



Schlussbericht

„Entwicklung hydrologischer Anpassungsstrategien infolge des globalen Wandels für das Norddeutsche Tiefland durch Modellanwendung – Landschaftswasser- und -stoffhaushalt“

(Akronym: „NaLaMa-nT“ / TP W1a)

BMBF-Forschungsvorhaben

Projektträger Forschungszentrum Jülich GmbH

Geschäftsfeld Umwelt und Nachhaltigkeit, Klimaschutz

Förderkennzeichen:	033L029F
Zuwendungsempfänger:	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut:	Natur- und Ressourcenschutz
Abteilung:	Hydrologie und Wasserwirtschaft
Projektleitung:	Prof. Dr. Nicola Fohrer
Projektpersonal:	Dr. Hilmar Messal
Laufzeit des Vorhabens:	01.09.2010 bis 31.08.2015

Teilprojektkoordinator W1a:

Prof. Dr. Nicola Fohrer

CAU zu Kiel, Inst. für Natur- und Ressourcenschutz, 24118 Kiel, Olshausenstr. 75

e-Mail: nfohrer@hydrology.uni-kiel.de

Kiel, den 29.02.2016

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 033L029F gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Gefördert vom:



**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der sich ändernden ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen sollten in dem BMBF-Verbundprojekt „Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland – NaLaMa-nT“ Wissens- und Entscheidungsgrundlagen für ein innovatives, nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland erarbeitet werden. Ausgehend vom Landschaftstyp „Flachland“ sollten dabei für vier exemplarische Modellregionen Zustände und Wirkungsgefüge analysiert und szenariobasiert bestimmte Entwicklungen abgeschätzt werden. Dabei waren inter- und transdisziplinär Anpassungsstrategien abzuleiten. Deren Auswirkungen sollten dann an transsektoralen Indikatoren eines nachhaltigen Landmanagements, aggregiert in Zusammenarbeit mit den Partnern des Verbundprojektes, gemessen werden. Die Modellregionen liegen auf einem Transekt von Diepholz im Westen, über Uelzen in der Lüneburger Heide, dem Fläming im Osten Sachsen-Anhalts und im Südwesten Brandenburgs bis zur Region Oder-Spree im Osten. Sie bilden naturräumliche, strukturelle, wirtschaftliche und demografische Gradienten ab.

Im Rahmen dieses BMBF-Verbundprojektes ergab sich daraus für den Zuwendungsempfänger folgendes Teilprojekt:

„Entwicklung hydrologischer Anpassungsstrategien infolge des globalen Wandels für das Norddeutsche Tiefland durch Modellanwendung – Landschaftswasser- und -stoffhaushalt“.

Folgende Teilaufgabenstellungen waren dabei zu lösen:

- Zustandsanalyse des Landschaftswasser- und -stoffhaushaltes in den ausgewählten Repräsentativgebieten (Wasserhaushalt, Stoffhaushalt, Indikatoren)
- Szenarioentwicklung über künftige Entwicklung des Landschaftswasserhaushaltes unter Berücksichtigung der regionalen räumlichen Zustandsänderungen und von Bewirtschaftungsstrategien (Vorgabe durch Partner bzw. anschließende eigene Selektion hinsichtlich Realisierbarkeit der Vorgaben im Modell SWAT [ARNOLD et al. 1998])
- Modellspezifische Anpassung des Modells SWAT unter besonderer Berücksichtigung vulnerabler Elemente des Landschaftswasserhaushaltes
- Prognose der durch den Klima- und Landnutzungswechsel bedingten Änderungen des Landschaftswasserhaushaltes und der damit verbundenen Änderung der Qualität von Wasserkörpern mittels Szenariorechnungen
- Bereitstellung der Modellergebnisse für die Verwendung in anderen Modellen für die Modellbetriebe sowie als Entscheidungshilfe zur Lösung potenzieller Interessenkonflikte (Flächennutzung und Ressourcenbereitstellung)

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Zur Durchführung des Teilprojektes wurde das ökohydrologische Modell SWAT verwendet. Dieses benötigt umfangreiche gemessene Eingangsdaten zur Kalibrierung in Form von Zeitreihen des Abflusses, des Klimas (Niederschlag, Verdunstung, Wind, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlung), bestimmter Pflanzennährstoffe (NO_3^- im Grundwasser, NO_3^- -N und PO_4^{3-} -P im Oberflächenwasser), und von Klärwerksdaten (Abflüsse, Frachten, Konzentrationen). Um

der räumlichen Variabilität gerecht zu werden und den Ist-Zustand der Gewässer besser zu erfassen, mussten umfangreiche eigene Messungen durchgeführt werden. Dabei sollten alle Regionen erfasst werden, um einen Überblick über die Unterschiede entlang eines Transektes zu bekommen. Bezüglich der Managementoptionen im Gebiet, insbesondere der Landwirtschaft, wurden von den Projektpartnern für den Ist-Zustand Fruchtfolgen, Düngemengen (P und N), Produktionsverfahren, Erträge und Berechnungsmengen benötigt.

Als Voraussetzung für die GIS-gestützte Abarbeitung des Modells wurden, jeweils in digitaler Form, Bodenübersichts- und Landnutzungskarten (CORINE 2009), Höhenmodelle und Gewässernetze benötigt. Datenquelle waren in der Regel entsprechende Landesbehörden. Die Schwierigkeit bestand darin, die unterschiedlichen Bodenübersichtskarten der einzelnen Bundesländer für die einzelnen Regionen und Flussgebiete des Projektes entsprechend zu vereinheitlichen.

Darüber hinaus wurden im Rahmen der zu rechnenden Szenarios hinsichtlich der Fortschreibung der Randbedingungen in die Zukunft folgende Datenarten benötigt: von der Landwirtschaft Fruchtfolgen, Düngemengen (P und N) und sich ändernde landwirtschaftliche Kulturen, von der Forstwirtschaft die sich abzeichnenden Veränderungen im Waldartenanteil und von der Klimatologie die künftige Entwicklung aller genannten Klimadaten. Dieser Datenaustausch erfolgte ausschließlich zwischen den Projektpartnern.

Für die Durchführung des eigenen Messprogramms zur Erfassung des Ist-Zustandes in den Regionen mussten Genehmigungen der lokalen Behörden eingeholt und Laborkapazitäten zur Verfügung gestellt werden. Für die praktische Durchführung der Messkampagnen und der anschließenden Datenauswertung wurden studentische Graduierungsarbeiten in die Projektbearbeitung eingebunden.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Ablauf des Vorhabens erfolgte nach einem bereits im Antrag ausgearbeiteten Meilensteinplan, der zu Beginn der Bearbeitung nochmals konkretisiert wurde:

- 1) Datensichtung und -beschaffung
 - a) Datensichtung nach Absprache mit Projektpartnern
 - b) Datenbeschaffung Behörden
 - c) Datenbeschaffung Projektpartner
 - d) räumlich differenzierte Messkampagnen zu Stofffrachten und -konzentrationen (in allen Regionen)
 - Frühjahrskampagnen (5 in 4 Regionen mit insges. 6 Flussgebieten)
 - Herbstkampagnen (5 in 4 Regionen mit insges. 6 Flussgebieten)
 - e) Analytik
- 2) Zustandsanalyse des Landschaftswasserhaushaltes
 - a) SWAT – Modell-Setup und Testläufe
 - b) SWAT – Kalibrierung und modellspezifische Anpassung

- c) Datentransfer an und von anderen Projektpartnern
- 3) Koordination Datentransfer und Modellschnittstellen
 - a) Festlegung Modellschnittstellen
 - b) Datentransfer
 - c) Auswahl der Indikatoren zur Beurteilung der Änderung des Landschaftswasser- und -stoffhaushaltes (gemeinsam mit anderen Projektpartnern)
- 4) Szenarioentwicklung (in Zusammenarbeit mit den anderen Projektpartnern)
- 5) Prognose der Änderungen des Landschaftswasser- und -stoffhaushaltes
 - a) Selektion des Szenariospektrums auf die realisierbaren Features im Modell SWAT
 - b) Szenariorechnungen und vergleichende ökohydrologische Modellrechnungen
 - c) Berechnung der Indikatoren und sonstiges Postprocessing
- 6) Bereitstellung der Modellergebnisse für die Verwendung in anderen Modellen sowie als Entscheidungshilfe zur Lösung potenzieller Interessenkonflikte

Es gab halbjährliche Treffen zwischen allen Projektpartnern, die teilweise in den Modellregionen durchgeführt wurden, um mehr Praxiskontakt zu den Stakeholdern zu gewährleisten. Der in den vier Regionen geführte Diskurs zwischen Wissenschaft und Praxis sollte die Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Landnutzungssystemen offen legen, den Interessenausgleich fördern, die Innovationsbereitschaft verstetigen und die Zukunftsfähigkeit der ländlichen Räume insgesamt stärken.

Alle Meilensteine wurden fristgerecht durch den Zuwendungsempfänger abgeschlossen.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand der Forschung vor dem Vorhaben

Globaler und regionaler Klima- und Landnutzungswandel beeinflussen das Verhalten hydrologischer Systeme. Im Zuge dieses Wandels wurden für das Norddeutsche Tiefland Veränderungen des Gebietswasserhaushaltes und der Wasserqualität prognostiziert (HÖRMANN et al. 2009; HLOG 2005, LUA 2006). Daraus ist ein Nutzungs- und Interessenkonflikt zwischen Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Natur- und Gewässerschutz zu erwarten.

Die Anzeichen des Klimawandels wurden bereits lange vor Projektbeginn diskutiert (IPCC 2007) und neue Strategien zum Klimaschutz, wie zum Beispiel der vermehrte Anbau nachwachsender Rohstoffe, finden zunehmende Verbreitung (EEA 2007; FNR 2007; SRU 2007). Durch die enge Kopplung mit dem Wasserkreislauf sind sowohl die Wassermenge und -qualität als auch die ökologischen Verhältnisse großflächig und langfristig davon betroffen (EEA 2007; NITSCH et al. 2008). Demgegenüber steht eine nachhaltige Gewässerpolitik, wie sie von der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie angestrebt wird (EG 2000). Hierfür sind Maßnahmen im Einzugsgebiet und im Gewässer selbst notwendig, um einen guten strukturellen, chemischen und ökologischen Zustand der Fließgewässer zu erreichen.

Hydrologische Modelle können einzugsgebietsbezogene Prozesse abbilden und werden im Rahmen von technischen und wirtschaftlichen Fragestellungen sowie in der Praxisanwendung in Behörden und Ingenieurbüros eingesetzt (BWK 2002). Der Einsatz von ökohydrologi-

schen Modellen ermöglicht die Durchführung von räumlich und zeitlich differenzierten Szenariorechnungen und hilft bei der Abschätzung der durch den Klima- und Landnutzungswechsel bedingten Änderungen des Landschaftswasserhaushaltes und des damit gekoppelten Stoffhaushaltes. Durch die integrative Abbildung von chemischen und physikalischen Prozessen sind hydrologische Modelle nicht nur für quantitative sondern auch für qualitative Fragestellungen einsetzbar. Neben anderen Modellansätzen ist für das Modellsystem SWAT die Prognosefähigkeit zur Abschätzung der Auswirkungen von Klima- oder Landnutzungsänderungen bereits nachgewiesen worden (BORMANN et al. 2007; BORMANN 2009; OLLESCH et al. 2007, 2008; FOHRER et al. 2001, 2005; WEBER et al. 2001). Grundsätzlich problematisch sind jedoch die Regionalisierung von Modellparametern und deren zeitliche Adaption im Zuge von sich ändernden Randbedingungen (MERZ, BLÖSCHEL 2004). Insbesondere in Hinblick auf den Stoffhaushalt, der sich im Vergleich zum Wasserhaushalt durch eine wesentlich höhere Komplexität auszeichnet, führt dies in der Regel zu statischen Annahmen mit Randbedingungen, bei denen lediglich eine Variable systematisch geändert wird. Darüber hinaus wurde bei den bestehenden Anwendungen von dem Modell SWAT für mehrere Einzugsgebiete in Norddeutschland auf die problematische Parametrisierung aufgrund teilweise nicht bekannter Daten im Bereich des oberflächennahen Grundwassers hingewiesen (SCHMALZ et al. 2008b). Eine zuverlässige Prognosefähigkeit kann nur durch eine Berücksichtigung der Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser sowie eine verbesserte Abbildung der Grundwasserdynamik und der reaktiven Zone im Übergangsbereich zum Boden erzielt werden.

Modellvergleichende Studien gehen in der Regel auf strukturelle Unterschiede ein oder analysieren die Modellperformance auf der Basis eines gemeinsamen grundlegenden Datensatzes. Die synergetische Anwendung von unterschiedlichen Modellen zur Beantwortung einer Frage innerhalb eines Forschungsvorhabens ermöglicht demgegenüber eine Herangehensweise mit unterschiedlichen Methoden, die sich gegenseitig ergänzen und interagieren und lässt damit eine tiefer gehende Interpretation der Ergebnisse und der Ergebnisunsicherheiten zu. Dies ist insbesondere für die Prognosefähigkeit und die Aussagekraft dieser Prognosen von großer Bedeutung.

Es gab und gibt weltweit viele Anwendungen des Modells SWAT, aber in der Komplexität, wie sie innerhalb von NaLaMa-nT angewendet wurden, sind keine Beispiele bekannt. Es wurde davon ausgegangen, dass die Randbedingungen, die von der Klima-Arbeitsgruppe und den Partnern aus Land- und Forstwirtschaft definiert wurden, ebenfalls dem neuesten Stand der Wissenschaft entsprechen. Die Komplexität der Herangehensweise wurde dadurch größer, dass die Projektpartner aus Land- und Forstwirtschaft ihrerseits auf sozio-ökonomische Randbedingungen zurückgriffen, um nach Möglichkeit keine statischen Vorhersagen von Einzelprozessen zu machen.

Der Zuwendungsempfänger, die Fachabteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft des Institutes für Natur- und Ressourcenschutz der Universität Kiel, beschäftigt sich mit integrativen Ansätzen zum nachhaltigen Management von Flusseinzugsgebieten im ländlichen Raum, vor allem im Norddeutschen Tiefland. Neben dem Landschaftswasser- und -stoffhaushalt werden Stoffeinträge durch landwirtschaftliche Nutzung in verschiedenen Projekten mess- und modelltechnisch untersucht: Ein Schwerpunkt ist dabei die Methodenentwicklung mittels ökohydrologischer Modellierung am Beispiel des Tieflandsgebietes der Kielstau mit dem Modell

SWAT (Soil and Water Assessment Tool, ARNOLD et al. 1998; ARNOLD, FOHRER, 2005), mit dem Untersuchungen zur Bewertung von hydrologischen Prozessen und Stoffeintragungspfaden vorgenommen wurden (FOHRER et al. 2007, 2008a; SCHMALZ et al. 2007, 2008a, b, 2009; LAM et al. 2009, 2010). Fragen zur Bewertung des Landnutzungswandels wurden bereits seit einer Vielzahl von Jahren untersucht (FOHRER et al. 2008b, 2005, 2002, 2001, 2000; DÖLL, FOHRER 1999), erfolgreich modifiziert und erweitert (ECKHARDT et al. 2002; HAVERKAMP et al. 2005).

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

NaLaMa-nT vereinte 21 wissenschaftliche Projektpartner (Teilvorhaben) aus den Bereichen Klimatologie, Wasser-, Land-, und Forstwirtschaft, Sozioökonomie sowie fünf Institutionen als regionale Ansprechpartner für vier Modellregionen. Die Koordination dieses Verbundes erfolgte durch die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) in Göttingen.

Neben den Teilprojekten der einzelnen Zuwendungsempfänger gemäß ihrer Expertise gab es vier zusätzliche inter- bzw. transdisziplinäre Teilprojekte:

- „Ökologische Grundlagen“
- „Land- und Ressourcennutzung“
- „Betriebliche und regionale Wertschöpfung“
- „Risikomanagement“

Der Zuwendungsempfänger war an allen vier Teilprojekten jeweils in unterschiedlicher Intensität beteiligt. Zum „Risikomanagement“ wird ca. 2016 eine Monografie erstellt werden, an der auch der Zuwendungsempfänger eine Autorenschaft übernehmen wird.

Da es in Deutschland bereits eine Arbeitsgruppe bezüglich der Nutzung des verwendeten Modells SWAT gibt, gab es einen umfangreichen Austausch von Daten und Wissen mit der TU Dresden, Standort Tharandt (Forstwesen), insbesondere bezüglich der Region Uelzen bzw. des Flussgebietes der Ilmenau. In allen Regionen wurden Kontakte mit Praxispartnern aufgenommen. Dies bezog sich in erster Linie auf die in das Projekt involvierten Landes- bzw. Regionalbehörden (gemäß Projektbeschreibung). Mit dem IGB-Berlin, das nicht an NaLaMa-nT beteiligt war, wurde darüber hinaus mündlich eine Kooperation vereinbart, da das Gebiet des Demnitzer Mühlenfließes in der Region Oder-Spree früher vom IGB als Versuchsgebiet genutzt und vom Zuwendungsempfänger als Untersuchungsgebiet ausgewählt wurde. Um Synergieeffekte zu nutzen, wurden zwei gemeinsame Messfahrten durchgeführt.

Im Rahmen der Messkampagnen erhielt der Zuwendungsempfänger weiterhin Unterstützung von:

- IGB-Berlin (personell und Labornutzung)
- Landkreisamt Uelzen (personell)
- Landkreisamt Diepholz (personell)
- Wasser-Unterhaltungsverband Nuthe/Rossel (personell)
- Wasser-Unterhaltungsverband Plane/Buckau (personell)
- NLWKN Lüneburg (Labornutzung)

- NLWKN Sulingen (Labornutzung)
- Uni Vechta (personell und Labornutzung)
- TU Dresden (personell und Datenaustausch)
- Uni Osnabrück (personell)

Bei der Datenauswertung gab es eine Zusammenarbeit mit dem Institut für Variationsstatistik der CAU zu Kiel. Darüber hinaus wurden drei studentische Graduierungsarbeiten in die Forschungsaktivitäten von NaLaMa-nT eingebunden. Die Studenten nahmen an den Messkampagnen teil und waren in das Datenmanagement involviert. Auf der Basis ihrer Arbeiten entstanden mehrere gemeinsame Veröffentlichungen.

II. Ausführliche Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse hinsichtlich der Ziele

1.1 Zustandsanalyse des Landschaftswasser- und -stoffhaushaltes in den ausgewählten Repräsentativgebieten

1.1.1 Durchgeführte Messkampagnen und erzielte Ergebnisse

Nach der Datensichtung der vorhandenen Daten und deren Prüfung wurde gemäß Meilensteinplan ein Ensemble von Messkampagnen im Norddeutschen Tiefland geplant und durchgeführt (insgesamt zehn Einzelkampagnen zu je einer Woche, bei denen insgesamt sechs Flusseinzugsgebiete, verteilt auf die vier Regionen, sowohl im Frühjahr als auch im Herbst beprobt wurden).

Da die administrativen Regionen nicht mit den natürlichen Flussgebieten übereinstimmen, die dann mit dem Modell SWAT modelliert wurden, sollen diese zunächst in Tabelle 1 einander gegenübergestellt werden. Von den ursprünglich sechs Flussgebieten wurden vier für die spätere Modellierung ausgewählt. Für die Hunte/Diepholz, Pegel Colnrade (1318 km²), und die Buckau/Fläming, Pegel Herrenmühle-Forellenanlage (135 km²), wurden nur Zustandsanalysen auf der Basis der Messkampagnen realisiert. Deren Ergebnisse werden in den folgenden Ausführungen ebenfalls dargestellt.

Tab. 1: Regionen mit den modellierten vier Flusseinzugsgebieten

Region	Hauptfluss	Pegel	A _E - (ob.) [km ²]	Anteil an Region [%]
Diepholz	Hache	Steinke	79	4
Uelzen	Ilmenau	Bienenbüttel	1447	95
Fläming	Nuthe (ST)	Walternienburg	565	27
Oder-Spree	Demnitzer Mühlenfließ	Berkenbrück 1	56	3

Tab. 2: Untersuchte Größen des Landschaftswasser- und -stoffhaushaltes im Rahmen der Messkampagnen, Laboranalysen und anschließender Nachbearbeitung

Nr.	Messgröße	Einheit	Messgrößentyp	Messort	Methode
1	Lagekoordinaten	m, °	geodätisch	vor Ort	GPS
2	Pegelstand	m ü. PN	hydrologisch	vor Ort	Ablesung
3	Gewässerbreite	m	physikalisch	vor Ort	Bandmaß
4	Profildaten/ Uferentfernung	m	physikalisch	vor Ort	Bandmaß
5	Profildaten/ Wassertiefen	m	physikalisch	vor Ort	Stahlstab, Zollstock, QLiner
6	Fließgeschwindigkeiten	m/s	hydraulisch	vor Ort	elektro-magnetisch (FlowSense)
7	Fließgeschwindigkeiten	m/s	hydraulisch	vor Ort	elektro-akustisch (QLiner)
8	Lufttemperatur	°C	physikalisch	vor Ort	Thermometer
9	Wassertemperatur	°C	physikalisch	vor Ort	Sensor
10	Leitfähigkeit	µS	physikalisch	vor Ort	Sensor
11	pH-Wert	-	chemisch	vor Ort	Sensor
12	O ₂ -Konz.	mg/l	chemisch	vor Ort	Sensor
13	Sediment-/ Schwebstoff-Konz.	mg/l	physikalisch	Labor	Wägung
14	P-ges-Konz.	mg/l	chemisch	Labor	Analytik
15	PO ₄ -P-lösl-Konz.	mg/l	chemisch	Labor	Analytik
16	N-ges-Konz.	mg/l	chemisch	Labor	Analytik
17	NH ₄ -N-Konz.	mg/l	chemisch	Labor	Analytik
18	NO ₃ -N-Konz.	mg/l	chemisch	Labor	Analytik/ IC
19	NO ₂ -N-Konz.	mg/l	chemisch	Labor	Analytik/ IC
20	Cl ⁻ -Konz.	mg/l	chemisch	Labor	Analytik/ IC
21	SO ₄ ²⁻ -Konz.	mg/l	chemisch	Labor	Analytik/ IC
22	Abfluss	m ³ /s	hydraul./hydrolog.	Büro	hydraulische Software

Tabelle 2 enthält eine Übersicht über alle im Rahmen von Messkampagnen, Laboranalysen und Nachbearbeitung gewonnenen Daten. Bevor die eigentliche Zustandsanalyse durchgeführt wurde, sind alle ermittelten Werte einer Plausibilitäts- und Fehlerkontrolle unterworfen worden. Ein Beispiel hierzu ist in Abbildung 1 dargestellt (Demnitzer Mühlenfließ). Die Landnutzungen aller sechs Flussgebiete sind in den Abbildungen 2 bis 7 enthalten.

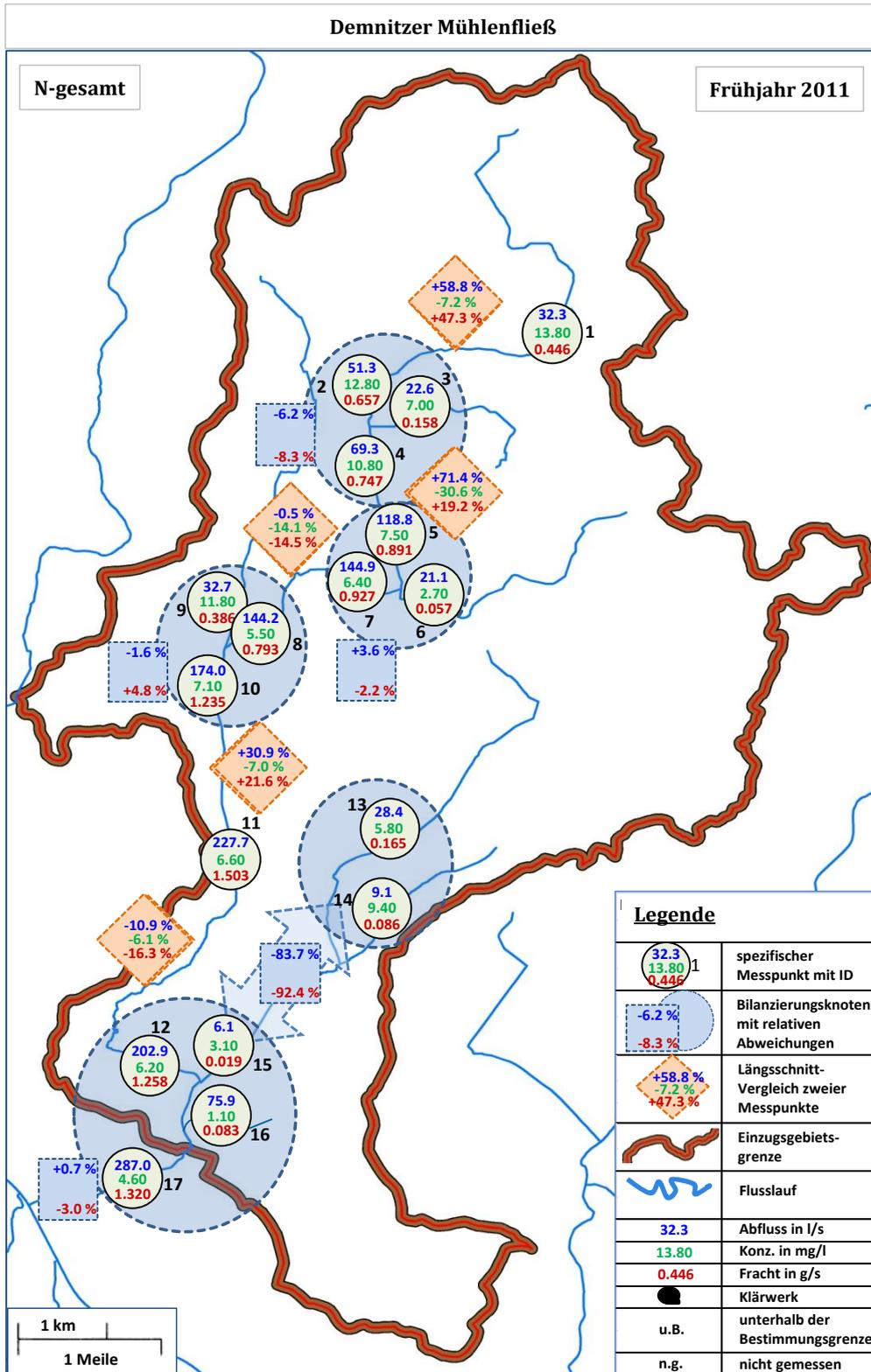


Abb. 1: Bilanzierungsknoten und Längsschnittbilanzen an ausgewählten Flussabschnitten des Demnitzer Mühlenfließes im Frühjahr 2011 für Abfluss, N-gesamt-Konzentration und N-gesamt-Fracht

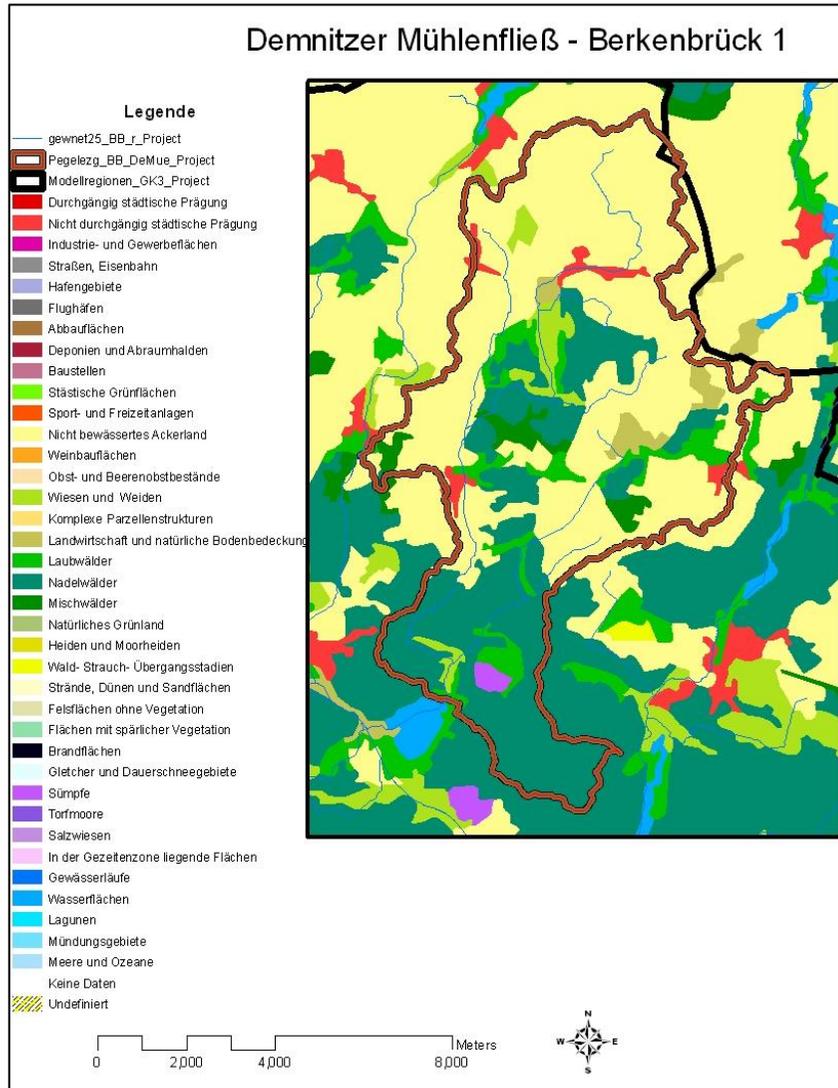


Abb. 2: Landnutzung Demnitzer Mühlenfließ/Berkenbrück 1 (Oder-Spree)

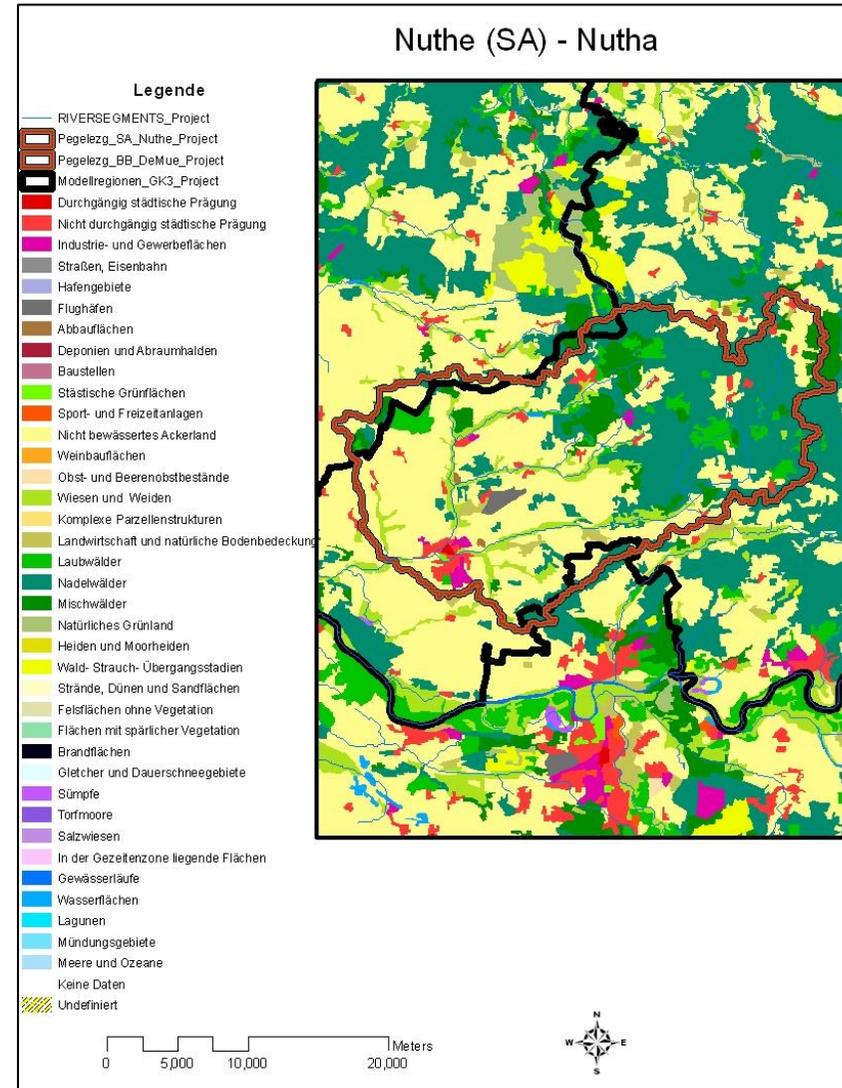


Abb. 3: Landnutzung Nuthe/Nutha (Fläming)

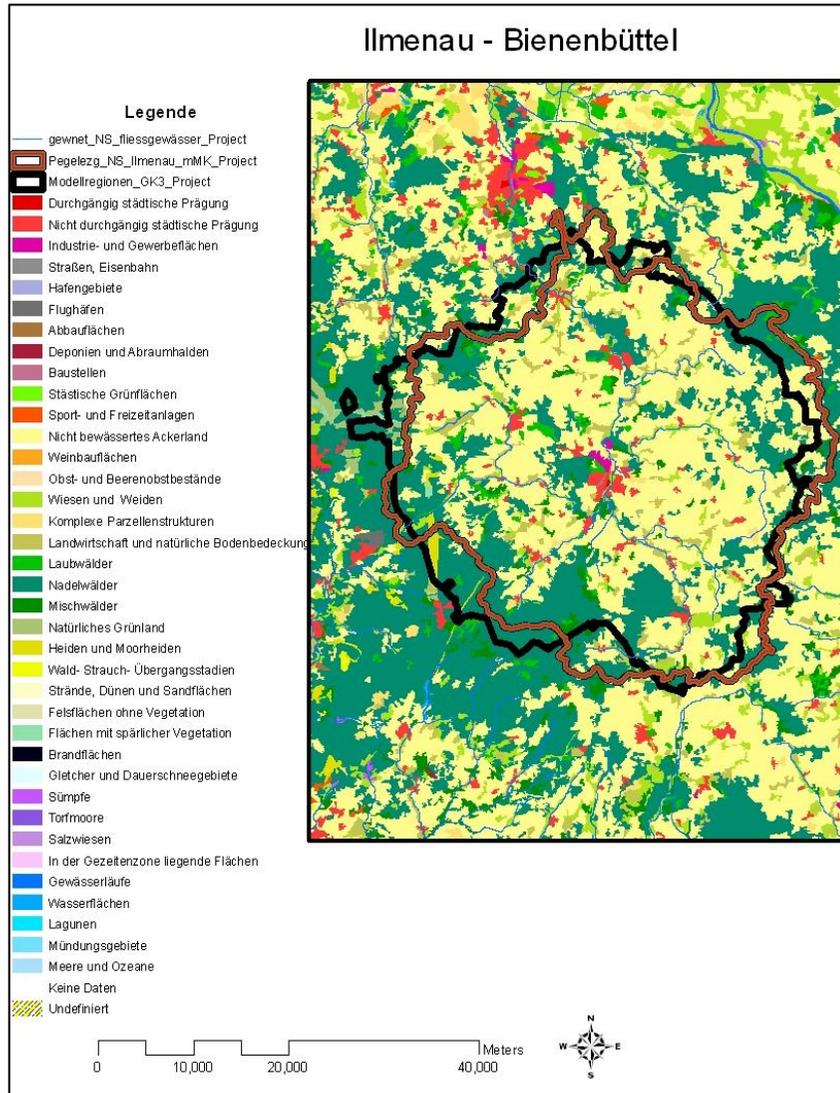


Abb. 4: Landnutzung Ilmenau/Bienenbüttel (Uelzen)

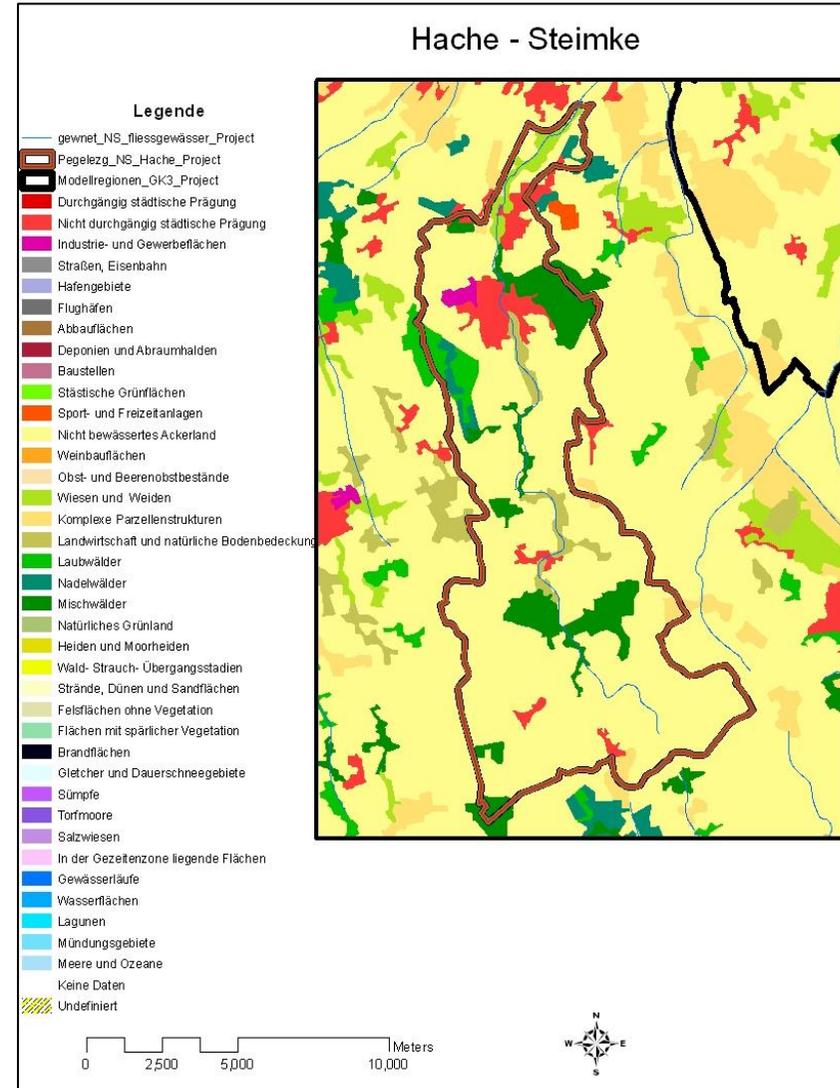


Abb. 5: Landnutzung Hache/Steimke (Diepholz)

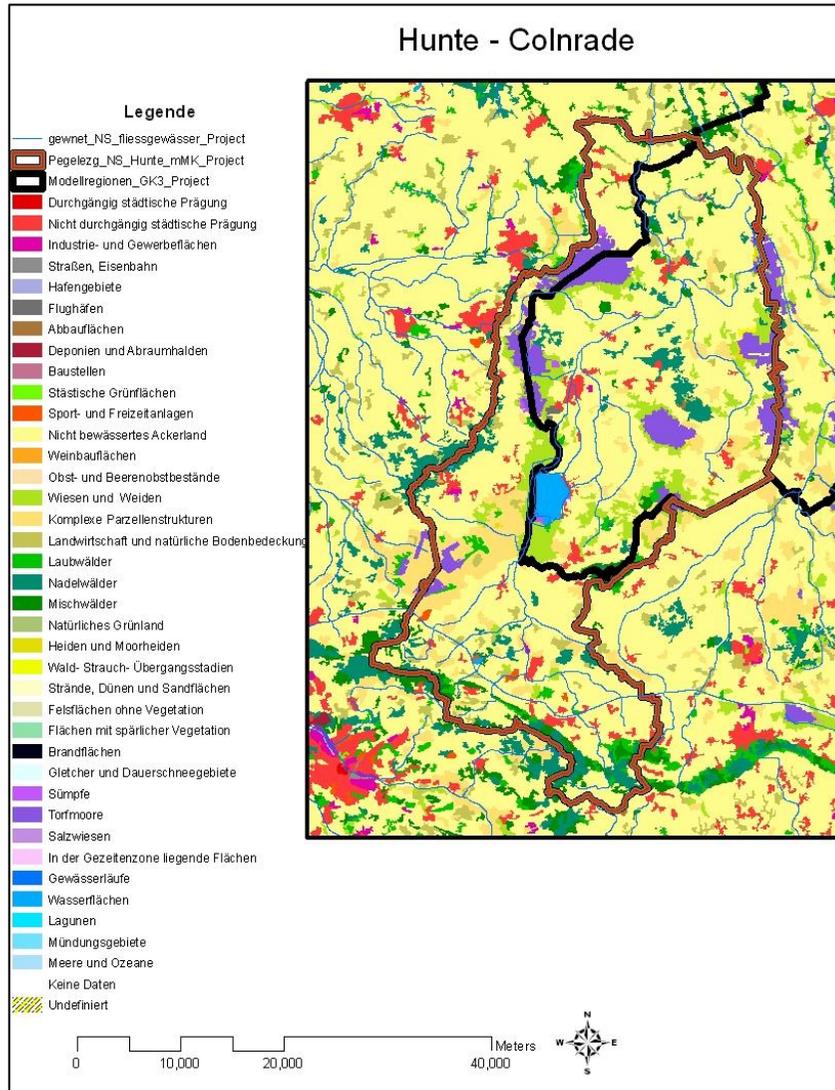


Abb. 6: Landnutzung Hunte/Colnrade (Diepholz)

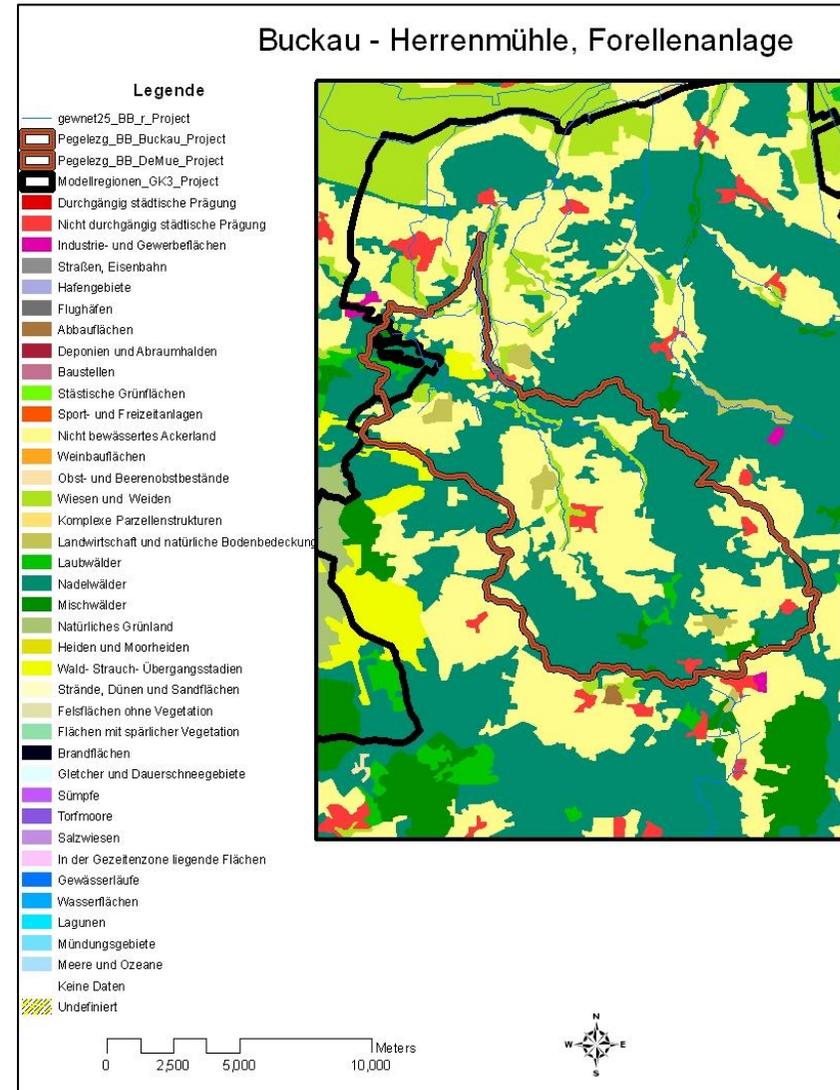


Abb. 7: Landnutzung Buckau/Herrenmühle (Fläming)

Von den vielen gemessenen bzw. im Labor bestimmten Wasserinhaltsstoffen sollen hier die Größen dargestellt und verglichen werden, die auch anschließend mit dem Modell SWAT simuliert wurden. Es handelt sich dabei um Nitrat-Stickstoff im Fließgewässer (NO_3^- -N-FG) und Ortho-Phosphat-Phosphor im Fließgewässer (o-PO_4^{3-} -P-FG). Die sich ergebenden Häufigkeitsverteilungen der Güteklassen nach LAWA (LAWA 1998; LAWA-AO 2005) wurden für die einzelnen Flussgebiete in Abbildung 8 (NO_3^- -N-FG) bzw. Abbildung 9 (o-PO_4^{3-} -P-FG) dargestellt. Der Verschmutzungsgrad entspricht dabei größtenteils den Vorgaben der EG-WRRL (EG, 2000), wird aber in einigen Teileinzugsgebieten noch nicht eingehalten. Die Häufigkeitsverteilung und damit der Verschmutzungsgrad ist in den einzelnen Flussgebieten jeweils unterschiedlich. Der Grad der Einhaltung der Vorgaben durch die EG-WRRL ist für o-PO_4^{3-} -P-FG höher als für NO_3^- -N-FG.

Anschließend wurden GIS-gestützt die Werte von NO_3^- -N-FG bzw. o-PO_4^{3-} -P-FG benutzt, um Hotspots in allen Gebieten bezüglich dieser Gewässerinhaltsstoffe zu identifizieren (Abbildungen 10 und 11). Die Grafiken gestatten auch einen groben Überblick über das Frühjahr-/Herbst-Verhalten der Stoffe. Interessant ist der Sachverhalt, dass die jeweiligen Hotspots für Konzentration, Fracht und spezifischer Fracht oft an verschiedenen Stellen im Einzugsgebiet auftreten. So deuten hohe Konzentrationen Punkt-Einleitungen von Stoffen an (z. B. Klärwerke), hohe spezifische Frachten identifizieren große Flächeneinträge und hohe absolute Frachten sind von Interesse, wenn man beim Zusammenfluss mehrerer Flüsse die Schadstoff-Leistung der einzelnen Nebenflüsse vergleichen will.

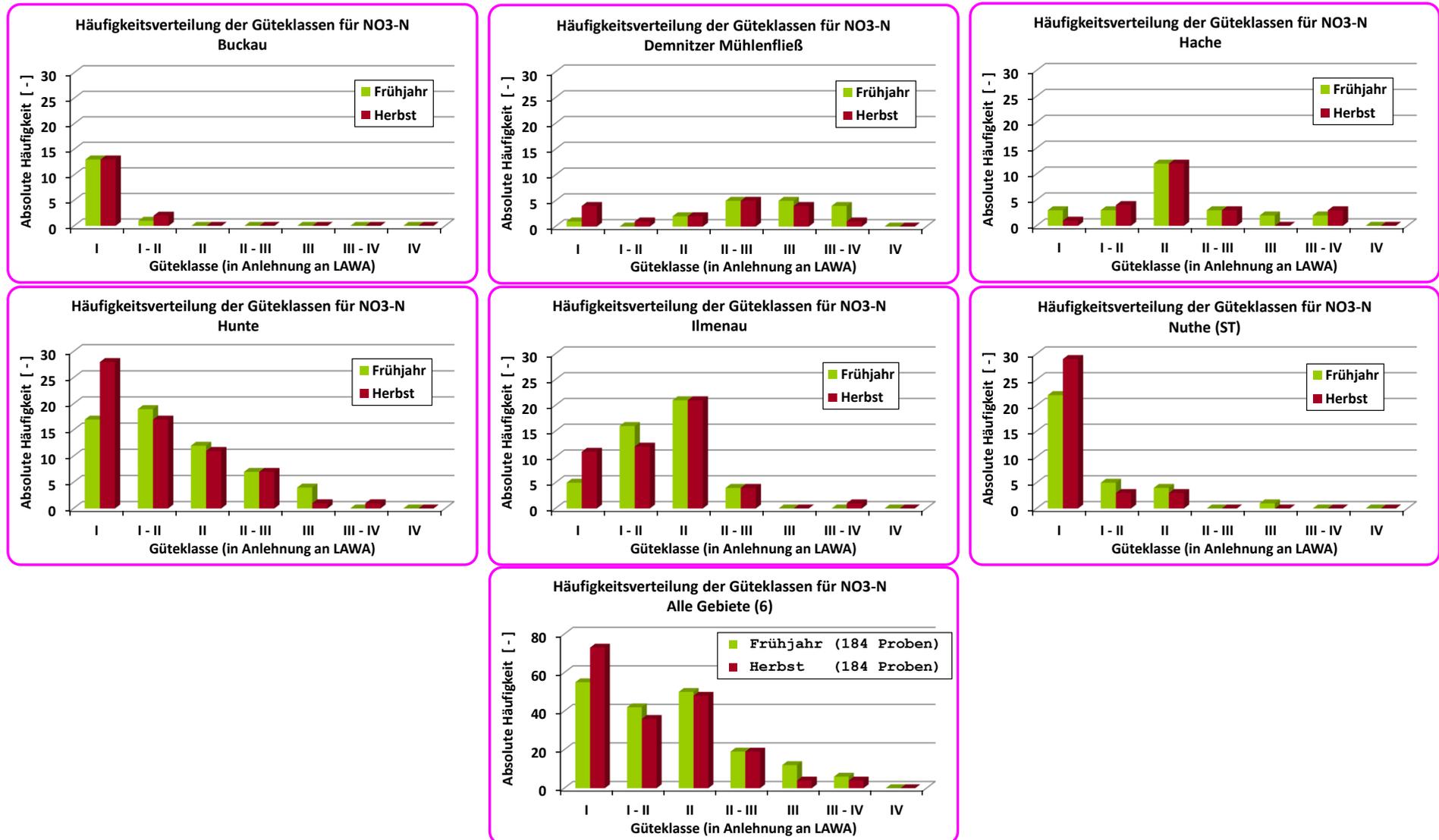


Abb. 8: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen für Nitrat-Stickstoff im Fließgewässer (NO₃⁻-N-FG) der sechs beprobten Flussgebiete des Norddeutschen Tieflandes

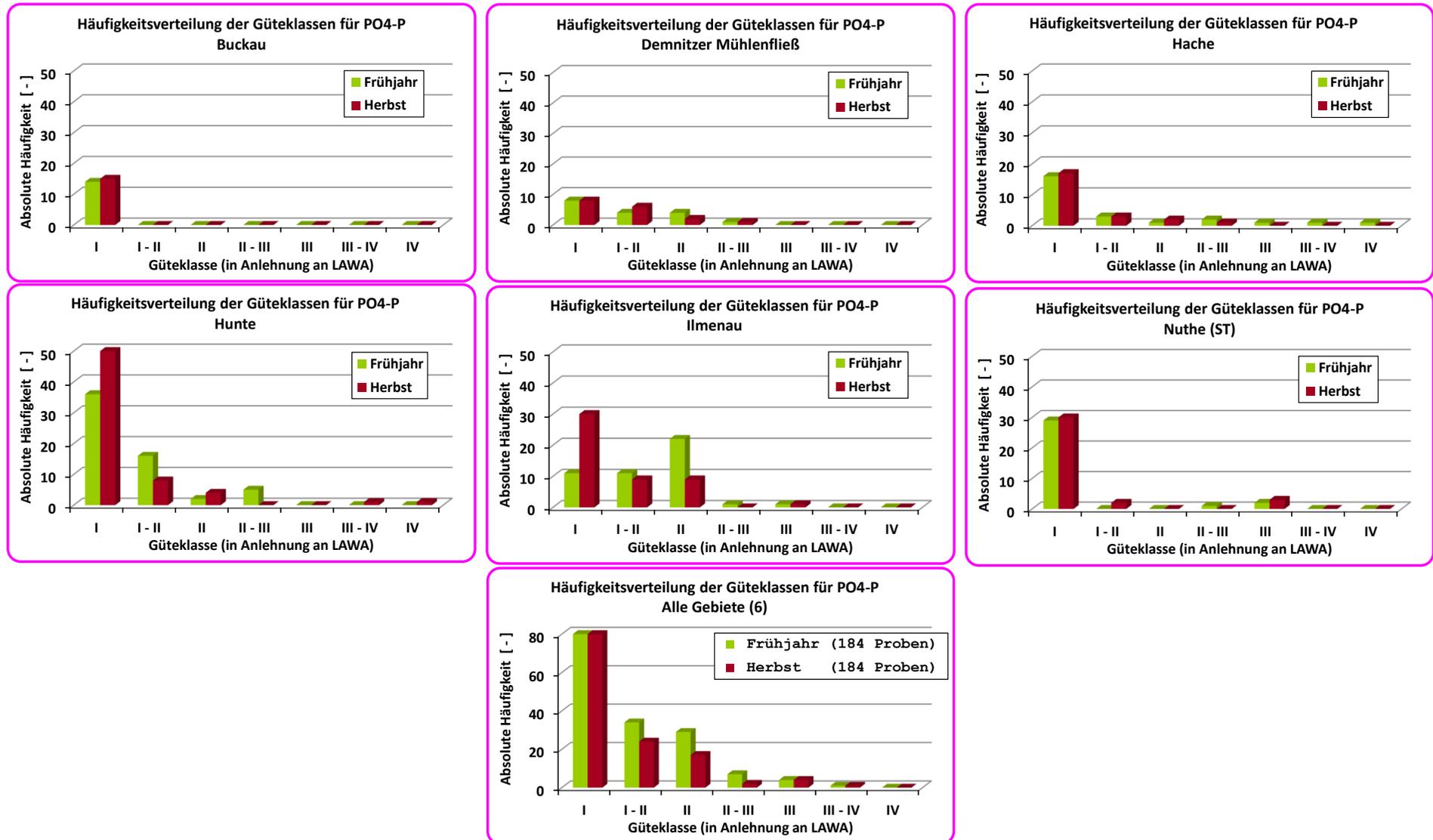


Abb. 9: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen für Ortho-Phosphat-Phosphor im Fließgewässer ($\text{o-PO}_4^{3-}\text{-P-FG}$) der sechs beprobten Flussgebiete des Norddeutschen Tieflandes

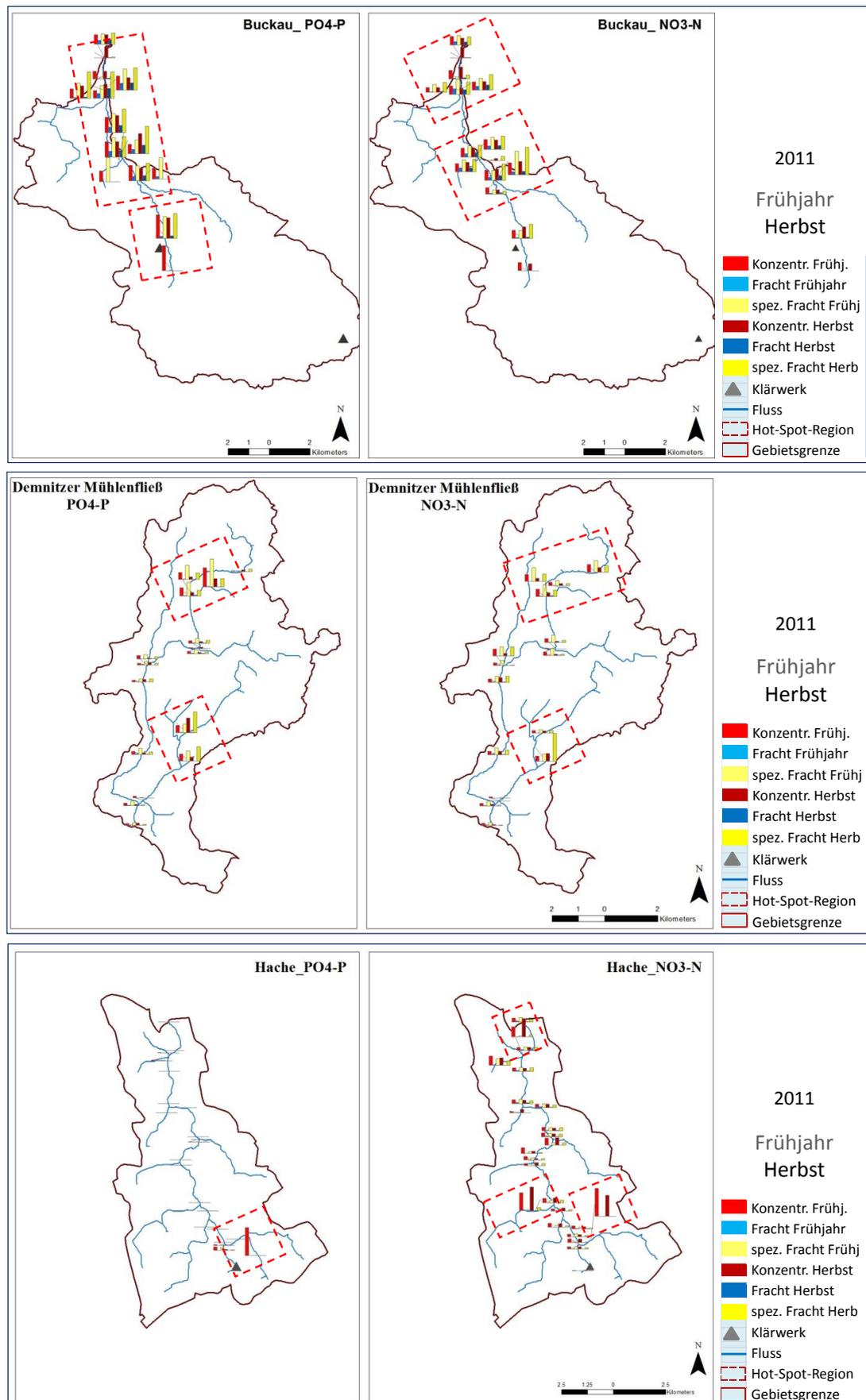


Abb. 10: Hotspots von Wassergüteparametern in Buckau/Fläming, Demnitzer Mühlenfließ/LK Oder-Spree, Hache/LK Diepholz

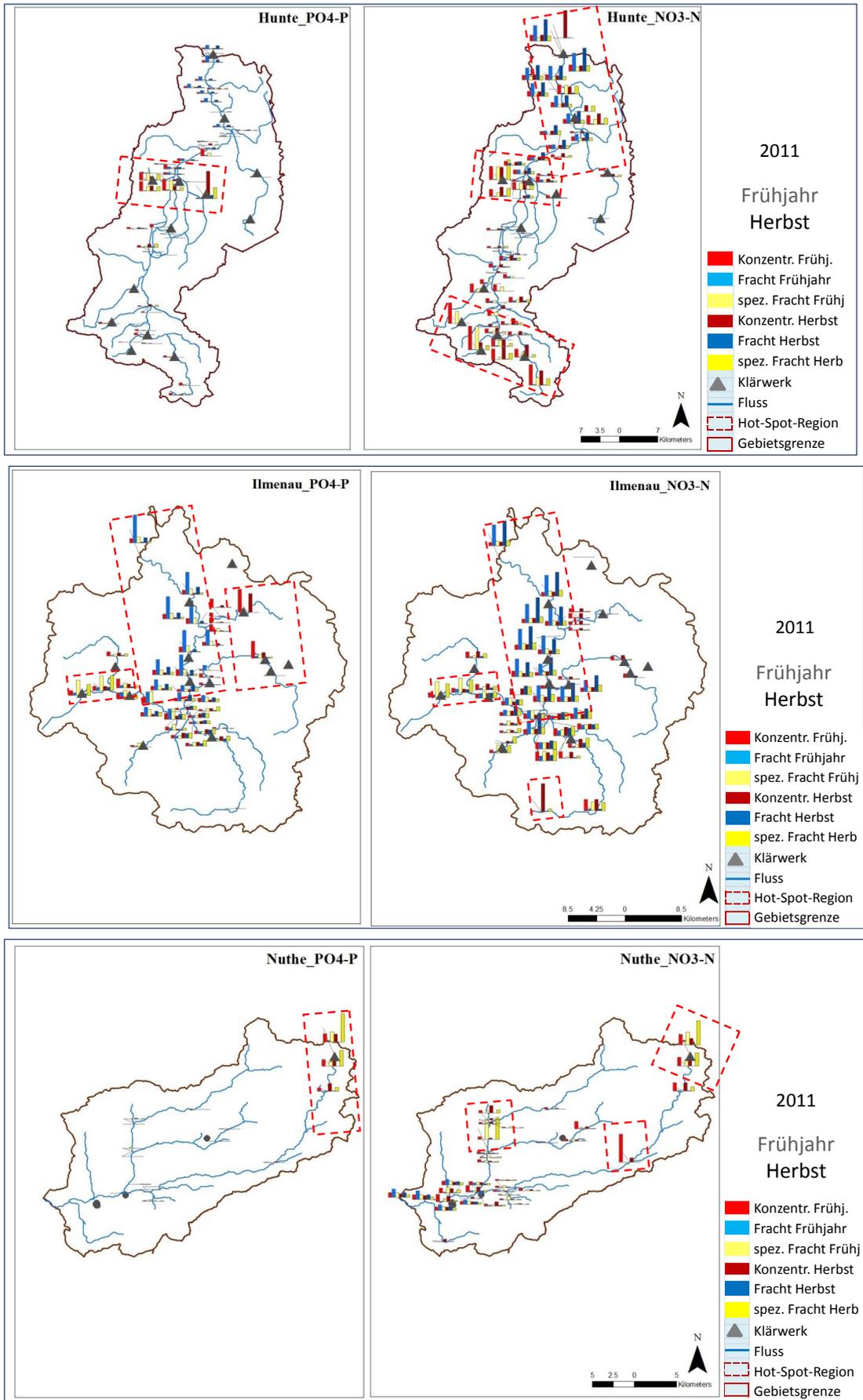


Abb. 11: Hotspots von Wassergüteparametern in Hunte/LK Diepholz, Ilmenau/LK Uelzen, Nuthe (ST)/Fläming

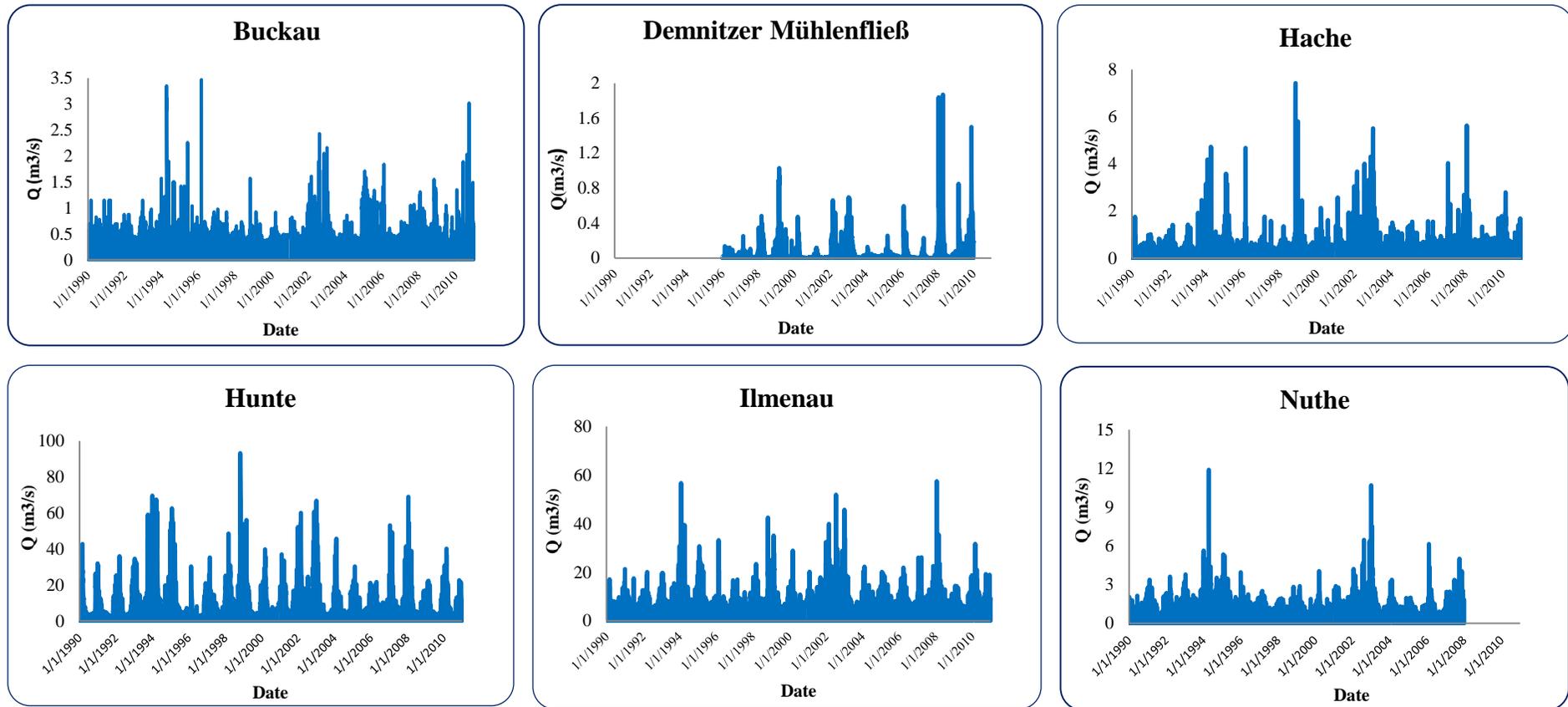


Abb. 12: Vergleich des Abflussverhaltens der sechs beprobten Flussgebiete des Norddeutschen Tieflandes (1990-2010)

1.1.2 Ergebnisse aus Zeitreihen gemessener Abflüsse (1990-2010)

Nach den In-situ-Messungen der Werte und den Laboranalysen wurden in der nächsten Phase zunächst die gemessenen Abflüsse mit den von den Behörden erhaltenen Abfluss-Zeitreihen verglichen (Abbildung 12). Man sieht, dass sich das Abflussverhalten in den einzelnen Gebieten signifikant unterscheidet. Die Flusseinzugsgebiete reagieren unter anderem unterschiedlich auf Trockenperioden.

1.1.3 Ergebnisse aus Zeitreihen gemessener Wasserinhaltsstoffe (1990-2010) – Trends

Statistische Analysen zur Ableitung von Trends der Wasserinhaltsstoffe wurden, sofern verfügbar, für den Zeitraum von 1990-2010 für $\text{o-PO}_4^{3-}\text{-P-FG}$, $\text{NO}_3\text{-N-FG}$, und $\text{P}_{\text{ges}}\text{-FG}$ durchgeführt (Tabelle 3) auf der Basis des nicht-parametrischen Kendall-Tau-Testes. Es konnten keine signifikanten Anstiege der betrachteten Parameter nachgewiesen werden. Die Trends waren entweder signifikant leicht fallend oder stagnierend. Das Verhalten der Konzentrationen der Wasserinhaltsstoffe ist in den einzelnen Gebieten aber völlig unterschiedlich (Abbildungen 13 und 14). In der Buckau wird der Wert der Wasserrahmenrichtlinie, WRRL (EG 2000), deutlich unterschritten und die Einzelwerte schwanken im saisonalen Verhalten kaum. In der Ilmenau dagegen schwanken die Konzentrationen sehr stark im saisonalen Verlauf und die Vorgabe von 2,5 mg/l wird in jedem Winter deutlich überschritten. In beiden Gebieten erfasst ein Polynom 6. Grades den zeitlichen Trend besser als ein linearer Ansatz (R^2 -Werte sind jeweils größer). Dennoch liefern beide Ansätze einen fallenden Trend.

Tab. 3: Ergebnisse von Trendanalysen einiger gemessener Wasserinhaltsstoffe aus fünf Flusseinzugsgebieten des Norddeutschen Tieflandes (Gebietsauslasspegel)

Einzugsgebiet	Parameter	Koeffizient	p-Wert	Trend
Buckau (1993 – 2010)	NO3-N	-0.559	0.002	fallend
	PO4-P	-0.598	0.001	fallend
Hache (1990 – 2008)	NO3-N	0.181	0.278	kein Trend
	PO4-P	0.158	0.358	kein Trend
	P_ges	-0.012	0.944	kein Trend
Hunte (1990 – 2010)	NO3-N	0.163	0.304	kein Trend
	PO4-P	0.077	0.629	kein Trend
	P_ges	-0.448	0.005	fallend
Ilmenau (1990 – 2009)	NO3-N	-0.509	0.002	fallend
	PO4-P	-0.600	0.001	fallend
	P_ges	-0.625	0.000	fallend
Nuthe (1993 – 2003)	NO3-N	-0.500	0.041	fallend
	PO4-P	-0.222	0.404	kein Trend
	P_ges	-0.629	0.020	fallend

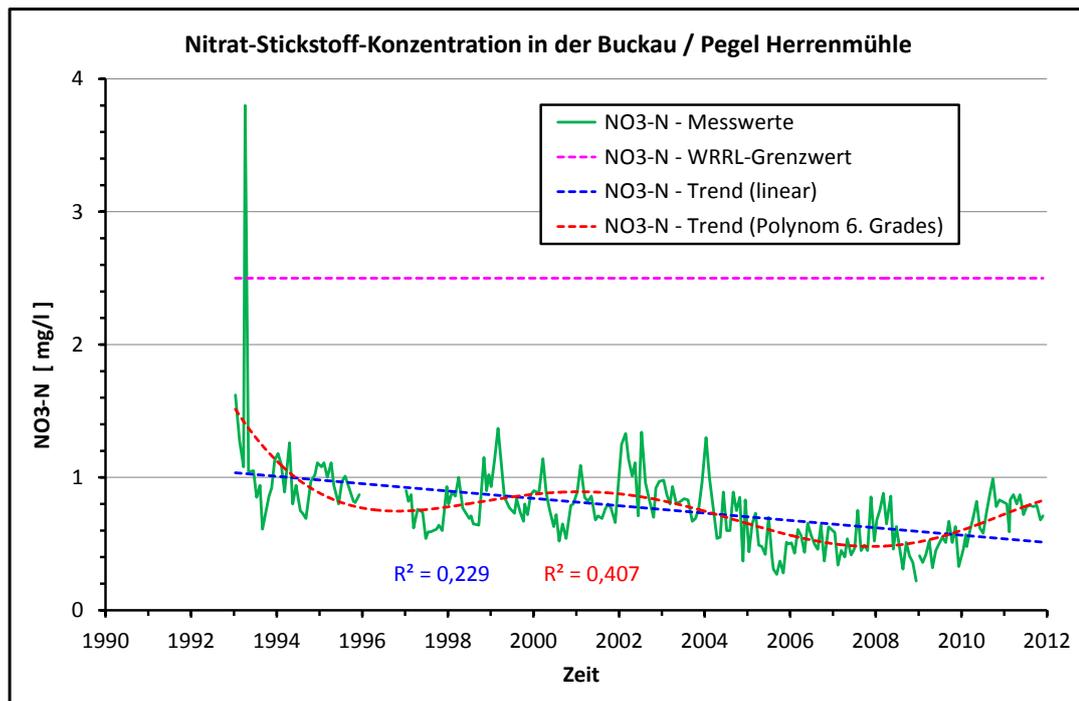


Abb. 13: Zeitlicher Verlauf der Nitrat-Stickstoff-Konzentration in der Buckau/Pegel Herrenmühle/Fläming

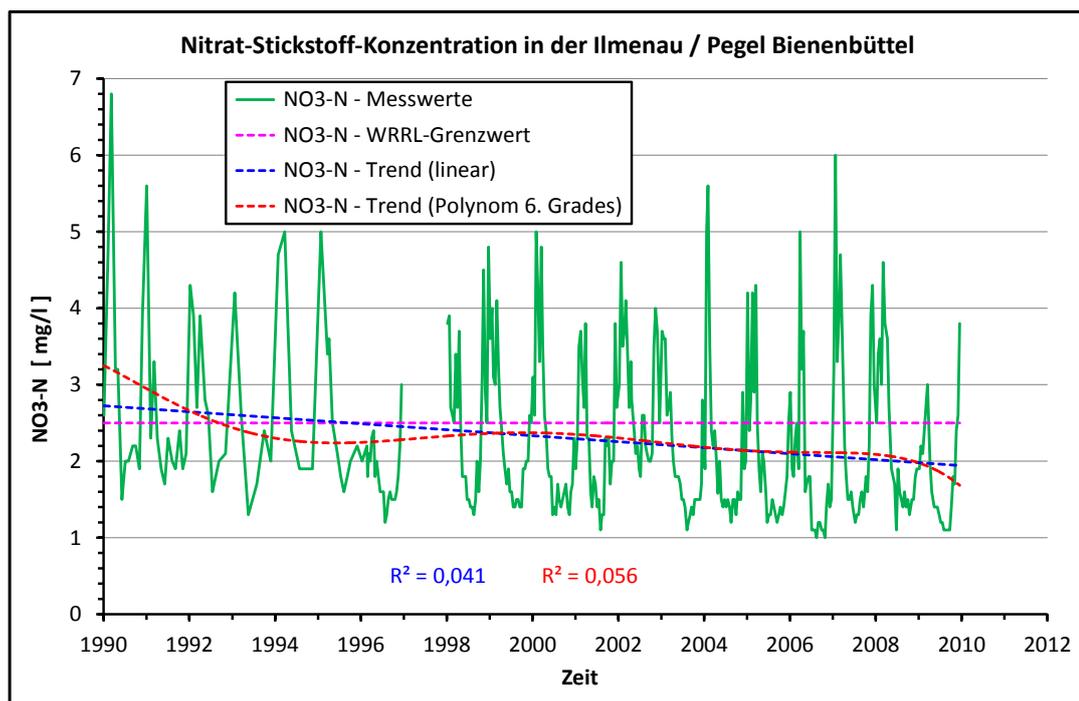


Abb. 14: Zeitlicher Verlauf der Nitrat-Stickstoff-Konzentration in der Ilmenau/Pegel Bienenbüttel/Uelzen

1.1.4 Weitere Ergebnisse

Im Rahmen der Zustandsanalyse entstanden bisher zwei Bachelor-Arbeiten (BECKMANN 2012; GRIPP 2013), eine Masterarbeit (DEBEBE 2014), drei Konferenzbeiträge (MESSAL, DEBEBE, FOHRER 2015; MESSAL, DEBEBE, FOHRER 2014; MESSAL, SCHMALZ, FOHRER 2013) und drei Poster (MESSAL, DEBEBE, FOHRER 2015; MESSAL, HASLER, FOHRER 2015; MESSAL, BECKMANN, SONG 2012).

1.2 Modellspezifische Anpassung des Modells SWAT

1.2.1 Kalibrierung der Flussgebietsmodelle – Resultate an den Gebietsauslässen

Die Kalibrierung der Einzugsgebietsmodelle der vier Flussgebiete mit dem Modell SWAT erfolgte für die Ilmenau, die Hache und die Nuthe jeweils für den Zeitraum 1995-2000 (sechs Jahre) und das Demnitzer Mühlenfließ 1996-2001 (sechs Jahre). Es wurde bei allen vier Modellen mit einer zusätzlichen Vorlaufzeit von drei Jahren gerechnet, um plausible Anfangswerte für die Parameter im jeweiligen Simulationszeitraum zu erhalten. Als Eingangsgrößen hinsichtlich der Forcing-Daten wurden Zeitreihen gemessener Klimawerte verwendet. Jedes Gebiet wurde separat angepasst. Die Kalibrierung lieferte dabei folgende Ergebnisse (Abbildungen 15 bis 18):

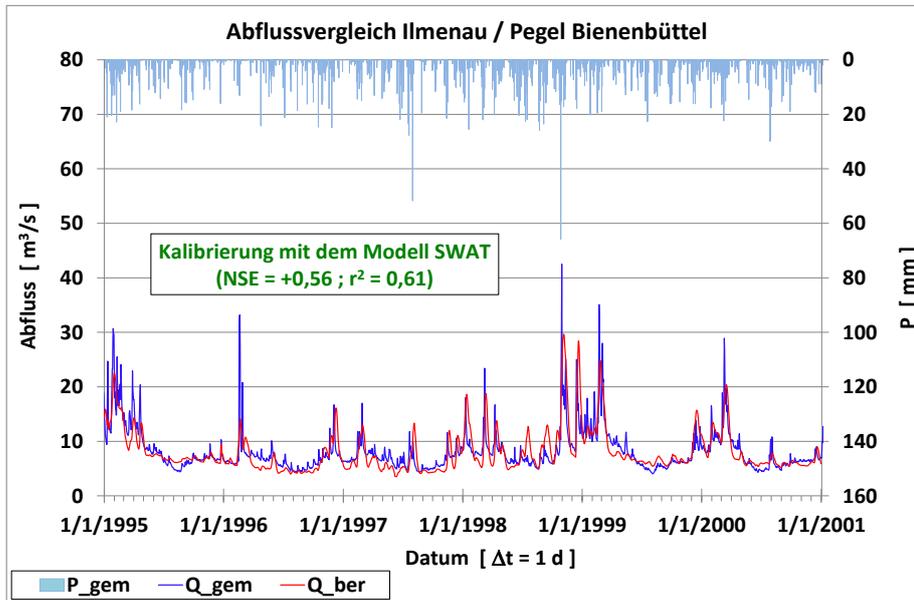


Abb. 15: Kalibrierte Abflüsse Ilmenau/Pegel Bienenbüttel/Region LK Uelzen (gemessene Klimawerte)

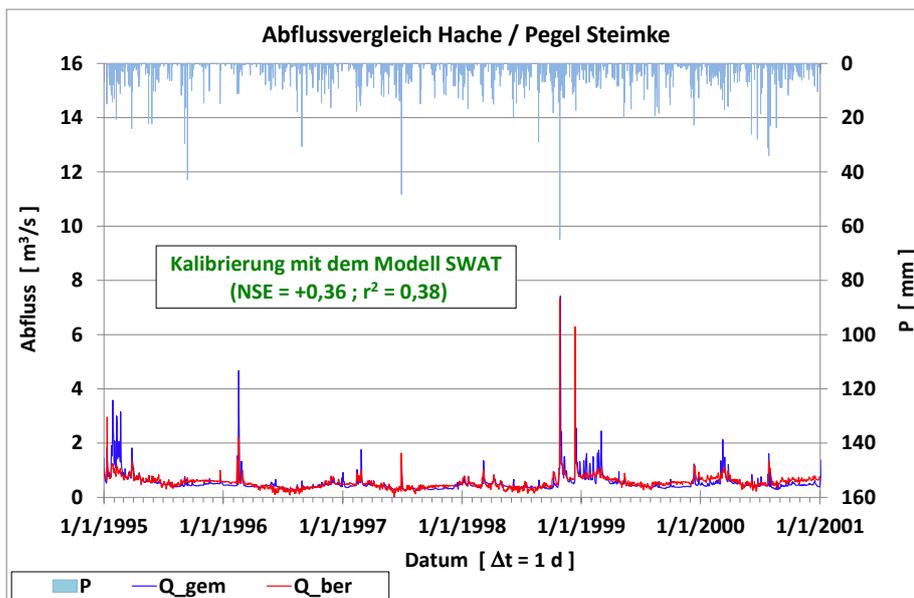


Abb. 16: Kalibrierte Abflüsse Hache/Pegel Steimke/Region LK Diepholz (gemessene Klimawerte)

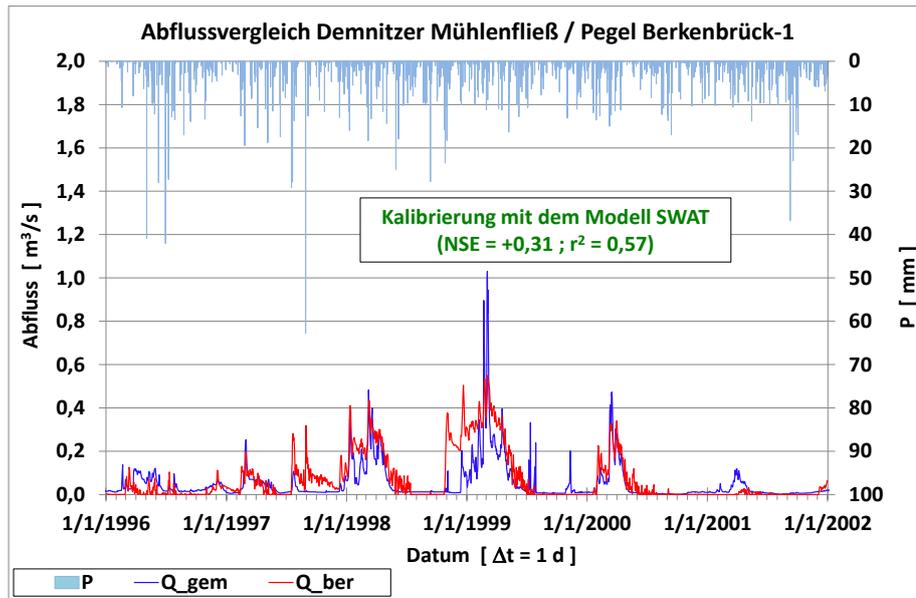


Abb. 17: Kalibrierte Abflüsse Demnitzer Mühlenfließ/Pegel Berkenbrück-1/Region LK Oder-Spree (gemessene Klimawerte)

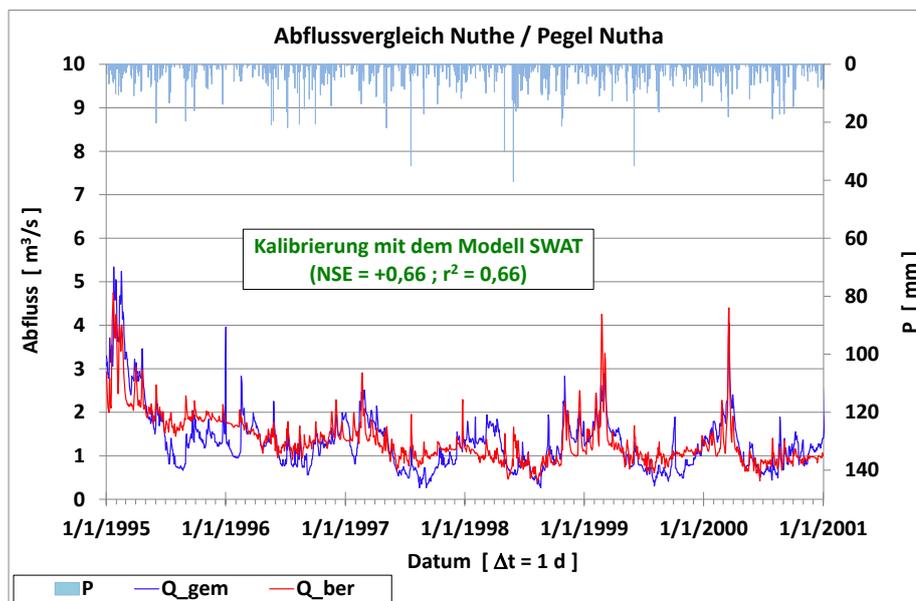


Abb. 18: Kalibrierte Abflüsse Nuthe/Pegel Nutha/Region Fläming (gemessene Klimawerte)

Die berechneten Gütekriterien der Kalibrierung enthält Tabelle 4 (siehe Abschnitt 1.2.6.1). Bei der Kalibrierung gab es bei den vier Gebieten unterschiedliche Probleme zu lösen, die für einen Gebietsvergleich zur Ableitung von Eigenschaften des Norddeutschen Tieflandes von Wichtigkeit sind. Diese sollen im Folgenden diskutiert werden.

1.2.2 Besonderheiten bei der Kalibrierung der Ilmenau

1.2.2.1 Anpassungsergebnisse in Teileinzugsgebieten

Im Ilmenau-Einzugsgebiet stimmen ober- und unterirdisches Einzugsgebiet in relativ großen Gebietsteilen nicht überein. Daraus resultiert im Südwesten ein unterirdischer Zufluss und im Osten ein unterirdischer Abfluss in das Nachbargebiet der Jeezel. Verbunden mit den höheren Niederschlägen in den westlichen Gebietsteilen gegenüber dem Osten führt dieser Sach-

verhalt im Westen des Ilmenau-Gebietes im Bereich der Lüneburger Heide zu Überschusswasser und im Ostteil zu einem Wasserdefizit im Vergleich zum Gebietsdurchschnitt. Dadurch fallen derzeit im Osten während des Sommers einige Bäche bzw. Gräben fast trocken. Es wurde versucht, mit den gegebenen Möglichkeiten (räumliche Variation eines Verlust-Parameters, der die Versickerungsrate zu tiefer liegenden Grundwasserleitern beeinflusst) das Modell SWAT auf die genannten Bedingungen des Gebietes anzupassen. Um die Anpassungen in den Teileinzugsgebieten weiter zu verbessern, müsste die Modellierung in kleineren Raumeinheiten aufgesetzt werden, was im Rahmen von NaLaMa-nT nicht möglich und für die Ableitung von Indikatoren auch nicht nötig war. Die Ergebnisse in den Teileinzugsgebieten mit dem für den Pegel Bienenbüttel kalibrierten Ilmenau-Modell sind in den Abbildungen 19 bis 22 dargestellt.

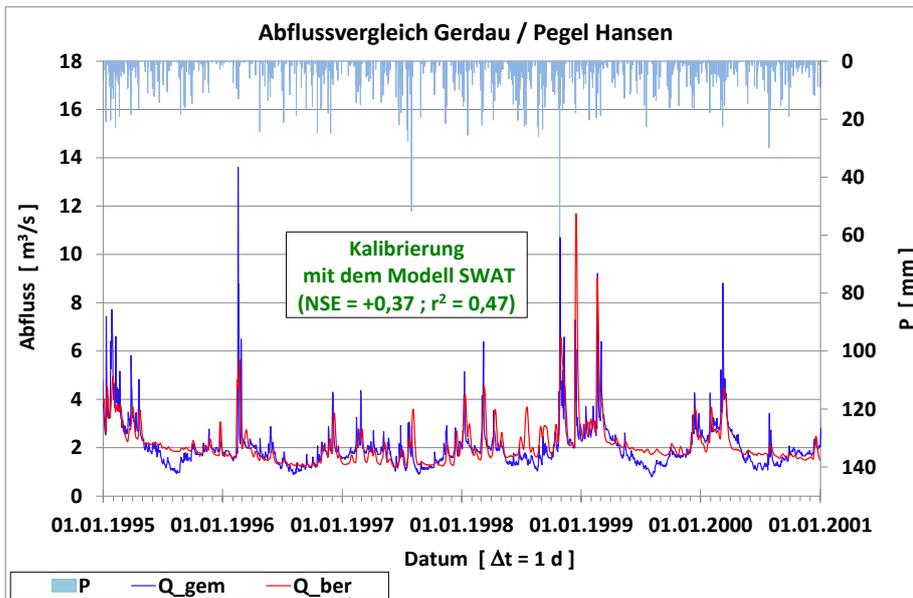


Abb. 19: Kalibrierte Abflüsse Gerdau/Pegel Hansen/Region LK Uelzen (gemessene Klimawerte)

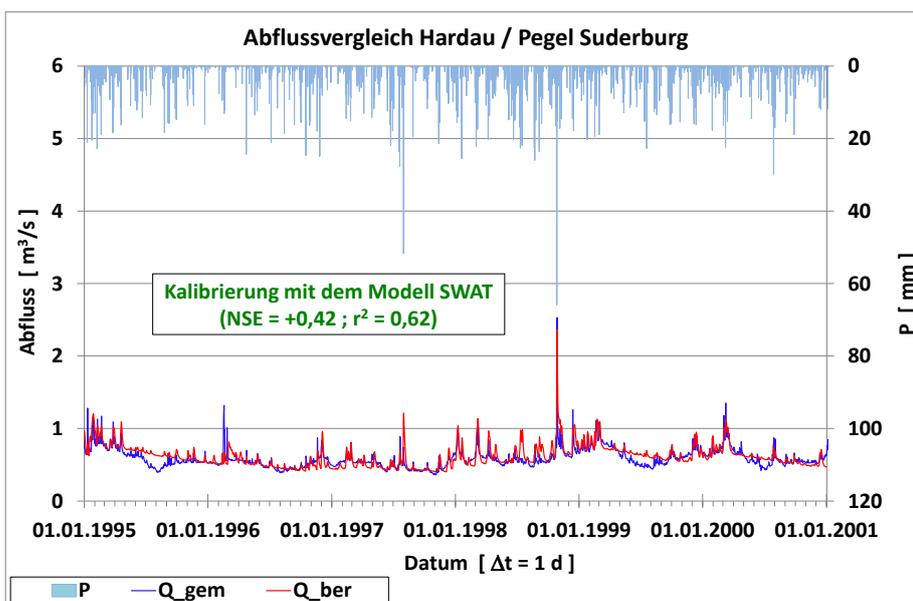


Abb. 20: Kalibrierte Abflüsse Hardau/Pegel Suderburg/Region LK Uelzen (gemessene Klimawerte)

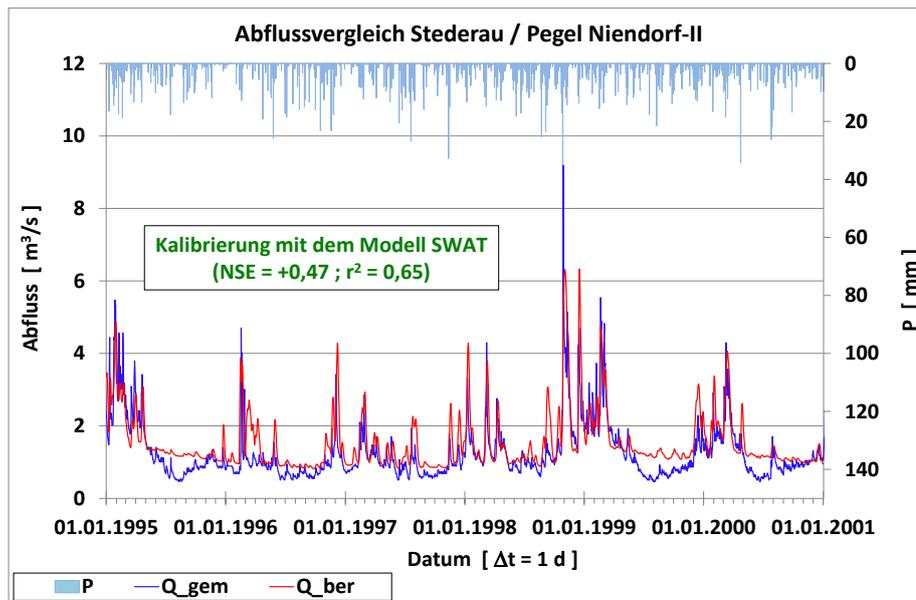


Abb. 21: Kalibrierte Abflüsse Stederau/Pegel Niendorf-II/Region LK Uelzen (gemessene Klimawerte)

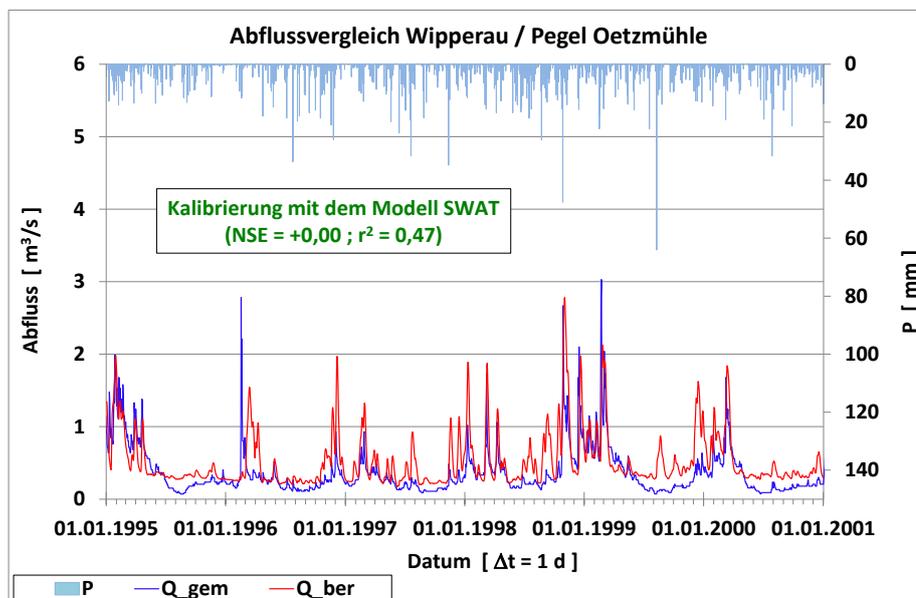


Abb. 22: Kalibrierte Abflüsse Wipperau/Pegel Oetzmühle/Region LK Uelzen (gemessene Klimawerte)

1.2.2.2 Schneeschmelzmodellierung bei gefrorenem Boden

In den Gebieten Ilmenau und Hache traten in der gewählten Kalibrierungsperiode (1995-2000) jeweils mehrere Teilperioden auf, in denen jeweils größere Mengen an Regen fielen, Schneeschmelze durch höhere Lufttemperaturen einsetzte und gleichzeitig der Boden gefroren war. Im Modell infiltrierte das Wasser zunächst, in der Realität aber floss es auf dem gefrorenen Boden als Oberflächenabfluss in den Vorfluter und löste dort hohe Abflussspitzen aus (Abbildungen 15 und 16). Die Effekte traten auch in den einzelnen Nebenflüssen der Ilmenau in Erscheinung (z. B. Gerdau/Hansen). Während das große Herbsthochwasser Ende Oktober 1998 in beiden Gebieten relativ gut nachgebildet wird, werden die winterlichen Abflüsse der Simulationen Anfang 1995, im Februar 1996 und im Dezember 1998 unterschätzt.

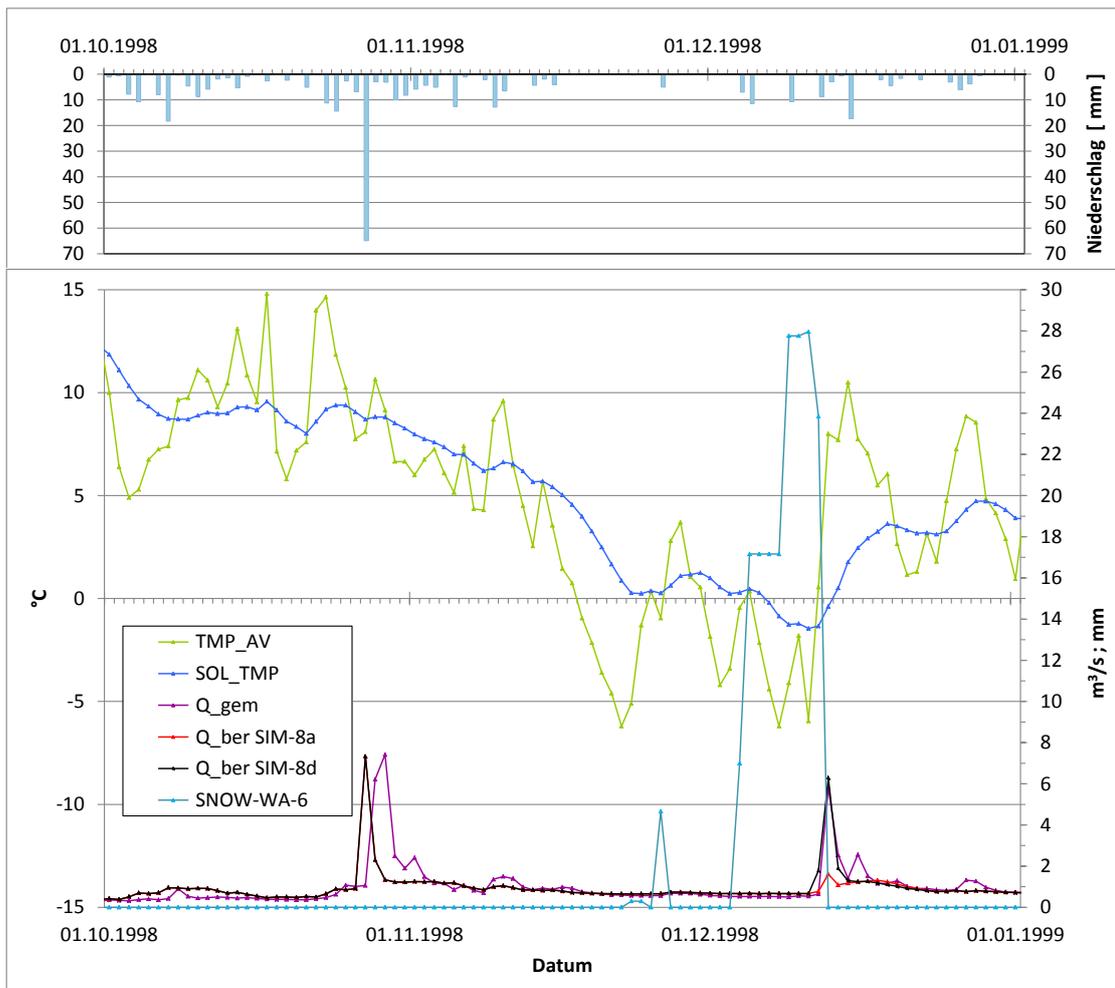


Abb. 23: Einfluss des Parameters CN_FROZ auf den Abfluss,

Hache/Pegel Steimke/Region LK Diepholz:

- Q_gem – gemessener Abfluss (violett)
- $Q_ber\ SIM-8a$ – berechneter Abfluss mit $CN_FROZ = 0,0008$ (rot)
- $Q_ber\ SIM-8d$ – berechneter Abfluss mit $CN_FROZ = 0,0003$ (schwarz)
- TMP_AV – mittlere Lufttemperatur (grün)
- SOL_TMP – Bodentemperatur (blau)
- $SNOW-WA-6$ – Wassergehalt der Schneedecke (hellblau)

Abbildung 23 zeigt am Beispiel der Hache den Einfluss des Parameters CN_FROZ auf den Abflussverlauf, insbesondere am 13.12.1998. Durch den Anstieg der Lufttemperatur (TMP_AV) schmilzt die Schneedecke im Modell völlig ab ($SNOW-WA-6$). Der Boden ist aber noch gefroren (SOL_TMP). Beim Standard-Parametersatz ($CN_FROZ = 0,0008$) infiltriert die gesamte Wassermenge in den Boden und der Abfluss bleibt niedrig ($Q_ber\ SIM-8a$). Mit $CN_FROZ = 0,0003$ wird der dynamische CN -Wert so weit angehoben, dass das Wasser nun oberflächlich abfließt und direkt in den Vorfluter gelangt ($Q_ber\ SIM-8d$). Diese Art der Parameteranpassung führte in der gesamten Kalibrierungsperiode (1995-2000) der Ilmenau zu der Abbildung 15 und in der Hache zur Abbildung 16. In beiden Fällen trat in den jeweiligen drei kritischen Perioden eine deutliche Verbesserung der Anpassung ein. Da in einigen Nebenflüssen eine Verschlechterung der Anpassungsgüte auftrat, wurde der Parameter CN_FROZ nachjustiert.

Wie sensitiv die Kalibrierung in der Modellierung der Bodentemperatur in Verbindung mit Schneeschmelze ist, zeigt ein Vergleich der Abbildungen 22 und 24 in der Wipperau/Oetzmühle. Während die Abflussspitze im Februar 1996 in Abbildung 22 überhaupt nicht getroffen wird, bewirkt ein leicht geänderter Parameter CN_FROZ eine vollständige Anpassung der Abflussspitze, führt aber gleichzeitig zu einer totaler Überschätzung der drei großen Abflüsse im Winterhalbjahr 1998/1999, was zu einer Verschlechterung der gesamten Anpassungsgüte führt (Abbildung 24). Mit dem ursprünglichen CN_FROZ wurden zumindest zwei der drei Abflussspitzen im Winterhalbjahr 1998/1999 gut getroffen. Hier besteht definitiv noch Forschungsbedarf. Ergebnisse zur Modellierung der Schneeschmelze mit dem Modell SWAT wurden bereits veröffentlicht (MESSAL 2016).

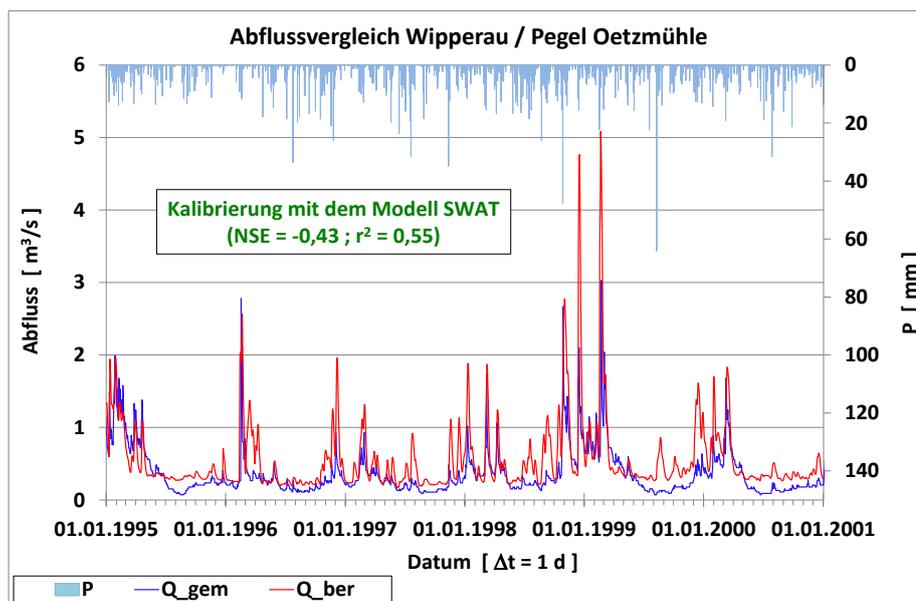


Abb. 24: Abflüsse Wipperau/Pegel Oetzmühle/Region LK Uelzen (gemessene Klimawerte); Parameter CN_FROZ variiert

1.2.3 Besonderheiten bei der Kalibrierung der Hache

Hinsichtlich des Zusammenwirkens von Schneeschmelze auf gefrorenem Boden traten in der Kalibrierungsperiode die gleichen Probleme wie in der Ilmenau auf, weil in Niedersachsen großflächig die gleichen Wetterbedingungen auftraten. Einige kleinere Gräben im Oberlauf der Hache weisen im Sommer keinen messbaren Abfluss auf. Ein Landwirt sperrt zudem einen kleinen Graben zeitweise ab.

1.2.4 Besonderheiten bei der Kalibrierung des Demnitzer Mühlenfließes

Die Modellierung, insbesondere die Kalibrierung des Demnitzer Mühlenfließes wurde dadurch erschwert, dass in der flussabwärts gelegenen zweiten Gehäufthälfte nur noch wenig Abfluss gebildet wird, der oberflächlich über den Pegel abfließt. Das lässt sich durch einen Vergleich des Gebietsauslasspegels Berkenbrück-1 (Abbildung 17) mit dem Landespegel Demnitz bei etwa 50% der Gehäufthfläche (Abbildung 25) belegen. Beide Gehäufthlinien des Abflusses sind nahezu gleich bzw. kohärent, wenn man die Fließzeit zwischen beiden Pegeln berücksichtigt. Der unterirdische Abfluss entsteht durch eiszeitliche unterirdische Rinnen bzw. Barrieren, die den Abfluss unter Flur direkt zur Spree fließen lassen.

Darüber hinaus gibt es kurz vor dem Landespegel Demnitzer Mühlenfließ/Demnitz einen kleinen Graben, der das Gebiet mit einem benachbarten Einzugsgebiet verbindet. Er hat wenig Gefälle, aber es scheint, dass in Abhängigkeit von der hydrologischen Situation bestimmte Wassermengen in dieses Gebiet fließen können. Quantitative Angaben liegen nicht vor.

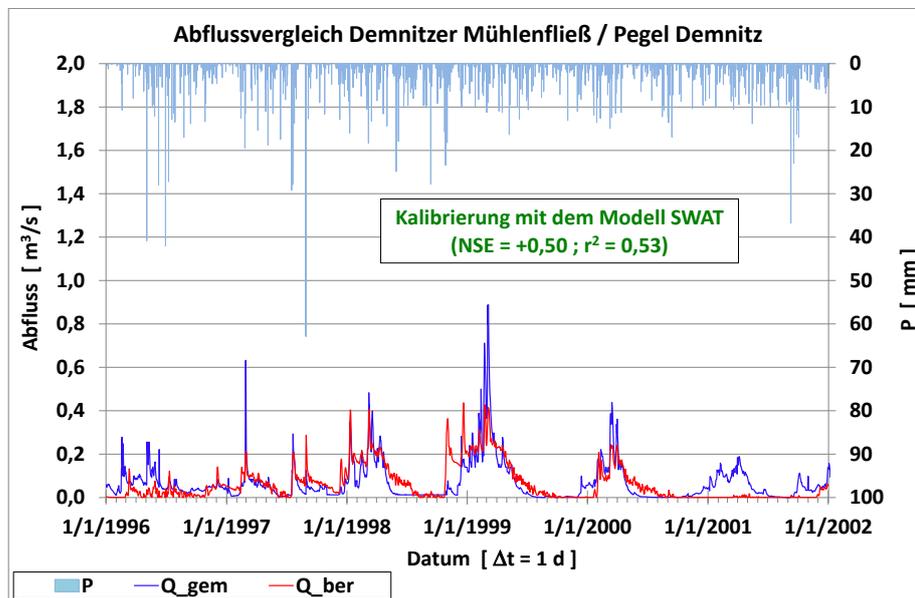


Abb. 25: Kalibrierte Abflüsse Demnitzer Mühlenfließ/Pegel Demnitz/Region LK Oder-Spree (gemessene Klimawerte)

1.2.5 Besonderheiten bei der Kalibrierung der Nuthe

Das SWAT-Modell erstreckt sich in der Nuthe bis zum Pegel Walternienburg, dessen Einzugsgebiet um ca. 12% größer ist als das Gebiet am Pegel Nutha. Nur für letzteren lagen aber gemessene Abflusszeitreihen vor. Auch die Wasserinhaltsstoffe wurden hier bilanziert, um entsprechende Stofffrachten berechnen zu können. Diese Vorgehensweise war notwendig, weil die Abflüsse sowohl in die Wassermengen- als auch in die Wassergütebilanzierung eingehen. Die Stoffkonzentrationen wurden mit den Messwerten vom Pegel Walternienburg verglichen. Im oberen Einzugsgebietsteil versickert die Nuthe, die hier Seegraben heißt, vollständig und entspringt am Fuße des Flämings in Form der Boner Nuthe, eines Nebenflusses der Nuthe, neu. Die Nuthe ist stark nutzungsbeeinflusst durch Wasserfassungen für die Trinkwassergewinnung.

1.2.6 Validierung der Flussgebietsmodelle

1.2.6.1 Allgemeine Bemerkungen zur Validierung

Die Validierung erfolgte für alle vier Gebiete ab dem Zeitpunkt 1.1.2005 mit einer Vorlaufzeit von jeweils drei Jahren. Für die Ilmenau und die Hache ergab sich daraus ein Validierungszeitraum von jeweils sechs Jahren und wegen fehlender Daten für die Nuthe nur drei Jahre und für das Demnitzer Mühlenfließ drei Jahre und zehn Monate. Eine Zusammenfassung aller Gütekriterien, die im Rahmen der Kalibrierung bzw. der Validierung ermittelt wurden, enthält Tabelle 4. Zur Bewertung der Validierungsergebnisse der einzelnen Flussgebiete werden im Folgenden neben der visuellen Beurteilung die Nash-Sutcliffe-Effizienz (NSE), das Bestimmtheitsmaß (r^2) und das simulierte Abflussvolumen der jeweiligen Zeitreihe (Vol in %) herangezogen.

Tab 4: Zusammenfassung der Gütekriterien aus Kalibrierung und Validierung von Abflusszeitreihen aus vier Flusseinzugsgebieten des Norddeutschen Tieflandes

Güte-Wert	Flussgebiet / Pegel / Region							
	Ilmenau / Bienenbüttel / LK Uelzen		Hache / Steimke / LK Diepholz		Demnitzer Mühlenfließ / Berkenbrück-1 / LK Oder-Spree		Nuthe / Nutha / Fläming	
	Kal	Val	Kal	Val	Kal	Val	Kal	Val
NSE	0.56	0.21	0.36	0.44	0.31	0.58	0.66	0.26
r ²	0.61	0.50	0.38	0.45	0.57	0.59	0.66	0.51
PBIAS	0.01	0.24	-0.04	0.02	-0.33	-0.15	-0.03	-0.14
RSR	0.66	0.89	0.80	0.75	0.83	0.65	0.59	0.86
RMSE	2.61	3.42	0.31	0.22	0.07	0.11	0.42	0.56
MAE	8.06	6.62	0.55	0.58	0.07	0.08	1.36	1.45
MRE	0.01	-0.23	0.10	0.02	0.72	0.42	0.14	0.25
MARE	0.19	0.26	0.24	0.18	1.78	1.39	0.31	0.36
RMSRE	0.25	0.30	0.34	0.24	4.05	2.20	0.43	0.55
Vol [%]	98.8	76.4	103.7	97.8	132.8	114.7	102.9	114.2

1.2.6.2 Validierung der Ilmenau

Zur Beurteilung der Validierung müssen die Abbildungen 15 und 26 verglichen werden. Man erkennt sowohl visuell als auch an den Gütekriterien, dass die Validierung schlechtere Simulationsergebnisse liefert als die Kalibrierung. Die Peaks mit Ausnahme der beiden Winterhochwasser und die Dynamik beider Simulationen sind jedoch ähnlich. Dagegen ist das simulierte Abflussvolumen der Zeitreihe (Vol) der Validierung aber mit 76,4% deutlich zu gering. Das kann auch visuell beurteilt werden, weil die validierte Zeitreihe im Vergleich zur gemessenen im Niveau generell tiefer liegt. Hier liegen die Ursachen sowohl für die Verschlechterung der Validierung als auch für den schlechteren NSE- bzw. r²-Wert begründet. Die Zusammenhänge lassen darauf schließen, dass in den drei Jahren Vorlauf die einzelnen Wasserspeicher des Modells nicht adäquat gefüllt wurden. Am Ende der Kalibrierungsperiode ist ein derartiges Defizit nicht erkennbar. Der Vorlauf der Validierung konnte jedoch zeitlich nicht ausgedehnt werden, da beide Simulationsperioden hydrologisch möglichst unabhängig voneinander sein sollten.

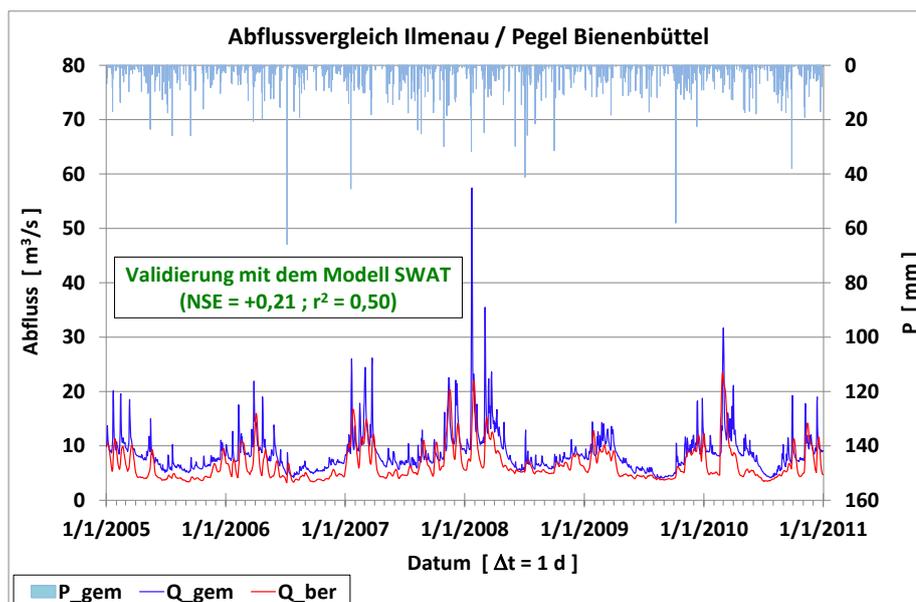


Abb. 26: Validierte Abflüsse Ilmenau/Pegel Bienenbüttel/Region LK Uelzen (gemessene Klimawerte)

Die nicht ausreichend simulierten beiden Peaks der Kalibrierungs- bzw. Validierungszeitreihe, die beide hauptsächlich durch Schneeschmelze entstanden sind, zeigen, dass offensichtlich die Variation des Parameters CN_FROZ (siehe Abschnitt 1.2.2.2) allein nicht ausreicht, um derartig große Winterhochwasser adäquat abzubilden.

1.2.6.3 Validierung der Hache

Ein Vergleich der Abbildungen 16 (Kalibrierung) und 27 (Validierung) offenbart ein ähnliches Modellverhalten in beiden Simulationsperioden. Rein rechnerisch sind alle Gütekriterien bei der Validierung etwas besser gegenüber der Kalibrierung (siehe Tabelle 4). Trotzdem ergibt die visuelle Beurteilung, dass noch Defizite in der Simulation, beispielsweise der Winterhochwasser im Januar 2007 und Januar 2008 der Validierungsperiode, bestehen.

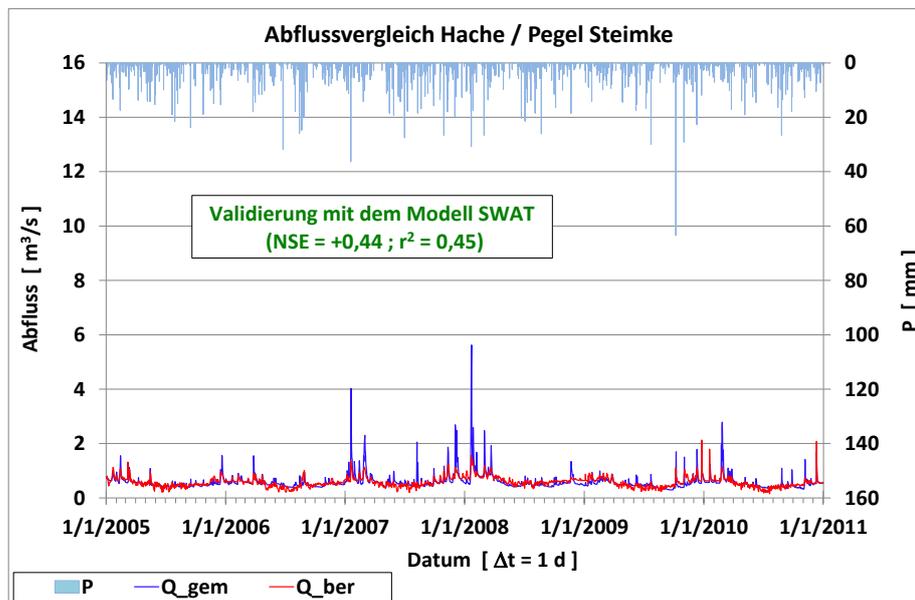


Abb. 27: Validierte Abflüsse Hache/Pegel Steimke/Region LK Diepholz (gemessene Klimawerte)

1.2.6.4 Validierung des Demnitzer Mühlenfließes

Für das Demnitzer Mühlenfließ (Abbildungen 17 [Kalibrierung] und 28 [Validierung]) sind die Ergebnisse mit denen der Hache vergleichbar. Bei einer ähnlichen Dynamik sind die berechneten Gütekriterien der Validierung (siehe Tabelle 4) gegenüber der Kalibrierung etwas besser, aber die visuelle Beurteilung lässt noch Defizite in der Simulation erkennen. Hier zeigt sich dies am Beispiel der Hochwasser im Januar und April 2008. Beide Hochwasser sind aber die größten, die jemals im Demnitzer Mühlenfließ gemessen wurden (HHQ). Große Wassermengen flossen zudem am Pegel vorbei und die Abflüsse mussten von der Behörde geschätzt werden. Relativierend sollte noch einmal erwähnt werden, dass normalerweise etwa 50% des modellierten Einzugsgebietes des Demnitzer Mühlenfließes nicht über den Pegel entwässern. Das war auch während der Kalibrierungsperiode der Fall. Während des oben genannten HHQ in der Validierungsperiode war der Abfluss am Pegel Berkenbrück-1 (Gebietsausgang) jedoch doppelt so groß wie an dem erwähnten Zwischenpegel (Demnitz).

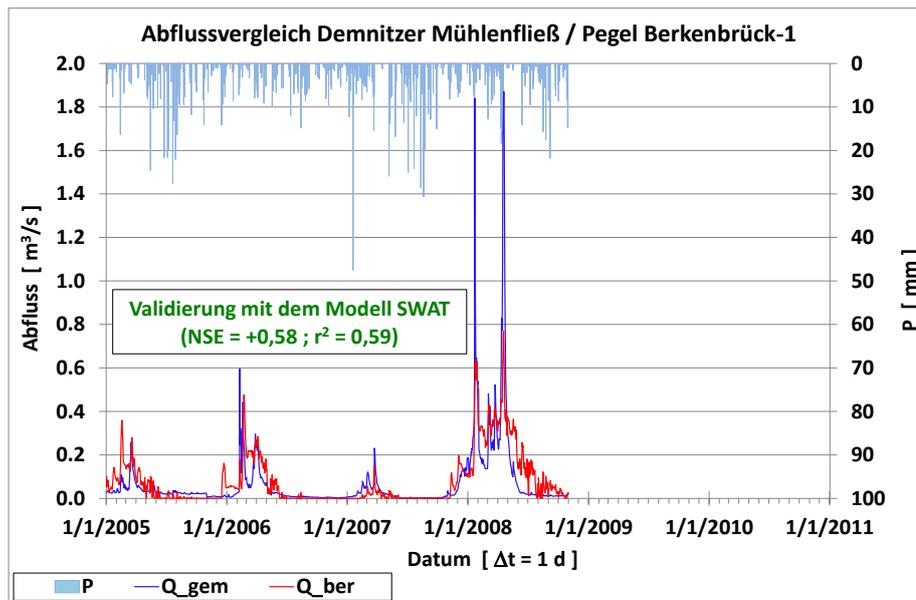


Abb. 28: Validierte Abflüsse Demnitzer Mühlenfließ/Pegel Berkenbrück-1/Region LK Oder-Spree (gemessene Klimawerte)

1.2.6.5 Validierung der Nuthe

Ein visueller Vergleich der Kalibrierung (Abbildung 18) mit der Validierung (Abbildung 29) offenbart ein ähnliches Verhalten in der Abflussdynamik. Der nur befriedigende *NSE*-Wert von 0,26 der Validierung kommt dadurch zustande, dass das Winterhochwasser 2006 stark verzögert und ein Sommerhochwasser 2007 stark überschätzt simuliert wurden. Die Nuthe weist eine ganze Reihe von Wehren auf, deren zeitweise Steuerung Verzögerungen des Abflusses nach sich ziehen können. Die Wasserfassungen für die Wasserversorgung der Stadt Magdeburg stören ebenfalls das Abflussregime. Diese Störungen wurden in der Modellkalibrierung nur statisch erfasst.

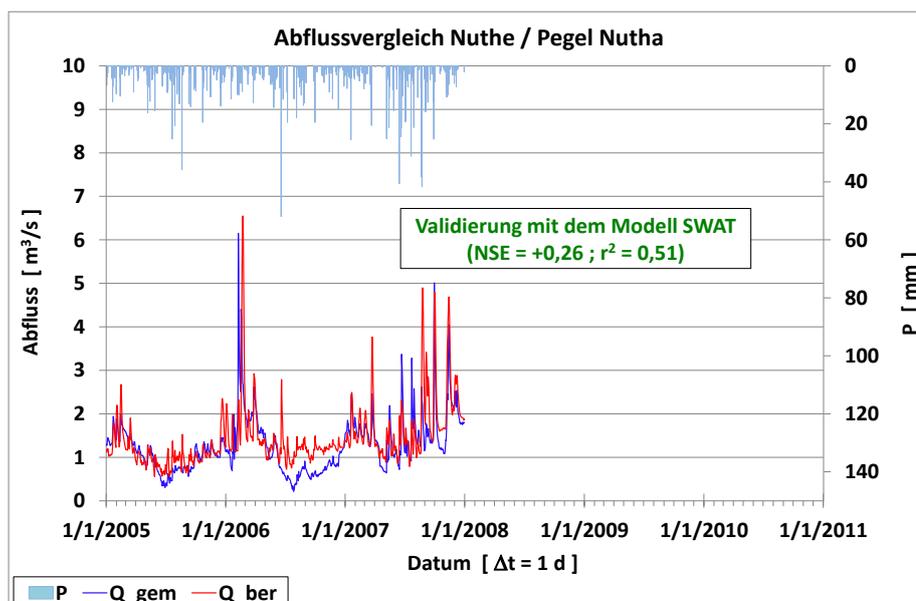


Abb. 29: Validierte Abflüsse Nuthe/Pegel Nutha/Region Fläming (gemessene Klimawerte)

1.2.7 Validierung der Ilmenau mit simuliertem Klima

Die Fortschreibung der Klimawerte für drei Zeitscheiben bis 2070 wurden mit dem Modell STARS (ORLOWSKY, 2008) simuliert. Auch die Basisperiode von 1991-2010 wurde für das Basiszenario mit den simulierten Klimadaten gerechnet, weil die Simulation der Veränderung der abgeleiteten Indikatoren des Gebietsverhaltens einen konsistenten und homogenen Datensatz erfordert. Die Messwerte gehören statistisch gesehen einer anderen Grundgesamtheit an. Um die Güte der Simulation der Klimadaten einzuschätzen, kann man die Simulationen des Abflusses mit dem kalibrierten SWAT-Modell für jeweils gemessene (Abbildung 15) und simulierte (Abbildung 30) Klimadaten vergleichen. Das erfolgte für die Ilmenau/Pegel Bienenbüttel/Region LK Uelzen.

Es zeigte sich ein großer Unterschied in der Anpassungsgüte von $NSE = +0,56$ (gemessene bzw. abgeleitete Klimadaten) gegenüber $NSE = -0,65$ (simulierte Klimadaten). Der Unterschied rührt daher, dass die simulierten Niederschläge in der Summe nur etwa 88% der gemessenen Niederschläge in der betrachteten Zeitspanne ausmachen und außerdem nicht zum jeweils richtigen Zeitpunkt ein Extremereignis des Abflusses generieren. Beide Sachverhalte bewirken auch, dass das Abflussvolumen erheblich unterschätzt wird. Im konkreten Fall wurden in der Validierung nur 70% der gemessenen Abflussmenge simuliert. Obwohl diese Abweichungen in der Simulation sehr groß sind, spielen sie für die Fortschreibung der gewählten Indikatoren keine entscheidende Rolle, weil alle Zeitscheiben und alle Entwicklungspfade mit dem Modell SWAT auf der Basis der mittels des Modells STARS generierten Klimadaten berechnet wurden.

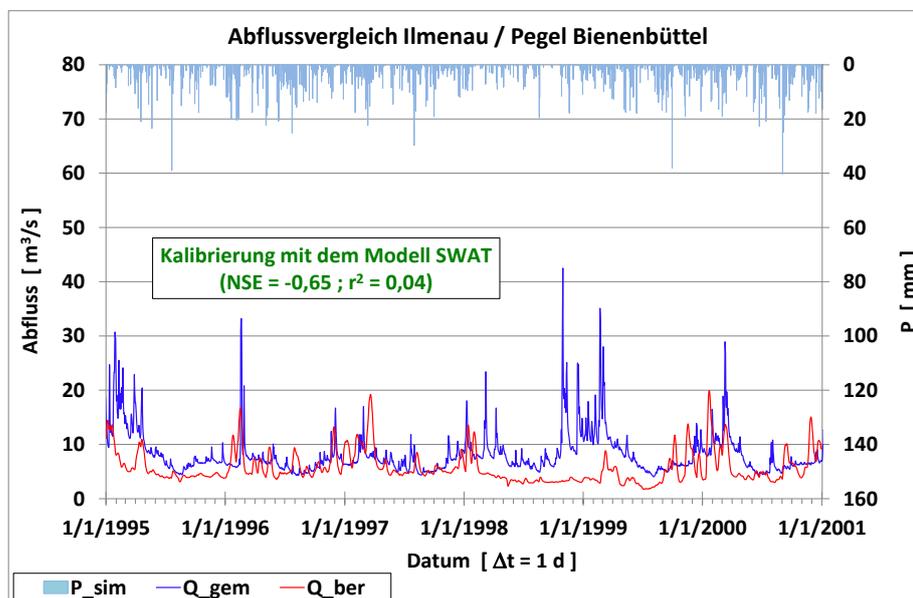


Abb. 30: Simulierte Abflüsse Ilmenau/Pegel Bienenbüttel/Region LK Uelzen (simulierte Klimawerte)

1.3 Szenarioentwicklung über die künftige Entwicklung des Landschaftswasserhaushaltes

Die Anpassung des Modells SWAT an den vorgegebenen Rahmen der Szenarios stand unter der Prämisse der besonderen Berücksichtigung vulnerabler Elemente des Landschaftswasserhaushaltes. In jeder der vier Regionen wurde ein Flusseinzugsgebiet für die Simulationsrechnungen ausgewählt. (Tabelle 1).

Definiert wurden zunächst vier Zeitperioden für die einzelnen Szenarios.

- 1991-2010 (Gegenwartszeitraum bzw. aktuelle Vergangenheit / Basisperiode)
- 2011-2030
- 2031-2050
- 2051-2070

Zunächst wurden in Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern folgende Indikatoren zur Beurteilung der Änderungen des Gebietsverhaltens ausgewählt:

- Abflussspende (Mq)
- Grundwasserneubildung (GWNB)
- Nitrat-Konzentration im Grundwasser (NO_3^- -GW)
- Nitrat-Stickstoff-Konzentration im Fließgewässer (NO_3^- -N-FG)
- Ortho-Phosphat-Phosphor-Konzentration im Fließgewässer (PO_4^{3-} -P-FG)

Unter Berücksichtigung der regionalen räumlichen Zustandsänderungen und auf der Basis von gegenwärtigen und künftigen Bewirtschaftungsstrategien wurden durch die Projektpartner in Verbindung mit den einzelnen Zeitscheiben Szenarios für einen

- Referenzpfad (zu erwartende Entwicklung mit Waldänderungen und mehr Düngung)
- Biodiversitätspfad (wie Referenzpfad, aber zusätzliche spezifische Maßnahmen)
- Klimaschutzpfad (wie Referenzpfad, aber zusätzliche spezifische Maßnahmen)

definiert. Anschließend erfolgte eine Selektion hinsichtlich der Realisierbarkeit dieser Vorgaben innerhalb des Simulations-Modells SWAT.

In den Entwicklungspfaden wurden für die zukünftigen Zeitscheiben die Waldanteile im SWAT-Modell geändert und die Düngemengen schrittweise nach Vorgabe durch die Projektpartner erhöht. Im Biodiversitätspfad wurden zusätzlich Gewässerrandstreifen zu jeweils 5 m beidseitig von allen Haupt- und Nebenflüssen in das Modell SWAT integriert. Im Klimaschutzpfad wurden neben den genannten Waldänderungen und den ansteigenden Düngemengen jeweils zwei Managementmaßnahmen realisiert: a) Acker- zu Weideland (auf Böden mit hohem Wassergehalt, 3-10% der Ackerfläche [gebietsspezifisch]); b) Anbau von Luzerne (15-20% der Ackerfläche [gebietsspezifisch]). Tabelle 5 enthält zusammengefasst die im Modell SWAT verwendeten Maßnahmen in den einzelnen Entwicklungspfaden über alle gewählten Zeitscheiben. Die jeweils fett gedruckten Zellen betreffen die von allen Projektpartnern zu verwendenden Pflicht-Szenarios. Im Einzelnen bedeuten:

- ΔW – Änderung der Waldanteile untereinander nach Vorgabe aus dem Teilvorhaben F1 (Nadel-, Misch-, Laubwald)
- +Dü1 – Vergrößerung der Düngemengen für P und N in 2 Stufen (+Dü1 < +Dü2)
- GewRa – Gewässerrandstreifen (5 m) an allen Gewässern
- AzW – Acker- zu Weideland (Böden hohen Wassergehalts, 3-10% der Ackerfläche)
- Luz – Luzerne (15-20% der Ackerfläche)

Das Basis-Szenario entspricht der Simulation mit dem kalibrierten SWAT-Modell unter Verwendung der mit dem Modell STARS simulierten Klimadaten.

Tab. 5: Im Modell SWAT verwendete Maßnahmen der einzelnen Szenarios

Indikator	Region – Flussgebiet / Pegel					
	Medium [unit]	Messwert	Simulation			
gem. Klima			simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)			
Szenario	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070
Referenz	X	X	Basis	ΔW , +Dü1	ΔW , +Dü2	ΔW , +Dü2
Biodivers.		-	GewRa	ΔW , +Dü1, GewRa	ΔW , +Dü2, GewRa	ΔW , +Dü2, GewRa
Klimasch.		-	AzW, Luz	ΔW , +Dü1, AzW, Luz	ΔW , +Dü2, AzW, Luz	ΔW , +Dü2, AzW, Luz

Bezüglich der Hache/Diepholz gibt es noch eine Besonderheit. Die Stickstoff- und Phosphordüngemengen in der Modellregion Diepholz sind wohl höher als die im gesamten Projekt jeweils angenommenen normativen Düngemengen, da vor allem in dieser Region viel Gülle produziert und auch ausgebracht wird.

1.4 Prognose des Landschaftswasser- und -stoffhaushaltes mittels Szenariorechnungen

1.4.1 Allgemeine Bemerkungen

Risiken hinsichtlich des Wasser- und Stoffhaushaltes entstehen durch Veränderungen der Wassermenge und der Wasserinhaltsstoffe (Fracht und Konzentration) sowohl in Fließgewässern als auch im Grundwasser. Die hier betrachteten Pflanzennährstoffe Phosphor und Stickstoff in Form von Ortho-Phosphat-Phosphor und Nitrat-Stickstoff sind hinsichtlich Fracht und Konzentration von anthropogenen und atmosphärischen Einträgen abhängig, aber über Auswaschungsprozesse im Boden und Verdünnungseffekte beeinflusst die Wassermenge auch die Wassergüte. Die Teilprozesse wirken dabei teilweise gegenläufig und können unterschiedlich dominant sein. Bodenart bzw. Bodentyp sind dafür verantwortlich, ob bei einem größeren Wasserangebot die Auswaschung eines Inhaltsstoffes (Verlagerungspotential beispielsweise von Nitrat) aus dem Boden oder die Verdünnung bezüglich der Änderung der Konzentration überwiegt oder ob sich beide Prozesse die Waage halten.

Die Wassergüte wird auch durch die wechselseitige Dynamik von Grund- und Oberflächenwasser beeinflusst. So können sinkende Wasserstände im Oberflächengewässer zu fallenden

Grundwasserständen und damit zu einer Abnahme der Grundwasserressourcen führen. Häufig treten Verschlechterungen der genannten Wassergüteparameter in beiden Wasserkörpern in gleicher Richtung auf, wenn die Wasserhaushaltskomponenten kritische Werte über- oder unterschreiten. Fließen beispielsweise Wassermengen und damit auch Stofffrachten (z. B. Nitrat, wenn es sich um den oberen Grundwasserleiter handelt) eines Teileinzugsgebietes unterirdisch in ein benachbartes Flussgebiet, wirkt sich das sowohl auf die Oberflächenwasserstände als auch auf die Konzentrationen von Phosphat und Stickstoff im Fließgewässer aus. Die Oberflächenwasserstände fallen sowohl im betreffenden Teilgebiet als auch in den nachfolgenden Teilgebieten des Ursprungsflussgebietes.

Der Niederschlag weist im Norddeutschen Tiefland einen ausgeprägten Ost-West-Gradienten mit bis zu 50% steigenden Werten von Ost nach West auf. Die geringsten Niederschläge fallen in den Regionen Fläming und Oder-Spree und die höchsten in der Region Diepholz.

Hinsichtlich der Fortschreibung der Indikatoren ist das Änderungssignal der Werte (statt Absolutwerten) innerhalb der Entwicklungspfade die entscheidende Eigenschaft zur Bewertung der Auswirkung von Maßnahmen im Norddeutschen Tiefland (Trends).

Die Beurteilung der Auswirkungen sowohl der sich ändernden klimatischen Bedingungen als auch der Managementmaßnahmen auf das Norddeutsche Tiefland wurde anhand verschiedener Wasserhaushaltsmodelle (SWAT [ARNOLD et al. 1998]; WaSiM-ETH [SCHULLA 2015]) und dem TUB-BGR-Verfahren (WESSOLEK et al. 2009) untersucht.

1.4.2 Ergebnisse bezüglich der ausgewählten und simulierten Indikatoren

1.4.2.1 Abflusssspende

Tabelle 6 enthält alle Mess- und Simulationswerte bezüglich der Abflusssspende. In allen vier Flussgebieten stimmen die Messwerte für die Basisperiode (1991-2010) gut mit den jeweils simulierten Werten sowohl auf der Basis des gemessenen als auch auf der Basis des simulierten Klimas überein.

Tab. 6: Simulierte Abflusssspenden (Mq; Modell SWAT) für alle Flussgebiete, Zeitscheiben und Entwicklungspfade sowie Messwerte

Mq	Diepholz – Hache / Steimke						Uelzen – Ilmenau / Bienenb.					
	FG	Messwert [l/s/km ²]	Simulation					Messwert	Simulation			
	gem. Klima		simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)						gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)		
Szenario	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070
Referenz	7,0	7,9	6,6	7,0	6,8	5,6	6,1	5,4	5,0	5,4	4,9	4,9
Biodivers.		-	6,6	7,0	6,8	5,6		-	5,0	5,4	4,9	4,9
Klimasch.		-	6,6	7,0	6,7	5,5		-	5,0	5,4	4,9	4,8

Mq	Fläming – Nuthe / Waltern.						Oder-Spree – Demn. Mühl. / B.					
	FG	Messwert [l/s/km ²]	Simulation					Messwert	Simulation			
	gem. Klima		simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)						gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)		
Szenario	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070
Referenz	2,9	3,0	2,3	2,7	2,6	1,5	1,1	1,6	1,9	1,6	1,6	1,1
Biodivers.		-	2,3	2,7	2,6	1,5		-	1,9	1,6	1,6	1,1
Klimasch.		-	2,3	2,7	2,6	1,4		-	2,0	1,7	1,6	1,1

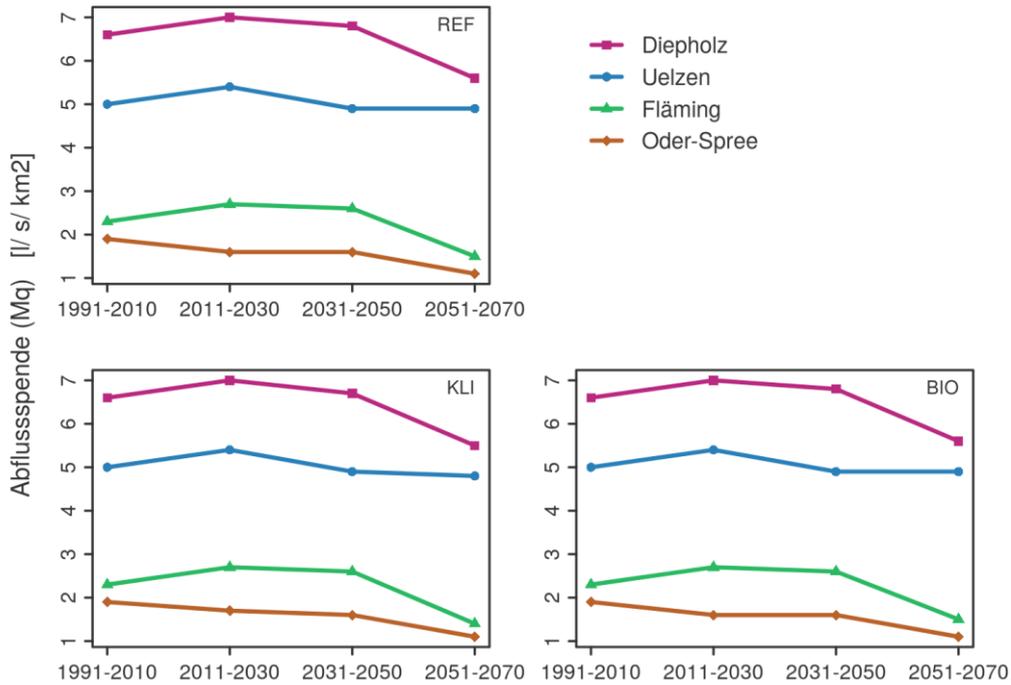


Abb. 31: Simulierte Abflussspenden (Mq; Modell SWAT) für die Flussgebiete Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen, Nuthe/Fläming, Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree und alle Zeitscheiben, getrennt nach Entwicklungspfaden (Referenz-, Klimaschutz-, Biodiversitätspfad)

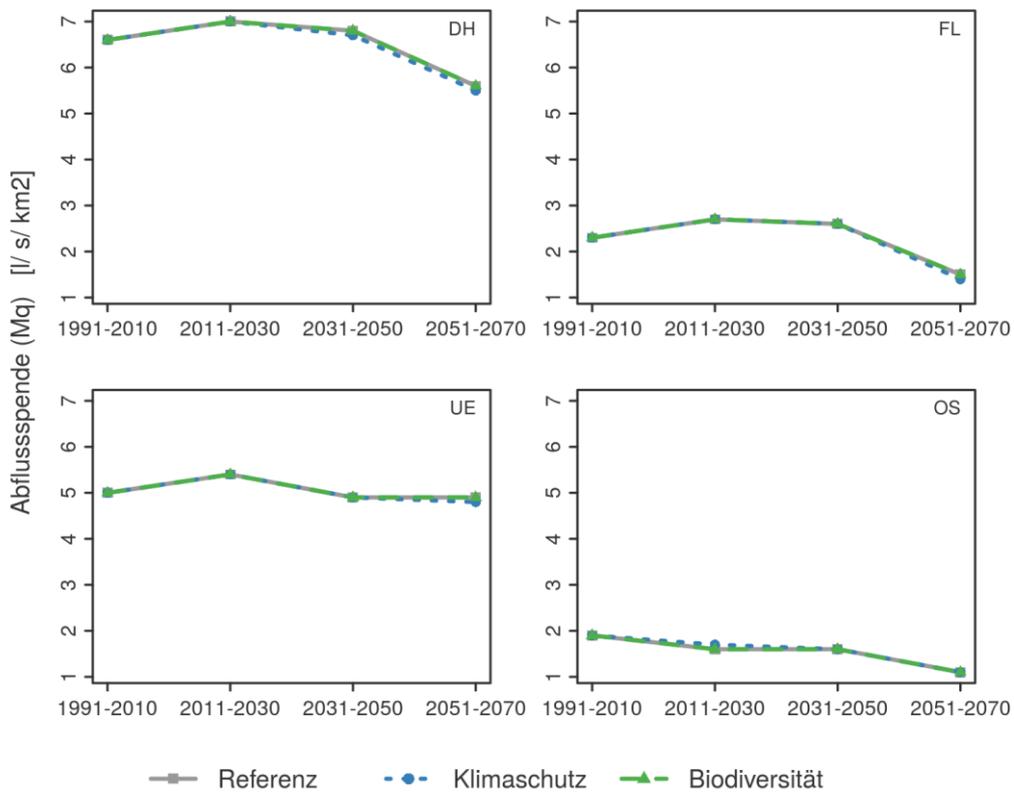


Abb. 32: Simulierte Abflussspenden (Mq; Modell SWAT) für alle Entwicklungspfade und Zeitscheiben, getrennt nach Flussgebieten (Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen, Nuthe/Fläming, Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree)

Vergleicht man die Abflussspenden mit den jeweiligen Werten der Grundwasserneubildung (Tabelle 6, Tabelle 7, Abbildungen 31 bis 34), stellt man fest, dass es einen engen Zusammenhang zwischen beiden Indikatoren gibt. Zwischen den Entwicklungspfaden gibt es nur geringe Unterschiede. Lediglich beim Klimaschutzpfad geht die Abflussspende in den Gebieten Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen und Nuthe/Fläming leicht zurück. In den Gebieten Hache/Diepholz, Nuthe/Fläming und Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree nimmt zum Ende der Simulationsperiode das Wasserdargebot sowohl bei der Grundwasserneubildung als auch der Abflussspende ab. Nur in der Ilmenau/Uelzen bleibt die Abflussspende weitgehend konstant und die Grundwasserneubildung steigt sogar leicht an.

Die durchschnittliche Abnahme der Abflussspende in der Hache/Diepholz (um ca. 35%) und dem Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree (um ca. 42%) muss als „sehr stark“ angesehen werden, da in diesen Regionen bereits heute der größte Anteil der Niederschlagsmenge verdunstet. Das Mühlenfließ/Oder-Spree hat allerdings eine große Menge an unterirdisch abfließendem Wasser, die nicht am Oberflächenwasserpegel erfasst wird. In der Nuthe/Fläming gibt es Grundwasserentnahmen für die Wasserversorgung östlich angrenzender Bereiche von Sachsen-Anhalt (z. B. Dessau), die sich nicht genau quantifizieren lassen. Eine Steigerung der Wasserentnahme, beispielsweise für eine Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen, ist aufgrund der projizierten klimatischen Verhältnisse jedoch kaum möglich. Durch unterirdischen Zufluss auf der Westseite der Ilmenau/Uelzen gibt es dort trotz Bewässerung eine ausgeglichene Wasserbilanz. Auf der Ostseite der Ilmenau/Uelzen fließt dagegen unterirdisch Wasser in das Flussgebiet der Jeetzel ab. Dort ist die Wasserbilanz in Zukunft kritisch, da bereits jetzt schon im Sommer einige kleine Nebenflüsse nahezu trocken fallen.

1.4.2.2 Grundwasserneubildung

Tabelle 7 enthält alle Mess- und Simulationswerte bezüglich der Grundwasserneubildung.

Tab. 7: Simulierte Grundwasserneubildung (GWNB; Modell SWAT) für alle Flussgebiete, Zeitscheiben und Entwicklungspfade sowie Messwerte

GWNB		Diepholz – Hache / Steimke					Uelzen – Ilmenau / Bienenb.					
GW [mm/a]	Messwert	Simulation					Messwert	Simulation				
		gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)					gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)			
Szenario	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070
Referenz	-	293	260	267	260	232	-	287	269	285	262	276
Biodivers.		-	260	267	260	232		-	269	285	262	277
Klimasch.		-	261	266	258	228		-	271	287	262	276

GWNB		Fläming – Nuthe / Waltern.					Oder-Spree – Demn. Mühl. / B.					
GW [mm/a]	Messwert	Simulation					Messwert	Simulation				
		gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)					gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)			
Szenario	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070
Referenz	-	117	81	100	92	62	-	133	140	131	133	104
Biodivers.		-	81	101	93	62		-	140	131	134	105
Klimasch.		-	83	101	92	59		-	146	136	135	108

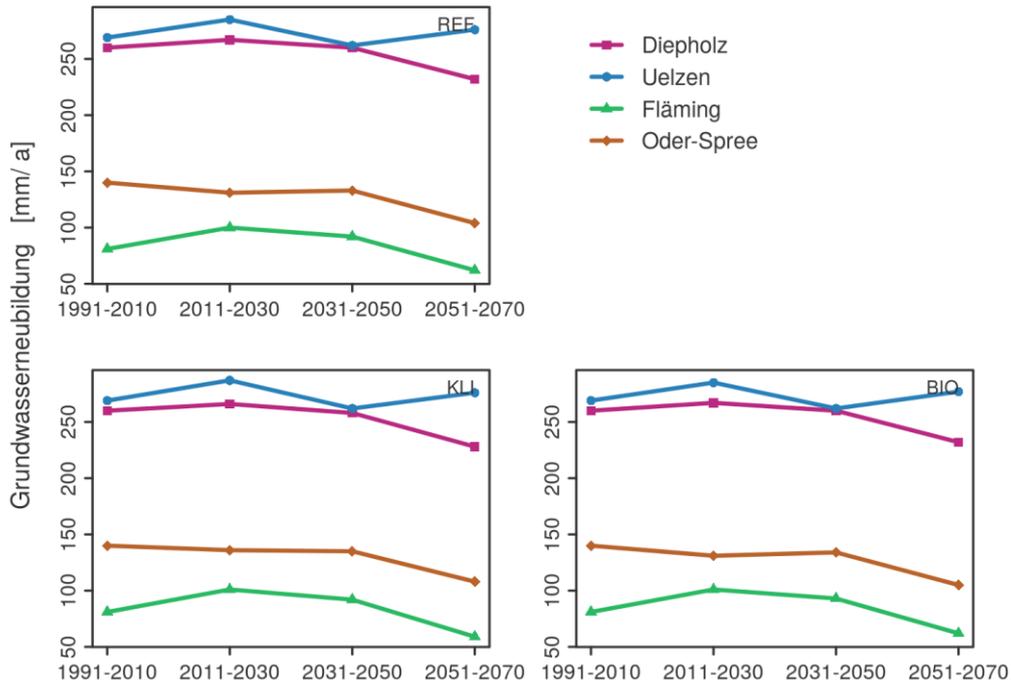


Abb. 33: Simulierte Grundwasserneubildung (GWNB; Modell SWAT) für die Flussgebiete Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen, Nuthe/Fläming, Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree und alle Zeitscheiben, getrennt nach Entwicklungspfaden (Referenz-, Klimaschutz-, Biodiversitätspfad)

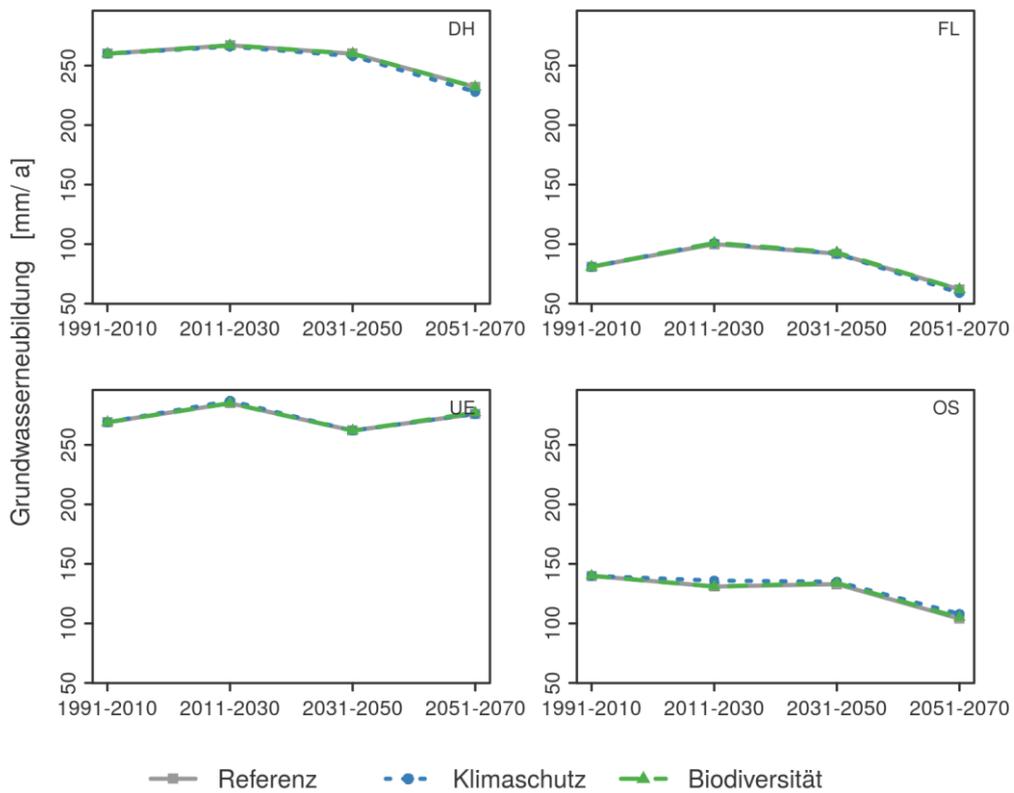


Abb. 34: Simulierte Grundwasserneubildung (GWNB; Modell SWAT) für alle Entwicklungspfade und Zeitscheiben, getrennt nach Flussgebieten (Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen, Nuthe/Fläming, Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree)

Die Grundwasserneubildung korrespondiert mit der Abflusspende (Tabelle 6, Tabelle 7, Abbildungen 31 bis 34). Prinzipiell sind die Ergebnisse bei allen Szenarios jeweils ähnlich. Analog der Abflusspende gehen die Werte in Hache/Diepholz, Nuthe/Fläming und Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree 2060 zurück, allerdings in der Hache/Diepholz (um ca. 26%) und im Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree (um ca. 24%) nicht so deutlich wie bei der Abflusspende. Die Ilmenau/Uelzen ist auch hier bei der Grundwasserneubildung relativ resilient gegenüber den Klimaänderungen. In Hache/Diepholz und Nuthe/Fläming weist der Klimaschutzpfad gegenüber den beiden anderen Pfaden etwas geringere Werte im Jahre 2060 auf. Nur im Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree wird im Klimaschutzpfad in allen Zeitscheiben eine höhere Grundwasserneubildung simuliert als in den anderen beiden Entwicklungspfaden.

Der Indikator Grundwasserneubildung wurde mit drei Modellen (SWAT, WaSiM-ETH, TUB-BGR) simuliert. Der Vergleich (Abbildung 35) belegt, dass die verwendeten Modelle ein ähnliches Verhalten sowohl für die absolute Größe als auch die Fortschreibung der Grundwasserneubildung simulieren, obwohl mit dem Modell SWAT nur Werte in Teilregionen in Form der Flussgebiete berechnet werden. Im Gegensatz zu den ähnlichen Kurven jeweils für die Regionen Uelzen, Diepholz und Fläming weichen die absoluten Werte der Modelle in Oder-Spree voneinander ab, SWAT (140 ... 110 mm), TUB-BGR (80 ... 0 mm) und WaSiM-ETH (105 ... 70 mm). Während SWAT mit dem Demnitzer Mühlenfließ nur auf ca. 2,5% der Regionsfläche rechnet und nicht repräsentativ ist, ist der Unterschied im Jahre 2060 von fast 0 mm bei TUB-BGR und ca. 70 mm bei WaSiM-ETH beachtlich. Bei TUB-BGR sind die simulierten Werte in Oder-Spree auch kleiner als im Fläming für alle vier Zeitscheiben im Gegensatz zu den entsprechenden Werten der beiden anderen Modelle.

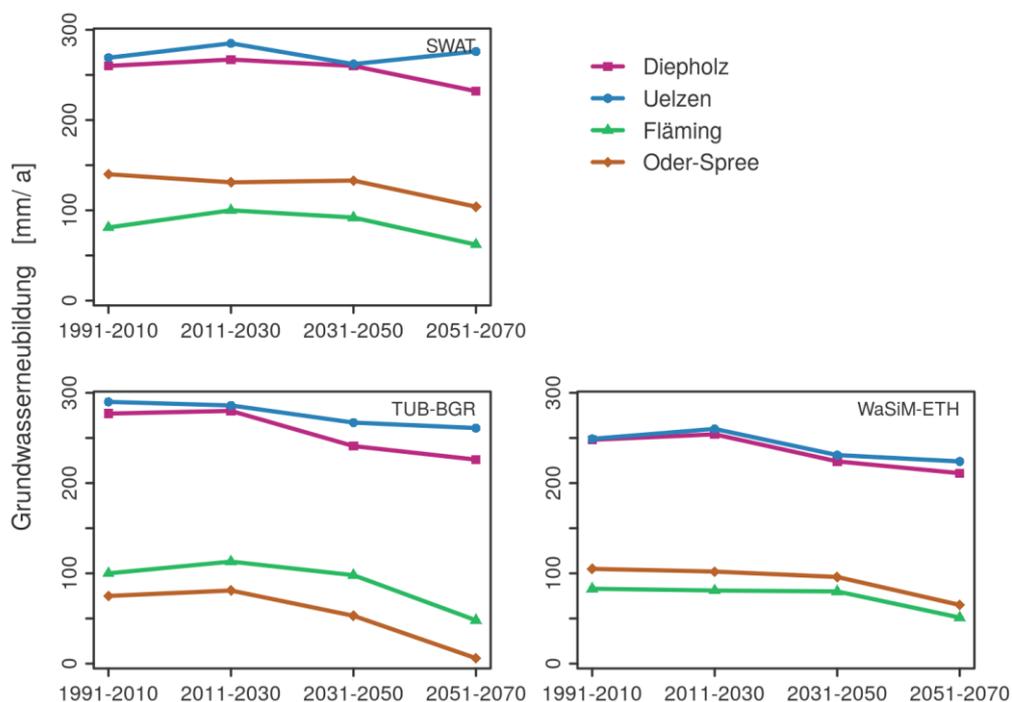


Abb. 35: Vergleich der simulierten Grundwasserneubildungswerte von vier Regionen für den Referenzpfad in mm/a der Modelle: a) SWAT, b) TUB-BGR und c) WaSiM-ETH

In der Ilmenau/Uelzen gibt es bezüglich der Grundwasserneubildung eine Besonderheit, weil nur bei den Berechnungen mit dem Modell SWAT in der letzten Zeitscheibe ein Anstieg bei allen Entwicklungspfaden auftritt. Eine detaillierter Vergleich mit dem Modell WaSiM-ETH er-

gab, dass einerseits das jeweils verwendete Niederschlags-Korrekturverfahren (nach RICHTER 1995 bei SWAT) und andererseits die unterschiedlichen Regionalisierungsprozeduren beider Modelle bei der Zuordnung von Niederschlagsstationen zu bestimmten Teileinzugsgebieten die Ursachen dafür sind.

1.4.2.3 Nitrat-Konzentration im Grundwasser

Die Nitrat-Simulationswerte im Grundwasser müssen einerseits von den NO_3^- -Konzentrationen im Sickerwasser und andererseits von den entsprechenden Messwerten im (oberen) Grundwasserleiter unterschieden werden. Auf dem Weg vom Grundwasserleiter zum Vorfluter kann unter bestimmten Bedingungen ein Nitrat-Abbau durch Denitrifikation stattfinden, der bei der Berechnung der Werte (Tabelle 8, Abbildungen 36 und 37) berücksichtigt wurde. Die NO_3^- -Werte im Grundwasser werden daher in der Regel größer ausfallen als diejenigen, die vom Modell ausgegeben wurden.

Die Anzahl der Grundwasserpegel reichte bei weitem nicht aus, um repräsentative Messwerte für die NO_3^- -GW-Werte zu erhalten. Für die Hache/Diepholz und das Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree lagen gar keine Werte aus Grundwasserbeobachtungsrohren vor. Für die Einzugsgebiete Ilmenau/Uelzen und Nuthe/Fläming lagen Werte vor, aber für eine flächenrepräsentative Aussage war die jeweilige Messnetzdichte zu gering. Vorliegende Messwerte lagen deutlich unter den Daten der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser für diese Gebiete (UMWELTBUNDESAMT 2013). Es gibt noch eine zweite Datenquelle (WENDLAND et al. 1993), die aber zwei verschiedene Komponenten (eine schnelle und eine langsame) mit jeweils unterschiedlichen Messwerten für eine bestimmte Region enthält. Es gab deshalb keine eindeutigen Zielwerte für die Modellkalibrierung, sondern eher Orientierungswerte.

Tab. 8: Simulierte Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser (NO_3^- -GW*; Modell SWAT) für alle Flussgebiete, Zeitscheiben und Entwicklungspfade sowie Messwerte

NO ₃	Diepholz – Hache / Steimke						Uelzen – Ilmenau / Bienenb.						
	GW*	Messwert [mg/l]	Simulation					Messwert	Simulation				
	gem. Klima		simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)						gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)			
	Szenario	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070
	Referenz	-	4,0	6,2	6,2	5,8	6,6	6,7	18,6	22,1	22,1	24,8	24,8
	Biodivers.		-	5,8	5,8	5,8	6,2		-	21,7	21,7	24,8	24,3
	Klimasch.		-	5,3	5,8	5,3	5,8		-	24,8	24,3	25,7	25,2

NO ₃	Fläming – Nuthe / Waltern.						Oder-Spree – Demn. Mühl. / B.						
	GW*	Messwert [mg/l]	Simulation					Messwert	Simulation				
	gem. Klima		simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)						gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)			
	Szenario	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070
	Referenz	2,9	12,8	13,3	16,4	15,0	29,6	-	4,0	4,4	4,0	3,5	4,9
	Biodivers.		-	13,3	16,4	15,0	29,6		-	4,0	4,0	3,5	4,9
	Klimasch.		-	13,3	16,8	14,2	19,0		-	7,1	7,1	5,3	4,9

* Werte wurden nicht direkt simuliert, sondern über die Konzentration des den Vorfluter erreichenden Grundwasserabflusses berechnet/geschätzt; Messwerte aus Grundwasserbeobachtungsrohren

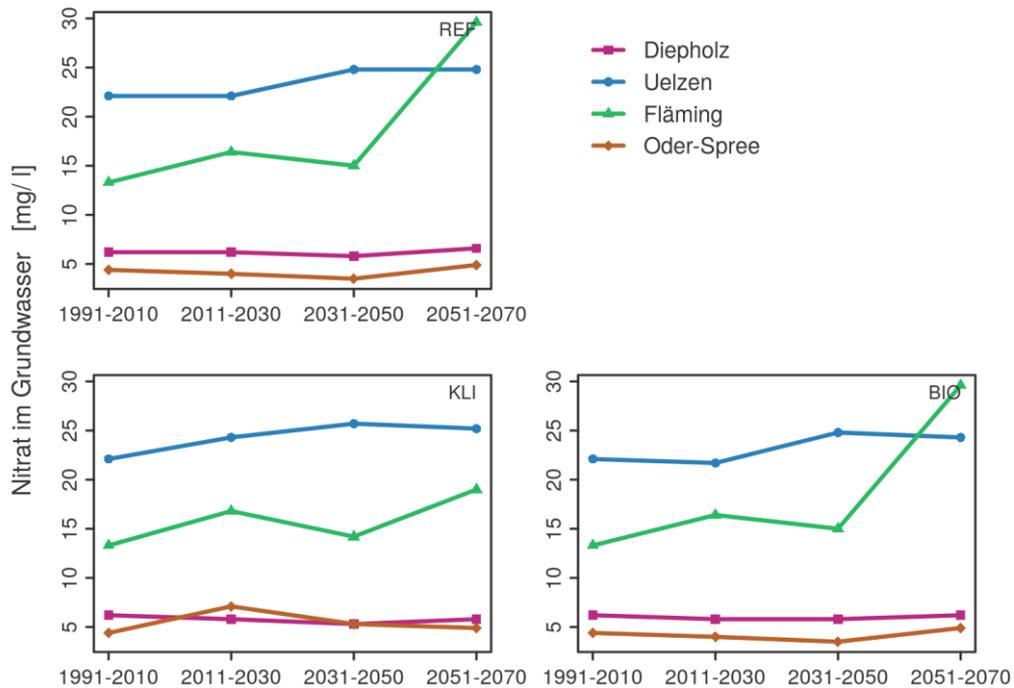


Abb. 36: Simulierte Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser (NO_3^- -GW*; Modell SWAT) für die Flussgebiete Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen, Nuthe/Fläming, Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree und alle Zeitscheiben, getrennt nach Entwicklungspfaden (Referenz-, Klimaschutz-, Biodiversitätspfad)

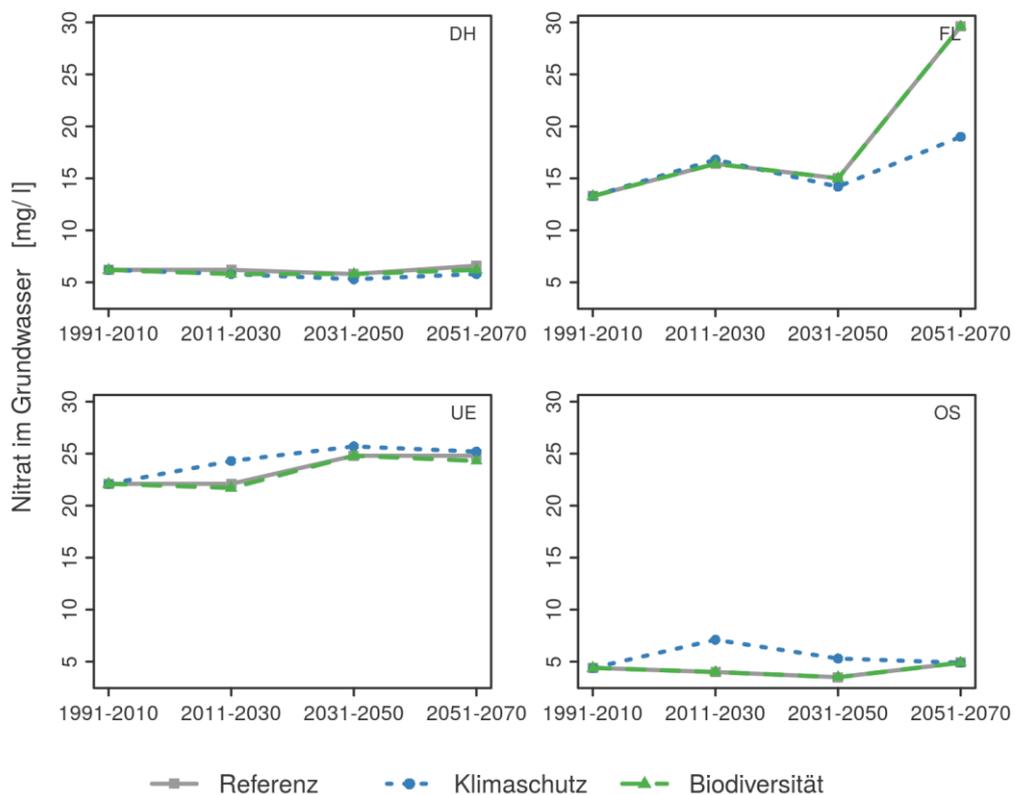


Abb. 37: Simulierte Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser (NO_3^- -GW*; Modell SWAT) für alle Entwicklungspfade und Zeitscheiben, getrennt nach Flussgebieten (Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen, Nuthe/Fläming, Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree)

Die NO₃⁻-Werte wurden nur im Einzugsgebiet Ilmenau/Uelzen kalibriert und die Nitrat-Abbau-Parameter auf die anderen drei Gebiete übertragen. Der Grund dafür war die Vergleichbarkeit der Regionen und Gebiete untereinander.

Es zeigte sich, dass wegen der höheren Düngemengen und meist nachlassender Niederschläge alle Nitratwerte im Grundwasser ansteigen, aber in drei Gebieten nicht sonderlich stark. Die stärksten Anstiege (mehr als 100%) sind in der Nuthe/Fläming zu verzeichnen. Eine mögliche Ursache könnte die klima- und nutzungsbedingte Wasserknappheit am Ende der Simulationsperiode sein, die eine Aufkonzentration der löslichen Stoffe im Wasser bewirkt. Da aber bei geringerer Sickerwasserspense die Nitrat-Nachlieferung aus dem Oberboden sinkt, könnten die Konzentrationen theoretisch auch sinken, weil die Fracht kleiner wird. Eindeutigere Aussagen können auf der Basis der bisherigen Modellrechnungen und der vorliegenden Ergebnisse nicht gemacht werden.

Die drei Entwicklungspfade unterscheiden sich in allen drei Gebieten kaum voneinander und weisen von Gebiet zu Gebiet ein entgegengesetztes Verhalten auf. Während beim Biodiversitätspfad nur geringe Unterschiede zur Referenz festzustellen sind, bewirkt der Klimaschutzpfad gegenüber den beiden anderen Pfaden in der Hache/Diepholz eine Verminderung der Nitratwerte in der Zukunft, in der Ilmenau/Uelzen eine kleine Erhöhung, in der Nuthe/Fläming eine Verminderung in der letzten Zeitscheibe und im Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree eine Erhöhung in den ersten Zeitscheiben. Die simulierten Gewässerrandstreifen in Oder-Spree/Demnitzer Mühlenfließ und in Nuthe/Fläming liegen größtenteils im Wald, im Weideland oder im Niedermoor.

1.4.2.4 Nitrat-Stickstoff-Konzentration im Fließgewässer

Tabelle 9 enthält alle Mess- und Simulationswerte bezüglich der Nitrat-Stickstoff-Konzentration im Fließgewässer.

Tab. 9: Simulierte Nitrat-Stickstoff-Konzentration im Fließgewässer (NO₃⁻-N-FG; Modell SWAT) für alle Flussgebiete, Zeitscheiben und Entwicklungspfade sowie Messwerte

NO3-N FG [mg/l]	Diepholz – Hache / Steimke						Uelzen – Ilmenau / Bienenb.					
	Messwert	Simulation					Messwert	Simulation				
		gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)					gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)			
Szenario	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070
Referenz	3,29	1,11	1,59	1,64	1,64	1,86	2,27	4,37	5,00	5,00	5,71	5,71
Biodivers.		-	1,59	1,64	1,64	1,81		-	4,96	4,96	5,66	5,66
Klimasch.		-	1,50	1,55	1,55	1,68		-	5,53	5,49	5,80	5,75

NO3-N FG [mg/l]	Fläming – Nuthe / Waltern.						Oder-Spree – Demn. Mühl. / B.					
	Messwert	Simulation					Messwert	Simulation				
		gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)					gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)			
Szenario	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070
Referenz	2,45	3,54	3,89	4,47	4,20	7,74	(2,20)	1,11	1,11	1,19	1,06	1,46
Biodivers.		-	3,85	4,42	4,16	7,74		-	1,11	1,15	1,05	1,42
Klimasch.		-	3,94	4,51	4,07	5,40		-	2,04	2,21	1,73	1,64

* () Klammerwerte – keine Zeitreihen, sondern nur zwei Eigenmessungen

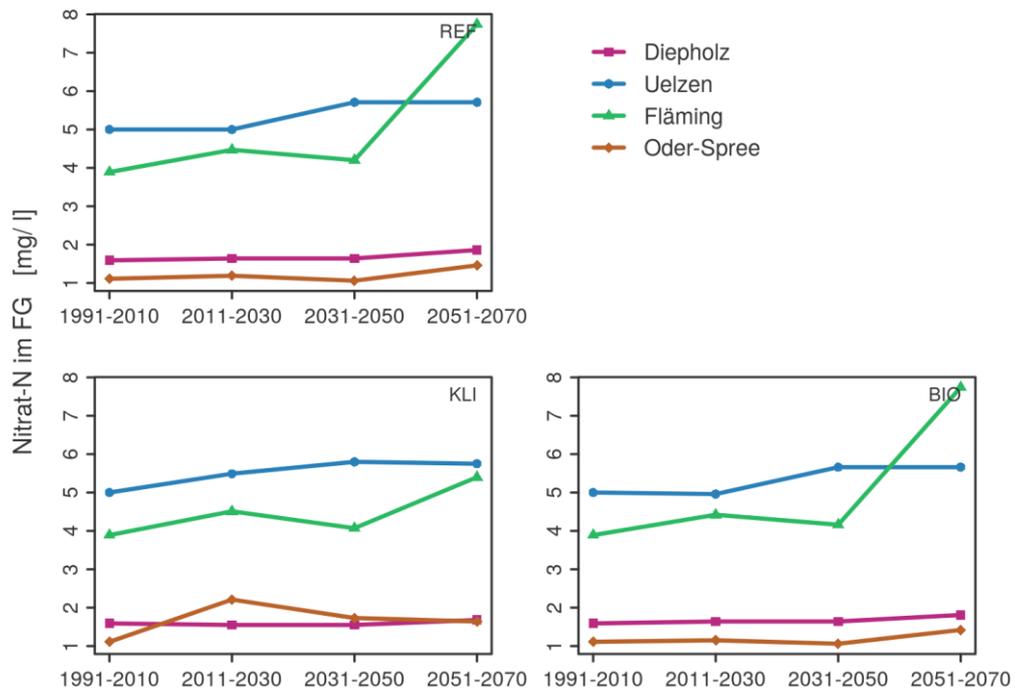


Abb. 38: Simulierte Nitrat-Stickstoff-Konzentrationen im Fließgewässer (NO_3^- -N-FG; Modell SWAT) für die Flussgebiete Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen, Nuthe/Fläming, Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree und alle Zeitscheiben, getrennt nach Entwicklungspfaden (Referenz-, Klimaschutz-, Biodiversitätspfad)

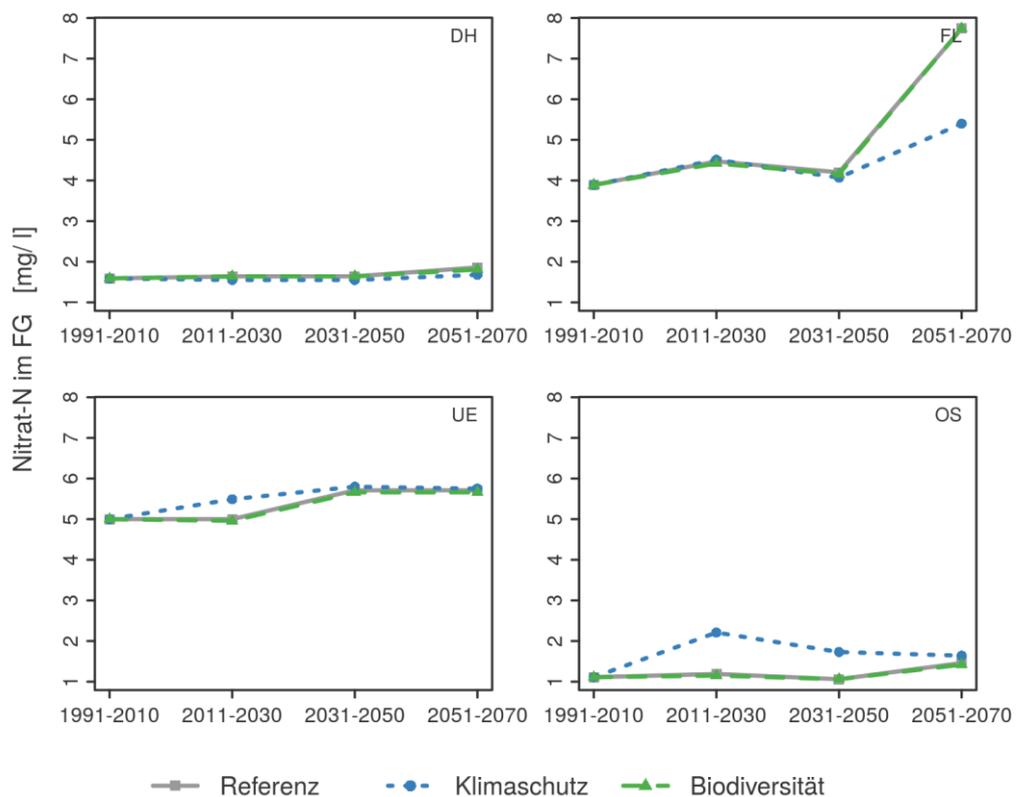


Abb. 39: Simulierte Nitrat-Stickstoff-Konzentrationen im Fließgewässer (NO_3^- -N-FG; Modell SWAT) für alle Entwicklungspfade und Zeitscheiben, getrennt nach Flussgebieten (Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen, Nuthe/Fläming, Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree)

Tabelle 9 bzw. die Abbildungen 38 und 39 enthalten alle Mess- und Simulationswerte der Nitrat-Stickstoff-Konzentration im Fließgewässer. Für Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen und Nuthe/Fläming lagen Messwerte in Form von Zeitreihen (im Schnitt zwei Messungen pro Monat) vor. Für das Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree gab es nur zwei Einzelmessungen. Die simulierten NO_3^- -N-Werte für 1991-2010 liegen ziemlich nah an den Mittelwerten der Messungen. Während in der Ilmenau/Uelzen und der Nuthe/Fläming im Schnitt jeweils etwa die doppelten Mengen simuliert wurden, erreichen die Simulationen in Hache/Diepholz und Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree etwa jeweils nur die Hälfte. Insgesamt sind die Schwankungen der Abweichungen von den Messwerten aber kleiner als im Grundwasser. Trotzdem wird empfohlen, bei der Beurteilung der Verhältnisse nur von den relativen Änderungen zwischen den Szenarios auszugehen.

Die Simulationen steigen in allen vier Gebieten jeweils bei allen Entwicklungspfaden mit der Zeit an, in Ilmenau/Uelzen und Hache/Diepholz am geringsten (10 bis 15%) und in der Nuthe/Fläming am stärksten (etwa 100%). Diese starke Zunahme in der Nuthe/Fläming tritt wie im Grundwasser nur in der letzten Zeitscheibe auf und ist hauptsächlich auf die entstehende klima- und nutzungsbedingte Wasserknappheit zurückzuführen. Auch im Fließgewässer wirkt sich die Zunahme der Stickstoff-Düngung nicht so stark aus, sollte aber dennoch wegen der Klimaänderungen reduziert werden.

Die Modellsimulation des Biodiversitätspfades lieferte im Vergleich zu der des Referenzpfades in allen vier Gebieten und allen Zeitscheiben jeweils einen kleineren Nitrat-Stickstoff-Wert. Das ist wahrscheinlich auf die hier simulierten Gewässerrandstreifen von 5 m (!) zurückzuführen. Der Klimaschutzpfad ergibt in der Hache/Diepholz für alle drei Zeitscheiben die geringsten Werte, in der Ilmenau/Uelzen und im Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree die höchsten. In der Nuthe/Fläming sind die Werte erst größer und zum Ende des Simulationszeitraumes deutlich kleiner. Wie für das Grundwasser gilt aber, dass die simulierten Gewässerrandstreifen in Oder-Spree/Demnitzer Mühlenfließ und in Nuthe/Fläming größtenteils im Wald, im Weideland und im Niedermoor liegen und damit an Wirkung einbüßen. Dennoch scheinen sie im Gegensatz zum Grundwasser hier etwas mindernd zu wirken. Ein Blick auf den in allen vier Gebieten zusätzlich durchgerechneten Biodiversitätspfad für die Periode 1991-2010 zeigt diesen geringen Einfluss bezüglich Nitrat-Stickstoff, allerdings nur bei der Ilmenau/Uelzen (von 5,00 auf 4,96 mg/l) und der Nuthe/Fläming (von 3,89 auf 3,85 mg/l).

Wegen der parallelen Anwendung jeweils mehrerer Maßnahmen innerhalb der Entwicklungspfade und Zeitscheiben kann ein quantitativer Nachweis der Einzelmaßnahmen außer für die Basisperiode kaum abgeleitet werden, sondern nur das Zusammenwirken der jeweiligen Maßnahmen beurteilt werden.

1.4.2.5 Ortho-Phosphat-Phosphor-Konzentration im Fließgewässer

Für Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen und Nuthe/Fläming lagen Ortho-Phosphat-Phosphor-Messwerte in Form von Zeitreihen (im Schnitt zwei Messungen pro Monat) vor. Für das Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree gab es nur zwei Einzelmessungen.

Die simulierten PO_4^{3-} -P-Werte für 1991-2010 liegen zum Teil sehr nah an den Mittelwerten der Messungen (Tabelle 10, Abbildungen 40 und 41). Während in der Ilmenau/Uelzen eine realitätsnahe Simulation gelang (nur ca. 4% über der Messung), in der Nuthe/Fläming dieser Wert 18% über dem mittleren gemessenen Konzentrationswert lag und im Demnitzer Müh-

lenfließ/Oder-Spree der Messwert um ca. 35% unterschritten wurde, erreichen die Simulationen in der Hache/Diepholz nur 25% des Messwertes. Es wird empfohlen, bei der Beurteilung der Verhältnisse nur von den relativen Änderungen zwischen den Szenarios auszugehen. In der Ilmenau/Uelzen fehlen zudem die Klärwerksabflüsse in der Bilanz, sodass die simulierten Konzentrationen um ca. 3% erhöht werden müssten.

Die Simulationen von $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ zeigen in drei der vier Gebiete ein ähnliches Verhalten. In Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen und Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree fallen die Werte bei allen Entwicklungspfaden mit der Zeit leicht ab, wobei in der Hache/Diepholz die Werte aber fast konstant bleiben. Im letzten Zeitschritt gehen die Werte in der Ilmenau/Uelzen und im Mühlenfließ/Oder-Spree stark zurück. Der Anstieg im letzten Zeitschritt bei allen drei Entwicklungspfaden in der Nuthe/Fläming ist dagegen auf die entstehende klima- und nutzungsbedingte Wasserknappheit in diesem Flussgebiet zurückzuführen.

Tab. 10: Simulierte Ortho-Phosphat-Phosphor-Konzentrationen im Fließgewässer ($\text{o-PO}_4^{3-}\text{-P-FG}$; Modell SWAT) für alle Flussgebiete, Zeitscheiben und Entwicklungspfade sowie Messwerte

o-PO4-P	Diepholz – Hache / Steimke						Uelzen – Ilmenau / Bienenb.					
	FG	Messwert	Simulation				Messwert	Simulation				
[mg/l]	gem. Klima		simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)					gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)			
Szenario	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070
Referenz	0,028	0,007	0,007	0,006	0,005	0,005	0,057	0,059	0,070	0,071	0,064	0,047
Biodivers.		-	0,006	0,005	0,005	0,004		-	0,054	0,052	0,049	0,041
Klimasch.		-	0,007	0,007	0,005	0,005		-	0,070	0,069	0,066	0,048

o-PO4-P	Fläming – Nuthe / Waltern.						Oder-Spree – Demn. Mühl. / B.					
	FG	Messwert	Simulation				Messwert	Simulation				
[mg/l]	gem. Klima		simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)					gem. Klima	simuliertes Klima (RCP 8.5 / STARS)			
Szenario	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070	1991-2010	1991-2010	1991-2010	2011-2030	2031-2050	2051-2070
Referenz	0,033	0,039	0,049	0,042	0,042	0,056	(0,020)	0,013	0,016	0,009	0,009	0,004
Biodivers.		-	0,048	0,042	0,041	0,056		-	0,010	0,007	0,006	0,003
Klimasch.		-	0,048	0,042	0,042	0,060		-	0,017	0,010	0,010	0,004

* () Klammerwerte – keine Zeitreihen, nur zwei Eigenmessungen

Bezüglich des Stoffhaushaltes sei erwähnt, dass der Phosphor-Pool im Boden, der nur langsam auf- bzw. abgebaut wird, eine gewisse Persistenz der Konzentrationen und Frachten bewirkt. Aus Rechenzeitgründen wurde die Vorlaufzeit auf fünf Jahre begrenzt. Eine einmalige Vergleichsrechnung mit 25 Jahren Vorlaufzeit belegte ein geringfügiges aber signifikantes Ansteigen der Phosphat-Konzentrationen. In Verbindung mit den höheren realen gegenüber den normativen Düngemengen im Landkreis Diepholz können somit zum Teil die relativ niedrigen simulierten $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ -Werte in der Hache/Diepholz erklärt werden.

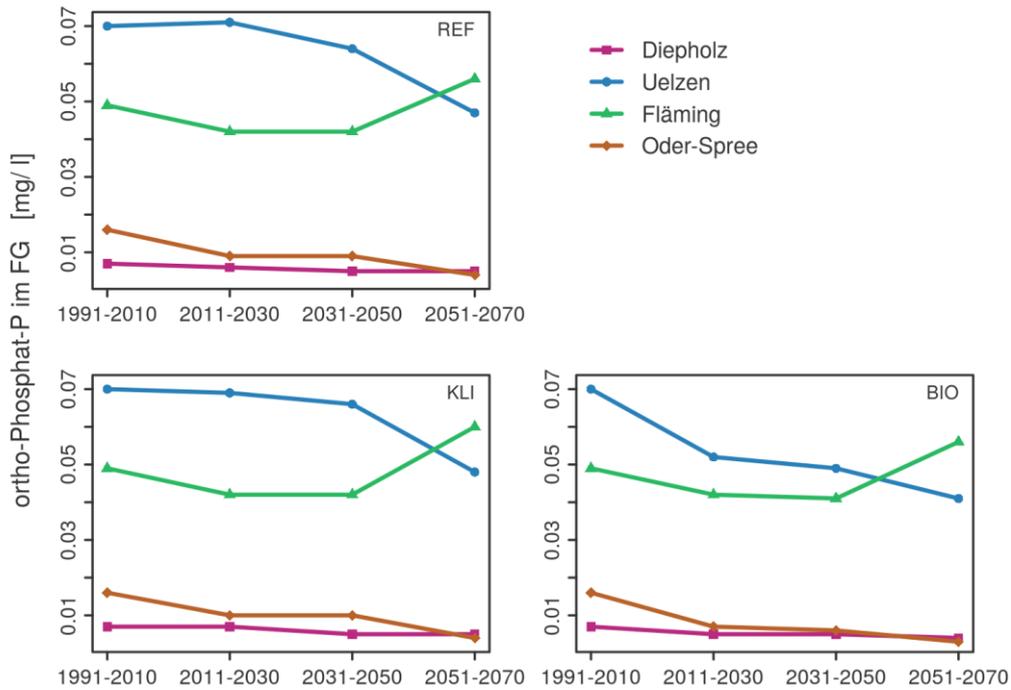


Abb. 40: Simulierte Phosphat-Phosphor-Konzentrationen im Fließgewässer (PO_4^{3-} -P-FG; Modell SWAT) für die Flussgebiete Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen, Nuthe/Fläming, Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree und alle Zeitscheiben, getrennt nach Entwicklungspfaden (Referenz-, Klimaschutz-, Biodiversitätspfad)

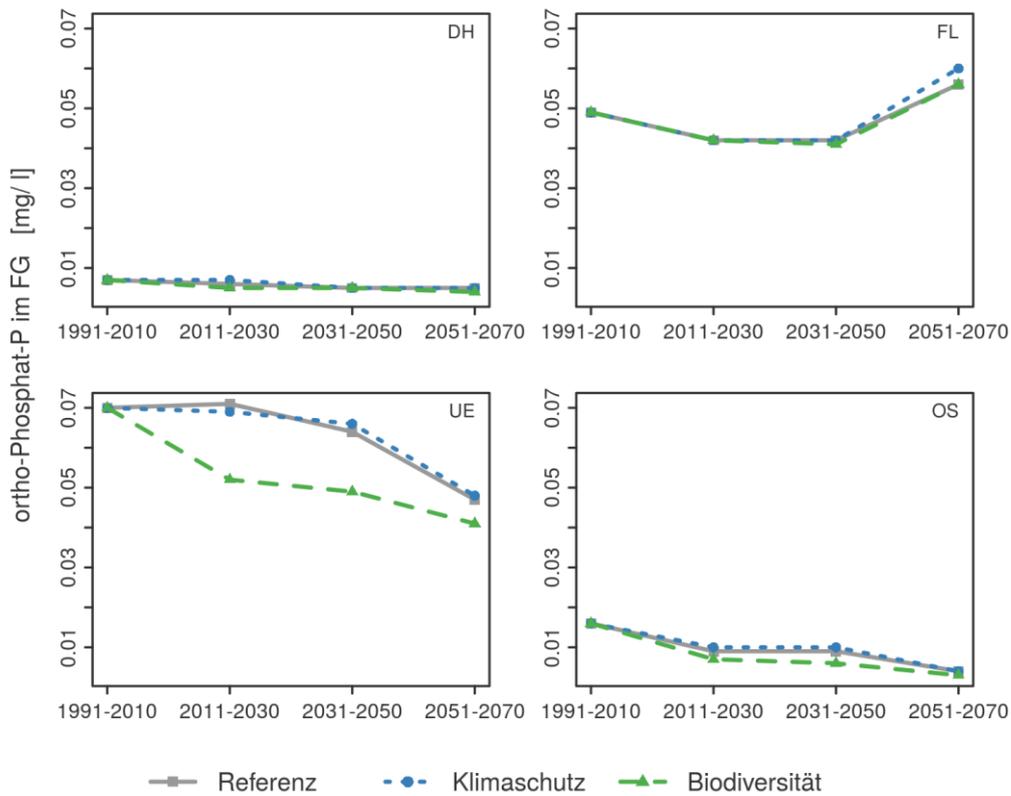


Abb. 41: Simulierte Phosphat-Phosphor-Konzentrationen im Fließgewässer (PO_4^{3-} -P-FG; Modell SWAT) für alle Entwicklungspfade und Zeitscheiben, getrennt nach Flussgebieten (Hache/Diepholz, Ilmenau/Uelzen, Nuthe/Fläming, Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree)

Bei der Beurteilung der Entwicklungspfade zeigt sich in allen vier Gebieten ein kohärentes Verhalten. Der Klimaschutzpfad liefert ähnliche Ergebnisse wie der Referenzpfad. Die Unterschiede liegen im Fehlerbereich der Modelle. Lediglich in der Nuthe/Fläming gibt es im letzten Zeitschritt einen Unterschied von 7% (von 0,056 auf 0,060 mg/l $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$). Der Biodiversitätspfad liefert dagegen in allen Gebieten gegenüber den jeweils anderen beiden Pfaden geringere Werte. Während die Verringerung in Hache/Diepholz und Nuthe/Fläming nur unbedeutend ist, nehmen die Werte durch den Biodiversitätspfad in Ilmenau/Uelzen und Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree im Durchschnitt um 25% ab. Das ist vermutlich die Folge der simulierten Gewässerrandstreifen von jeweils 5 m. Allerdings nehmen im Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree die Konzentrationen auch bei den anderen beiden Entwicklungspfaden ab. In beiden Gewässern wird in diesem Bereich der Flüsse Landwirtschaft betrieben. Wenn der Fluss durch urbane Teilgebiete, durch Wald oder Moore fließt, ist der Effekt geringer, da dort nicht gedüngt wird. Ein Blick auf den in allen vier Gebieten zusätzlich durchgerechneten Biodiversitätspfad für die Periode 1991-2010 (Tabelle 10) belegt einen reduzierenden Einfluss der Gewässerrandstreifen in drei Gebieten (außer Nuthe/Fläming).

Im Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree müssten auch nährstoffpuffernde Wirkungen des Niedermoores quantitativ berücksichtigt werden, um die Wirkung von Einzelmaßnahmen einschätzen zu können.

1.4.2.6 Fazit

Es zeigte sich, dass die Klimaänderungen nicht nur unmittelbar die Wasserhaushaltskomponenten, sondern auch mittelbar die Indikatoren des Stoffhaushaltes beeinflussen. Die sich durch ein veränderndes Wasserdargebot einstellenden Konzentrationen von Wasserinhaltsstoffen werden stärker vom Klima als von den geplanten Management-Szenarios geprägt. Das zeigt sich besonders in der Nuthe/Fläming, wo durch zu erwartende Wasserknappheit die Konzentrationen stärker ansteigen werden.

Umso wichtiger ist es, Nährstoffeinträge zu reduzieren und andere Schutzmaßnahmen wie Gewässerrandstreifen zu errichten. Prädestiniert sind hierfür vor allem landwirtschaftlich genutzte Flächen mit intensivem Düngemiteleinsatz.

Es ist bemerkenswert, dass die Unterschiede zwischen den Entwicklungspfaden bei den Konzentrationen der Wasserinhaltsstoffe in allen Gebieten kleiner waren als die Unterschiede zwischen den Zeitscheiben. Die Düngemengen steigen zwar an, aber dort, wo das Wasserdargebot kleiner wird, nehmen die Werte überproportional zu. Das ist nicht zwingend und hängt allgemein vom Verhältnis der Auswaschung aus dem Boden zur Aufkonzentration durch Wassermangel ab. Hinsichtlich des oben genannten Verhaltens bildet nur der starke Rückgang der Ortho-Phosphat-Phosphor-Konzentrationen in den Gebieten Ilmenau/Uelzen und Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree in der jeweils letzten Zeitscheibe eine nicht unmittelbar auf die Randbedingungen und Maßnahmen zurückführbare Ausnahme.

Unterirdische Zu- und Abflüsse aus Nachbargebieten können dazu führen, dass ein für ein bestimmtes Flussgebiet ausgeglichener Wasserhaushalt in bestimmten Teilgebieten erheblich von diesem Durchschnittsverhalten abweicht. Dies ist beispielsweise in der Ilmenau/Uelzen (Ost-West) und dem Demnitzer Mühlenfließ/Oder-Spree (Nord/West-Süd/Ost) der Fall.

Wegen der parallelen Anwendung jeweils mehrerer Maßnahmen innerhalb der Entwicklungspfade und Zeitscheiben kann ein quantitativer Nachweis der Einzelmaßnahmen außer für die Basisperiode kaum abgeleitet werden, sondern nur das Zusammenwirken der jeweiligen Maßnahmen beurteilt werden.

1.5 Bereitstellung der Modellergebnisse

Neben den zahlreichen bereits erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Zuwendungsempfängers (Peer-Review-Artikel, Konferenzbeiträge, Monografien, Poster, Graduiierungsarbeiten) erfolgt die Bereitstellung des Hauptteiles der Modellergebnisse über den Koordinator des Verbundprojektes, der NW-FVA Göttingen, gemeinsam mit den Ergebnissen der anderen Teilprojekte. Das betrifft sowohl den Auftritt gegenüber Stakeholdern in Form von Anwenderkonferenzen, die Erstellung eines zusätzlichen gemeinsamen Abschlussberichtes als auch einen interaktiven Internetauftritt bezüglich des Verbundprojektes. Dabei wurden neben den Ergebnissen aller Teilprojekte zusätzlich gemeinsame Schlussfolgerung für das gesamte Verbundthema erarbeitet.

Alle im Rahmen des Projektes sowohl vom Zuwendungsempfänger als auch den anderen Projektpartnern abgeleiteten Indikatoren zur Beschreibung der klimabedingten Änderungen im Norddeutschen Tiefland wurden durch den Projektkoordinator in der NW-FVA Göttingen aggregiert und in ihrer Gesamtheit (einzeln und aggregiert) mit interaktiver Bedienung ins Internet gestellt. Sowohl Stakeholder als auch interessierte Bürger können sich so zeitnah über mögliche Gefahren bzw. Anpassungsstrategien informieren.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Zeitplanung wurde eingehalten.

Der abschließende Verwendungsnachweis wurde dem Mittelgeber im September 2015 übersandt. Das Personaldefizit von 57541,28 €, das durch die hohe Erfahrungsstufe des Bearbeiters entstanden ist, wurde durch die CAU Kiel getragen. Eine Verkürzung der Bearbeitungszeit war durch den enormen Umfang der Arbeiten und die zeitlich versetzte Zuarbeit der anderen Teilprojekte bedingt durch die enge Vernetzung nicht möglich. Die Besetzung mit einem wissenschaftlich erfahrenen Bearbeiter war durch die Komplexität der Aufgaben unerlässlich. Ich bitte nochmals zu prüfen, ob zumindest ein Teil des Personaldefizits durch den Mittelgeber aufgefangen werden kann. Eine Aufschlüsselung der Kostenbilanz nach den Hauptpositionen enthält Tabelle 11.

Tab. 11: Kostenbilanz des Zuwendungsempfängers
nach Hauptpositionen in €

Position	Soll	Ist	Differenz
812	305.920,00	363.461,28	-57.541,28
822	4.096,00	3.026,47	1.069,53
843	5.556,00	1.654,69	3.901,31
846	8.423,00	7.446,92	976,08
850	7.005,00	7.031,14	-26,14
Bilanz	331.000,00	382.620,50	-51.620,50

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Im Antrag wurde die Vorgehensweise zur Realisierung des Projektes ausführlich begründet. Es wurden die Arbeitsschwerpunkte Datenerfassung und Vulnerabilitätsanalyse sowie die Erfassung der räumlichen Heterogenität abgeleitet und zielorientiert abgearbeitet. Die durchgeführten Arbeiten stellten einen passfähigen Baustein innerhalb des Verbundprojektes dar. Sie ergänzen sich hervorragend mit den Arbeiten, die im Bereich der Wasserwirtschaft vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig, im Bereich der Forstwirtschaft von der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt Göttingen und der Landwirtschaft von der Hochschule Vechta und dem Zentrum für Agrarlandforschung Müncheberg (ZALF) durchgeführt wurden. Um die im Antrag festgelegten Zielstellungen zu realisieren, sind umfangreiche Modellierungsarbeiten auf der Einzugsgebietskala durchgeführt worden, die durch theoretische Arbeiten in Form der Anwendung, Adaptation und Weiterentwicklung von Modellen ergänzt wurden. Zur Absicherung der Ergebnisse und zur zusätzlichen Datengewinnung sind umfangreiche Kooperationsbeziehungen sowohl mit den in den Untersuchungsgebieten ansässigen Stakeholdern als auch übergeordneten Einrichtungen der Wasser-, Land- und Forstwirtschaft aufgebaut worden.

Zusammenfassend wird eingeschätzt, dass die durchgeführten Arbeiten notwendig und angemessen waren. Sie führten und führen nach der Zusammenführung aller Ergebnisse des Verbundprojektes sowohl beim Forschungsnehmer als auch den Stakeholdern zu einem erheblichen Zuwachs an Wissen. Diese Feststellung wird belegt durch bereits vorliegende eigene und gemeinsam mit Forschungspartnern erarbeiteten nationalen und internationalen Publikationen, der erfolgreichen Vorstellung der Ergebnisse auf nationalen und internationalen Konferenzen, der Realisierung von Qualifizierungsarbeiten im Rahmen der studentischen Ausbildung sowie von Nachwuchswissenschaftlern und der kooperativen Zusammenarbeit mit Vertretern der Praxis, besonders aus den Bereichen der Wasser-, der Land- und der Forstwirtschaft.

4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplanes

Bei der Umsetzung des Forschungsvorhabens wurde auf etablierte Modellansätze zurückgegriffen, die an die Fragestellungen angepasst und erweitert bzw. auf die Realisierungsmöglichkeiten des Modells im gegebenen Zeitrahmen reduziert wurden. Hinzu kommt noch, dass die Untersuchungen in vier unterschiedlichen Klimaräumen (Zeitscheiben) durchgeführt wurden. Interessant, vor allem für die in den Gebieten ansässigen Landwirte, Wasserversorgungsunternehmen, Forstbetriebe und planerisch tätigen Einrichtungen sind die Prognosen über die zukünftige Entwicklung der Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von den simulierten Klimaänderungen. Im Rahmen des Projektes wurden enge Kooperationsbeziehungen bezüglich der künftigen Klimaentwicklung (Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung) aufgebaut.

Die Umsetzung der insgesamt im Verbundprojekt erzielten Ergebnisse ist Bestandteil des bestehenden Projektkonsortiums unter Leitung der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt Göttingen. Regionale administrative Planungsbehörden aus den Untersuchungsregionen waren direkt in das Projekt eingebunden und sollen die umfassende Nutzung der erarbeiteten Ergebnisse gewährleisten (siehe Gesamtbericht zum Verbundvorhaben unter Lei-

tung des Koordinators). Darüber hinaus bestehen im hier bearbeiteten Teilprojekt weitere unmittelbare Kontakte zu Stakeholdern zur Wissensübertragung. Des Weiteren ist vorgesehen, die Ergebnisse in Fachzeitschriften zu veröffentlichen und auf branchenspezifischen Fachtagungen zur Diskussion zu stellen.

Der interaktive Internetauftritt bezüglich des Verbundthemas dient als Multiplikator der Verwendung der erzielten Ergebnisse. Das liegt im Interesse der Stakeholder.

Hinsichtlich des vom Zuwendungsempfänger verwendeten Modells SWAT konnten wertvolle Erkenntnisse zur Verbesserung bzw. Weiterentwicklung des Modells gesammelt werden, die in der 2016 erscheinenden neuen Modellversion bereits berücksichtigt werden konnten.

Mit der während des Forschungsvorhabens realisierten Weiterentwicklung wurde das Modellsystem SWAT an die Spezifika von Tieflandgebieten angepasst und ist daher zukünftig für Fragestellungen in diesen Regionen einsetzbar. Durch die Implementierung ist ein weiterer Baustein für ein integriertes Landmanagement entstanden.

Die entwickelten Modelle können nach Bedarf von interessierten Fachleuten zur Berechnung weiterer Szenarios genutzt bzw. in der künftigen Forschungsarbeit, aber auch der universitären Lehre verwendet werden.

Modellbetriebe können die Ergebnisse (Auswertung von Messkampagnen, szenariobasierte Modellrechnungen) in anderen Modellen verwenden und als Entscheidungshilfe zur Lösung potenzieller Interessenkonflikte (Flächennutzung und Ressourcenbereitstellung) nutzen.

5. Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Aufgabenstellung bzw. die Strategie sowohl des gesamten Verbundprojektes als auch die des Zuwendungsempfängers waren so regionsspezifisch und komplex, dass in dieser Kombination keine derartigen Fortschritte auf diesem Gebiet bei anderen Stellen bekannt geworden sind. Weltweit gibt es viele Studien, die sich mit Klimaänderungen und deren Folgeerscheinungen beschäftigen. Dort werden auch entsprechend festgelegte Szenarios berechnet, die in der Kombination aber andersgeartet sind als die des vorliegenden Themas. Auch im Norddeutschen Tiefland wurden andere Modelle zum Klimawandel getestet, die aber den Grad der Komplexität aus Wasser-, Land- und Forstwirtschaft sowie Klimatologie und Sozioökonomie im Projekt NaLaMa-nT nicht erreichen.

Wissenschaftlich interessant ist, dass von den Projektpartnern verschiedene Modellansätze, z. B. zur Berechnung der Grundwasserneubildung genutzt wurden. Dabei wurde festgestellt, dass zumindest vergleichbare Ergebnisse mit den Ansätzen TUB-BGR, SWAT und WaSiM-ETH erzielt wurden. Damit erhöht sich die Sicherheit dafür, dass die Prognoseergebnisse eine solide Basis für künftige Planungsarbeiten in den Modellregionen darstellen können.

6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses des Vorhabens

Veröffentlichungen/Artikel (peer review)

2012

Quast, J., Messal, H., Ehlert, V., Sbjeschni, A., Schmidt W. (2012): Model-based Assessment of Land Use Impacts on Runoff and Inundation caused by Flood Events. Irrigation and Drainage, Wiley-Blackwell, Volume 61, Issue 2, April 2012, Pages: 155-167; and published online 2011, DOI: 10.1002/ird.642.

2011

Quast, J., Böhme, M., Ehlert, V., Ette, J., Gottschick, M., Jaeckel, A., Knierim, A., Messal, H., Sawicka, M., Sbjeschni, A., Schmidt, W., Szerencsits, M., von Tümpling, W. (2011): Flood Risks in Consequence of agrarian Land-use Measures in Flood Formation and Inundation Zones and Conclusions for Flood Risk Management Plans. Irrigation and Drainage, Wiley-Blackwell, Volume 60, December 2011, Pages: 105-112; and published online 2011, DOI: 10.1002/ird.674.

Veröffentlichungen/Artikel (peer review) – geplant

2016

Messal, H., Hasler, M., Fohrer, N.: Statistische Auswertung von umfangreichen Messkampagnen entlang von Transekten im Norddeutschen Tiefland, (Arbeitstitel).

Konferenzbeiträge

2016 (eingereicht)

Fleck, S., Ahrends, B., Sutmöller, J., Messal, H., Meissner, R., Meesenburg, H. (2016): Zukünftiger Anstieg der Nitratkonzentrationen unter Wald im norddeutschen Tiefland: Droht Stickstoff-Eutrophierung durch Klimawandel? Vortrag auf dem Tag der Hydrologie 2016, 17./18.03.2016, Koblenz, Deutschland.

2016

Messal, H. (2016): Aspekte zur Modellierung der Schneeschmelze mit dem Modell SWAT. Vortrag auf dem SWAT-DE-Workshop, 14.-15.1.2016, FU Berlin, Berlin, Deutschland.

2015

Messal, H., Debebe, W., Fohrer, N. (2015): Raum-zeitliche Analyse von Abfluss, Nährstoffen und physikalisch-chemischer Eigenschaften in Flusseinzugsgebieten des Norddeutschen Tieflandes. Vortrag auf dem Tag der Hydrologie 2015, 19.03.2015, Bonn, Deutschland.

2014

Messal, H., Debebe, W., Fohrer, N. (2014): Räumliche und zeitliche Analysen von Abfluss, Pflanzennährstoffen und physikalischen Parametern in Flusseinzugsgebieten des Norddeutschen Tieflandes. Vortrag auf dem 10. Hydrologie-Workshop der Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft der CAU zu Kiel, 01.12.2014, Kiel, Deutschland.

2013

Messal, H., Schmalz, B., Fohrer, N. (2013): Messkampagnen von Wassermenge und -güte im Norddeutschen Tiefland – Ergebnisse aus Datenanalysen und ersten Modellrechnungen. Vortrag auf der BMBF-Statuskonferenz 2013 – Fördermaßnahme "Nachhaltiges Landmanagement" - Modul B, April 2013, Berlin, Deutschland.

2012

Messal, H., Fohrer, N. (2012): Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland unter sich ändernden ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen - NaLaMa-nT -. Vortrag auf dem 8. Hydrologie-Workshop der Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft der CAU zu Kiel, 19.11.2012, Kiel, Deutschland.

Rehda, K., Messal, H., von Tümpling, W., Röper, C. (2012): Möglichkeiten zur Nutzung großer Flussauen in Sachsen-Anhalt vor dem Hintergrund stofflicher Belastungen in Böden und Sedimenten. Vortrag auf dem 15. Magdeburger Gewässerschutzseminar 2012, 10-11.10.2012, Hamburg, Deutschland.

2011

Quast, J., Böhme, M., Ehlert, V., Ette, J., Gottschick, M., Jaeckel, A., Knierim, A., Messal, H., Sawicka, M., Sbjeschni, A., Schmidt, W., Szerencsits, M., von Tümpling, W. (2011): Flood Risks in Consequence of agrarian Land-use Measures in Flood Formation and Inundation Zones and Conclusions for Flood Risk Management Plans. Presentation at the 25th ICID European Regional Conference, May 16-20 2011, Groningen, Netherlands.

Quast, J., Ehlert, V., Messal, H., Muskolus, A. (2011): Alternating Use of Aquifers for Withdrawal and Storage of Water for Irrigation. Presentation at the 24th ICID ERC Groundwater Conference, March 14-16 2011, Orleans, France.

Poster

2015

Messal, H., Debebe, W., Fohrer, N. (2015): Räumliche und zeitliche Analysen von Abfluss und Wasserinhaltsstoffen in Flusseinzugsgebieten des Norddeutschen Tieflandes. Poster auf dem Hochschultag der Agrarfakultät der CAU zu Kiel 2015, Kiel, Deutschland.

2014

Messal, H., Fohrer, N. (2014): Entwicklung von nachhaltigen Landnutzungsoptionen im Norddeutschen Tiefland. Poster auf dem Hochschultag der Agrarfakultät der CAU zu Kiel 2014, Kiel, Deutschland.

2013

Messal, H., Hasler, M., Fohrer, N. (2013): Messkampagnen von Wassermenge und -güte im Norddeutschen Tiefland als Grundlage für Berechnungen von Landnutzungsszenarios – Ergebnisse aus Datenanalysen. Poster auf dem Tag der Hydrologie 2013, Bern, Schweiz.

2012

Messal, H., Beckmann, T., Song, S., Fohrer, N. (2012): Großräumige hydrologische Messkampagnen im Norddeutschen Tiefland und erste Auswertungen zur Erfassung des Istzustandes des Landschaftswasser- und -stoffhaushaltes. Poster auf dem Tag der Hydrologie 2012, Freiburg, Deutschland.

Monografien

2016 (geplant)

Kätzel, R., u. a. (Messal, H.): Umfangreiche Darstellung zum Risikomanagement im Norddeutschen Tiefland in Verbindung mit dem Klimawandel. Unter Federführung von R. Kätzel beteiligen sich mehrere Partner aus NaLaMa-nT (auch W1a) an der Erstellung dieser Monografie.

Graduierungsarbeiten

2014

Masterarbeit

Debebe, W. (2014): GIS based spatial and temporal Analysis of Runoff, Nutrients and physical Parameters in seven Watersheds of the Northern German Lowland. Master Thesis, CAU zu Kiel, Kiel, Deutschland.

2013

Bachelor-Arbeit

Gripp, T. (2013): Längsschnitt-Analyse des Durchflusses und der Frachten ausgewählter Wasserinhaltsstoffe in zwei Flusseinzugsgebieten des Norddeutschen Tieflandes. Bachelor-Arbeit, CAU zu Kiel, Kiel, Deutschland.

2012

Bachelor-Arbeit

Beckmann, T. (2012): Längsschnitt-Analyse des Durchflusses und der Frachten ausgewählter Wasserinhaltsstoffe in drei Flusseinzugsgebieten des Norddeutschen Tieflandes. Bachelor-Arbeit, CAU zu Kiel, Kiel, Deutschland.

Quellen/Literatur

- ARNOLD, J.G, FOHRER, N. (2005): SWAT2000: Current Capabilities and Research Opportunities in Applied Watershed Modeling. *Hydrological Processes*. 19(3): 563-572.
- ARNOLD, J.G., SRINIVASAN, R., MUTTIAH, R.S., WILLIAMS, J.R. (1998): Large area hydrologic modeling and assessment, Part I: model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 34(1), 73–89.
- BECKMANN, T. (2012): Längsschnitt-Analyse des Durchflusses und der Frachten ausgewählter Wasserinhaltsstoffe in drei Flusseinzugsgebieten des Norddeutschen Tieflandes. Bachelor-Arbeit, CAU zu Kiel, Kiel, Deutschland.
- BORMANN, H. (2009): Analysis of possible impacts of climate change on the hydrological regimes of different regions in Germany. *Adv. Geosci.*, 21, 3–11.
- BORMANN, H., BREUER, L., GRÄFF, T., HUISMAN, J.A. (2007): Analysing the effects of soil properties changes associated with land use changes on the simulated water balance: A comparison of three hydrological catchment models for scenario analysis. *Ecological modelling* 209 29–40.
- BWK (2002): Wasserbilanzmodelle in der Wasserwirtschaft, kontinuierliche Niederschlags-Abflussmodelle, Merkblatt 2, Arbeitsgruppe 7.1 „Wasserbilanzmodelle in der Wasserwirtschaft“ Vorsitzender M.W. Ostrowski, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V., Düsseldorf, 79 S.
- CORINE Land Cover (CLC2006), (2009): Umweltbundesamt, DLR-DFD 2009.
- DEBEBE, W. (2014): GIS based spatial and temporal Analysis of Runoff, Nutrients and physical Parameters in seven Watersheds of the Northern German Lowland. Master Thesis, CAU zu Kiel, Kiel, Deutschland.
- DÖLL, P., FOHRER, N. (1999): Modellierung von Wasser- und Stofftransport in großen Einzugsgebieten – Stand der Forschung und Perspektiven. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*. 43(4):191-196.
- ECKHARDT, K., HAVERKAMP, S., FOHRER, N., FREDE, H.-G. (2002): SWAT-G a version of SWAT99.2 Modified for Application to Low Mountain Range Catchments. *Physics and Chemistry of the Earth*. 27(9-10): 641-644.
- EEA (European Environment Agency) (2007): Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture. EEA Technical report 12/2007. European Environment Agency, Copenhagen.
- EG (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften*.
- FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) (2007): Daten und Fakten zu nachwachsenden Rohstoffen. Gülzow.

- FOHRER, N., DEUNERT, F., SCHMALZ, B. (2008a): Integration von landwirtschaftlichen Dränagen in die Abbildung des Landschaftswasser- und -stoffhaushalts von Tieflandeinzugsgebieten. DWA-Themen „Dränung – Nährstoffausträge, Flächenerfassung und Management“, 32-38.
- FOHRER, N., B. SCHMALZ, G. HÖRMANN, (2008b): Suitability of the eco-hydrological model SWAT for the assessment of water balance and quality in rural catchments. Progress in Hydro Science & Engineering. 3:303-312.
- FOHRER, N., SCHMALZ, B., TAVARES, F., GOLON, J. (2007): Ansätze zur Integration von landwirtschaftlichen Drainagen in die Modellierung des Landschaftswasserhaushalts von mesoskaligen Tieflandeinzugsgebieten. Hydrologie & Wasserbewirtschaftung 51 (4): 164-169.
- FOHRER, N., HAVERKAMP, S., FREDE, H.-G. (2005): Assessment of the effects of land use patterns on hydrologic landscape functions: development of sustainable land use concepts for low mountain range areas. Hydrol. Proc. 19, 659-672.
- FOHRER, N., MÖLLER, D., STEINER, N. (2002): An interdisciplinary modelling approach to evaluate the effects of land use change. Physics and Chemistry of the Earth 27(9-10): 655-662.
- FOHRER, N., HAVERKAMP, S., ECKHARDT, K., FREDE, H.-G. (2001): Hydrologic response to land use changes on the catchment scale. Physics and Chemistry of the Earth. Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere. 26(7-8): 577-582.
- FOHRER, N., HAVERKAMP, S., ECKHARDT, K., FREDE, H.-G. (2000): Auswirkung von Landnutzungsänderungen auf den Wasserhaushalt von mesoskaligen Einzugsgebieten. EcoRegio, 8:3-10.
- GRIPP, T. (2013): Längsschnitt-Analyse des Durchflusses und der Frachten ausgewählter Wasserinhaltsstoffe in zwei Flusseinzugsgebieten des Norddeutschen Tieflandes. Bachelor-Arbeit, CAU zu Kiel, Kiel, Deutschland.
- HAVERKAMP, S., FOHRER, N., FREDE, H.-G. (2005): Assessment of long-term effects of land use patterns on hydrologic landscape functions. - A comprehensive GIS-based tool to minimize model uncertainty resulting from spatial aggregation. Hydr. Proc., 19(3): 715-727.
- HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) (2005): Integriertes Klimaschutzprogramm Hessen INKLIM 2012 – Projektbaustein II: Klimawandel und Klimafolgen in Hessen. Abschlussbericht.
- HÖRMANN, G., RENKEN, A. L., FOHRER, N. (2009): Use of high resolution climate change data to simulate hydrologic change at the small catchment scale. IAHS red book 330.
- IPCC (2007): Climate Change 2007. Synthesis Report. In: Core Writing Team, PACHAURI, R.K. and REISINGER, A. (Eds.): Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, pp 104.

- LAM, Q.D., SCHMALZ, B., FOHRER, N. (2010): Modelling point and diffuse source pollution of nitrate in a rural lowland catchment using the SWAT model. *Agricultural Water Management*, v.97, p.317-325.
- LAM, Q.D., SCHMALZ, B., FOHRER, N. (2009): Ecohydrological modelling of water discharge and nitrate loads in a mesoscale lowland catchment, Germany. *Adv. Geosci.* 21: 49-55.
- LAWA-AO (2005): Rahmenkonzeption zur Aufstellung von Monitoringprogrammen und zur Bewertung des Zustandes von Oberflächengewässern – Empfehlung – Stand 02.03.2005 – (RAKON), der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, LAWA-Ausschuss „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer“ (LAWA-AO).
- LAWA (1998): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der BRD – chemische Gewässergüteklassifikation – der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser. 1. Aufl., Kulturbuchverlage, Berlin, ISBN 3-88961-224-5.
- LUA (Landesumweltamt Brandenburg) (2006): Daten zum integrierten Klimaschutzmanagement im Land Brandenburg. Fachbeiträge des LUA 104, Potsdam.
- MESSAL, H. (2016): Aspekte zur Modellierung der Schneeschmelze mit dem Modell SWAT. Vortrag auf dem SWAT-DE-Workshop, 14.-15.1.2016, FU Berlin, Berlin, Deutschland.
- MESSAL, H., DEBEBE, W., FOHRER, N. (2015): Raum-zeitliche Analyse von Abfluss, Nährstoffen und physikalisch-chemischer Eigenschaften in Flusseinzugsgebieten des Norddeutschen Tieflandes. Vortrag auf dem Tag der Hydrologie 2015, 19.03.2015, Bonn, Deutschland.
- MESSAL, H., DEBEBE, W., FOHRER, N. (2015): Räumliche und zeitliche Analysen von Abfluss und Wasserinhaltsstoffen in Flusseinzugsgebieten des Norddeutschen Tieflandes. Poster auf dem Hochschultag der Agrarfakultät der CAU zu Kiel 2015, Kiel, Deutschland.
- MESSAL, H., DEBEBE, W., FOHRER, N. (2014): Räumliche und zeitliche Analysen von Abfluss, Pflanzennährstoffen und physikalischen Parametern in Flusseinzugsgebieten des Norddeutschen Tieflandes. Vortrag auf dem 10. Hydrologie-Workshop der Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft der CAU zu Kiel, 01.12.2014, Kiel, Deutschland.
- MESSAL, H., FOHRER, N. (2014): Entwicklung von nachhaltigen Landnutzungsoptionen im Norddeutschen Tiefland. Poster auf dem Hochschultag der Agrarfakultät der CAU zu Kiel 2014, Kiel, Deutschland.
- MESSAL, H., SCHMALZ, B., FOHRER, N. (2013): Messkampagnen von Wassermenge und -güte im Norddeutschen Tiefland – Ergebnisse aus Datenanalysen und ersten Modellrechnungen. Vortrag auf der BMBF-Statuskonferenz 2013 – Fördermaßnahme "Nachhaltiges Landmanagement" - Modul B, April 2013, Berlin, Deutschland.
- MESSAL, H., HASLER, M., FOHRER, N. (2013): Messkampagnen von Wassermenge und -güte im Norddeutschen Tiefland als Grundlage für Berechnungen von Landnutzungsszenarios – Ergebnisse aus Datenanalysen. Poster auf dem Tag der Hydrologie 2013, Bern, Schweiz.
- MERZ, R., BLÖSCHEL, G. (2004): Regionalisation of catchment model parameters. *Journal of Hydrology* 287 95–123.

- NITSCH, H., OSTERBURG, B., VON BUTTLAR, C., VON BUTTLAR, H.-B. (2008): Aspekte des Gewässerschutzes und der Gewässernutzung beim Anbau von Energiepflanzen. Ergebnisse eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie 3/2008. Braunschweig.
- OLLESCH, G., DEMIDOV, V., VOLOKITIN, M., MEIßNER, R. (2008): Evaluation of land use management alternatives with model application - a case study from a southern Taiga catchment in Russia, Final COST 634 international Conference "On- and Off-site Environmental Impacts of Runoff and Erosion", Aveiro, Portugal, 30th June to 4th July 2008.
- OLLESCH, G., MEIßNER, R., BISCHOFF, H., JOHN, H. (2007): Änderungen in der Häufigkeit von typischen Winterwetterlagen und deren Auswirkungen auf die Abflussbildung und den Sedimentexport – Ergebnisse einer Modellstudie aus dem Unterharz, Tag der Hydrologie 2007 Einfluss von Bewirtschaftung und Klima auf Wasser- und Stoffhaushalt von Gewässern, 22./23. März an der Universität Rostock.
- ORLOWSKY, B., GERSTENGARBE, F.W., WERNER, P. (2008): A resampling scheme for 348 regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theoretical and Applied Climatology* 92: 209–223.
- RICHTER, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes* 194, Offenbach.
- SCHMALZ, B., FOHRER, N. (2009): Comparing model sensitivities of different landscapes using the ecohydrological SWAT model. *Adv. Geosci.* 21: 91-98.
- SCHMALZ, B., BIEGER, K., FOHRER, N. (2008a): A method to assess instream water quality – the role of nitrogen entries in a North German rural lowland catchment. *Adv. Geosci.* 18: 37-41.
- SCHMALZ, B., TAVARES, F., FOHRER, N. (2008b): Modelling hydrological lowland processes in mesoscale river basins with SWAT - Capabilities and challenges. *Hydrological Sciences Journal*, 53(5), 989-1000.
- SCHMALZ, B., TAVARES, F., FOHRER, N. (2007): Assessment of nutrient entry pathways and dominating hydrological processes in lowland catchments. *Adv. Geosci.* 11, 107-112.
- SCHULLA, J. (2015): Model Description WaSiM-ETH (Water Balance Simulation Model, 2015). Technical Report, Version 10.10.2015., Zürich.
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2007): Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin.
- UMWELTBUNDESAMT (2013): Wasserwirtschaft in Deutschland, Teil2: Gewässergüte. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- WEBER, A., FOHRER, N., MÖLLER, D. (2001): Long-term land use changes in a mesoscale watershed due to socio-economic factors – effects on landscape structures and functions, Justus-Liebig-University, Gießen, *Ecological Modelling* 140, p.125-140.

WENDLAND, F., ALBERT, H., BACH, M.F., SCHMIDT, R. (Hrsg.), (1993): Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland – Rasterkarten zu geowissenschaftlichen Grundlagen, Stickstoffbilanzgrößen und Modellergebnissen. DOI: 10.1007/978-3-642-58028-4, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

WESSOLEK, G.; DUIJNISVELD, W.; TRINKS, S. (2009): Hydro-Pedotransferfunktionen zur Berechnung der Sickerwasserrate aus dem Boden: das TUB-BGR Verfahren. Bodenökologie und Bodengenese, Heft 40, 66-80.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel NaLaMa-nT – Entwicklung hydrologischer Anpassungsstrategien infolge des globalen Wandels für das Norddeutsche Tiefland durch Modellanwendung – Landschaftswasser- und -stoffhaushalt (Teilprojekt W1a des BMBF-Verbundprojektes)	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Prof. Dr. Nicola Fohrer Dr. Hilmar Messal	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31. August 2015
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Prof. Dr. Nicola Fohrer Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Institut für Natur- und Ressourcenschutz Abteilung Hydrologie und Wasserwirtschaft Olshausenstr. 75 24118 Kiel	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 033L029F
	11. Seitenzahl 58
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 53
	14. Tabellen 11
	15. Abbildungen 41
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projekträger Jülich – UMW, Berlin, 29.02.2016	
18. Kurzfassung Vor dem Hintergrund der sich ändernden ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen wurden im Teilprojekt W1a Wissens- und Entscheidungsgrundlagen für ein innovatives, nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland auf dem Gebiet des Landschaftswasser und -stoffhaushaltes erarbeitet. Für vier exemplarische Modellregionen/Flusseinzugsgebiete (LK Diepholz/Hache, LK Uelzen/Ilmenau, Fläming/Nuthe, LK Oder-Spree/Demnitzer Mühlenfließ) entlang eines Ost-West-Transektes wurden Zustände und Wirkungsgefüge analysiert, szenariobasiert Entwicklungen abgeschätzt und inter- und transdisziplinär Anpassungsstrategien abgeleitet. Die Auswirkungen wurden an speziell abgeleiteten Indikatoren eines nachhaltigen Landmanagements, die szenariobasiert bis 2070 simuliert wurden, abgeschätzt (Grundwasserneubildung, Abflussspende, Nitrat/Grundwasser, Nitrat-Stickstoff/Fließgewässer, Ortho-Phosphat-Phosphor/Fließgewässer). Die Szenarios beinhalteten neben den Änderungen des Klimas und einiger Managementmaßnahmen auch jeweils einen speziellen Biodiversitäts- und Klimaschutzpfad. Die Klimaänderungen beeinflussen unmittelbar die Wasserhaushaltskomponenten, aber auch mittelbar die Indikatoren des Stoffhaushaltes. Die sich durch ein veränderndes Wasserdargebot einstellenden Konzentrationen von Wasserinhaltsstoffen werden stärker vom Klima als von den geplanten Managementszenarios geprägt. Nährstoffeinträge sollten dennoch reduziert und andere Schutzmaßnahmen wie Gewässerrandstreifen (auf Flächen mit intensivem Düngemiteleinsatz) realisiert werden. Die Unterschiede zwischen den Entwicklungspfaden sind bei den Konzentrationen der Wasserinhaltsstoffe in allen Gebieten kleiner als die Unterschiede zwischen den Zeitscheiben mit Landnutzungs- und Managementvariationen. Die Düngemengen steigen zwar an, aber dort, wo das Wasserdargebot kleiner wird, nehmen die Werte überproportional zu. Dies hängt vom Verhältnis der Auswaschung aus dem Boden zur Aufkonzentration durch Wassermangel ab. Dabei macht in den Regionen Uelzen/Ilmenau und Oder-Spree/Demn. Mühlenfl. der starke Rückgang der Phosphat-Konzentrationen in der letzten Zeitscheibe (bis 2070) eine Ausnahme.	
19. Schlagwörter: Klimawandel, Landnutzungswandel, nachhaltiges Landmanagement, Landschaftswasserhaushalt, Landschaftsstoffhaushalt, Szenariorechnungen, Modellierung, Anpassungsstrategien, Norddeutsches Tiefland	
20. Verlag	21. Preis