersuchungsgebiet des Bederkesaer Sees für 2001 ist Bild 18 zu entnehmen (aufgrund der Dominanz der drei unterirdischen N-Eintragspfade ähnelt dieses Bild sehr dem Bild 17 rechts). Für die diffusen N-Einträge ergibt sich für 2001 eine sehr weitreichende Differenzierung der Eintragungssituation, die von kleiner 0,1 bis etwa 110 kg/ha·a. Besonders hohe N-Einträge von häufig deutlich über 40 kg/ha·a werden meist über die Eintragsfade Drainage- und Zwischenabfluss verursacht, besonders im nördlichen TEZG Ankeloher Randkanal und in einigen Bereichen des TEZG Falkenburger Bach sind zudem N-Einträge über Grundwasserabfluss daran beteiligt (die N-Einträge liegen dann zumeist über 50 oder sogar z.T. deutlich über 60 kg/ha·a). In allen Fällen handelt es sich dabei um landwirtschaftliche Nutzflächen, bei denen besonders hohe N-Bilanzüberschüsse und/oder geringe Denitrifikation im Oberboden (bzw. im Grundwasser) auftreten.

Die grün dargestellten diffusen N-Einträge für die Wasserfläche des Bederkesaer Sees sind auf atmosphärische N-Deposition zurückzuführen.

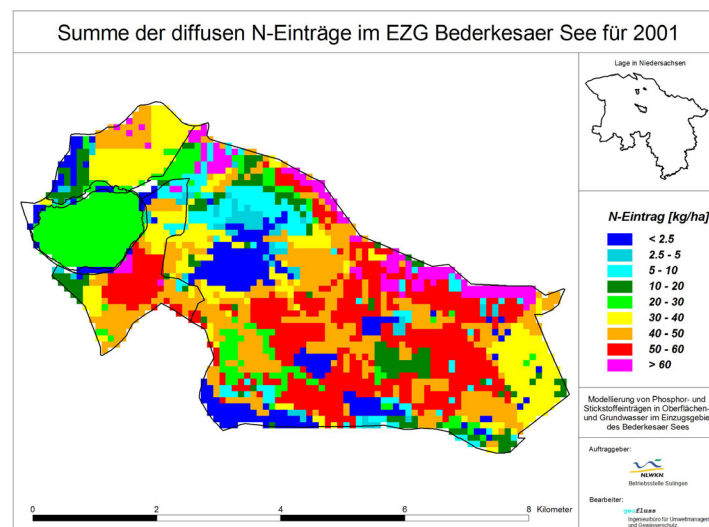


Bild 18: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die Summe der diffusen N-Einträge in [kg/ha]

Aufgrund der geringen Bedeutung der punktuellen N-Emissionen entsprechen die gesamten N-Emissionen in 2001 weitgehend den in Bild 18 dargestellten diffusen N-Einträgen für 2001 (Ausnahme: in den Ortslagen zeigen sich höhere N-Emissionen).

3.4 N-Bilanzüberschüsse im EZG des Bederkesaer Sees

Als Ergänzung zu den oben dargestellten Modellergebnissen der Stickstoffeinträge in die Grund- und Oberflächengewässer zeigt Bild 19 die modellintern ermittelten N-Salden für das EZG des Bederkesaer Sees und die beiden Jahre 2011 und 2001 (für den mittleren Betrachtungszeitraum entsprechen die N-Salden weitgehend den für 2011 dargestellten). Für 2011 beträgt der N-Bilanzüberschuss auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen im südlichen Bereich des TEZG Falkenburger Bachs und im südöstlichen Bereich des TEZG Ankeloher Randkanals zumeist zwischen 60 und 75 kg/ha (orange in Bild 19). Im nördlichen TEZG des Falkenburger Bachs sowie im Nordwesten und ganz im Osten des TEZG Ankeloher Randkanal liegen die N-Salden niedriger (zwischen 45 und 60 kg/ha, gelb in Bild 19). Auf den restlichen Flächen liegen die N-Salden im EZG des Bederkesaer Sees erwartungsgemäß deutlich unter 25 kg/ha; verursacht wird die N-Belastung hier über atmosphärische N-Deposition.

Für 2001 wurden deutlich höhere N-Salden ermittelt, sie liegen nun häufig zwischen 75 und 90 kg/ha (rot in Bild 19).

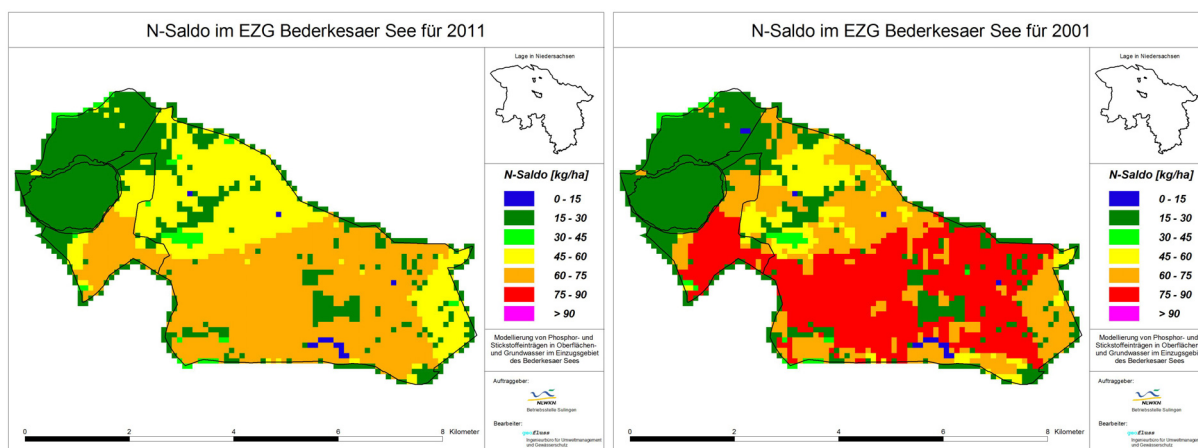


Bild 19: N-Saldo (N-Bilanzüberschuss) im EZG des Bederkesaer Sees für die Jahre 2011 und 2001, jeweils in [kg/ha]

3.5 Herkunft der Stickstoffeinträge im EZG des Bederkesaer Sees

Nachfolgend wird die räumliche Herkunft der Stickstoffeinträge im EZG des Bederkesaer Sees betrachtet. Dieses erfolgt auf Ebene der TEZG und wird in den Kap. 3.5.1 bis 3.5.3 dargelegt. Anschließend wird in Kap. 3.5.4 eine kurze Übersicht zu den N-Einträgen der einzelnen TEZG gegeben.

3.5.1 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Ankeloher Randkanal

Auf Basis der mittleren Modellergebnisse resultieren N-Emissionen von ca. 39,5 t/a aus dem TEZG Ankeloher Randkanal. Das TEZG Ankeloher Randkanal verursacht somit gut 83 % der gesamten und ca. 84 % der diffusen N-Emissionen im EZG des Bederkesaer Sees. Wie Bild 20 zeigt, sind hierfür vor allem die beiden schnellen unterirdischen Eintragspfade Zwischen- und Drainageabfluss verantwortlich, von denen allein N-Einträge von 33 t/a resultieren (fast 84 % der gesamten N-Emissionen aus diesem TEZG). Ein weiterer bedingt relevanter N-Eintragspfad ist der Grundwasserabfluss mit fast 5 t/a (etwa 12 % der N-Einträge). Somit er-

folgen insgesamt fast 38 t/a und somit ca. 96 % der gesamten N-Emissionen über die drei unterirdischen Abflusspfade. Alle anderen Eintragspfade sind somit unbedeutend.

Unter mittleren Abflussbedingungen erfolgen die höchsten diffusen N-Einträge im TEZG Ankeloher Randkanal aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen im Nordosten des TEZG; sie liegen dort verbreitet zwischen 30 und 40 kg/ha·a (gelb in Bild 8), auf einzelnen Flächen werden N-Einträge von bis zu 62 kg/ha·a erreicht (orange und rot in Bild 8).

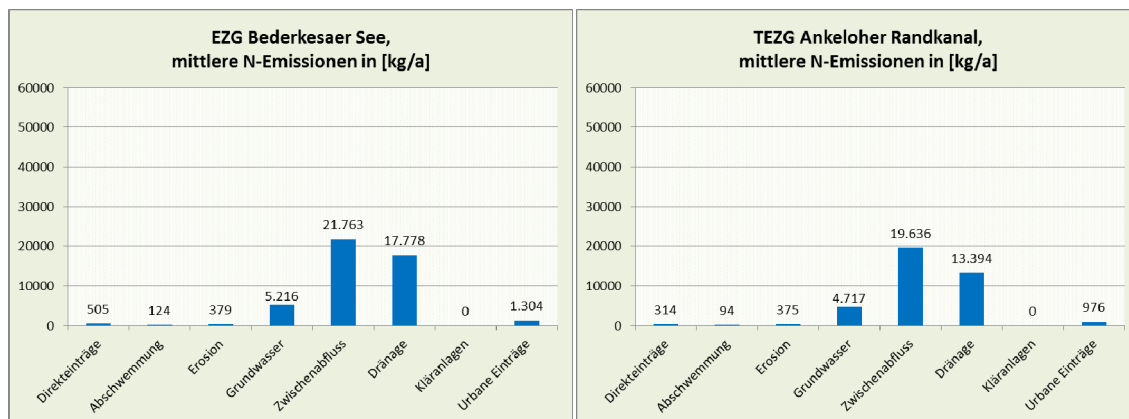


Bild 20: Modellergebnisse zu den mittleren N-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km², links) und für das TEZG Ankeloher Randkanal (19,8 km², rechts), jeweils in [kg/a]

Wie Bild 21 zeigt, nehmen in den beiden Jahren 2011 und 2001 bei (deutlich) erhöhten Abflüssen im TEZG Ankeloher Randkanal vor allem die N-Einträge über die beiden schnell abfließenden unterirdischen Eintragspfade Zwischen- und Drainageabfluss zu.

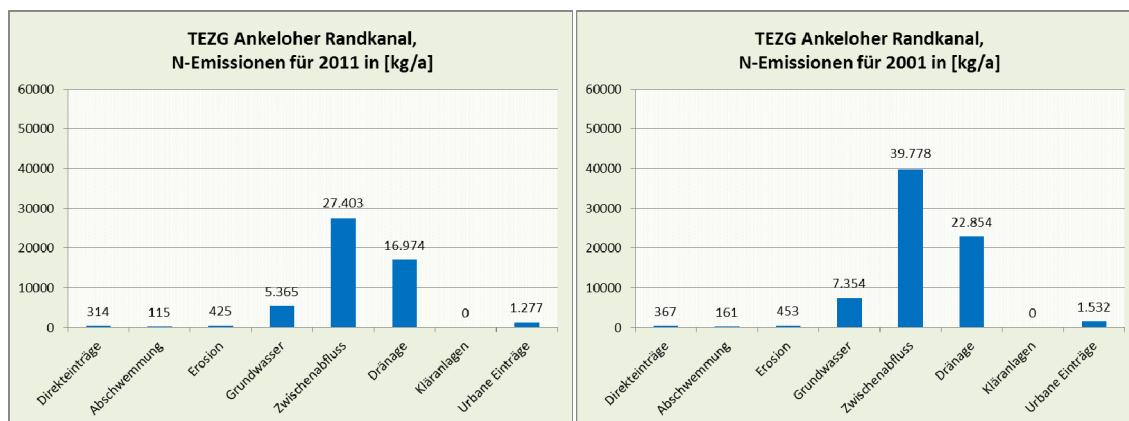


Bild 21: Modellergebnisse zu den N-Emissionen nach Pfaden für das TEZG Ankeloher Randkanal für 2011 (links) und für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]

In dem abflussstarken Jahr 2011 werden im TEZG Ankeloher Randkanal dieselben Hauptbelastungsschwerpunkte für N-Einträge ausgewiesen wie unter mittleren Bedingungen: erneut handelt es sich um landwirtschaftlich genutzte Flächen im Nordosten des TEZG. Die N-Einträge liegen dort für 2011 zumeist zwischen 38 und 52 kg/ha·a (gelb und orange in Bild 14), auf einzelnen Flächen werden in 2011 N-Einträge von bis zu 71 kg/ha·a erreicht (rot und pink in Bild 14).

Für das Jahr 2001, in dem der Abfluss nochmals 20 % höher als in 2011 war, zeigen sich in recht großen Teilen des TEZG N-Einträge von über 50 kg/ha·a (rot in Bild 18) und am nördlichen Rand des TEZG verbreitet N-Einträge zwischen 60 und 85 kg/ha·a (pink in Bild 18).

Dieser Befund zeigt, dass bei sehr hohen Abflüssen nicht nur in kleinen Gebietseinheiten, sondern weit verbreitet im TEZG Ankeloher Randkanal mit sehr stark erhöhten N-Einträgen zu rechnen ist; dieser Sachverhalt sollte bei der Ausweisung von Zielkulissen unbedingt berücksichtigt werden.

3.5.2 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Falkenburger Bach

Aus dem TEZG Falkenburger Bach sind mittlere N-Einträge von insgesamt etwa 5,5 t/a zu verzeichnen. Dies entspricht einem Anteil von knapp 12 % an den gesamten N-Emissionen im EZG des Bederkesaer Sees. Wie Bild 22 zu entnehmen ist, ist im TEZG Falkenburger Bach der Drainageabfluss eindeutig der wichtigste Eintragspfad; über ihn erfolgen gemäß der Modellergebnisse ca. 4,4 t/a, was fast 80 % der gesamten N-Emissionen aus diesem TEZG entspricht. Weitere 9 % der N-Einträge resultieren über Zwischenabfluss (etwa 0,5 t/a). Der drittwichtigste N-Eintragspfad ist im TEZG Falkenburger Bach der Grundwasserabfluss mit N-Einträgen von etwa 0,4 t/a (7,3 %). Somit erfolgen fast 96 % aller N-Emissionen in diesem TEZG über die drei unterirdischen Eintragspfade. Folglich sind alle weiteren Pfade unbedeutend. Unter mittleren Abflussbedingungen erfolgen die höchsten diffusen N-Einträge aus dem mittleren Bereich des TEZG Falkenburger Bach; sie liegen hier zwischen 30 und 36 kg/ha·a (vgl. Bild 8).

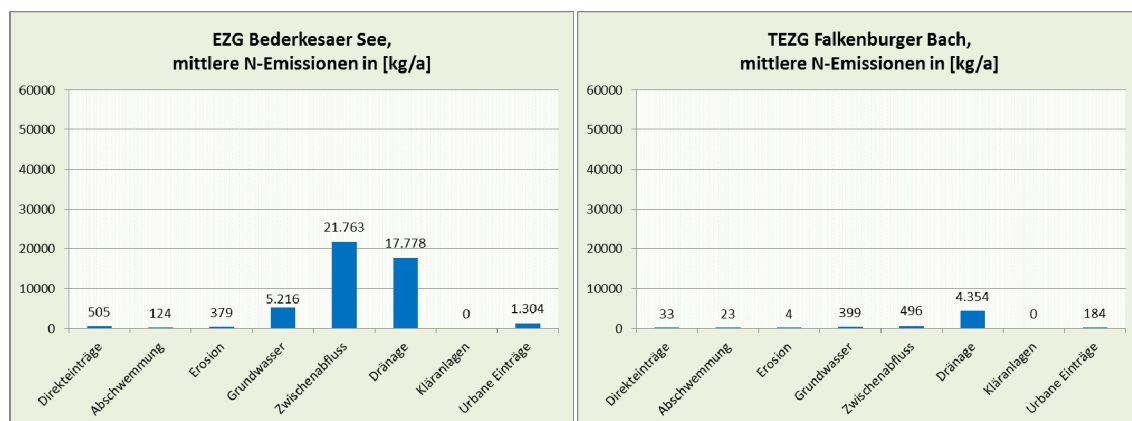


Bild 22: Modellergebnisse zu den mittleren N-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km², links) und für das TEZG Falkenburger Bach (2,5 km², rechts), jeweils in [kg/a]

Wie Bild 23 zu entnehmen ist, nehmen in den beiden Jahren 2011 und 2001 bei (deutlich) erhöhten Abflüssen im TEZG Falkenburger Bach vor allem die N-Einträge über den schnell abfließenden unterirdischen Eintragspfad Drainageabfluss zu.

Auch in diesen beiden Jahren erfolgen die höchsten diffusen N-Einträge aus dem mittleren Bereich des TEZG Falkenburger Bach, der folglich als Belastungsschwerpunkt einzustufen ist. Für 2011 liegen sie hier zwischen 41 und 48 kg/ha·a (vgl. Bild 14), für 2001 zwischen 51 und 67 kg/ha·a (vgl. Bild 18).

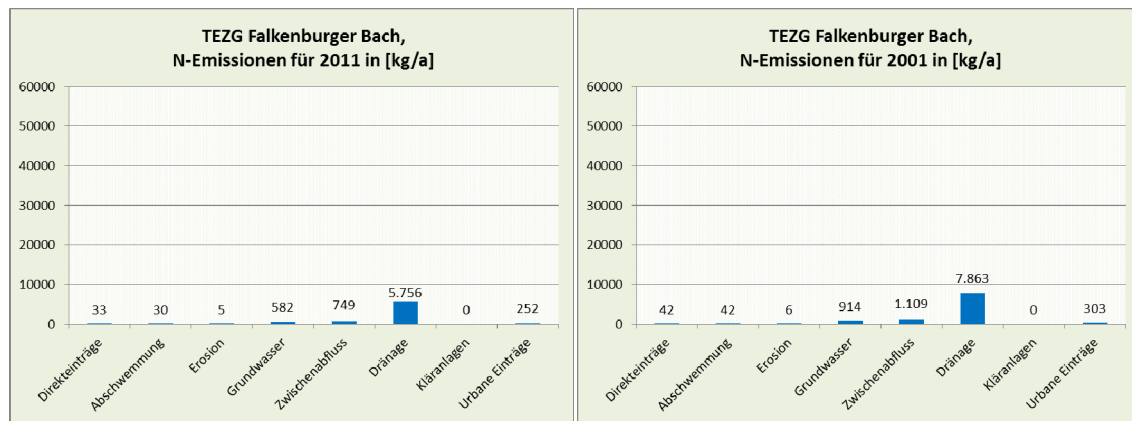


Bild 23: Modellergebnisse zu den N-Emissionen nach Pfaden für das TEZG Falkenburger Bach für 2011 (links) und für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]

3.5.3 Stickstoffeinträge aus dem TEZG Russengraben

Nach den Modellergebnissen erfolgen aus dem TEZG Russengraben im nördlichen Einzugsgebiet des Bederkesaer Sees unter mittleren Bedingungen nur geringe N-Einträge von knapp 2 t/a (ca. 4 % der gesamten bzw. diffusen N-Emissionen im EZG des Bederkesaer Sees). Der dominierende N-Eintragspfad ist der Zwischenabfluss, über den fast 81 % (gut 1,5 t/a) der gesamten N-Einträge erfolgen. Alle weiteren Pfade sind weitgehend unbedeutend.

Besonders hohe diffuse N-Einträge von etwa 23 kg/ha·a erfolgen unter mittleren Abflussbedingungen von den wenigen landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Hochmoorflächen (vgl. Bild 8).

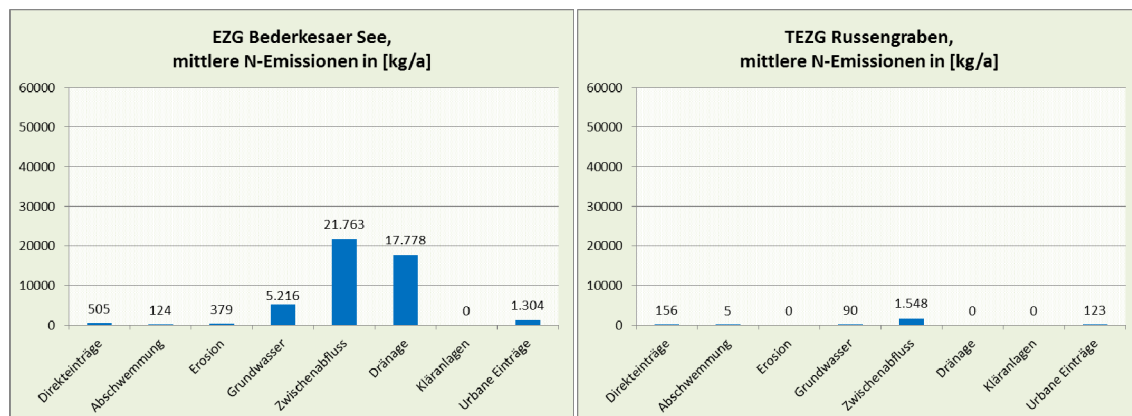


Bild 24: Modellergebnisse zu den mittleren N-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km², links) und für das TEZG Russengraben (2 km², rechts), jeweils in [kg/a]

In den beiden Jahren 2011 und 2001 bei (deutlich) erhöhten Abflüssen nimmt im TEZG Russengraben vor allem der N-Eintrag über den schnell abfließenden unterirdischen Eintragspfad Zwischenabfluss zu (vgl. Bild 25).

Die diffusen N-Einträge von den wenigen landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Hochmoorflächen erhöhen sich in 2011 auf fast 35 kg/ha·a (vgl. Bild 14) und für 2001 auf über 100 kg/ha·a (vgl. Bild 18).

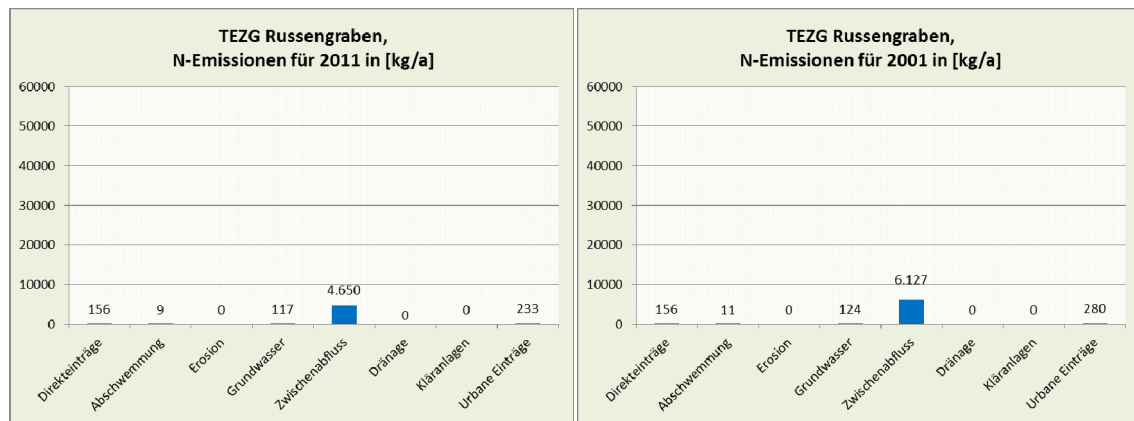


Bild 25: Modellergebnisse zu den N-Emissionen nach Pfaden für das TEZG Russengraben für 2011 (links) und für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]

3.5.4 Übersicht zu den Stickstoffeinträgen aus den einzelnen TEZG

Bild 26 zeigt die prozentualen Anteile der gesamten bzw. diffusen N-Emissionen aus den einzelnen TEZG im EZG des Bederkesaer Sees. Dabei ist sehr deutlich zu erkennen, dass sowohl die diffusen als auch die gesamten N-Emissionen vor allem aus dem TEZG Ankeloher Randkanal resultieren: dieses TEZG ist demnach für gut 84 % der diffusen N-Einträge und fast 84 % der gesamten N-Emissionen verantwortlich. Weitere fast 12 % aller N-Einträge im EZG des Bederkesaer Sees erfolgen demnach aus dem TEZG Falkenburger Bach, die weiteren TEZG sind in Bezug auf die Summe der N-Einträge folglich eher unbedeutend.

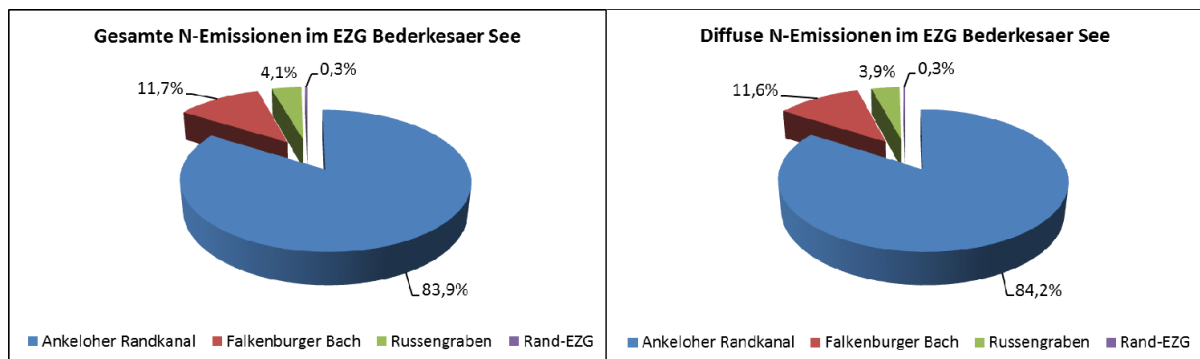


Bild 26: Herkunft der N-Emissionen im EZG Bederkesaer See. Modellergebnisse für die einzelnen TEZG, gesamte N-Emissionen (links) und diffuse N-Emissionen (rechts), jeweils in [%]

Die nachfolgende Tabelle 8 zeigt die Modellergebnisse zu den mittleren N-Einträgen für alle vier TEZG im EZG des Bederkesaer Sees differenziert nach Eintragspfaden.

Tabelle 8: Modellergebnisse zu den N-Einträgen nach Pfaden in den Bilanzgebieten im EZG des Bederkesaer Sees für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014

Eintragspfad	Ankeloher RK		Falkenburger B.		Russengraben		Rand-EZG	
	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]	N [kg/a]	N [%]
Direkteinträge	314	0,8	33,1	0,6	156	8,1	2,5	1,7
Abschwemmung	94	0,2	23,3	0,4	4,5	0,2	1,7	1,1
Erosion	375	0,9	4,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Grundwasser	4.717	11,9	399	7,3	90,1	4,7	10,3	6,9
Zwischenabfluss	19.636	49,7	496	9,0	1.548	80,6	83,1	55,7
Dränagen	13.394	33,9	4.354	79,3	0,0	0,0	30,7	20,6
Kläranlagen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Urbane Einträge	976	2,5	184	3,4	123	6,4	21,0	14,1
Summe diffus	38.529	97,5	5.310	96,6	1.798	93,6	128	85,9
Summe punktuell	976	2,5	184	3,4	123	6,4	21,0	14,1
Summe	39.505	100	5.494	100	1.921	100	149	100

3.6 Mittlere Phosphoreinträge im EZG des Bederkesaer Sees

Die unter Verwendung der zur Verfügung gestellten Daten erzielten Ergebnisse der Quantifizierung der diffusen und punktuellen Phosphoreinträge bei mittleren Bedingungen für das EZG des Bederkesaer Sees im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014 sind Tabelle 9 zu entnehmen.

Tabelle 9: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden im EZG des Bederkesaer Sees und im UG Bederkesaer See für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014

Eintragspfad	EZG Bederkesaer See		UG Bederk. See (EZG inkl. Seefläche)	
	P [kg/a]	P [%]	P [kg/a]	P [%]
Direkteinträge	111	4,2	142	5,3
Abschwemmung	29,6	1,1	29,6	1,1
Erosion	165	6,2	165	6,1
Grundwasser	754	28,3	754	28,0
Zwischenabfluss	290	10,9	290	10,7
Dränagen	1.095	41,1	1.095	40,6
Kleinkläranlagen	0,0	0,0	0,0	0,0
Urbane Einträge	222	8,3	222	8,2
Summe diffus	2.445	91,7	2.475	91,8
Summe punktuell	222	8,3	222	8,2
Summe	2.667	100	2.698	100

Für das EZG des Bederkesaer Sees betragen die mittleren gesamten P-Emissionen demnach 2.667 kg/a, wovon 2.445 kg/a bzw. fast 92 % auf diffuse P-Belastungen zurückzuführen sind. Die diffusen P-Emissionen dominieren damit sehr deutlich das mittlere Eintragsgeschehen im EZG. Die punktuellen P-Einträge liegen in der Summe bei 222 kg/a bzw. gut 8 %; sie sind auf P-Emissionen über Kanalisationen und Kleinkläranlagen zurückzuführen.

Den dominierenden Eintragspfad stellen die P-Belastungen über Dränagen mit fast 1.100 kg/a bzw. 41 % dar. Der zweitwichtigste P-Eintragspfad im EZG des Bederkesaer Sees ist das Grundwasser; über diesen Pfad erfolgen P-Einträge von 754 kg/a, was gut 28 % der gesamten P-Emissionen entspricht. Weitere relevante P-Eintragspfade sind der Zwischenabfluss mit 290 kg/a (fast 11 %), die urbanen P-Einträge mit 222 kg/a (gut 8 %), die erosiven P-Einträge mit 165 kg/a (etwa 6 %) und die Direkteinträge mit 111 kg/a (ca. 4 %). Alle anderen Eintragspfade spielen im EZG des Bederkesaer Sees eine untergeordnete Rolle.

Bei Betrachtung des gesamten Untersuchungsgebiets - also inklusive der eher kleinen Wasserfläche des Bederkesaer Sees - ergibt sich eine fast identische Situation: lediglich die Direkteinträge über atmosphärische Deposition nehmen geringfügig zu (vgl. Bild 27).

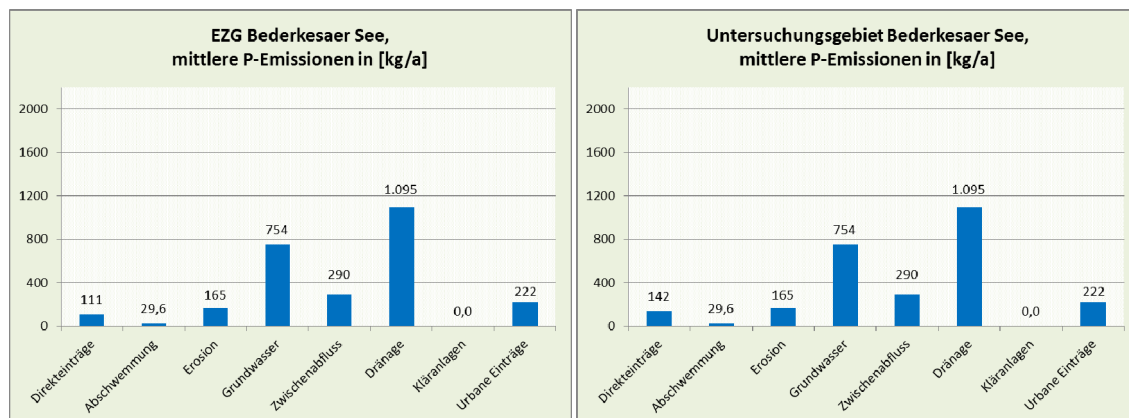


Bild 27: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km², links) und das Untersuchungsgebiet Bederkesaer See (26,4 km², rechts), jeweils in [kg/a]

Tabelle 10 zeigt die Verteilung der diffusen P-Einträge im EZG des Bederkesaer Sees nach den vorherrschenden Bodentypen.

Tabelle 10: P-Einträge nach Bodentyp im EZG des Bederkesaer Sees für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014 für wichtige Eintragspfade

Bodentyp	Fläche [ha]	Grundwasser [kg/a]	Zwischenabfluss [kg/a]	Dränagen [kg/a]	Summe diffus [kg/a]
HHv	547,8	383,7	149,0	767,4	1332,9
S-P	854,4	135,0	135,9	0,0	413,1
HNv	396,5	97,3	1,7	219,5	352,2
E/S-B	181,8	45,5	0,5	0,0	76,1
P-S	59,4	10,2	0,0	35,3	50,4
HNv/G	38,7	5,3	0,0	33,9	43,9
G	47,6	4,3	0,5	35,2	43,5
B-P	100,8	23,7	0,0	0,0	43,3
E/P-B	82,2	19,7	0,0	0,0	35,4
P	50,5	15,9	0,6	0,0	24,3
YUhh	18,3	4,0	0,0	3,8	12,1
P-B	17,7	5,9	0,2	0,0	7,5
S-B	5,6	0,3	1,2	0,0	4,6
G-P	19,7	1,4	0,1	0,0	2,6
YUs-p	10,5	1,8	0,0	0,0	2,1

Demnach resultieren mit 1.333 kg/a etwa 55 % der diffusen P-Emissionen aus Erd-Hochmooren (HHv, etwa 22,5 % der Gesamtfläche), die aktuell zumeist in landwirtschaftli-

cher Nutzung stehen. Von Pseudogley-Podsolen (S-P, über 35 % der Gesamtfläche) sind P-Einträge von 413 kg/a (ca. 17 % der diffusen P-Einträge) zu verzeichnen. Weitere hohe P-Einträge von über 350 kg/a (über 14 % der diffusen P-Einträge) erfolgen gemäß der Modellergebnisse vom Bodentyp Erd-Niedermoor (HNv, gut 16 % der Gesamtfläche).

Bild 28 ist die räumliche Verteilung der mittleren P-Einträge über Drainage- (links) bzw. Grundwasserabfluss (rechts) im EZG des Bederkesaer Sees zu entnehmen. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass über den Drainageabfluss verbreitet extrem hohe P-Emissionen von über 2 und z.T. sogar über 4 kg/ha·a zu verzeichnen sind. Bei diesen ausgewiesenen Flächen handelt es sich um ehemalige Hochmoore, die jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung sind. Insgesamt liegen die mittleren P-Einträge über Dränagen im EZG des Bederkesaer Sees zwischen etwa 0,3 und fast 6 kg/ha·a, wobei fast 90 % der P-Emissionen über diesen Pfad von der LN Grünland erfolgen, die restlichen gut 10 % von Ackerflächen. Wie Bild 28 (rechts) zeigt, resultieren gemäß der Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees auch (sehr) hohe P-Einträge über den Pfad Grundwasserabfluss. Betroffen hiervon sind erneut die aktuell in landwirtschaftlicher Nutzung stehenden ehemaligen Hochmoorflächen: hier treten verbreitet mittlere P-Emissionen von über 1 und vereinzelt sogar von über 2 kg/ha·a auf. In dem Großteil des Untersuchungsgebietes liegt der P-Eintrag über Grundwasserabfluss dagegen unter 0,25 kg/ha·a. Insgesamt weisen die P-Einträge über den Pfad Grundwasserabfluss eine Spannweite von etwa 0,01 bis ca. 2,5 kg/ha·a auf.

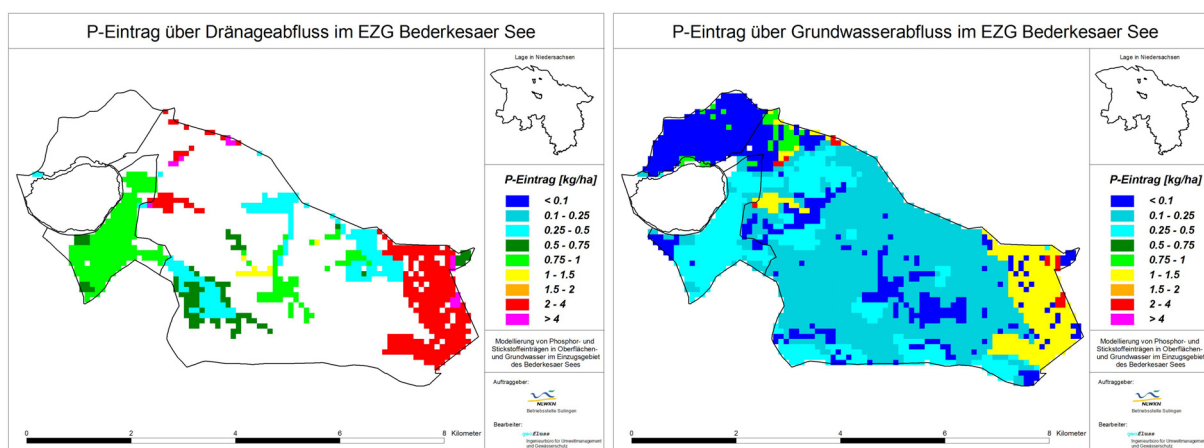


Bild 28: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren diffusen P-Einträge über Drainageabfluss (links) und für die mittleren diffusen P-Einträge über Grundwasserabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

In Bild 29 ist die räumliche Verteilung der mittleren P-Einträge über den Pfad Zwischenabfluss (links) sowie als Summe der unterirdischen P-Einträge (rechts) für das EZG des Bederkesaer Sees dargestellt. Die P-Emissionen über Zwischenabfluss sind überwiegend gering und liegen zumeist zwischen kleiner 0,1 und 0,25 kg/ha·a. Lediglich von einigen nicht gedränten Grünlandflächen auf ehemaligen Hochmooren sind sehr hohe P-Emissionen über Zwischenabfluss von mehr als 2 kg/ha·a zu verzeichnen (rot in Bild 29, links).

Bei Betrachtung der Summe der unterirdischen P-Emissionen (Bild 29, rechts) wird folgendes deutlich: geringe P-Emissionen von < 0,1 kg/ha·a kommen nur auf wenigen Flächen vor (Waldflächen auf mineralischen Böden, weitgehend intakte Moorflächen und Siedlungsflächen). Besonders hohe P-Emissionen von > 3 kg/ha·a sind - insbesondere im TEZG Ankeloher Randkanal - häufig zu verzeichnen. Verursacht werden sie von jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung (meist Grünland) stehenden ehemaligen Hochmoorflächen. Weitere hohe P-

Emissionen über die unterirdischen Pfade sind von den jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung stehenden ehemaligen Niedermoorflächen zu verzeichnen: sie liegen zwischen 0,55 und 1,2 kg/ha·a. Dagegen betragen die P-Einträge von LNF auf mineralischen Böden zumeist weniger als 0,3 kg/ha·a, vereinzelt aber auch bis zu mehr als 0,75 kg/ha·a.

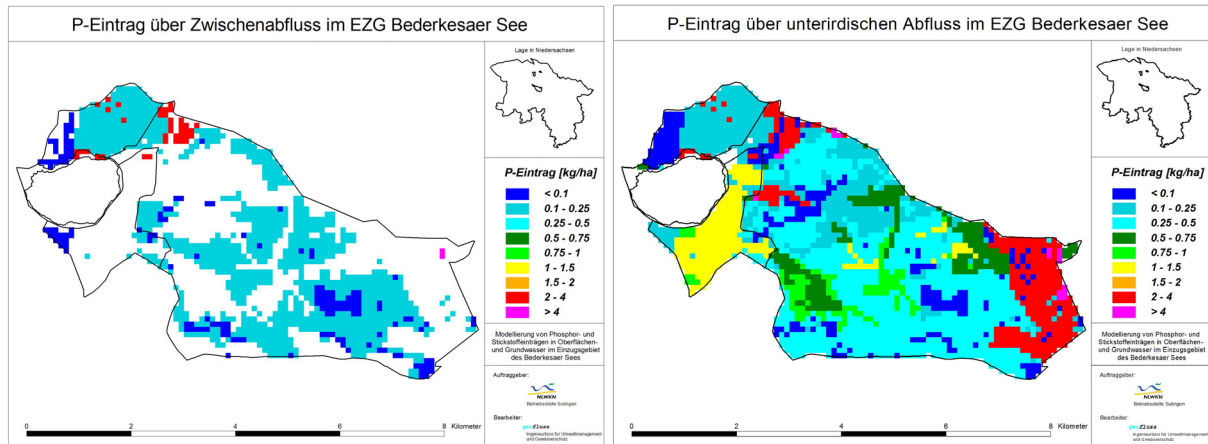


Bild 29: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren diffusen P-Einträge über Zwischenabfluss (links) und für die mittleren diffusen P-Einträge über unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Erosive P-Einträge sind im EZG des Bederkesaer Sees, bedingt vor allem durch die vorherrschende Landnutzung Grünland, die keine Erosion zulässt, aber auch aufgrund der geringen Hangneigungen, nur von geringer Bedeutung. Derartige P-Einträge treten fast ausschließlich im TEZG Ankeloher Randkanal auf (Bild 30, links) und weisen vereinzelt Werte von > 1 oder auch > 2 kg/ha·a auf. Bei den überwiegend geringen Hangneigungen liegen die erosiven P-Einträge im restlichen Untersuchungsgebiet häufig unter 0,1 bzw. unter 0,5 kg/ha·a. Der P-Direkteintrag im Untersuchungsgebiet ist in Bild 30 (rechts) dargestellt. Abgesehen vom Bederkesaer See selbst betragen diese P-Einträge häufig deutlich unter 0,05 kg/ha·a. Für die Wasserfläche des Bederkesaer Sees wurde der P-Eintrag über atmosphärische Deposition auf 0,18 kg/ha festgelegt (vgl. Kap. 2.1.1).

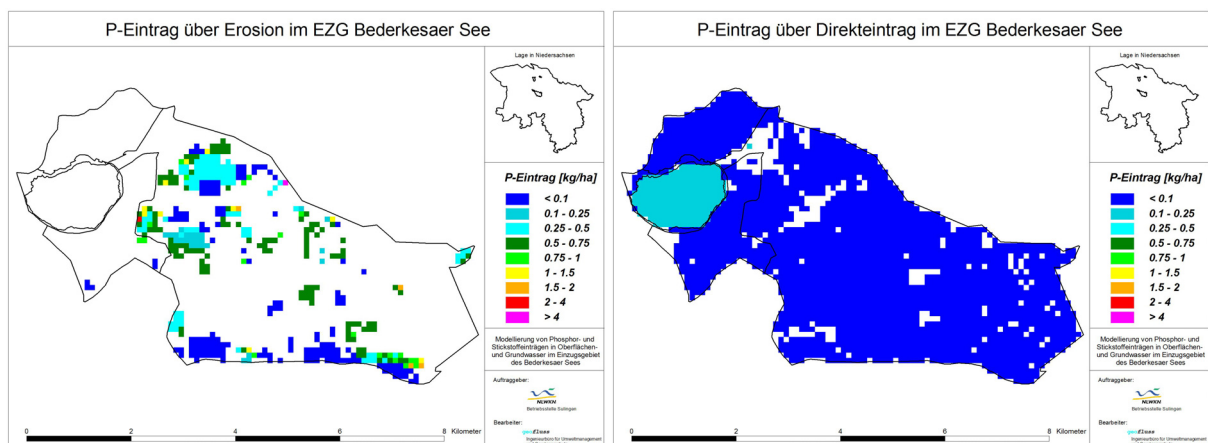


Bild 30: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren diffusen P-Einträge über Erosion (links) und für die mittleren diffusen P-Einträge über Direkteintrag (rechts), jeweils in [kg/ha]

Bild 31 zeigt die Summe der diffusen P-Einträge im EZG des Bederkesaer Sees. Die besonders hohen diffusen P-Einträge von über 2 und z.T. sogar über 4 kg/ha·a erfolgen aus-

schließlich über die unterirdischen Pfade und resultieren von den landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Hochmoorflächen; sie liegen vor allem im TEZG Ankeloher Randkanal und dort besonders im Oberlauf. Daneben treten aber auch recht häufig und insbesondere im TEZG Falkenburger Bach hohe diffuse P-Einträge von 1 - 1,5 kg/ha·a (über die unterirdischen Pfade, gelb in Bild 31) auf; ursächlich sind hierfür oftmals ehemalige Niedermoores, die jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung sind. Erhöhte diffuse P-Einträge zwischen 0,5 - 1 kg/ha·a (grün in Bild 31) kommen vor allem im TEZG Ankeloher Randkanal vor; sie sind zumeist auf Dränagen und vereinzelt auf Erosion zurückzuführen (vgl. Bild 28, links und Bild 30, links). In gut der Hälfte des EZG des Bederkesaer Sees liegen die diffusen P-Emissionen dagegen unter 0,5 kg/ha·a. Punktuelle P-Belastungen sind im EZG des Bederkesaer Sees unbedeutend.

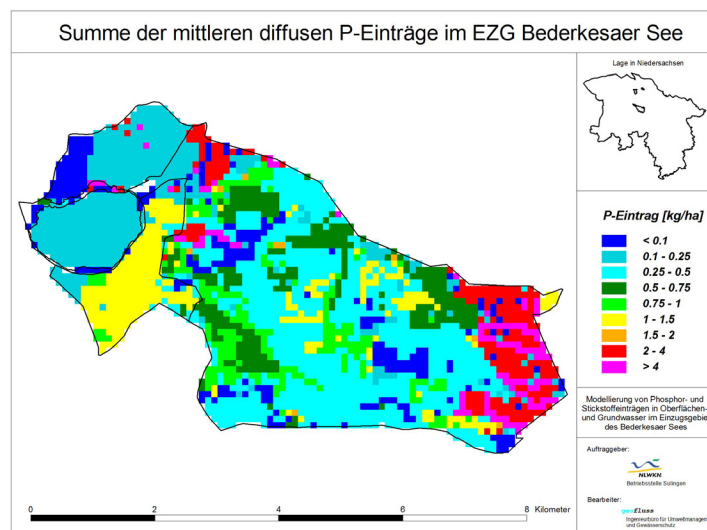


Bild 31: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die Summe der mittleren diffusen P-Einträge in [kg/ha]

In Bild 32 sind die Modellergebnisse zu den urbanen P-Einträgen dargestellt. Deutlich erhöhte Werte von > 1 und vereinzelt sogar > 1,5 kg/ha·a sind in den Ortschaften zu verzeichnen; sie stellen die P-Einträge über Kanalisationen dar. Im restlichen EZG werden flächendeckend P-Einträge von zumeist deutlich unter 0,1 kg/ha·a ausgewiesen. Sie bilden die P-Einträge über Kleinkläranlagen im EZG ab, deren genaue Lage nicht bekannt ist.

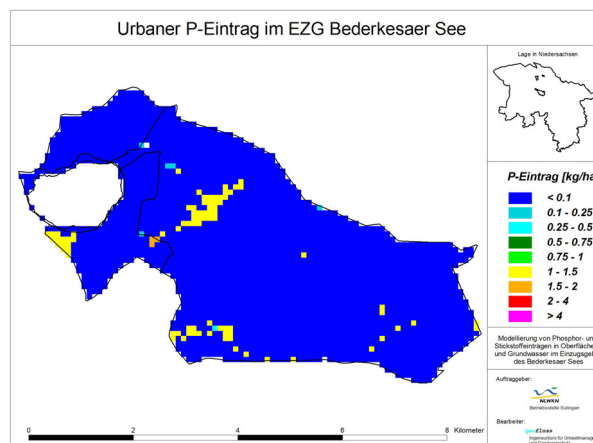


Bild 32: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die mittleren urbanen P-Einträge in [kg/ha]

Bild 33 zeigt die Summe der mittleren gesamten P-Einträge im EZG des Bederkesaer Sees. Aufgrund der sehr geringen Bedeutung der punktuellen P-Einträge im EZG gleicht diese Darstellung weitgehend Bild 31 (mit den diffusen P-Einträgen). Lediglich in den Ortschaften, in denen relevante P-Einträge über Kanalisationen zu verzeichnen sind, sind die gesamten P-Einträge (erheblich) höher als die diffusen P-Einträge.

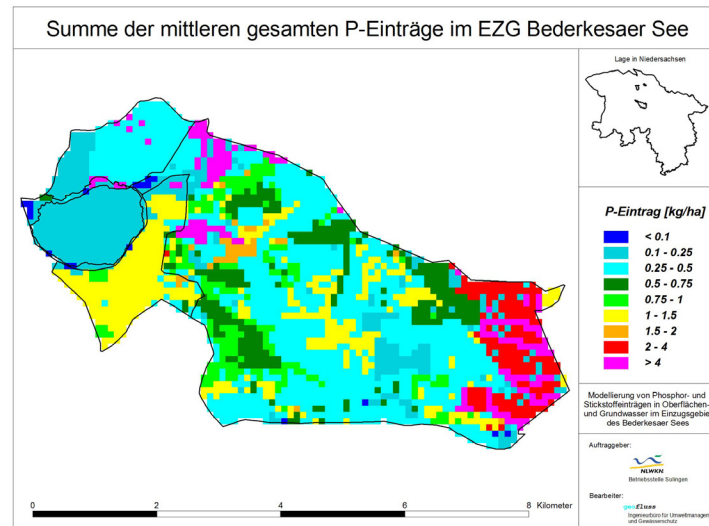


Bild 33: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für die Summe der mittleren gesamten P-Einträge in [kg/ha]

3.7 Phosphoreinträge im EZG des Bederkesaer Sees für 2011

Im abflussreichen Jahr 2011 liegt der Gesamtabfluss etwa 30 % über dem mittleren Zustand. Die hieraus für 2011 auf Basis der Modellergebnisse resultierenden Phosphoreinträge im EZG des Bederkesaer Sees sind in Tabelle 11 und Bild 34 dargestellt.

Tabelle 11: P-Einträge nach Pfaden im EZG des Bederkesaer Sees für 2011

Eintragspfad	Mittlerer Eintrag		2011	
	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]
Direkteinträge	111	4,2	111	3,1
Abschwemmung	29,6	1,1	36,5	1,0
Erosion	165	6,2	186	5,2
Grundwasser	754	28,3	1.083	28,4
Zwischenabfluss	290	10,9	410	11,5
Dränagen	1.095	41,1	1.508	42,2
Kläranlagen	0	0,0	0	0,0
Urbane Einträge	222	8,3	306	8,6
Summe diffus	2.445	91,7	3.265	91,4
Summe punktuell	222	8,3	306	8,6
Summe	2.667	100	3.571	100

Demnach erhöhen sich die P-Emissionen in 2011 im gesamten Einzugsgebiet im Vergleich zum mittleren Zustand um etwa 900 kg und somit um ca. 34 %. Besonders deutlich nehmen in 2011 die P-Emissionen von den beiden dominierenden Pfaden Drainage- und Grundwasserabfluss zu: sie steigen um ca. 410 bzw. etwa 260 kg. Weitere relevante Erhöhungen der

P-Einträge sind über den Pfad Zwischenabfluss (gut 120 kg) und über die urbanen P-Einträge (mehr als 80 kg) zu verzeichnen. Bei den restlichen Eintragspfaden zeigen sich dagegen keine relevanten Änderungen im Vergleich zum mittleren Zustand. Insgesamt ist die deutliche Zunahme der P-Emissionen in 2011 von 900 kg im Vergleich zu den mittleren P-Einträgen vor allem auf die drei unterirdischen Abflusspfade zurückzuführen (sie nehmen in der Summe um fast 800 kg zu, ihr Anteil an der gesamten Zunahme der P-Einträge in 2011 beträgt etwa 88 %).

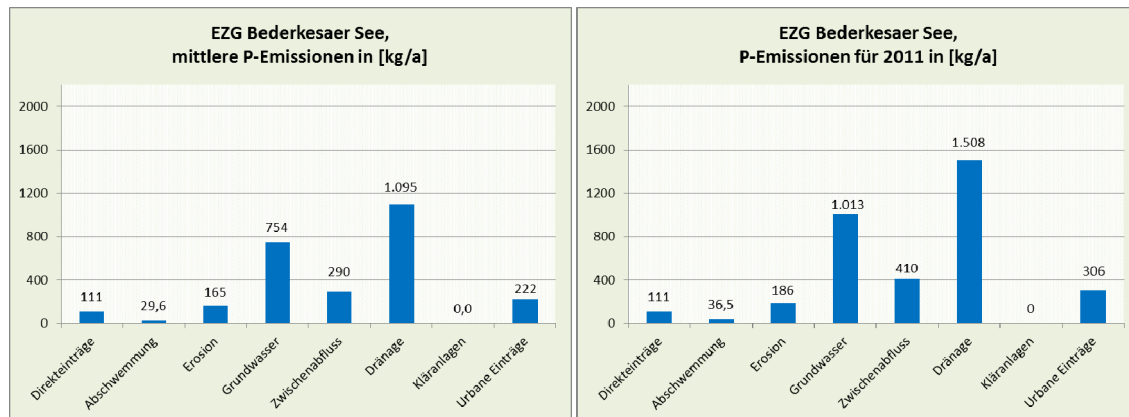


Bild 34: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das EZG des Bederkesaer Sees für den mittleren Zustand (links) und im Vergleich für 2011 (rechts), jeweils in [kg/a]

Bild 35 zeigt die räumliche Verteilung der P-Emissionen über die beiden dominierenden Eintragspfade Drainage- (links) bzw. Grundwasserabfluss (rechts) für 2011.

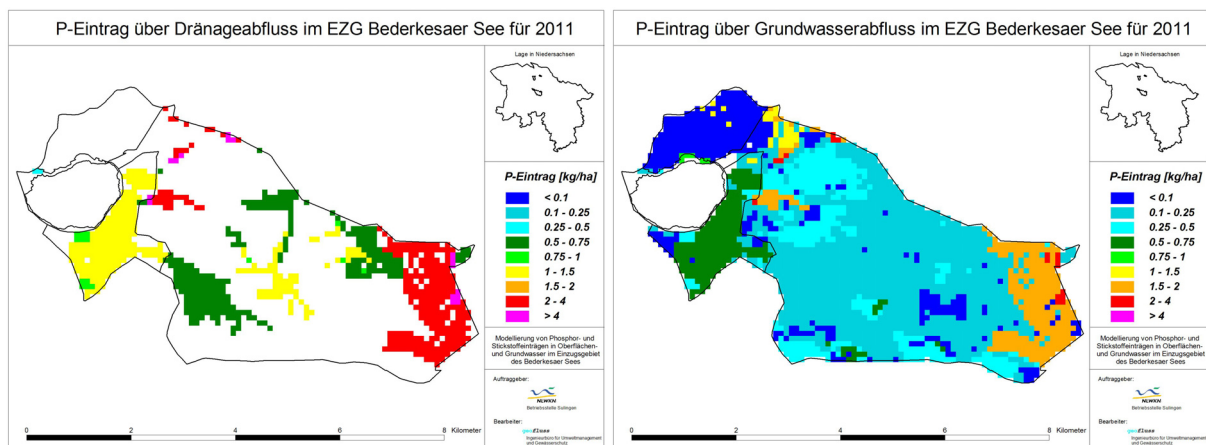


Bild 35: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die diffusen P-Einträge über Drainageabfluss (links) und für die diffusen P-Einträge über Grundwasserabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Im Vergleich zum mittleren Zustand (s. Bild 28) sind die P-Emissionen über diese beiden Pfade erheblich gestiegen. Die Ursache hierfür liegt in dem deutlich zugenommenen Abfluss in 2011, der etwa 30 % höher als der mittlere Abfluss ist. Die P-Einträge über Drainageabfluss (Bild 35, links) weisen für 2011 eine Spannweite von etwa 0,4 bis fast 8 kg/ha-a auf und liegen damit erwartungsgemäß höher als unter mittleren Bedingungen. Die besonders hohen P-Einträge von mehr als 2 kg/ha-a resultieren ausschließlich von ehemaligen Hochmoorflächen, insbesondere im Oberlauf des Ankeloher Randkanals, die jetzt in landwirtschaftlicher Nutzung sind. Von dort sind für 2011 auch sehr hohe P-Einträge über Grundwasserabfluss

zu verzeichnen; sie liegen meist zwischen 1,5 und 2 kg/ha·a, vereinzelt auch höher (s. Bild 35, rechts). In einem großen Teil des Untersuchungsgebietes liegt der P-Eintrag über Grundwasserabfluss in 2011 unter 0,25 kg/ha·a. Insgesamt weisen die P-Einträge über den Pfad Grundwasserabfluss in 2011 eine Spannweite von etwa 0,02 bis etwa 3,8 kg/ha·a auf.

Bild 36 zeigt die räumliche Verteilung der P-Einträge über den Pfad Zwischenabfluss (links) sowie als Summe der unterirdischen P-Einträge (rechts) für das EZG des Bederkesaer Sees und die Eintragsbedingungen in 2011. Für den Zwischenabfluss sind hier im Vergleich zum mittleren Zustand nur geringe Änderungen zu verzeichnen. Die Summe der drei unterirdischen P-Eintragspfade zeigt dagegen eine erhebliche Zunahme der P-Einträge in 2011, insbesondere aus den (ehemaligen) Hochmoorflächen (großflächig im Oberlauf des Ankeloher Randkanals, meist mehr als 4 kg/ha) sowie aus den (ehemaligen) Niedermoorflächen im TEZG Falkenburger Bach (zumeist zwischen 1,5 und 2 kg/ha). Die P-Einträge von allen weiteren diffusen Eintragspfaden sind weitgehend unbedeutend.

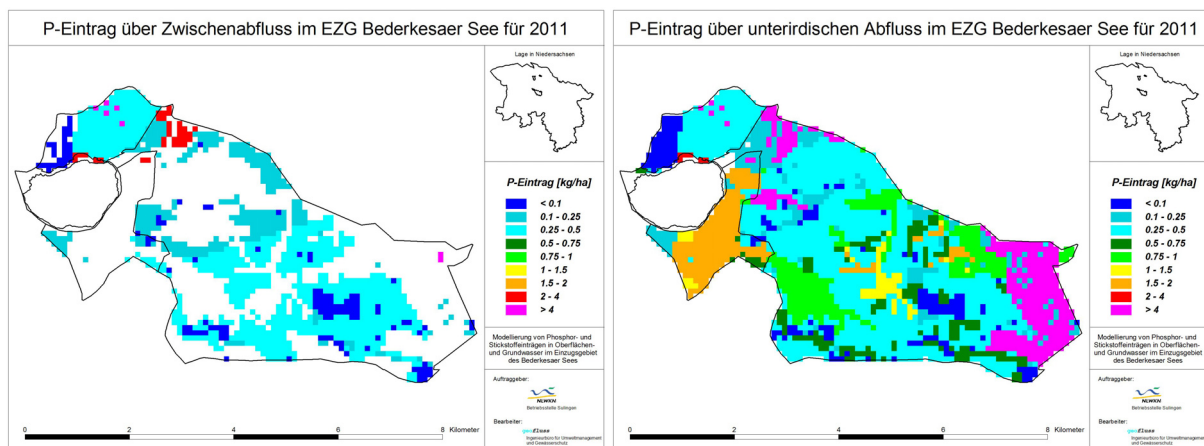


Bild 36: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die diffusen P-Einträge über Zwischenabfluss (links) und für die diffusen P-Einträge über unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Bild 37 zeigt die Summe der für 2011 ermittelten diffusen P-Einträge im EZG des Bederkesaer Sees. Im Vergleich zu den mittleren Bedingungen sind die diffusen P-Einträge in 2011 flächendeckend höher, die Eintragungsschwerpunkte sind aber dieselben wie zuvor: die höchsten diffusen P-Einträge von nun sehr verbreitet über 4 kg/ha·a erfolgen ausschließlich über die unterirdischen Pfade und resultieren von den landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Hochmoorflächen; sie liegen vor allem im TEZG Ankeloher Randkanal und dort besonders im Oberlauf. Im TEZG Falkenburger Bach sind in 2011 sehr hohe diffuse P-Einträge von zumeist 1,5 - 2 kg/ha·a (über die unterirdischen Pfade, orange in Bild 33), z.T. sogar von über 2 kg/ha·a zu verzeichnen. Verursacht werden sie durch landwirtschaftliche Nutzung auf ehemaligen Niedermoores. Anders als unter mittleren Abflussbedingungen ergeben sich in 2011 auch von den mineralischen landwirtschaftlich genutzten Böden (vor allem im TEZG Ankeloher Randkanal) verbreitet erhöhte diffuse P-Einträge von > 0,5 kg/ha·a bzw. sogar > 1 kg/ha·a.

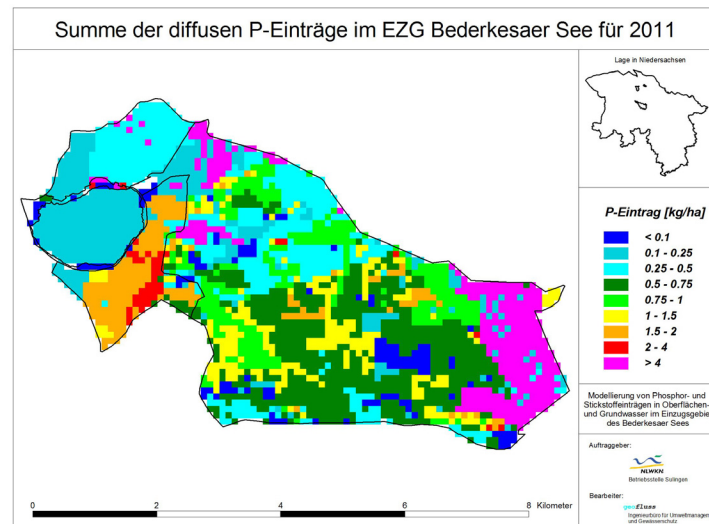


Bild 37: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die Summe der diffusen P-Einträge in [kg/ha]

Die Summe der gesamten P-Einträge in 2011 ist Bild 38 zu entnehmen. Deutliche Unterschiede zu den diffusen P-Einträgen gibt es vor allem in den wenigen Ortschaften, in denen relevante P-Einträge über Kanalisationen vorliegen. In einigen anderen Gebieten des EZG, wie z.B. im Waldgebiet des TEZG Russengraben, wirken sich die P-Einträge über Kleinkläranlagen aus; deren Einträge werden mangels Kenntnis der genauen Lage der KKA (modelltechnisch) gleichförmig auf das gesamte EZG (außer Wasserflächen) verteilt. Auch wenn diese P-Einträge pro ha nur sehr gering sind, können sie - wie im TEZG Russengraben - dazu führen, dass die gesamten P-Einträge in eine hohe Stufe „rutschen“.

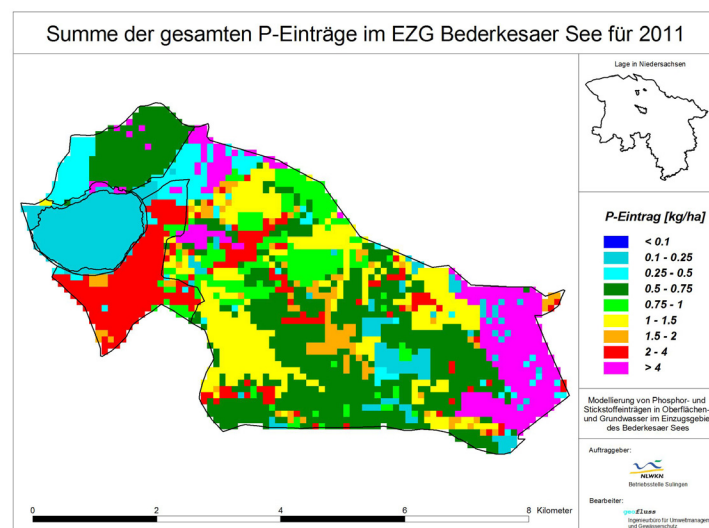


Bild 38: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2011 für die Summe der gesamten P-Einträge in [kg/ha]

3.8 Phosphoreinträge im EZG des Bederkesaer Sees für 2001

Zusätzlich zum mittleren Zustand und dem abflussreichen Jahr 2011 wurden die Phosphoreinträge im EZG des Bederkesaer Sees auch für das sehr abflussreiche Jahr 2001 berechnet. In 2001 waren die Abflüsse nochmals etwa 20 % höher als in 2011, sodass der Gesamtabfluss in 2001 fast 60 % höher als unter mittleren Bedingungen ist. Die für 2001 erzielten Ergebnisse zu P-Einträgen im EZG des Bederkesaer Sees sind in Tabelle 12 und Bild 39 dargestellt.

Tabelle 12: P-Einträge nach Pfaden im EZG des Bederkesaer Sees für 2001

Eintragspfad	Mittlerer Eintrag		2001	
	P [t/a]	P [%]	P [t/a]	P [%]
Direkteinträge	111	4,2	136	2,9
Abschwemmung	29,6	1,1	48,3	1,0
Erosion	165	6,2	195	4,2
Grundwasser	754	28,3	1.360	29,1
Zwischenabfluss	290	10,9	555	11,9
Dränagen	1.095	41,1	2.003	42,9
Kläranlagen	0	0,0	0	0,0
Urbane Einträge	222	8,3	368	7,9
Summe diffus	2.445	91,7	4.297	92,1
Summe punktuell	222	8,3	368	7,9
Summe	2.667	100	4.665	100

Im Vergleich zum mittleren Zustand erhöhen sich die P-Emissionen in 2001 im gesamten Einzugsgebiet um etwa 2.000 kg/a und somit um ca. 75 %. Besonders deutlich erhöhen sich die P-Emissionen über die beiden dominierenden Abflusspfade Dränage- und Grundwasserabfluss: die Zunahme beträgt hier gut 900 bzw. gut 600 kg, in der Summe beträgt ihr Anteil an der gesamten Erhöhung der P-Emissionen in 2011 75 %. Weitere relevante Zunahmen der P-Einträge sind über den Pfad Zwischenabfluss (plus etwa 265 kg) und über die urbanen Einträge (plus 145 kg) zu verzeichnen. Bei allen anderen Eintragspfaden ergeben sich für 2011 nur sehr geringfügige Änderungen im Vergleich zum mittleren Zustand.

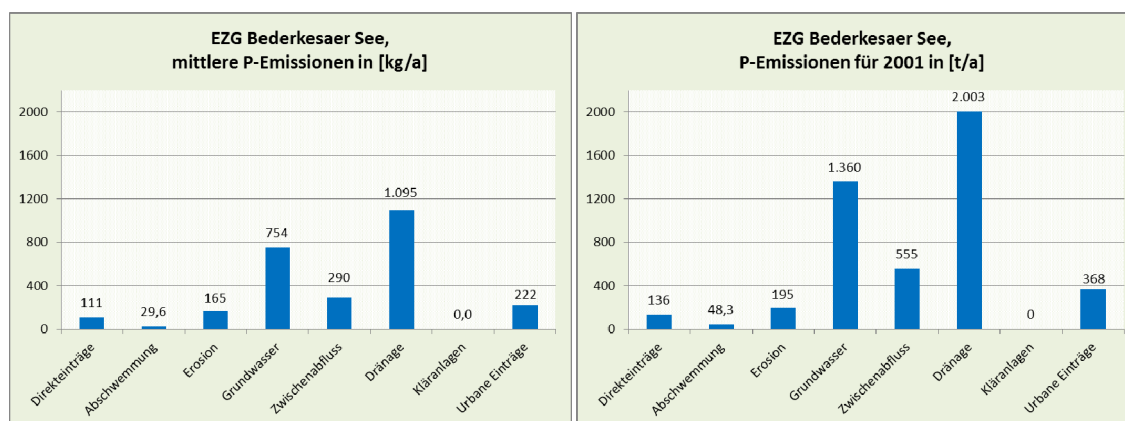


Bild 39: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das EZG des Bederkesaer Sees für den mittleren Zustand (links) und im Vergleich für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]

In Bild 40 ist die räumliche Verteilung der dominierenden P-Eintragspfade Dränage- (links) und Grundwasserabfluss (rechts) für 2001 dargestellt. Aufgrund der noch höheren Abflüsse

als in 2011 sind die P-Emissionen über diese beiden Pfade nochmals erheblich gestiegen. Der Drainageabfluss weist nun eine Spannweite von 0,5 bis über 10 kg/ha auf. Von den ehemaligen Hochmoorflächen im Oberlauf des Ankeloher Randkanals erfolgen in 2001 P-Einträge über Dränagen von mehr als 4 und z.T. sogar mehr als 10 kg/ha. Die entsprechenden P-Einträge erreichen im TEZG Falkenburger Bach in 2001 Werte zwischen 1,5 und 2 kg/ha. Auch die P-Einträge über Grundwasser sind in 2001 deutlich höher als in den beiden anderen Zeiträumen. Im Oberlauf des Ankeloher Randkanals liegen sie im Bereich der ehemaligen Hochmoore verbreitet zwischen 2 und 4 kg/ha. Insgesamt weisen die P-Einträge über den Pfad Grundwasserabfluss in 2001 eine Spannweite von etwa 0,02 bis etwa 5,3 kg/ha·a auf.

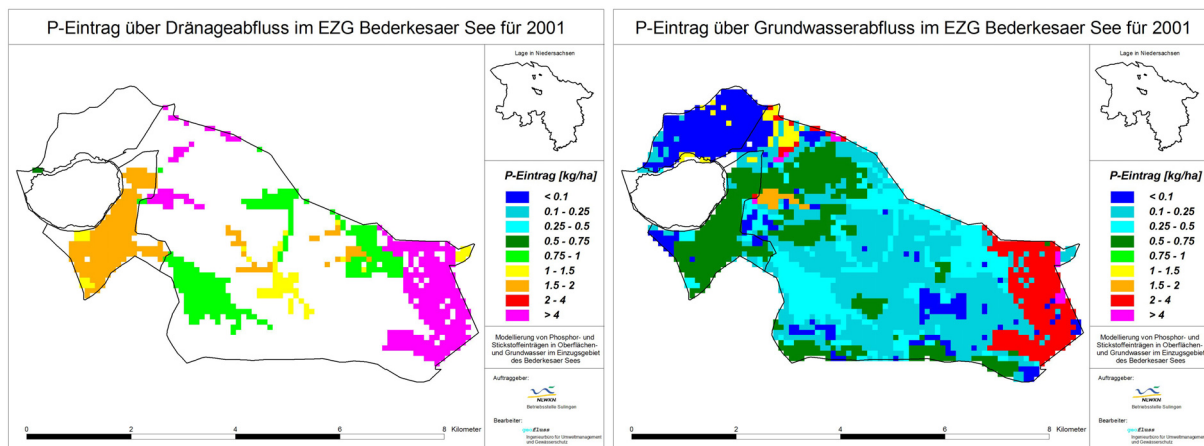


Bild 40: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die diffusen P-Einträge über Drainageabfluss (links) und für die diffusen P-Einträge über Grundwasserabfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Bild 41 zeigt die räumliche Verteilung der P-Einträge über den Pfad Zwischenabfluss (links) sowie als Summe der unterirdischen P-Eintragspfade (rechts) für das EZG des Bederkesaer Sees und 2001.

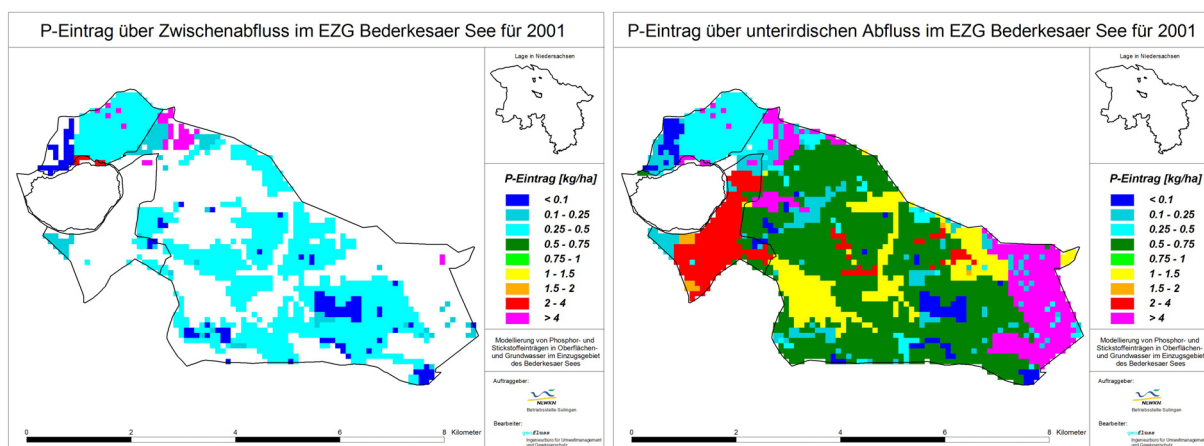


Bild 41: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die diffusen P-Einträge über Zwischenabfluss (links) und für die diffusen P-Einträge über unterirdischen Abfluss (rechts), jeweils in [kg/ha]

Für den Zwischenabfluss sind hier im Vergleich zu 2011 nur geringe Änderungen zu verzeichnen. Die Summe der drei unterirdischen P-Eintragspfade zeigt dagegen eine erneute erhebliche Zunahme der P-Einträge in 2001. Dies gilt für die (ehemaligen) Hochmoorflächen

(großflächig im Oberlauf des Ankeloher Randkanals), die mineralischen Böden vor allem im TEZG Ankeloher Randkanal sowie für die (ehemaligen) Niedermoorflächen im TEZG Falkenburger Bach. Die P-Einträge von allen weiteren diffusen Eintragungspfaden sind auch in 2001 weitgehend unbedeutend.

In Bild 42 ist die Summe der für 2001 ermittelten diffusen P-Einträge im EZG des Bederkesaer Sees dargestellt. Auch wenn sie erheblich höher als bei mittleren Abflüssen und deutlich höher als 2011 liegen, sind die Eintragungsschwerpunkte immer noch dieselben: die höchsten diffusen P-Einträge von nun verbreitet über 7 kg/ha·a erfolgen ausschließlich über die unterirdischen Pfade und resultieren von den landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Hochmoorflächen; sie liegen vor allem im TEZG Ankeloher Randkanal und dort besonders im Oberlauf. Im TEZG Falkenburger Bach sind in 2001 durch landwirtschaftliche Nutzung auf ehemaligen Niedermoores sehr hohe diffuse P-Einträge von zumeist 2 - 4 kg/ha·a (über die unterirdischen Pfade, rot in Bild 42) zu verzeichnen. Anders als unter mittleren Abflussbedingungen ergeben sich in 2001 auch von den mineralischen landwirtschaftlich genutzten Böden (vor allem im TEZG Ankeloher Randkanal) verbreitet erhöhte diffuse P-Einträge von > 0,5 kg/ha·a bzw. sogar > 2 kg/ha·a.

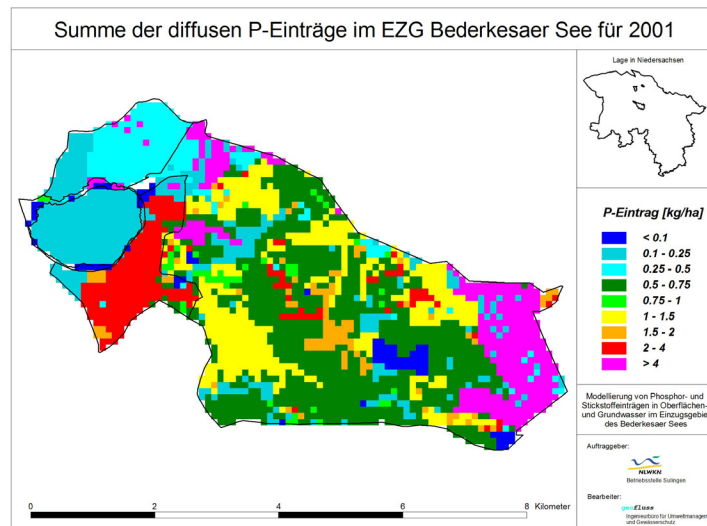


Bild 42: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die Summe der diffusen P-Einträge in [kg/ha]

Bild 43 zeigt die Summe der gesamten P-Einträge für 2001. Deutliche Unterschiede zu den diffusen P-Einträgen gibt es erwartungsgemäß vor allem in den wenigen Ortschaften, in denen relevante P-Einträge über Kanalisationen vorliegen.

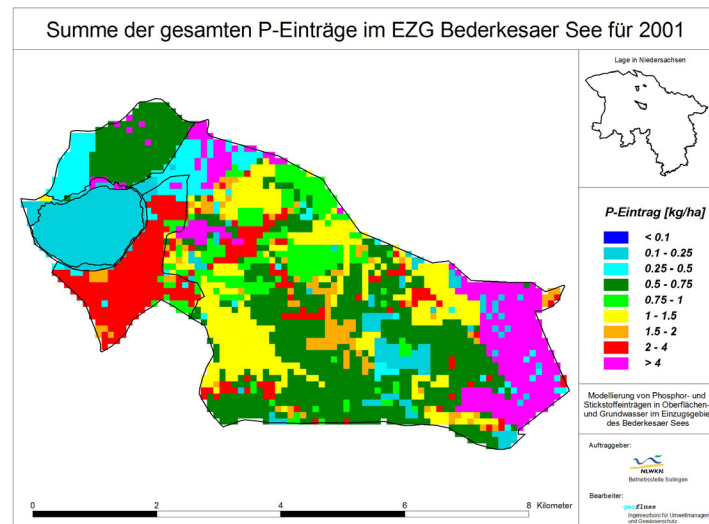


Bild 43: Modellergebnisse im EZG des Bederkesaer Sees für 2001 für die Summe der gesamten P-Einträge in [kg/ha]

3.9 Herkunft der Phosphoreinträge im EZG des Bederkesaer Sees

Nachfolgend wird die räumliche Herkunft der Phosphoreinträge im EZG des Bederkesaer Sees betrachtet. Dieses erfolgt auf Ebene der TEZG und wird in den Kap. 3.9.1 bis 3.9.3 dargelegt. Anschließend wird in Kap. 3.9.4 eine kurze Übersicht zu den P-Einträgen der einzelnen TEZG gegeben.

3.9.1 Phosphoreinträge aus dem TEZG Ankeloher Randkanal

Auf Basis der mittleren Modellergebnisse resultieren aus dem TEZG Ankeloher Randkanal mittlere P-Einträge von 2.270 kg/a. Dieses TEZG dominiert damit die P-Eintragssituation im EZG des Bederkesaer Sees: von hier erfolgen somit gut 85 % der gesamten und ca. 86 % der diffusen P-Emissionen im EZG des Bederkesaer Sees (Anmerkung: der Anteil an den gesamten P-Einträgen im EZG des Bederkesaer Sees ist wahrscheinlich geringer, da der P-Eintrag aus dem TEZG Falkenburger Bach wahrscheinlich unterschätzt wird).

Über zwei Drittel dieser P-Einträge (etwa 1.600 kg/a) erfolgen dabei über die beiden dominierenden P-Eintragspfade Drainage- und Grundwasserabfluss (vgl. Bild 44). Weitere bedingt relevante P-Eintragspfade sind der Zwischenabfluss mit etwa 290 kg/a (fast 11 %), die urbanen Einträge mit 222 kg/a (über 8%) und der Pfad Erosion mit 165 kg/a (ca. 6 %). Alle weiteren Eintragspfade sind eher unbedeutend. Insgesamt sind im TEZG Ankeloher Randkanal fast 92 % der gesamten P-Einträge den diffusen Einträgen zuzuordnen, die punktuellen P-Einträge sind somit vergleichsweise unbedeutend.

Im TEZG Ankeloher Randkanal liegen die Flächen mit den höchsten P-Einträgen im gesamten EZG des Bederkesaer Sees. Hierbei handelt es sich um aktuell in landwirtschaftlicher Nutzung befindliche ehemalige Hochmoore, die besonders im Oberlauf des Ankeloher Randkanals weit verbreitet sind. Unter mittleren Abflussbedingungen erfolgen von diesen Hochmoorflächen diffuse P-Einträge von zumeist zwischen 3,9 und 4,1 kg/ha·a; auf einzelnen kleinen Flächen werden diffuse P-Einträge von über 8 kg/ha·a ermittelt (vgl. Bild 31).

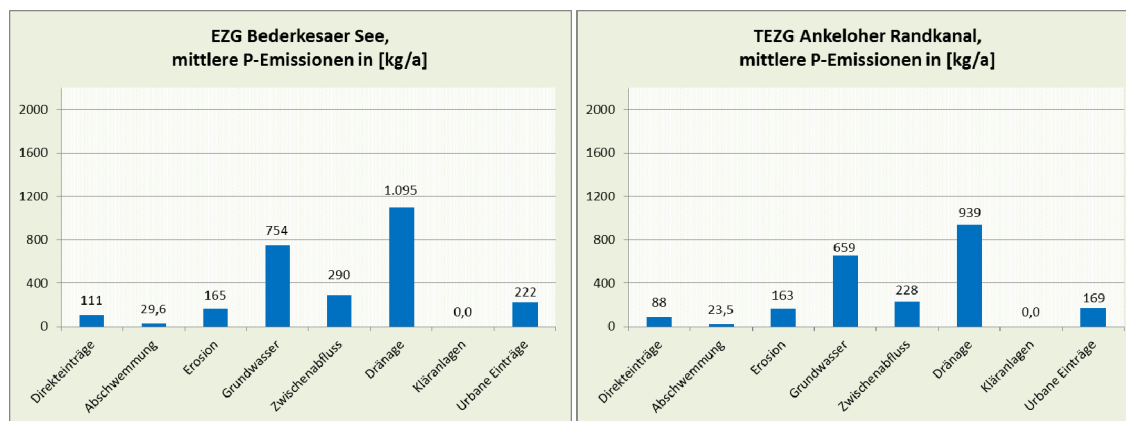


Bild 44: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km², links) und das TEZG Ankeloher Randkanal (19,8 km², rechts), jeweils in [kg/a]

Bild 45 zeigt die P-Einträge aus dem TEZG Ankeloher Randkanal für die Jahre 2011 und 2001. Aufgrund der deutlich höheren Abflüsse in diesen beiden Jahren nehmen die P-Emissionen aus dem TEZG Ankeloher Randkanal im Vergleich zum mittleren Zustand erheblich zu. Dieses gilt insbesondere für die beiden dominieren Abflusspfade Dränage- und Grundwasserabfluss.

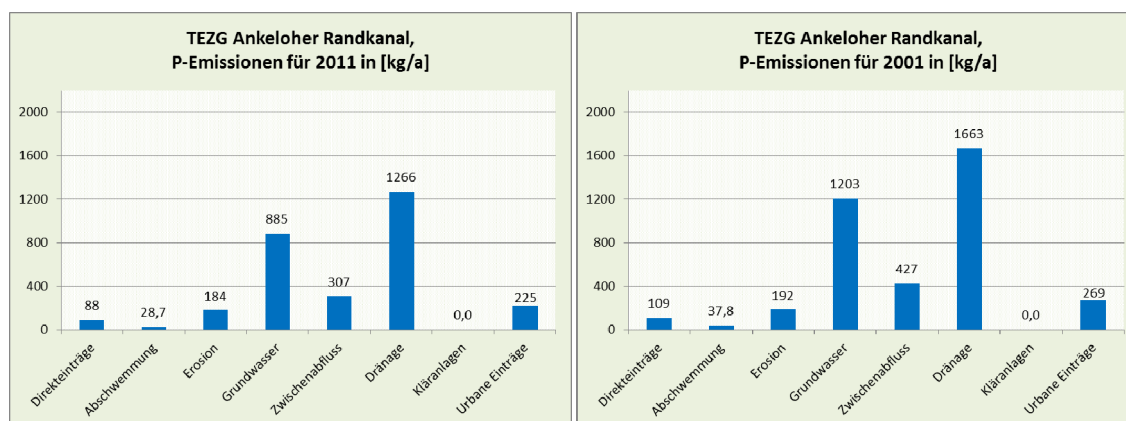


Bild 45: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das TEZG Ankeloher Randkanal für 2011 (links) und für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]

Auch in 2011 und 2001 erfolgen die höchsten diffusen P-Einträge im TEZG Ankeloher Randkanal von den ehemaligen Hochmoorflächen, die nun in landwirtschaftlicher Nutzung sind. Die diffusen P-Einträge von diesen Flächen liegen in 2011 zumeist zwischen 4,8 und 5,6 kg/ha·a; auf einzelnen kleinen Flächen werden in 2011 diffuse P-Einträge von über 10 kg/ha·a ermittelt (vgl. Bild 37). Für 2001 liegen die diffusen P-Einträge dieser Flächen zumeist zwischen 5,8 und 7,7 kg/ha·a, als höchste Werte werden diffuse P-Einträge von über 15 kg/ha·a ausgewiesen (vgl. Bild 42).

3.9.2 Phosphoreinträge aus dem TEZG Falkenburger Bach

Für das TEZG Falkenburger Bach werden modelltechnisch mittlere P-Einträge von etwa 300 kg/a ermittelt. Gut 230 kg/a und somit fast 80 % der gesamten P-Einträge in diesem TEZG erfolgen demnach über die beiden dominierenden P-Eintragspfade Dränage- und Grundwasserabfluss. Alle weiteren diffusen Eintragspfade sind in diesem TEZG unbedeutend. Von

einer gewissen Relevanz sind dagegen die urbanen P-Einträge, insbesondere die über Kanalisationen; sie liegen in der Summe bei ca. 33 kg/a, was immerhin 11 % der gesamten P-Einträge in diesem TEZG entspricht.

Insgesamt zeigen sich im TEZG Falkenburger Bach die landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Niedermoore - die einen Großteil des TEZG ausmachen - als besonders relevant für die P-Einträge.

Wie der Frachtabgleich in Kap. 3.11 zeigt, besteht die Möglichkeit, dass das Modell die P-Einträge in diesem TEZG unterschätzt. Im Falkenburger Bach wurden in der Nähe des Sees häufig sehr hohe P-Konzentrationen von z.T. deutlich über 0,5 bzw. sogar über 1 mg/l gemessen. Sollten diese Messergebnisse nicht Folge von Rücklöseprozessen sein (das Wasser wird hier tagsüber angestaut und nachts Richtung See gepumpt; die O₂-Sättigungswerte sind häufig auffallend gering, vgl. Kap. 2.1.1), liegen die P-Frachten in diesem TEZG recht deutlich über den Modellergebnissen. Zu berücksichtigen ist dabei, dass diese sehr hohen P-Konzentrationen im TEZG Falkenburger Bach möglicherweise durch die unnatürliche Wasserführung zumindest mitverursacht werden und somit die ermittelten (auffallend) hohen P-Frachten zumindest z.T. „hausgemacht“ sind.

Unter mittleren Abflussbedingungen erfolgen im TEZG Falkenburger Bach aus den landwirtschaftlich genutzten Niedermooren diffusen P-Emissionen zwischen 1,1 und 1,4 kg/ha·a; die höchsten diffusen P-Einträge resultieren aus den wenigen ehemaligen Hochmoorflächen und betragen bis zu 4 kg/ha·a (vgl. Bild 31).

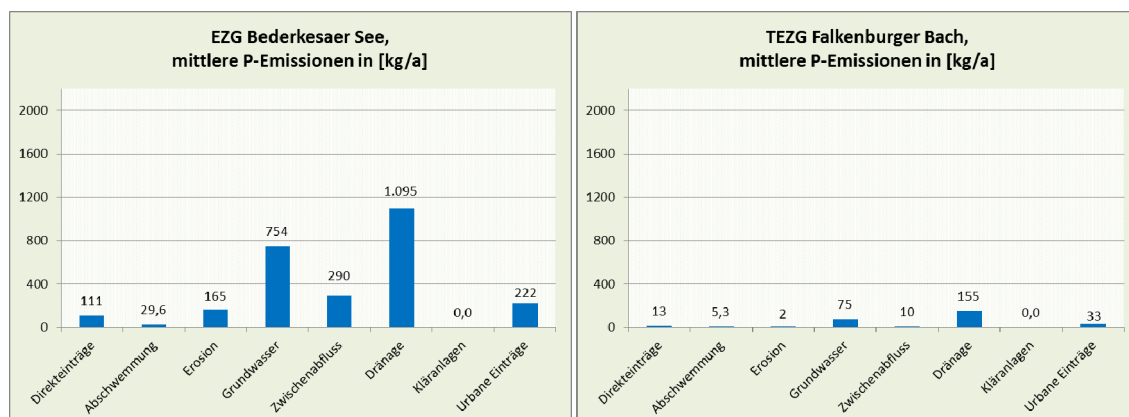


Bild 46: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km², links) und das TEZG Falkenburger Bach (2,5 km², rechts), jeweils in [kg/a]

Bild 47 zeigt die P-Emissionen aus dem TEZG Falkenburger Bach für die Jahre 2011 und 2001. Aufgrund der deutlich höheren Abflüsse in diesen beiden Jahren nehmen die P-Emissionen aus diesem TEZG im Vergleich zum mittleren Zustand deutlich zu. Dieses gilt insbesondere für die beiden dominieren Abflusspfade Drainage- und Grundwasserabfluss.

Auch in diesen beiden Jahren erfolgen die höchsten diffusen P-Einträge aus den wenigen ehemaligen Hochmoorflächen; sie betragen für 2011 5,9 und für 2001 8 kg/ha·a. Aus den landwirtschaftlich genutzten Niedermooren liegen die diffusen P-Einträge in 2011 zwischen 1,2 und 2 kg/ha·a (vgl. Bild 37) und in 2001 zwischen 1,7 und 2,7 (vgl. Bild 42).

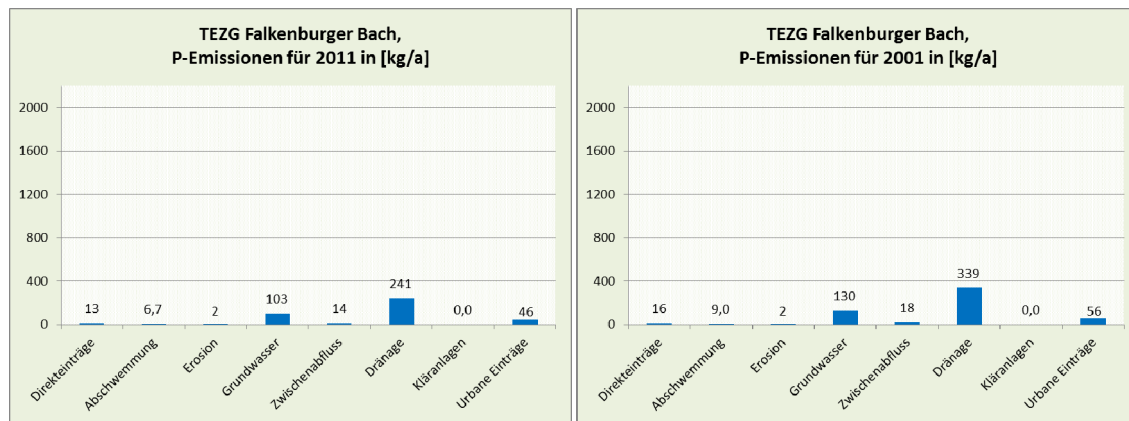


Bild 47: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das TEZG Falkenburger Bach für 2011 (links) und für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]

3.9.3 Phosphoreinträge aus dem TEZG Russengraben

Aus dem TEZG Russengraben erfolgen gemäß der mittleren Modellergebnisse P-Emissionen von lediglich 75 kg/a, wovon fast die Hälfte (34 kg/a) über den deutlich dominierenden Eintragspfad Zwischenabfluss resultiert. Alle anderen Pfade sind unbedeutend. Besonders hohe diffuse P-Einträge von etwa 4 kg/ha-a werden unter mittleren Abflussbedingungen für die wenigen landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Hochmoorflächen ermittelt (vgl. Bild 31).

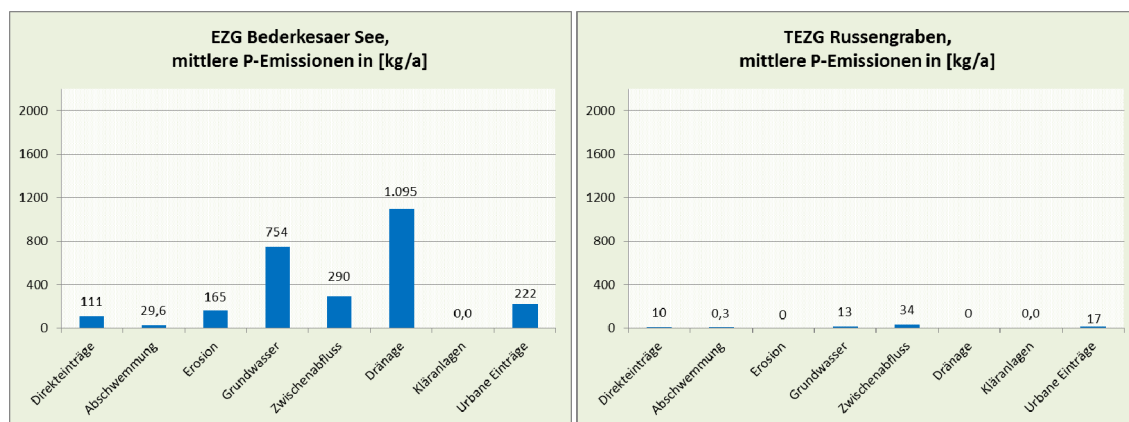


Bild 48: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees (24,7 km², links) und das TEZG Russengraben (2,0 km², rechts), jeweils in [kg/a]

Bild 49 zeigt die P-Emissionen aus dem TEZG Russengraben für die Jahre 2011 und 2001. Aufgrund der deutlich höheren Abflüsse in diesen Jahren nehmen die P-Emissionen aus dem TEZG Russengraben im Vergleich zum mittleren Zustand zu. Dieses gilt insbesondere für den dominieren Abflusspfad Zwischenabfluss.

Die diffusen P-Einträge von den wenigen landwirtschaftlich genutzten ehemaligen Hochmoorflächen erhöhen sich in 2011 auf über 7 kg/ha-a (vgl. Bild 37) und für 2001 auf etwa 9 kg/ha-a (vgl. Bild 42).

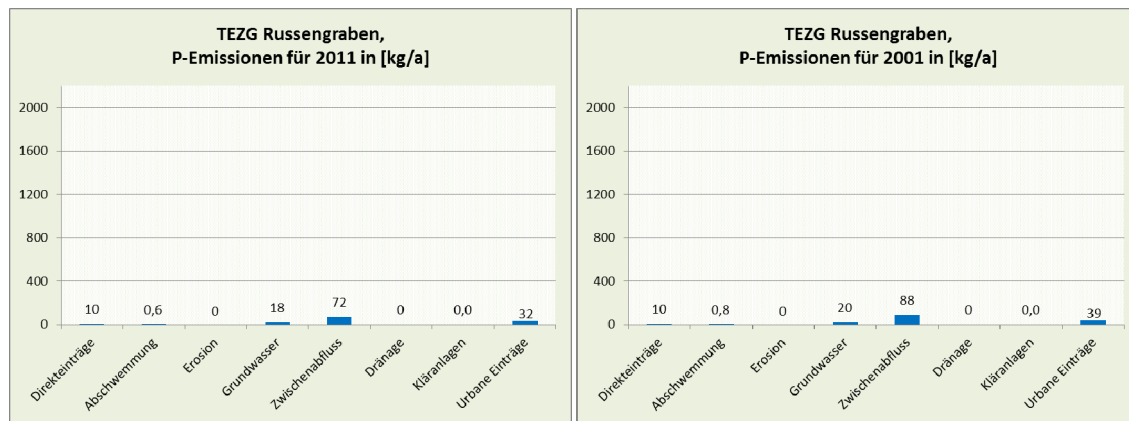


Bild 49: Modellergebnisse zu den P-Emissionen nach Pfaden für das TEZG Russengraben für 2011 (links) und für 2001 (rechts), jeweils in [kg/a]

3.9.4 Übersicht zu den Phosphoreinträgen aus den einzelnen TEZG

Bild 50 zeigt die prozentualen Anteile der gesamten bzw. diffusen P-Emissionen aus den einzelnen TEZG im EZG des Bederkesaer Sees. Dabei ist deutlich zu erkennen, dass die diffusen P-Emissionen vor allem aus zwei TEZG resultieren (vgl. Bild 50, rechts): das TEZG Ankeloher Randkanal ist demnach für gut 86 % der diffusen P-Einträge verantwortlich und das TEZG Falkenburger Bach für etwa 10 %. Somit erfolgen aus diesen beiden TEZG fast 96 % aller diffusen P-Emissionen im EZG des Bederkesaer Sees. Folglich sind die anderen TEZG hinsichtlich der P-Emissionen unbedeutend. Wie der Frachtabgleich in Kap. 3.11 zeigt, besteht die Möglichkeit, dass das Modell die P-Einträge in dem TEZG Falkenburger Bach unterschätzt (vgl. hierzu die entsprechenden Angaben in Kap. 2.1.1, Kap. 3.9.2 und Kap. 3.11).

Werden die gesamten P-Emissionen betrachtet (Bild 50, links), zeigt sich eine fast identische Situation (Bild 50, links). Hieraus ist zu erkennen, dass die punktuellen P-Einträge im gesamten EZG des Bederkesaer Sees eine untergeordnete Bedeutung haben.

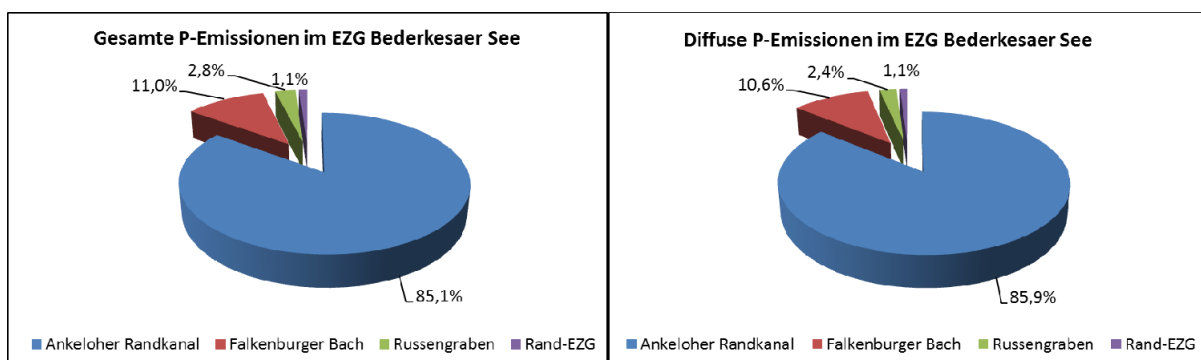


Bild 50: Herkunft der P-Emissionen im EZG Bederkesaer See. Modellergebnisse für die einzelnen TEZG, gesamte P-Emissionen (links) und diffuse P-Emissionen (rechts), jeweils in [%]

Die nachfolgende Tabelle 13 zeigt die Modellergebnisse zu den P-Einträgen für die vier TEZG im EZG des Bederkesaer Sees differenziert nach Eintragspfaden.

Tabelle 13: Modellergebnisse zu den P-Einträgen nach Pfaden in den Bilanzgebieten im EZG des Bederkesaer Sees für mittlere Bedingungen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2014

Eintragspfad	Ankeloher RK		Falkenburger B.		Russengraben		Rand-EZG	
	P [kg/a]	P [%]	P [kg/a]	P [%]	P [kg/a]	P [%]	P [kg/a]	P [%]
Direkteinträge	88,0	3,9	12,5	4,3	9,9	13,2	1,0	3,3
Abschwemmung	23,5	1,0	5,3	1,8	0,3	0,4	0,5	1,7
Erosion	163	7,2	1,9	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Grundwasser	659	29,0	75,1	25,6	13,2	17,8	6,5	22,2
Zwischenabfluss	228	10,0	10,0	3,4	34,1	45,7	17,5	60,2
Dränagen	939	41,4	155	52,9	0,0	0,0	0,8	2,6
Kläranlagen	0	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Urbane Einträge	169	7,4	33,5	11,4	17,1	22,9	2,9	10,0
Summe diffus	2.101	92,6	260	88,6	57,5	77,1	26,2	43,6
Summe punktuell	169	7,4	33,5	11,4	17,1	22,9	2,9	56,4
Summe	2.270	100	293	100	74,6	100	29,1	100

3.10 Wasserbilanz im EZG des Bederkesaer Sees

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.

Die Berechnung der Wasserbilanz im Bearbeitungsgebiet des Bederkesaer Sees erfolgte als mittlere langjährige Betrachtung der Abflussbedingungen für den Zeitraum 1981 bis 2010. Als wesentliche Eingangsdaten wurden u.a. die mittleren Niederschlags- und Verdunstungsbedingungen des genannten Zeitraumes verwendet.

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

Die für die Wasserbilanz im EZG des Bederkesaer Sees erzielten Ergebnisse sind Tabelle 14 zu entnehmen. Für das gesamte Untersuchungsgebiet wird deutlich, dass der Grundwasserabfluss mit einem Anteil von 55 % am Gesamtabfluss der dominierende Abflusspfad ist. Danach folgen die beiden schnellen unterirdischen Abflusspfade Drainage- und Zwischenabfluss mit Anteilen von 22 bzw. 20,5 %.

Daneben ist noch der Abfluss von versiegelten Flächen mit 2 % von geringer Bedeutung. Der Anteil des Oberflächenabflusses ist mit 0,3 % sehr gering.

Tabelle 14: Ergebnisse des Moduls Wasserbilanz für das EZG des Bederkesaer Sees für mittlere Klima- und Abflussbedingungen (Zeitraum 1981 bis 2010)

Abflusspfad	EZG Bederkesaer See	
	[m³/s]	[%]
Grundwasserabfluss	0,17	55,0
Zwischenabfluss	0,06	20,5
Dränageabfluss	0,07	22,2
Oberflächenabfluss	< 0,01	0,3
versiegelte Flächen (Kanalisation)	< 0,01	2,0
Kläranlagen	0	0,0
Gesamtabfluss Modell	0,30	100

Für das Jahr 2011 liegen vom NLWKN in Stade Angaben zu (berechneten) Abflussmengen für die wesentlichen Zuflüsse des Bederkesaer Sees vor. Diese Abflussmengen sind in Bild 51 zusammen mit den entsprechenden Modellergebnissen dargestellt. Hierbei ist deutlich zu erkennen, dass die Modellergebnisse kaum von den Angaben des NLWKN abweichen.

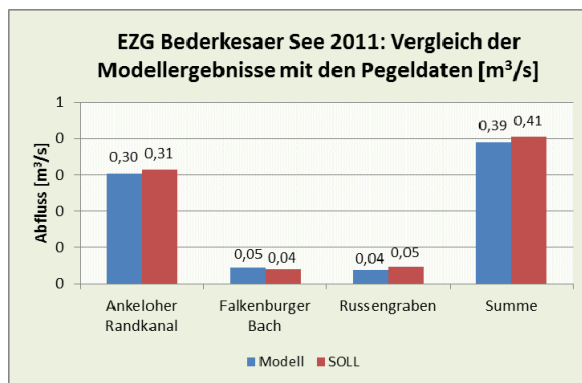


Bild 51: Abfluss im EZG des Bederkesaer Sees: Vergleich der Modellergebnisse mit den vom NLWKN berechneten Abflüssen für 2011

3.11 Bewertung der Modellergebnisse zu den Nährstofffrachten im EZG des Bederkesaer Sees

Nachfolgend werden die mit dem Bilanzmodell im EZG des Bederkesaer Sees erzielten Ergebnisse der Quantifizierung der diffusen und punktuellen Nährstoffeinträge bewertet.

Die Bewertung erfolgt anhand eines Abgleiches der für die Untersuchungsgebiete ermittelten Nährstoffimmissionen mit den anhand von Güteuntersuchungen am Auslasspegel (und sofern vorhanden an weiteren Pegeleinzugsgebieten) hochgerechneten Nährstofffrachten. Die Nährstoffimmissionen ergeben sich hierbei direkt aus den Modellergebnissen der Nährstoffeinträge (Emissionen) und der modellintern berechneten Retention im Gewässersystem.

Ein solcher Pegelabgleich ist jedoch 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 Nährstoffeinträge beziehen.

Aus den genannten Problematiken ergibt sich, dass ein Abgleich der mit dem Bilanzmodell ermittelten Nährstoffimmissionen mit den Pegeldaten nur auf Basis von Größenordnungen geschehen kann.

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 15).

Tabelle 15: Kriterien für die Bewertung der Modellergebnisse der Nährstofffrachten (nach KUNST ET AL., 2004)

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

In den nachfolgenden Tabellen werden die Ergebnisse der Bewertung der berechneten N- und P-Immissionen (Modellergebnisse) für verschiedene Zeiträume und TEZG vorgestellt. Die Bewertung der Modellergebnisse erfolgt dabei anhand der vorliegenden Stickstoff- und Phosphorfrachten für die verschiedenen TEZG im Bearbeitungsgebiet sowie unter Berücksichtigung der in Tabelle 15 definierten Kriterien. Zu beachten ist, dass die Bewertung dabei für 2011 jeweils für drei unterschiedliche Referenzfrachten erfolgt, für 2001 liegt jeweils eine Referenzfracht vor:

- 2011_NLWKN: ermittelt vom NLWKN aus (abgeleiteten) täglichen Abflüssen und Messwerten zu den Nährstoffkonzentrationen unter Verwendung korrelierter Zwischenwerte.
- 2011_geofluss: ermittelt nach einer Methodik nach OSPAR (1996), vgl. Kap. 2.4.
- 2011_Mittel: Mittelwert der beiden Methoden zuvor.
- 2001: ermittelt vom NLWKN aus monatlichen Abflüssen und monatlichen Messwerten zu den Nährstoffkonzentrationen.

Bewertung der Modellergebnisse: N-Immissionen

Tabelle 16 zeigt die Bewertung der Modellergebnisse (N-Immissionen) anhand der berechneten Stickstofffrachten für das TEZG Falkenburger Bach und die Jahre 2011 und 2001. Demnach weisen die Modellergebnisse nur sehr geringe Abweichungen zu den N-Frachten in diesem TEZG auf und sind als „sehr gut“ zu bewerten.

Tabelle 16: Bewertung der Modellergebnisse (N-Immissionen) anhand der berechneten Stickstofffrachten für das TEZG Falkenburger Bach und verschiedene Zeiträume bzw. verschiedenen Frachtberechnungsmethoden

N	EZG Falkenburger Bach			
	2011_NLWKN	2011_geofluss	2011_Mittel	2001
Modell [kg/a]	6.331	6.331	6.331	8.792
Pegel [kg/a]	6.193	5.790	5.992	8.488
Differenz [%]	2,2	9,3	5,7	3,6
Bewertung	++	++	++	++

In Tabelle 17 ist die entsprechende Bewertung für das TEZG Russengraben dargestellt. Dabei zeigen sich für alle vier Referenzfrachten nur geringe Abweichungen zu den N-Frachten in diesem TEZG. Hieraus ergibt sich die Bewertung „gut“ für die Modellergebnisse

Tabelle 17: Bewertung der Modellergebnisse (N-Immissionen) anhand der berechneten Stickstofffrachten für das TEZG Russengraben und verschiedene Zeiträume bzw. verschiedenen Frachtberechnungsmethoden

N	Russengraben			
	2011_NLWKN	2011_geofluss	2011_Mittel	2001
Modell [kg/a]	4.871	4.871	4.871	6.322
Pegel [kg/a]	5.726	5.674	5.700	5.558
Differenz [%]	- 14,9	- 14,1	- 14,5	13,7
Bewertung	+	+	+	+

Tabelle 18 zeigt die Bewertung der Modellergebnisse für das große TEZG Ankeloher Randkanal. Demnach vermag es das Modell die N-Frachten für das Jahr 2011 sehr gut abzubilden. In 2001 dagegen zeigen sich deutliche Abweichungen von fast 30 % (Bewertung: zufriedenstellend). Zurückzuführen ist diese Abweichung möglicherweise auf eine Unterschätzung des N-Bilanzüberschusses, auf eine Überschätzung der Ernteerträge oder durch in den Jahren zuvor ggf. durchgeführte Grünlandumbrüche.

Tabelle 18: Bewertung der Modellergebnisse (N-Immissionen) anhand der berechneten Stickstofffrachten für das TEZG Ankeloher Randkanal und verschiedene Zeiträume bzw. verschiedenen Frachtberechnungsmethoden

N	Ankeloher Randkanal			
	2011_NLWKN	2011_geofluss	2011_Mittel	2001
Modell [kg/a]	44.878	44.878	44.878	62.818
Pegel [kg/a]	48.552	45.040	46.795	88.729
Differenz [%]	- 7,6	- 0,4	- 4,1	- 29,2
Bewertung	++	++	++	o

Tabelle 19 ist die Bewertung der modelintern berechneten N-Frachten für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees zu entnehmen. Für 2011 liegt hier aufgrund der sehr geringen Abweichungen ein sehr gutes Bewertungsergebnis vor. Für 2001 sorgt einzig die deutliche Abweichung im TEZG Ankeloher Randkanal dafür, dass auch das Gesamtgebiet nur zufriedenstellend bewertet wird. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die beiden anderen TEZG auch in 2001 mit gut bzw. sehr gut bewertet wurden.

Tabelle 19: Bewertung der Modellergebnisse (N-Immissionen) anhand der berechneten Stickstofffrachten für das EZG Bederkesaer See und verschiedene Zeiträume bzw. verschiedenen Frachtberechnungsmethoden

N	EZG Bederkesaer See			
	2011_NLWKN	2011_geofluss	2011_Mittel	2001
Modell [kg/a]	56.080	56.080	56.080	77.932
Pegel [kg/a]	60.471	56.504	58.488	102.775
Differenz [%]	- 7,3	0,7	- 4,1	- 24,2
Bewertung	++	++	++	o

Für die **Stickstofffrachten** ergibt die Bewertung zusammengefasst folgendes (vgl. Tabelle 16 bis Tabelle 19):

- Die Stickstofffracht wird vom Bilanzmodell für das **Jahr 2011** sowohl für das Gesamtgebiet, das große TEZG Ankeloher Randkanal sowie für das TEZG Falkenburger Bach **sehr gut** abgebildet (Abweichung zu der vorliegenden Fracht < 10 %). Für das sehr kleine TEZG Russengraben ergibt sich die Bewertung **gut** (Abweichung zu der vorliegenden Fracht < 20 %). **Insgesamt wird somit die Stickstofffracht für das Jahr 2011 überwiegend sehr gut vom Bilanzmodell ermittelt.**
- Für das **Jahr 2001** wird die Stickstofffracht für die beiden kleinen TEZG **sehr gut** (TEZG Falkenburger Bach) bzw. **gut** (TEZG Russengraben) abgebildet (Abweichung zu den vorliegenden Frachten < 10 % bzw. < 20 %). Für das große TEZG Ankeloher Randkanal zeigt sich dagegen eine Abweichung zur vorliegenden Fracht von ca. 29 %; gemäß der Kriterien in Tabelle 15 ist dieses Ergebnis noch mit **zufriedenstellend** zu bewerten (zurückzuführen ist diese Abweichung möglicherweise auf eine Unterschätzung des N-Bilanzüberschusses, auf eine Überschätzung der Ernteerträge oder durch in den Jahren zuvor ggf. durchgeführte Grünlandumbrüche). Als Folge dieser Abweichung im TEZG Ankeloher Randkanal ergibt sich auch für das Gesamtgebiet eine Unterschätzung der Stickstofffracht; sie beträgt etwa 24 %, dieses Ergebnis ist folglich ebenfalls mit zufriedenstellend zu bewerten.

Bewertung der Modellergebnisse: P-Immissionen

Tabelle 20 zeigt die Bewertung der Modellergebnisse (P-Immissionen) anhand der berechneten Phosphorfrachten für das gesamte EZG des Bederkesaer Sees und die Jahre 2011 und 2001. Demnach weisen die Modellergebnisse nur sehr geringe Abweichungen zu den P-Frachten im EZG Bederkesaer See auf und sind als „sehr gut“ zu bewerten.

Tabelle 20: Bewertung der Modellergebnisse (P-Immissionen) anhand der berechneten Phosphorfrachten für das EZG Bederkesaer See und verschiedene Zeiträume bzw. verschiedenen Frachtberechnungsmethoden

P	EZG Bederkesaer See			
	2011_NLWKN	2011_geofluss	2011_Mittel	2001
Modell [kg/a]	3.153	3.153	3.153	4.127
Pegel [kg/a]	3.238	2.988	3.113	4.305
Differenz [%]	- 2,6	5,5	1,3	- 4,1
Bewertung	++	++	++	++

In Tabelle 21 ist die Bewertung der Modellergebnisse (P-Immissionen) für das TEZG Ankeloher Randkanal und die Jahre 2011 und 2001 dargestellt. Für 2011 wird deutlich, dass verschiedene Berechnungsverfahren zu recht unterschiedlichen Referenzfrachten führen können. Dennoch zeigen die Modellergebnisse für das TEZG Ankeloher Randkanal insgesamt nur (sehr) geringe Abweichungen zu den Referenzfrachten und sind als sehr gut zu bewerten. Zu beachten ist, dass die Modellergebnisse jeweils über den Referenzfrachten liegen.

Tabelle 21: Bewertung der Modellergebnisse (P-Immissionen) anhand der berechneten Phosphorfrachten für das TEZG Ankeloher Randkanal und verschiedene Zeiträume bzw. verschiedenen Frachtberechnungsmethoden

P	Ankeloher Randkanal			
	2011_NLWKN	2011_geofluss	2011_Mittel	2001
Modell [kg/a]	2.652	2.652	2.652	3.475
Pegel [kg/a]	2.528	2.162	2.345	3.147
Differenz [%]	4,9	22,6	13,1	10,4
Bewertung	++	+	++	++

Tabelle 22 ist die entsprechende Bewertung für das TEZG Falkenburger Bach zu entnehmen.

Tabelle 22: Bewertung der Modellergebnisse (P-Immissionen) anhand der berechneten Phosphorfrachten für das TEZG Falkenburger Bach und verschiedene Zeiträume bzw. verschiedenen Frachtberechnungsmethoden

P	EZG Falkenburger Bach			
	2011_NLWKN	2011_geofluss	2011_Mittel	2001
Modell [kg/a]	371	371	371	497
Pegel [kg/a]	583	647	615	734
Differenz [%]	- 36,4	- 42,7	- 39,7	- 32,3
Bewertung	o	o	o	o

Hier zeigen sich jeweils Abweichungen der Modellergebnisse von über 30 % im Vergleich zu den Referenzfrachten. Werden die absoluten Abweichungen betrachtet, wird deutlich, dass die Fracht im TEZG Falkenburger Bach jeweils um etwa 250 kg/a unterschätzt wird. Ein Abgleich mit den Daten in Tabelle 21 zeigt, dass die P-Fracht vom Modell im TEZG Ankeloher Randkanal in einer ähnlichen Größenordnung überschätzt wurde. Wird dazu berücksichtigt, dass über das unnatürliche Abflussregime im TEZG Falkenburger Bach (nächtliches Pum-

pen, vgl. Kap. 2.1.1) sehr wahrscheinlich relevante Mengen an Grundwasser mitsamt der zugehörigen P-Fracht aus dem TEZG Ankeloher Randkanal in das TEZG Falkenburger Bach verfrachtet werden (was in dieser Form nicht im Modell abgebildet werden kann), stellt dies eine mögliche Erklärung für die festgestellten Abweichungen dar (vgl. hierzu auch Kap. 2.1.1 und Kap. 3.9.2).

Tabelle 23 zeigt die Bewertung der Modellergebnisse für das kleine TEZG Russengraben. Während die P-Frachten vom Modell für das Jahr 2011 sehr gut abgebildet werden, zeigt sich für 2001 eine sehr deutliche Abweichung von über 60 % (Bewertung: „sehr schlecht“). Eine Ursache für diese erhebliche Abweichung ist nicht bekannt. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass es bei den sehr hohen Abflüssen in 2001 Hochwasserereignisse gab, bei denen Abflussanteile aus dem TEZG Ankeloher Randkanal in das Grabensystem des TEZG Russengraben übergetreten sind und dort zu hohen P-Konzentrationen geführt haben. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass das TEZG Russengraben fast vollständig bewaldet ist, so dass von hier normalerweise nicht so hohe P-Frachten (wie für 2001 berechnet) zu erwarten sind. Insgesamt lässt sich festhalten, dass die für 2001 ermittelte P-Fracht für die Standortbedingungen im TEZG Russengraben untypisch hoch ist; es liegt daher nahe, dass diese sehr hohe P-Fracht durch ungewöhnliche Ereignisse verursacht wurde, die das verwendete Modell nicht berücksichtigen konnte.

Tabelle 23: Bewertung der Modellergebnisse (P-Immissionen) anhand der berechneten Phosphorfrachten für das TEZG Russengraben und verschiedene Zeiträume bzw. verschiedenen Frachtberechnungsmethoden

P	Russengraben			
	2011_NLWKN	2011_geofluss	2011_Mittel	2001
Modell [kg/a]	131	131	131	151
Pegel [kg/a]	127	179	153	424
Differenz [%]	2,8	- 27,1	- 14,7	- 63,4
Bewertung	++	+	++	--

Für die **Phosphorfrachten** ergibt die Bewertung folgendes (vgl. Tabelle 20 bis Tabelle 23):

- Die Phosphorfracht wird vom Bilanzmodell für die **Jahre 2011 und 2001** für das Gesamtgebiet und das große TEZG Ankeloher Randkanal **sehr gut** abgebildet (Abweichung zu der vorliegenden Fracht (zumeist) < 15 %). Für das sehr kleine TEZG Russengraben ergibt sich für 2011 im Mittel die Bewertung **sehr gut** (Abweichung zu der vorliegenden Fracht < 15 %).
- Die Phosphorfracht im TEZG Falkenburger Bach wird vom Bilanzmodell für beide Zeiträume jeweils um etwa 30 bis 40 % (jeweils etwa 250 kg) unterschätzt (mögliche Ursachen s. oben und Kap. 2.1.1 sowie Kap. 3.9.2).
- Die P-Fracht wird im TEZG Ankeloher Randkanal jeweils um etwa 300 kg/a überschätzt (begründet möglicherweise dadurch, dass ein gewisser Anteil des Grundwassers in das angrenzende TEZG Falkenburger Bach gepumpt wird).

Wie obigen Tabellen zeigen, bildet das Bilanzmodell die N-Immissionen in den verschiedenen TEZG und für die beiden Jahre überwiegend hervorragend ab. Die P-Immissionen wer-

den vom Bilanzmodell - abgesehen vom TEZG Falkenburger Bach und dem „Sonderfall“ 2001 im TEZG Russengraben - überwiegend sehr gut getroffen.

Insgesamt liegen somit so gute Modellergebnisse vor, dass von einer ausgezeichneten Grundlage für die in Kap. 4 dargestellte Ausweisung von Ziel- und Maßnahmenkulissen für Oberflächengewässer auszugehen ist.

4 Ziel- und Maßnahmenkulissen für Oberflächengewässer im Untersuchungsgebiet des Bederkesaer Sees

In diesem Kapitel werden für das untersuchte EZG des Bederkesaer Sees Vorschläge für Ziel- und Maßnahmenkulissen für die Oberflächengewässer unterbreitet; sie basieren auf den Modellergebnissen (vgl. Kap. 3). Diese Vorschläge erfolgen für das EZG des Bederkesaer Sees jeweils separat für die N- bzw. P-Belastungssituation. Weiterhin werden jeweils die wesentlichen Einflüsse der abflussstarken Jahre 2011 und 2001 auf die vorgeschlagenen Zielkulissen vorgestellt. Als räumliche Auflösung für die vorgeschlagenen Zielkulissen fungieren die hydrologischen TEZG. Die für die Ausweisung der Zielkulissen verwendete Methodik ist in Kap. 2.6 beschrieben. In Kap. 2.6 ist zudem die nachfolgend verwendete Stufeneinteilung zur Bewertung der Belastungssituation erläutert. Die (gering belasteten) Stufen 1 und 2 erfordern demnach keine Ausweisung von Zielkulissen, für die (erhöht oder hoch belasteten) Stufen 3 bis 5 ist eine Ausweisung als Zielkulisse dagegen naheliegend. Zu beachten ist, dass für die Ausweisung der Zielkulissen die Nährstoffimmissionen der TEZG verwendet werden (vgl. Kap. 2.6).

Werden für das EZG des Bederkesaer Sees wiederum auf Ebene der hydrologischen TEZG jeweils die dominierenden Eintragspfade berücksichtigt (vgl. Kap. 3.5 und Kap. 3.9), können zielgerichtete Maßnahmen zur effektiven Verminderung der Nährstoffbelastung abgeleitet werden.

4.1 Vorschläge für Zielkulissen im EZG des Bederkesaer Sees bei mittleren Bedingungen

In Bild 52 sind die Ergebnisse der Bewertung der mittleren diffusen N-Belastung für die Parameter Konzentration und Flächenbelastung pro TEZG im EZG des Bederkesaer Sees dargestellt.

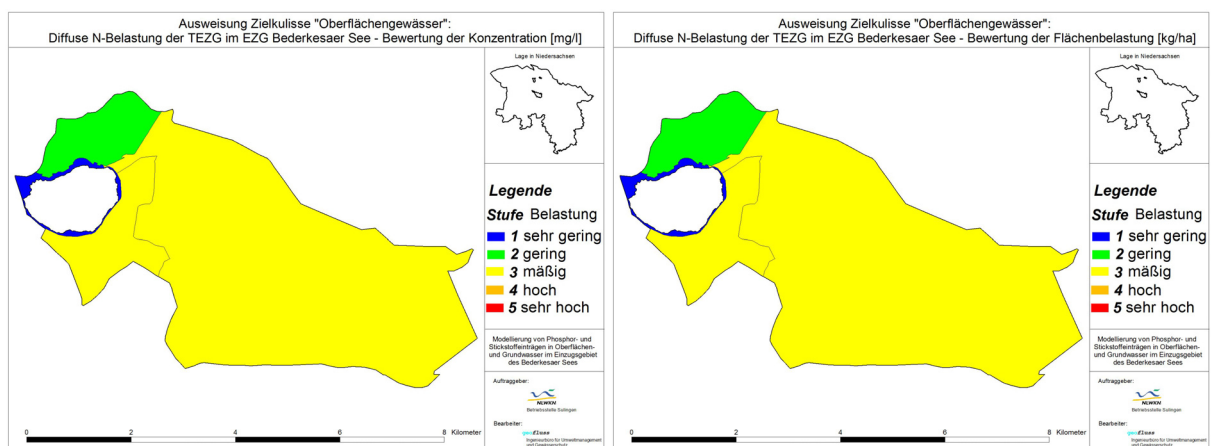


Bild 52: EZG des Bederkesaer Sees: mittlere diffuse N-Belastung der TEZG. Links Bewertung der Konzentration pro TEZG [mg/l], rechts Bewertung der Flächenbelastung pro TEZG [kg/ha]

Demnach liegen in den TEZG Ankeloher Randkanal und Falkenburger Bach erhöhte diffuse N-Belastungen vor (Stufe 3, mäßige Belastung), in den beiden anderen (kleinen) TEZG sind die Belastungen gering oder sogar sehr gering.

Werden die Ergebnisse dieser beiden Einzelbewertungen zusammengezogen, führt dieses zur abschließenden kombinierten Bewertung (Erläuterung hierzu in Kap. 2.6) der diffusen N-

Belastung pro TEZG im EZG des Bederkesaer Sees (Bild 53). Demnach ist in den beiden TEZG Ankeloher Randkanal und Falkenburger Bach unter mittleren Bedingungen eine mäßige N-Belastung (Stufe 3) zu verzeichnen. In den anderen TEZG liegt dagegen eine geringe N-Belastung der Stufe 2 oder sogar eine sehr geringe N-Belastung der Stufe 1 vor, sodass hier keine Zielkulissen auszuweisen sind.

Gemäß der in Kap. 2.4 vorgestellten Bewertungsgrundlage sollte die Ziel- und Maßnahmenkulisse im EZG des Bederkesaer Sees hinsichtlich der diffusen N-Belastung somit zumindest die in Bild 53 gelb gekennzeichneten Flächenanteile umfassen.

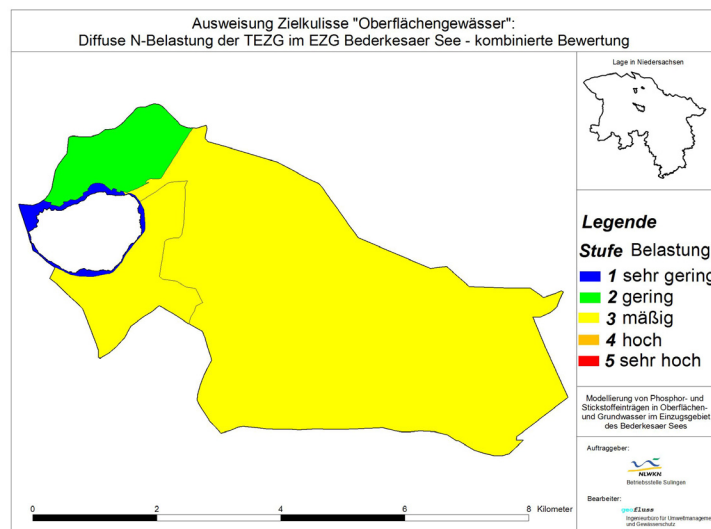


Bild 53: EZG des Bederkesaer Sees: mittlere diffuse N-Belastung der TEZG - kombinierte Bewertung

Im Gegensatz zur diffusen spielt die punktuelle N-Belastung im EZG des Bederkesaer Sees nur eine sehr untergeordnete Rolle und wird daher hier nicht weiter berücksichtigt.

In Bild 54 sind die Ergebnisse der Bewertung der mittleren diffusen P-Belastung für die Parameter Konzentration und Flächenbelastung pro TEZG im EZG des Bederkesaer Sees dargestellt. Im Vergleich zur N-Belastung im EZG des Bederkesaer Sees (s. oben) ist sofort zu erkennen, dass die P-Belastung (bezogen auf die definierten Zielwerte, vgl. Kap. 2.6) im diesem Gebiet erheblich höher ist.

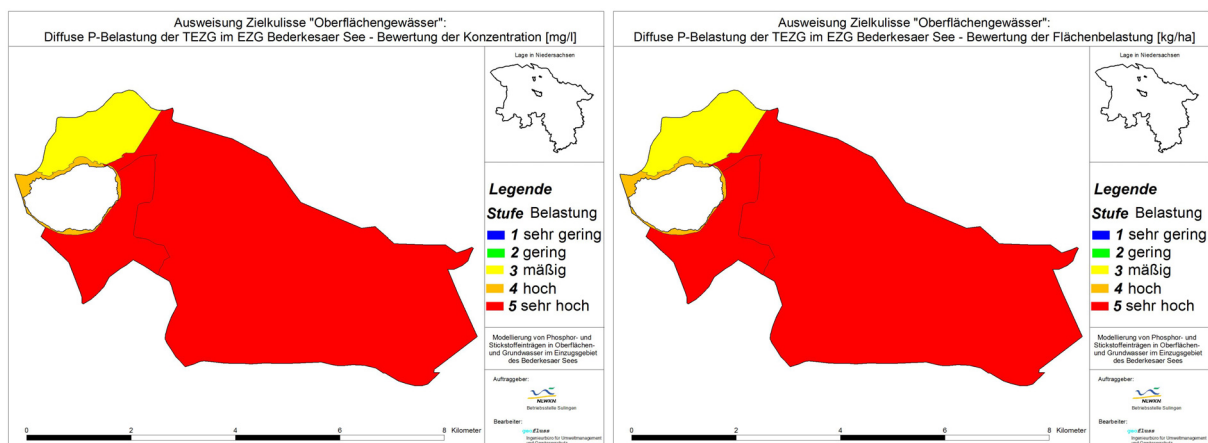


Bild 54: EZG des Bederkesaer Sees: mittlere diffuse P-Belastung der TEZG. Links Bewertung der Konzentration pro TEZG [mg/l], rechts Bewertung der Flächenbelastung pro TEZG [kg/ha]

Werden die Ergebnisse dieser beiden Einzelbewertungen zusammengezogen führt dieses zur abschließenden kombinierten Bewertung der diffusen P-Belastung pro TEZG im EZG des Bederkesaer Sees (Bild 55). Für die beiden TEZG Ankeloher Randkanal und Falkenburger Bach ist demnach eine sehr hohe P-Belastung zu verzeichnen, für das sehr kleine TEZG Rand-EZG eine hohe P-Belastung und für das TEZG Russengraben immerhin noch eine mäßige P-Belastung.

Dies bedeutet, dass im gesamten EZG des Bederkesaer Sees (bezogen auf die bewerteten TEZG) eine erhöhte und hinsichtlich der definierten Zielwerte zu hohe P-Belastung aus diffusen Quellen vorliegt; dies gilt insbesondere für die orange und rot dargestellten drei TEZG, die über 90 % der Gebietsfläche ausmachen. Sie sollten gemäß der in Kap. 2.6 vorgestellten Bewertungsgrundlage die Ausdehnung der Ziel- und Maßnahmenkulisse bestimmen.

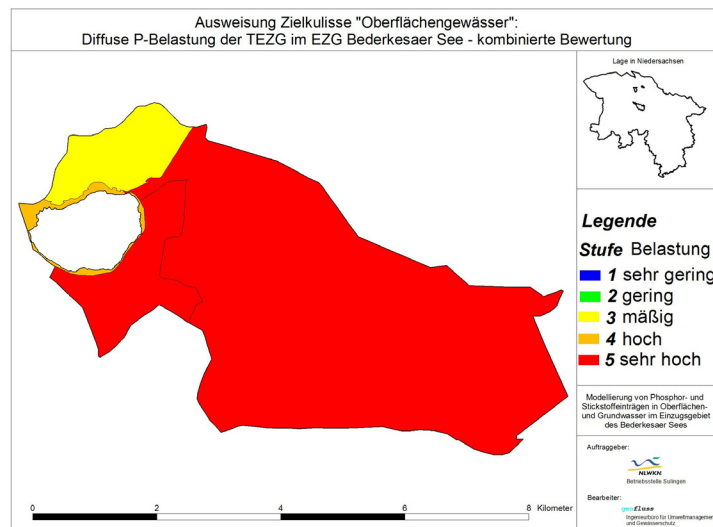


Bild 55: EZG des Bederkesaer Sees: mittlere diffuse P-Belastung der TEZG - kombinierte Bewertung

4.1.1 Zielkulissen für die abflussstarken Jahre 2011 und 2001

Zusätzlich zum mittleren Zustand des Betrachtungszeitraumes wurden hinsichtlich der diffusen N- und P-Belastung im EZG des Bederkesaer Sees die beiden abflussstarken Jahre 2011 und 2001 berechnet (in 2011 liegt der Abfluss ca. 30 %, in 2001 sogar fast 60 % über dem mittleren Abfluss). Inwieweit sich die Bedingungen in diesen beiden Jahren auf die Zielkulissen auswirken wird nachfolgend vorgestellt.

Bild 56 zeigt die kombinierte Bewertung der diffusen N-Belastung pro TEZG im EZG des Bederkesaer Sees für die Jahre 2011 und 2001. Im Vergleich zum mittleren Zustand (vgl. Bild 53) wird deutlich, dass unter den Bedingungen dieser Jahre (u.a. erhöhte Abflüsse) eine massiv höhere N-Belastung im EZG vorliegt. Demnach weist jetzt fast das gesamte EZG des Bederkesaer Sees eine hohe N-Belastung der Stufe 4 auf, lediglich in dem sehr kleinen TEZG Rand-EZG ist die Belastung nach wie vor sehr gering. Dieser Zusammenhang bei der Ausweisung von Zielkulissen für Maßnahmen unbedingt berücksichtigt werden.

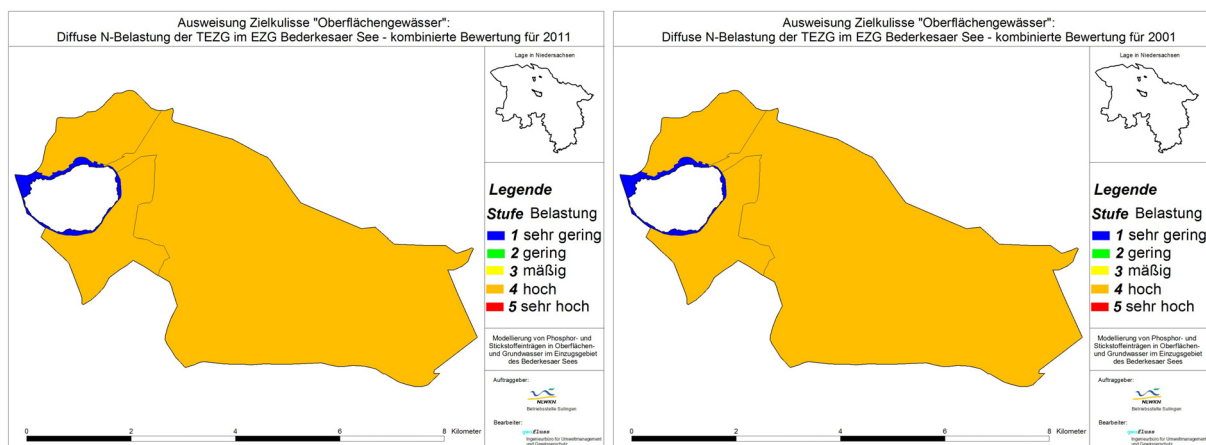


Bild 56: EZG des Bederkesaer Sees: diffuse N-Belastung der TEZG - kombinierte Bewertung. Links Bewertung für 2011, rechts Bewertung für 2001

In Bild 57 ist die kombinierte Bewertung der diffusen P-Belastung pro TEZG im EZG des Bederkesaer Sees für die Jahre 2011 und 2001 dargestellt. Da die P-Belastung bereits unter mittleren Bedingungen in diesem EZG sehr hoch ist (vgl. Bild 55), bewirken die erhöhten Abflüsse nur vergleichsweise geringfügige Änderungen: in 2011 ist nun im TEZG Russengraben statt einer mäßigen eine hohe P-Belastung zu verzeichnen, in 2001 ist zusätzlich die P-Belastung des TEZG Rand-EZG eine Stufe höher als zuvor (sehr hohe P-Belastung, Stufe 5). Die beiden größten TEZG Ankeloher Randkanal und Falkenburger Bach verbleiben selbstverständlich in der höchsten Stufe 5 (sehr hohe P-Belastung).

Diese Ergebnisse sollten bei der Ausweisung von Zielkulissen für Maßnahmen berücksichtigt werden.

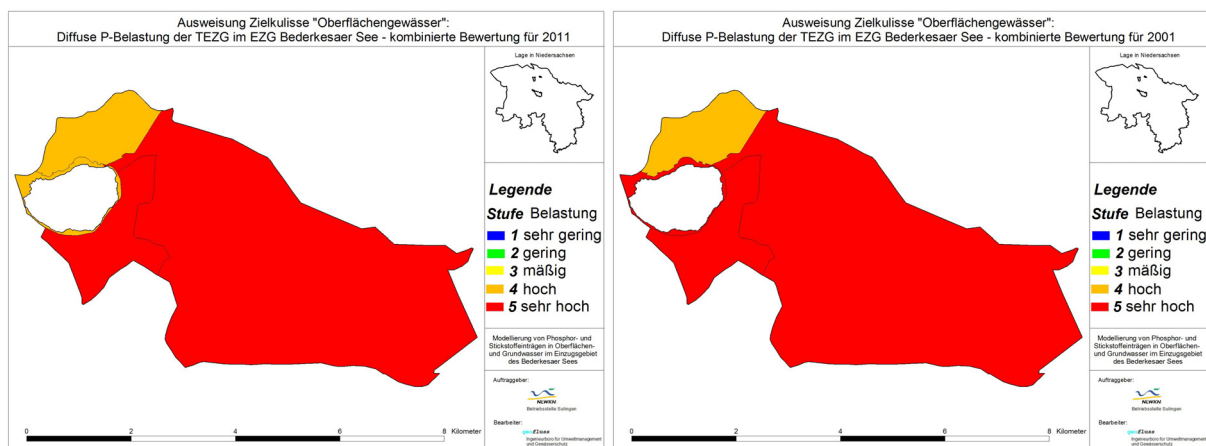


Bild 57: EZG des Bederkesaer Sees: diffuse P-Belastung der TEZG - kombinierte Bewertung. Links Bewertung für 2011, rechts Bewertung für 2001

5 Zusammenfassung

Die wesentlichen Ziele dieses Vorhabens bestanden darin, für das Untersuchungsgebiet des Bederkesaer Sees die diffusen Nährstoffeinträge zu modellieren, Belastungsschwerpunkte zu identifizieren und darauf aufbauend Ziel- und Maßnahmenkulissen für das EZG des Bederkesaer Sees abzuleiten und darzustellen.

Hierfür wurde zunächst mit dem vom Auftragnehmer entwickelten LUH-Bilanzmodell für das Untersuchungsgebiet des Bederkesaer Sees eine Modellierung der mittleren Nährstoffbelastung für den Zeitraum 2010 bis 2014 durchgeführt. Die hierbei erzielten Ergebnisse werden ausführlich in den Kap. 3.1 bis 3.9 vorgestellt.

Mittlere Stickstoffeinträge im EZG des Bederkesaer Sees

Die mittleren Stickstoffemissionen aus dem EZG in den Bederkesaer See betragen etwa 47 t/a, wovon fast 46 t/a (97 %) auf Belastungen aus diffusen Quellen zurückzuführen sind. Die Haupteintragspfade für N-Emissionen sind der Zwischenabfluss, über den N-Emissionen von fast 22 t/a erfolgen und der Dränageabfluss, über den N-Einträge von fast 18 t/a zu verzeichnen sind. In der Summe sind diese beiden schnell abfließenden Eintragspfade somit für mittlere N-Emissionen von etwa 39,5 t/a (ca. 84 % aller N-Emissionen im EZG des Bederkesaer Sees) verantwortlich.

Der größte Anteil der N-Belastungen resultiert gemäß der Modellergebnisse aus dem mit Abstand größtem TEZG Ankeloher Randkanal (etwa 39,5 t/a, ca. 84 % aller N-Emissionen im EZG des Bederkesaer Sees. Weitere relevante N-Belastungen von ca. 5,5 t/a (knapp 12 % der gesamten N-Emissionen im EZG) sind aus dem TEZG Falkenburger Bach zu verzeichnen. Somit resultieren etwa 96 % der gesamten N-Emissionen im EZG des Bederkesaer Sees aus diesen beiden TEZG, die restlichen TEZG sind somit hinsichtlich der N-Belastung weitgehend unbedeutend.

Phosphoreinträge im EZG des Bederkesaer Sees

Die mittleren Phosphoremmissionen aus dem EZG in den Bederkesaer See betragen etwa 2.667 kg/a, wovon ca. 2.445 kg/a (fast 92 %) auf Belastungen aus diffusen Quellen zurückzuführen sind. Somit sind die punktuellen P-Emissionen auch im EZG des Bederkesaer Sees von untergeordneter Bedeutung; sie summieren sich zu etwa 220 kg/a, was gut 8 % der Gesamteinträge entspricht. Wichtigster diffuser P-Eintragspfad aus dem EZG ist der Dränageabfluss mit etwa 1.095 kg/a (41 % aller P-Emissionen im EZG), gefolgt von P-Emissionen über den Grundwasserabfluss mit ca. 754 kg/a (28 %). Weitere bedingt relevante P-Eintragspfade sind der Zwischenabfluss mit 290 kg/a (fast 11 %), die urbanen P-Einträge mit 222 kg/a (ca. 8 %) und erosive P-Einträge mit 165 kg/a (gut 6 %).

Der größte Anteil der P-Belastungen resultiert gemäß der Modellergebnisse aus dem großen TEZG Ankeloher Randkanal (etwa 2.270 kg/a, gut 86 % der diffusen und ca. 85 % der gesamten P-Emissionen). In diesem TEZG dominieren mit 2.200 kg/a und einem Anteil von fast 93 % eindeutig die diffusen P-Emissionen. Der wichtigste P-Eintragspfad im TEZG Ankeloher Randkanal ist der Dränageabfluss mit etwa 940 kg/a und somit gut 41 % der gesamten P-Emissionen; weiterhin ist hier P-Emissionen über Grundwasserabfluss bedeutsam (659 kg/a, 29 % aller P-Emissionen im TEZG Ankeloher Randkanal). Nach den Modellergebnissen sind weitere relevante P-Belastungen von etwa 293 kg/a aus dem TEZG Falkenburger Bach zu verzeichnen. Genau wie im TEZG Ankeloher Randkanal stellen der Dränageabfluss

mit 155 kg/a (etwa 53 %) und der Grundwasserabfluss mit 75 kg/a (fast 26 %) die dominierenden P-Eintragspfade dar. Punktuelle P-Emissionen über die urbanen Eintragspfade sind mit gut 11 bedingt relevant, insgesamt dominieren aber auch in diesem TEZG die diffusen P-Belastungen mit einem Anteil von fast 89 % an der Gesamtbelastung.

Unter mittleren Abflussbedingungen sind im EZG des Bederkesaer Sees weitere, in der Summe jedoch unbedeutende diffuse P-Emissionen sind aus den TEZG Russengraben und Rand-EZG zu verzeichnen.

Ziel- und Maßnahmenkulissen für das EZG des Bederkesaer Sees

Unter Verwendung der räumlich hoch aufgelösten Modellergebnisse sowie unter Anwendung der entwickelten Bewertungsgrundlage (Methodik zur Ausweisung von Zielkulissen, vgl. Kap. 2.6) wurden abschließend Vorschläge für Ziel- und Maßnahmenkulissen für das EZG des Bederkesaer Sees unterbreitet (Kap. 4). Dies erfolgt jeweils separat für die N- bzw. P-Belastungssituation. Weiterhin wurden jeweils die Einflüsse der abflussstarken Jahre 2011 und 2001 auf die vorgeschlagenen Zielkulissen vorgestellt (vgl. Kap. 4.1 und Kap. 4.1.1). Als räumliche Auflösung für die vorgeschlagenen Zielkulissen fungierten die hydrologischen TEZG.

Die wesentlichen **Ergebnisse für Ziel- und Maßnahmenkulissen** für das EZG des Bederkesaer Sees auf Ebene der TEZG lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Unter mittleren Abflussbedingungen ist die **diffuse N-Belastung** im EZG des Bederkesaer Sees für die zwei größten TEZG (Ankeloher Randkanal und Falkenburger Bach, etwa 90 % Einzugsgebietsfläche) zumindest erhöht (Stufe 3, mäßig belastet, vgl. Kap. 4.1). Allerdings zeigen die Ergebnisse dieser Bewertung für die beiden abflussstärkeren Jahre 2011 und 2001, dass unter derartigen Bedingungen eine massiv erhöhte **diffuse N-Belastung** im EZG des Bederkesaer Sees vorliegt: nun sind bis auf das sehr kleine TEZG Rand-EZG alle anderen drei TEZG hoch belastet (Stufe 4, vgl. Kap. 4.1.1).

Die Ziel- und Maßnahmenkulisse zur Verringerung der N-Belastung sollte daher diese drei TEZG umfassen (Ankeloher Randkanal, Falkenburger Bach und Russengraben). Dominierender N-Eintragspfad ist zumeist der Zwischenabfluss, im TEZG Falkenburger Bach ist es der Drainageabfluss (vgl. Kap. 3.5). Die **punktuelle N-Belastung** ist im EZG des Bederkesaer Sees weitgehend unbedeutend.

Die **mittlere diffuse P-Belastung** ist im EZG des Bederkesaer Sees deutlich höher als die N-Belastung. Für die TEZG Ankeloher Randkanal und Falkenburger Bach wurde eine sehr hohe P-Belastung (Stufe 5) ermittelt, für das TEZG Rand-EZG zudem eine hohe diffuse P-Belastung der Stufe 4 (diese drei TEZG machen insgesamt etwa 92 % der Einzugsgebietsfläche aus). In dem TEZ Russengraben liegt zudem eine mäßige P-Belastung (Stufe 3) vor. Somit **sollte die Ziel- und Maßnahmenkulisse** zur Verringerung der P-Belastung daher **das gesamte EZG des Bederkesaer Sees umfassen**. Gestützt wird diese Einschätzung durch die Ergebnisse bei höheren Abflüssen (Jahre 2011 und 2001); hier nimmt die P-Belastung noch weiter zu.

Der dominierende diffuse P-Eintragspfad ist in den TEZG Ankeloher Randkanal und Falkenburger Bach der Drainageabfluss, in den TEZG Russengraben und Rand-EZG ist es jeweils der Zwischenabfluss. Daneben ist in allen TEZG ein P-Eintrag über Grundwasserabfluss bedeutsam (vgl. Kap. 3.9). Ähnlich wie bei der N-Belastung ist die **punktuelle P-Belastung** im

EZG von untergeordneter Bedeutung. Dies gilt insbesondere für die TEZG Ankeloher Randkanal und Falkenburger Bach. Dagegen sind punktuelle P-Einträge in den beiden kleinen TEZG Russengraben und Rand-EZG durchaus bedeutsam (vgl. Tabelle 13).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse dieses Vorhabens, dass das verwendete Bilanzmodell es erlaubt, räumlich differenzierte Aussagen über die Belastungssituation im Untersuchungsgebiet Bederkesaer See zu treffen. Es können insbesondere die Gebiete, von denen besonders hohe Belastungen ausgehen, mit ihren verantwortlichen Eintragspfaden identifiziert werden.

Kombiniert mit der Methodik zur Ausweisung von Ziel- und Maßnahmenkulissen für Oberflächengewässer steht damit ein hilfreiches Instrumentarium für die Umsetzung der Anforderungen der WRRL zur Verfügung, dass in dieser Form auch in anderen Gebieten bereits erfolgreich eingesetzt wurde und auch künftig eingesetzt werden kann.

6 Literatur

- BEHRENDT, H. & D. OPITZ (1999): Retention of nutrients in river systems: Dependence on specific runoff and hydraulic load. *Hydrobiologia* Vol. 410: 111-122.
- FOGELBERG, S. (2003): Modelling nitrogen retention at the catchment scale. Comparison between HBV-N and MONERIS. Uppsala Technical University. Master thesis.
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (1998): Der Landschaftswasserhaushalt im Flußeinzugsgebiet der Elbe. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt/Environment, Band 12, Jülich.
- LITTLEWOOD, I.G. (1995): Hydrological regimes, sampling strategies and assessment of errors in mass load estimates for United Kingdom rivers. *Environment International* 21, 2.
- NLWKN (2013): Beiträge zum Gewässerentwicklungsplan Bederkesaer See - Nährstoffreduktionsmodule Falkenburger Bach und Falkenburger Randkanal.
- NLWKN (2010): Wasserrahmenrichtlinie Band 3, Leitfaden Maßnahmenplanung, Oberflächengewässer, Teil B: Stillgewässer, Anhang II - Seeberichte, Bederkesaer See.
- 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.
- RÖDER, M. (1997): Erfassung und Bewertung anthropogen bedingter Änderungen des Landschaftswasserhaushaltes - dargestellt am Beispiel der Westlausitz. Dissertation, TU Dresden.
- SCHEER, C. & PANCKOW, N. (2012): Weiterführende Modelloptimierung zur Quantifizierung diffuser Nährstoffeinträge als Instrument zur Umsetzung der EG-WRRL - Anpassung für Niedersachsen und Implementierung von Bewirtschaftungsmaßnahmen. F+E-Vorhaben im Auftrag des NLWKN. Nicht veröffentlicht.
- 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.
- 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.

