



Kooperationsprojekt GROWA+ NRW 2021

Teil IIb

Ausweisung potenziell dränierter Flächen unter
landwirtschaftlicher Nutzung in Nordrhein-Westfalen

[LANUV-Fachbericht 110](#)

Kooperationsprojekt GROWA+ NRW 2021

Teil IIb

Ausweisung potenziell dräniertter Flächen unter
landwirtschaftlicher Nutzung in Nordrhein-Westfalen

[LANUV-Fachbericht 110](#)

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Recklinghausen 2021

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0 Telefax 02361 305-3215 E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de
Autoren	Björn Tetzlaff Forschungszentrum Jülich, Institut für Bio- und Geowissenschaften (IBG-3: Agrosphäre) 52425 Jülich Tel.: 02461 61-0 E-Mail: info@fz-juelich.de
Titelbild	Fotolia/Countrypixel
Stand	März 2021
ISSN	1864-3930 (Print), 2197-7690 (Internet), LANUV-Fachbericht
Informationsdienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Verbraucherschutz unter • www.lanuv.nrw.de Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im • WDR-Videotext
Bereitschaftsdienst	Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV (24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet. Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Das Projekt GROWA+ NRW 2021

Die Abkürzung GROWA+NRW 2021 steht für:

„Regionalisierte Quantifizierung der diffusen Stickstoff- und Phosphoreinträge in das Grundwasser und die Oberflächengewässer Nordrhein-Westfalens“.

Die Laufzeit des Projekts war über vier Jahre von Anfang Dezember 2015 bis zum Ende des Jahres 2019 angesetzt. Auftraggeber für GROWA+ NRW 2021 war das nordrhein-westfälische Umweltministerium. Unter der Leitung des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) sind das Forschungszentrum Jülich, der Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen (GD), die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK) und das auf dem Gebiet der Landwirtschaft forschende Thünen-Institut aus Braunschweig die fünf an dem Gemeinschaftsprojekt beteiligten Institutionen gewesen.



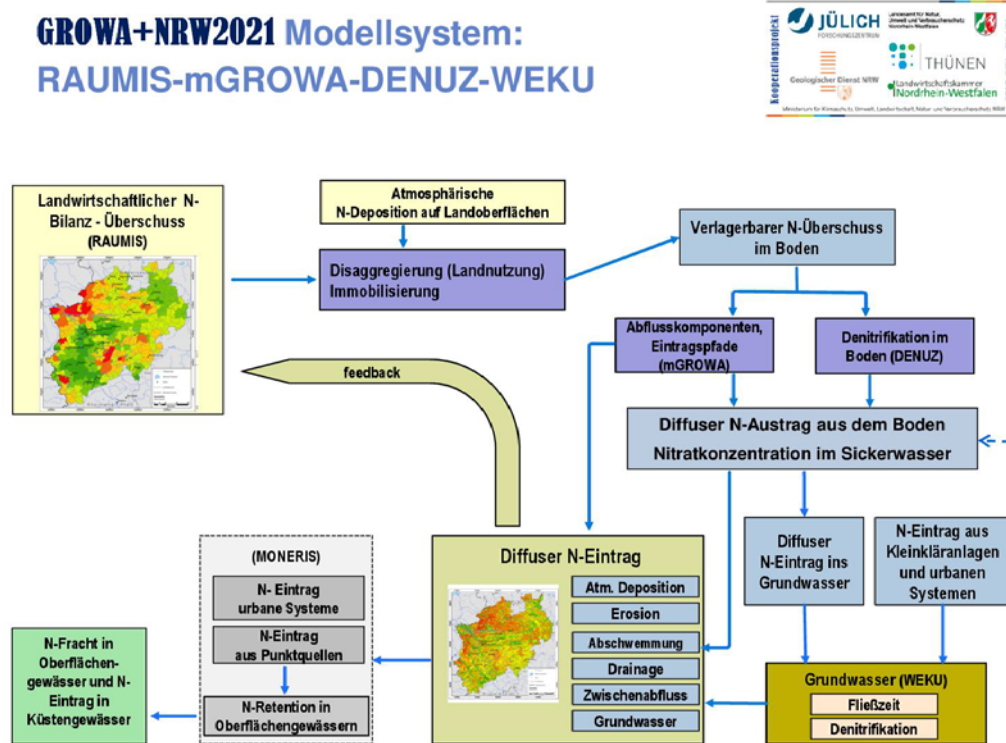
Veranlassung und Zielsetzung:

Die Belastung des Grundwassers und der Oberflächengewässer in NRW durch Stickstoff- und Phosphoreinträge ist ein komplexes Umweltthema. Die Analyse der Eintragspfade und Lösungsansätze können nur fachübergreifend und gemeinschaftlich mit den beteiligten Behörden und öffentlichen Institutionen der Land- und Wasserwirtschaft sowie Forschungseinrichtungen erarbeitet werden. Beispielsweise werden für die Umsetzung der EU-Nitratrichtlinie, der Wasserrahmenrichtlinie und Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie und deren zugehörige Maßnahmenprogramme landesweit konsistente und räumlich hochauflösende Angaben zur Herkunft und räumlichen Verteilung der Stickstoff- und Phosphoreinträge benötigt. Ziel ist es hierbei, eine effektive und Verursacher-gerechte Maßnahmenplanung zu ermöglichen.

Da diese Fragestellungen nur durch komplexe Modellberechnungen und genaue Fach- und Gebietskenntnisse beantwortet werden können, wurde das genannte Kooperationsprojekt in NRW in die Wege geleitet. Einerseits sind die Nährstoffeinträge in die Systeme Boden und Gewässer aus Landwirtschaft, Abwasserbereich, atmosphärische Deposition und aus urbanen

Systemen adäquat abzubilden. Andererseits sind die vielfältigen Abbau- und Rückhalteprozesse von Nährstoffen im Grundwasser und in den Fließgewässern sowie Transportwege zu berücksichtigen.

Für die Bearbeitung wird eine Modellkette eingesetzt, die in folgender Abbildung veranschaulicht ist:



Modellkette RAUMIS-GROWA/mGROWA-DENUZ-WEKU (Quelle: FZ Jülich & LANUV, 2017)

Projektstruktur und Ergebnisse

Das Projekt gliederte sich in die folgenden verschiedenen Teilprojekte (TP):

- TP 1 Stickstoffbilanzen: (Durchführung: Thünen-Institut in Zusammenarbeit mit Landwirtschaftskammer NRW)
- TP 2 Hydrogeologie, Wasserhaushalt und Stickstoffeintrag: Methodische Weiterentwicklung zur Berechnung der Wasserhaushaltskomponenten und des N-Eintrags ins Grundwasser (Durchführung: FZ-Jülich zusammen mit GD und LANUV)
- TP 3 Hydrogeologie und Stofftransport: Abschätzung mittlerer Verweilzeiten in der ungesättigten Zone und im oberen Grundwasserleiter (Durchführung: FZ-Jülich und Geologischer Dienst NRW zusammen mit GD und LANUV)
- TP 4 Hydrogeologie und Stickstoffabbau: Abschätzung des vorhandenen Denitrifikationspotentials im Grundwasser und Identifizierung von Gebieten mit möglicherweise nachlassender Denitrifikationskapazität (Durchführung: FZ-Jülich zusammen mit GD und LANUV)

- TP 5 Wirkungsanalysen von Maßnahmen: (Durchführung: Thünen-Institut in Zusammenarbeit mit Landwirtschaftskammer NRW)
- TP 6: Modellierung der Phosphoreinträge ins Grundwasser und in die Gewässer NRW's (Weiterentwicklung MEPhos NRW) (Durchführung: FZ-Jülich, LANUV, GD NRW, LWK NRW)
- TP 3.1 Projektionen der Auswirkungen des Klimawandels auf die Grundwasserneubildung regional und landesweit in NRW (Durchführung: FZ-Jülich)

Alle Abschlussberichte sowie umfangreiche Projektdokumentationen sind bislang auf der Internetseite <https://www.flussgebiete.nrw.de> veröffentlicht worden. (Startseite » Lebendige Gewässer entwickeln » Projekte in NRW¹).

In dem vorliegenden LANUV-Fachbericht 110 werden die 9 Teilberichte einzeln veröffentlicht:

- | | |
|------------|--|
| Teil I: | Regionalisierte Quantifizierung der landwirtschaftlichen Flächenbilanzüberschüsse in Nordrhein-Westfalen |
| Teil IIa: | Modellierung des Wasserhaushalts in Nordrhein-Westfalen mit mGROWA |
| Teil IIb: | Ausweisung potenziell dränierten Flächen unter landwirtschaftlicher Nutzung in Nordrhein-Westfalen |
| Teil III: | Modellierung der Verweilzeiten des Sickerwassers in der ungesättigten Zone und der Fließzeiten des Grundwassers in Nordrhein-Westfalen |
| Teil IV: | Denitrifikation Boden und im Grundwasser Nordrhein-Westfalens |
| Teil V: | Stickstoffeintrag ins Grundwasser und die Oberflächengewässer Nordrhein-Westfalens |
| Teil VI: | Phosphoreintrag in die Oberflächengewässer |
| Teil VII: | Minderungsbedarf der Stickstoffinträge zur Erreichung der Ziele für das Grundwasser und für den Meeresschutz |
| Teil VIII: | Projektionen der Grundwasserneubildung unter dem Einfluss des Klimawandels in Nordrhein-Westfalen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA und dem Regionalen Klimaprojektionen Ensemble (ReKliEs) für Deutschland. Forschungszentrum Jülich, März/April 2021 (in prep.) |

¹ <https://www.flussgebiete.nrw.de/regional-hoch-aufgeloeeste-quantifizierung-der-diffusen-stickstoff-und-phosphoreintraege-ins-4994>

■ Inhalt

Abbildungsverzeichnis	8
1 Veranlassung und Ziele	9
2 Methodik	10
3 Datengrundlagen	13
3.1 Recherche nach Dränflächen in NRW	13
3.2 Eingangsdaten für die Ableitung potenziell dränkter Flächen	16
3.2.1 Reliefparameter	17
3.2.2 Landnutzung	19
3.2.3 Bodenparameter	20
3.2.4 Sümpfungseinfluss	20
3.2.5 Hydrogeologischer Grundwasserflurabstand	21
4 Ergebnisse	23
4.1 Karte der potenziell dränierten landwirtschaftlichen Flächen	23
4.2 Validitätsüberprüfung	25
5 Abschließende Bemerkungen	28
6 Literatur	29

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Verfahrensschema zur Ableitung potenziell dränkter Flächen	10
Abb. 3-1:	Einstufung des Dränageeinflusses von Oberflächenwasserkörpern durch LWK und WLW (Stand 2007).....	14
Abb. 3-2:	Digitalisierte Drän-Referenzflächen	14
Abb. 3-3:	Konvergenz-Divergenz-Index	17
Abb. 3-4:	Entfernung zum nächsten Fließgewässer.....	18
Abb. 3-5:	Landwirtschaftliche Landnutzung	19
Abb. 3-6:	Bodentypen.....	20
Abb. 3-7:	Im Projekt berücksichtigter Sumpfungseinfluss im obersten Grundwasserstockwerk	21
Abb. 3-8:	Modellierter Grundwasserflurabstand.....	22
Abb. 4-1:	Potenziell dränierter landwirtschaftliche Flächen (Modellergebnis).....	23
Abb. 4-2:	Differenzen zwischen den abgeleiteten potenziell dränkten Landwirtschaftsflächen 2017 und 2010	24
Abb. 4-3:	Ergebnis der Validitätsüberprüfung der Dränpotenzialkarte 2017	25
Abb. 4-4:	Bodentypen-Verteilung in Drän-Referenzflächen, für die keine Übereinstimmungen mit der Dränpotenzialkarte 2017 erreicht wurden (zum Begriff „Übereinstimmung“ s.o.)	26
Abb. 4-5:	Drän-Referenzfläche Berrenrather Höher (rote Umrandung) und Vergleich mit Luftbild	27

1 **Veranlassung und Ziele**

Das Forschungszentrum Jülich (IBG-3: Agrosphäre) beteiligt sich am Forschungsvorhaben „Regionalisierte Quantifizierung der diffusen N-Einträge ins Grundwasser und Modellierung des N-Transports und der Fließ- und Verweilzeiten im Grundwasser in NRW (GROWA+ NRW 2021)“, das im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt wird. Die Laufzeit des Projektes erstreckt sich auf die Jahre 2015 bis 2019. Innerhalb dieses Forschungsvorhabens werden im Teilprojekt 2 Datengrundlagen zu den Themen Hydrogeologie, Wasserhaushalt und Stickstoffeintrag erarbeitet bzw. verbessert, mit dem Ziel, die Berechnung der Wasserhaushaltskomponenten und des N-Eintrags ins Grundwasser im FZ Jülich methodisch weiterzuentwickeln. In diesem Zusammenhang war eine Aktualisierung des vorhandenen Datensatzes zu potenziell dränierten Landwirtschaftsflächen vorzunehmen, der im Rahmen einer früheren Studie zu N- und P-Einträgen in die Oberflächengewässer Nordrhein-Westfalens erarbeitet wurde (Wendland et al. 2010). Im FZ Jülich liegt eine umfangreiche Expertise zur Ableitung potenziell dränkter Landwirtschaftsflächen vor, die sich auf Arbeiten in zahlreichen Bundesländern stützt (Tetzlaff et al. 2008, Tetzlaff und Kuhr 2011, Tetzlaff et al. 2009, Ackermann et al. 2015, Heidecke et al. 2015, Tetzlaff et al. 2017).

Die Ziele bei der Aktualisierung der Dränflächenkarte durch das Forschungszentrum Jülich (IBG-3: Agrosphäre) bestanden darin,

- (I) aktualisierte und räumliche höher aufgelöste Eingangsdaten zu nutzen,
- (II) eine möglichst umfangreiche Datenbank an Drän-Referenzflächen aufzubauen,
- (III) regionales Expertenwissen in die Analyse einfließen zu lassen,
- (IV) den Sumpfungsfluss des Bergbaus explizit zu berücksichtigen,
- (V) die Ableitungsmethodik nach Tetzlaff et al. (2008) weiterzuentwickeln und stärker an naturräumliche Bedingungen Nordrhein-Westfalens anzupassen,
- (VI) eine Validierung des aktualisierten Datensatzes an Referenzflächen vorzunehmen.

Es wurden, wie schon 2010, räumlich differenzierte Ableitungen im 100 m-Raster durchgeführt, das allen Modellierungen im Forschungsvorhaben zugrunde liegt. Nichtsdestotrotz muss betont werden, dass es sich bei den Ergebnissen um *potenziell* dränierter Flächen handelt, dass die Ergebnisse - auch aufgrund der Genauigkeit der Eingangsdaten – eine Aussagekraft für die mittlere Maßstabsebene besitzen und dass es sich nicht um parzellenscharfe Ergebnisse handelt. In Anlehnung an DIN 1185-1 werden in diesem Vorhaben unter Dränagen alle Verfahren zur Ableitung von Grund- und Staunässe über Rohrdränung, Grabendränung oder rohrlose Dränung verstanden.

2 Methodik

Wie in Kapitel 1 bereits erwähnt, wurden die potenziell dränierenden Landwirtschaftsflächen Nordrhein-Westfalens bereits in einer früheren Studie (Wendland et al. 2010) abgeleitet. Grundlage hierfür waren die Arbeiten von Tetzlaff (2006) und Tetzlaff et al. (2008), die den Schwerpunkt auf die Ermittlung von Kombinationen aus Nutzung und Bodeneigenschaften legen, die nach Maßgabe von Drän-Referenzflächen auf eine hohe Dränwahrscheinlichkeit schließen lassen. In der Überarbeitung 2017 sollten neben der Verwendung aktueller Eingangsdaten auch methodische Änderungen vorgenommen werden, die u.a. den bergbaulichen Sumpfungseinfluss auf Grundwasserböden betreffen, die aber auch zur Neubewertung der Dränbedürftigkeit von Bodenverhältnissen unter Einbeziehung von regionalem Expertenwissen führen sollten. Hierzu hat der Geologische Dienst NRW eine Studie vorgelegt und seine Einschätzungen übermittelt (Leurs et al. 2016). Weitergehende Diskussionen wurden mit Herrn Dr. Schrey geführt. Der Erftverband (Herr Simon, Herr Dr. Mertens) hat seinerseits umfangreiche Mitteilungen gemacht, wo Dränagen verbaut bzw. festgestellt wurden oder wo sie ausgeschlossen werden können. Der Wissensstand wurde ergänzt um Angaben der LINEG und des LANUV.

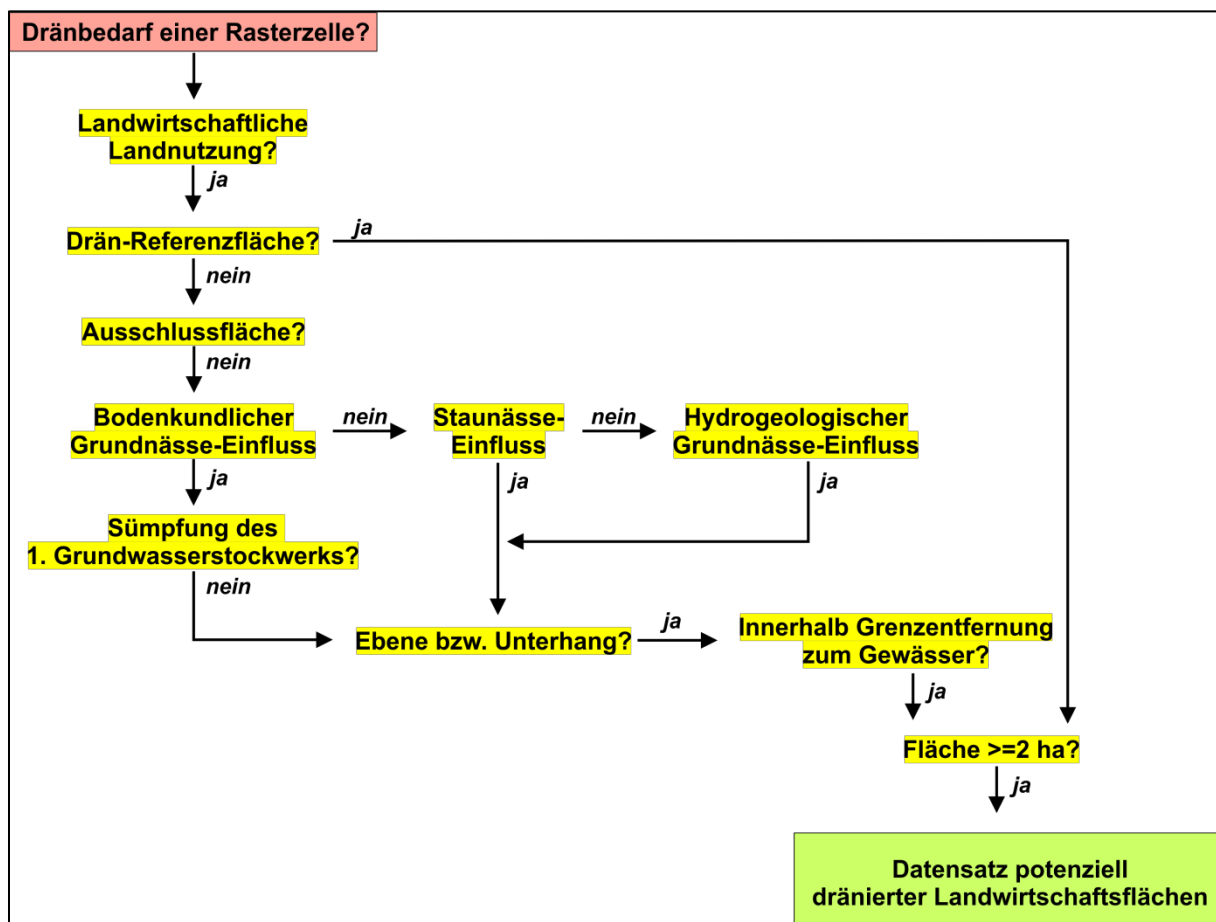


Abb. 2-1: Verfahrensschema zur Ableitung potenziell dränkter Flächen

Es sei angemerkt, dass in dieser Studie Dränung ausschließlich auf landwirtschaftlichen Nutzflächen betrachtet wird. Der Stoffeintrag aus gedränkten Siedlungsflächen und Poldern wird

über die Eintragspfade kommunale Kläranlagen (Mischsystem), Regenwasserkanäle (Trennsystem) bzw. Grundwasser erfasst.

In Abstimmung mit allen Beteiligten wurde das in Abbildung 2-1 gezeigte Ablaufschema entwickelt, nach dem die potenziell dränierbaren Landwirtschaftsflächen 2017 abgeleitet wurden. Wenn die dargestellten Abfragen zu einem anderen Ergebnis kommen als angegeben, wird am betreffenden Standort kein Dränbedarf angenommen.

Die Abfrage nach Ausschlussflächen für Dränung bezieht sich auf Gebiete, in denen nach Angaben regionaler Experten nicht mit Dränagen zu rechnen ist. Bodenkundlicher Grundnässe-Einfluss, der bei landwirtschaftlicher Nutzung zu einem Dränbedarf führt, ist in NRW bei Grundnässestufen 1 bis 3 anzunehmen, sofern die Fläche nicht von bergbaulicher Sumpfung betroffen ist. Staunässe-Einfluss, der einen Dränbedarf nach sich zieht, ist bei Staunässestufen 4 und 5 ungeachtet weiterer bodenkundlicher Parameter anzusetzen. Bei Standorten mit Staunässestufe 3 sind nur solche mit den Bodenartengruppen 3 und 6 als dränbedürftig anzunehmen. Im Ems-Einzugsgebiet sind darüber hinaus auch Standorte mit Staunässestufe 3 und Bodenartengruppen 2 und 5 als dränbedürftig eingestuft. Für die Börden gilt, dass bei Staunässestufe 2 und gleichzeitigem Auftreten von Bodenartengruppe 3 Dränbedarf anzunehmen ist.

Wenn die Bodenkarte keine Aussage zu einer bodenbürtigen Vernässung trifft, wird zusätzlich auf Daten zum hydrogeologischen Grundwasserflurabstand zurückgegriffen (Abbildung 2-1). Die hierfür benötigten Daten stammen aus einer Grundwasseroberfläche, die im Projekt von der Firma delta-h landesweit modelliert wurde. Ein zusätzliches Selektionskriterium bildet die Reliefposition, wobei nur flache Bereiche und Unterhänge interessieren. Bei allen stärker geneigten Standorten wird von einem höheren Anteil an Oberflächenabfluss ausgegangen, der zu Lasten der Versickerung geht, woraus sich ein geringerer potenzieller Dränbedarf ergibt. Die Entfernung zum nächstgelegenen Fließgewässer dient als Unterscheidungskriterium zwischen dränbedürftigen Flächen, die aufgrund ihrer Nähe zu einem Vorfluter auch dränfähig sind und solchen vernässten Flächen, die entweder nicht an einen Vorfluter kosteneffizient angebunden werden können und damit nicht künstlich entwässert werden können. Oder die Entwässerung erfolgt über Gräben, die in der Landschaft blind enden und in denen der Dränabfluss versickert. Dies schließt qualitative und quantitative Effekte auf die Oberflächengewässer über den Eintragspfad „Dränagen“ aus, sodass diese Landwirtschaftsflächen hier keine Berücksichtigung finden. Die Abfrage auf Dränflächen mit einer Mindestgröße von zwei Hektar soll sicherstellen, dass Areale von mindestens zwei Pixeln ausgegeben werden. Kleinere Areale sind möglicherweise Nassgallen, die keiner systematischen Dränung mit Gewässeranbindung bedürfen oder schlicht Verschneidungs-Artefakte, die aus der Kombination mehrerer, unterschiedlich skalierten, Eingangsdaten resultieren.

Kulturstau, d.h. der Gebrauch von Wehren im Oberflächengewässer, um zeitlich variabel den Abfluss reduzieren zu können und nachfolgend eine Anhebung des Grundwasserspiegels unter den landwirtschaftlichen Flächen im Einzugsgebiet zu erreichen, haben keinen Einfluss auf die in Abbildung 2-1 gezeigte Ableitung. Diese Dränagen sind nicht das ganze Jahr über wirksam, da erst gegen Ende der Dränperiode, d.h. der Zeit in der eine Dränschüttung erfolgt,

Einstau erfolgt, um die kapillare Nachlieferung von Wasser in die Wurzelzone im Frühjahr und Frühsommer zu erhöhen.

3 Datengrundlagen

Im folgenden Unterkapitel 3.1 wird die Recherche nach Drän-Referenzflächen dargelegt, die im Projekt breiten Raum einnahm. Anschließend werden im Unterkapitel 3.2 Herkunft und Eigenschaften der Eingangsdaten zur Ableitung potenzieller Dränflächen in NRW dargelegt.

3.1 Recherche nach Dränflächen in NRW

In Kapitel 1 wurde bereits darauf hingewiesen, dass ein Ziel des Auftrags darin bestand, eine möglichst umfangreiche Datenbank an Drän-Referenzflächen aufzubauen. Hierzu waren real dränierter Flächen zu recherchieren, wobei teilweise mit Unterstützung des LANUV Anfragen an potenziell datenhaltende Institutionen gemacht wurden. Die Ergebnisse der Recherche und Auswertung sind in Tabelle 3-1 aufgeführt.

Tabelle 3-1: Datenquellen für die Recherche nach real dränierter Flächen in Nordrhein-Westfalen

Datenquelle	Rückmeldung	Aktivität und Ergebnis
LANUV	Datensatz mit Einstufung des Dränageeinflusses von Oberflächenwasserkörpern durch LWK und WLV aus 2007	Auswertung durch FZJ (Abbildung 3-1)
Luftbilder DOP40	Zugang durch LANUV ermöglicht	Auswertung und Digitalisierung durch FZJ und LANUV (Abbildung 3-2)
Luftbilder Google earth	Öffentlich zugänglich	Multitemporale Auswertung und Digitalisierung durch FZJ und LANUV (Abbildung 3-2)
Erftverband	Bereitstellung eines historischen analogen Dränplans für Glehn, Drän-Ausschlussgebiete in Lodshof / Waldhütte sowie Vektordaten zu Dränflächen im südlichen Verbandsgebiet aus mehreren Quellen	Digitalisierung durch FZJ sowie Homogenisierung der Vektordaten
Stadt Kerpen	Bereitstellung historischer analoger Dränpläne für Kerpen, Blatzheim und Buir	Digitalisierung durch FZJ
WVER	Keine Daten	-
EGLV	Keine Daten	-
Gelsenwasser	Keine Daten	-
Niersverband	Keine Daten	-
LINEG	Keine Daten	-
Landwirtschaftskammer NRW	Angaben zu Kulturstaugebieten im Einzugsgebiet der Düffel	Räumliche Darstellung aufgrund der Attributierung der Oberflächenwasserkörper

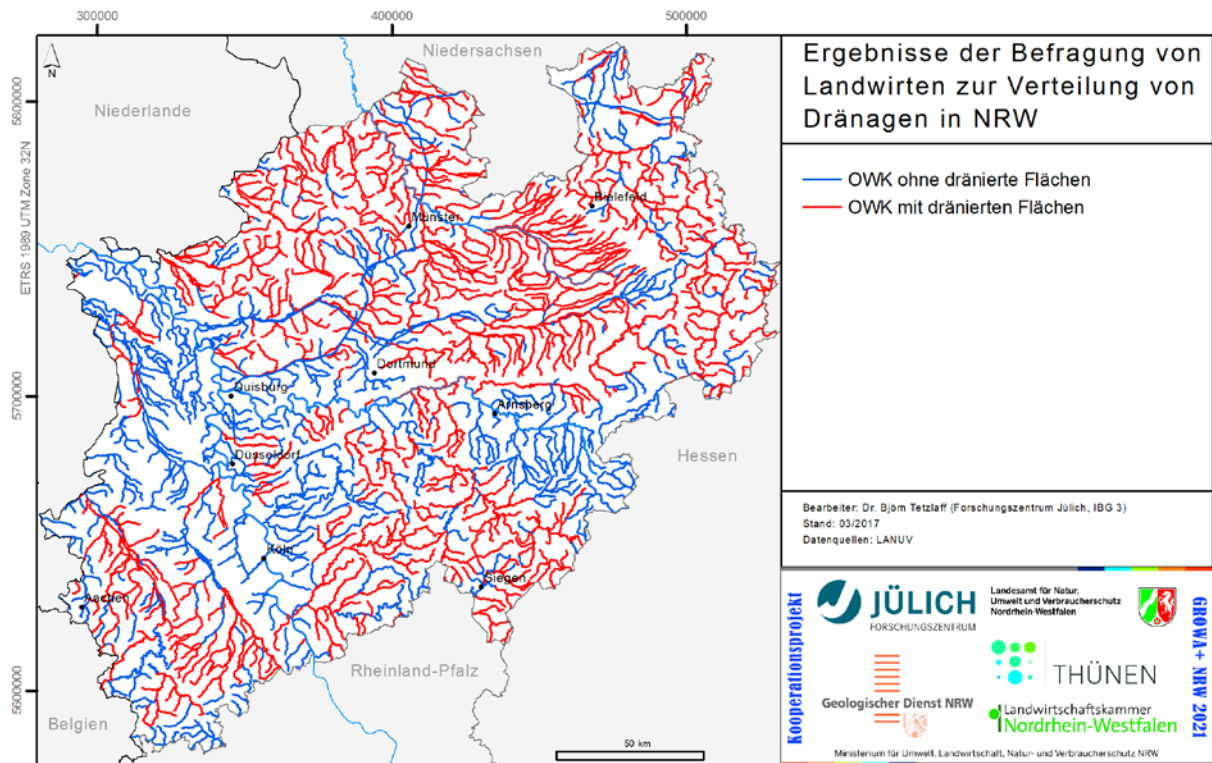


Abb. 3-1: Einstufung des Dränageeinflusses von Oberflächenwasserkörpern durch LWK und WLW (Stand 2007)

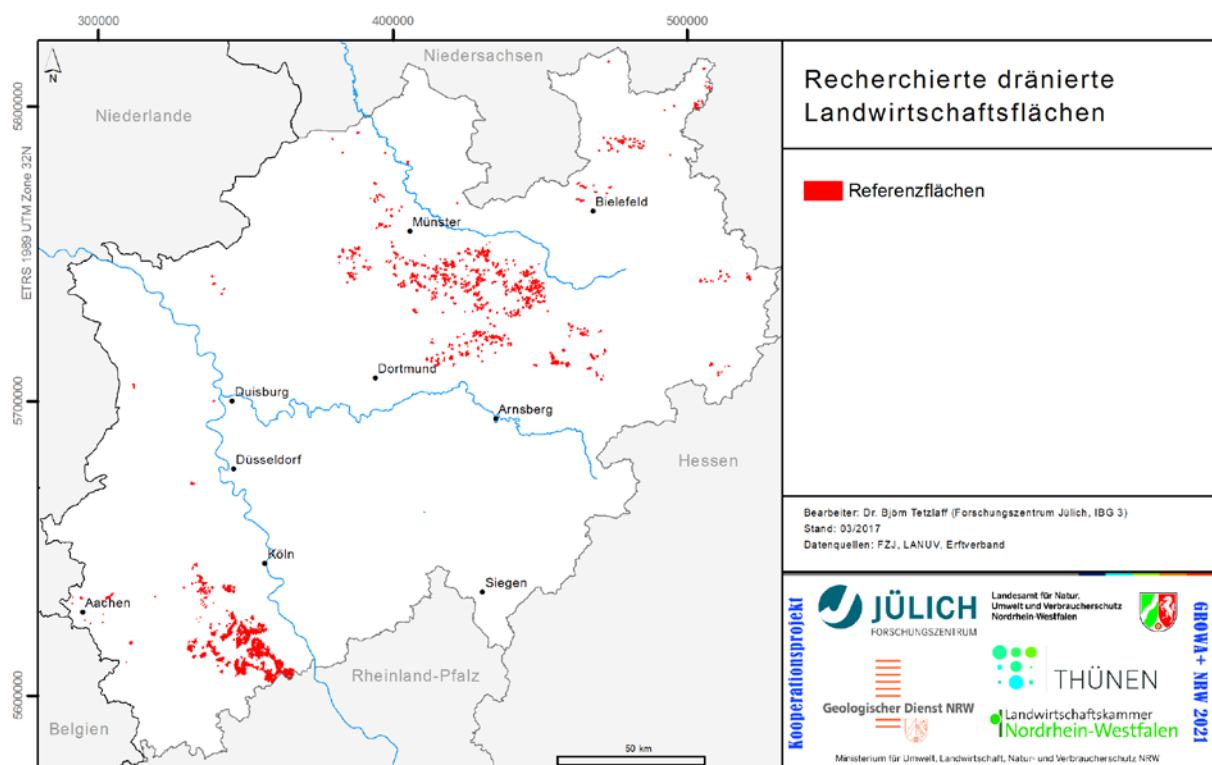


Abb. 3-2: Digitalisierte Drän-Referenzflächen

In Abbildung 3-1 sind 56 % aller Oberflächenwasserkörper in NRW als dränbeeinflusst ausgewiesen als Ergebnis einer Umfrage bei LWK und WLW im Jahr 2007. Dies ist ein recht hoher Wert angesichts der Binnenlage Nordrhein-Westfalens und der zahlreichen Mittelgebirge. In Abbildung 3-1 stehen räumliche Dränage-Schwerpunkte in den Einzugsgebieten von Ems und Lippe gleichberechtigt neben dem Sauerland, als einer von Wald und Dauergrünland geprägten Mittelgebirgslandschaft. Detailvergleiche für die Umgebung von Plettenberg zeigen, dass einzelne Oberflächenwasserkörper als dränbeeinflusst ausgewiesen wurden, sich jedoch keine hydromorphen Bodentypen nach der Bodenkarte 1:50.000 des Geologischen Dienstes finden lassen. Diese Unplausibilitäten können im vorliegenden Projekt nicht aufgelöst werden, zumal eine Dokumentation des Datensatzes nicht mehr vorhanden ist. Da eine Disaggregation der Angaben für Oberflächenwasserkörper nicht sinnvoll möglich ist, kann die in Abbildung 3-1 gezeigte Karte nicht als Basis für die Ableitung von Drän-Referenzflächen dienen.

Um flächendifferenzierte Daten über Drän-Referenzflächen zu gewinnen, müssen daher umfangreiche multitemporale Luftbild-Bestände erschlossen, ausgewertet und digitalisiert werden (Tabelle 3-1). Dies wurde sowohl vom FZJ als auch vom LANUV durchgeführt, das hierfür zwei Zusatzkräfte bereitstellte, die im August 2016 vom FZJ geschult wurden. Durch Abgleich der georeferenzierten Luftbilder mit dem Liegenschaftskataster ALKIS konnten parzellenscharfe Umrisse ermittelt werden, sofern die gesamte Fläche aufgrund der Muster systematischer Rohrdränagen als dräniert einzustufen war. Ansonsten wurden lediglich die dränierten Teilbereiche aufgenommen.

Zusätzliche Drän-Referenzflächen im Vektorformat wurden vom Erftverband bereitgestellt, der insbesondere für das Einzugsgebiet der Swist Informationen gesammelt hat. Über den Erftverband erhielt das FZJ Zugang zu weiteren Informationsquellen: neben Drän-Ausschlussgebieten in Lodshof / Waldhütte handelte es sich um vier historische analoge Dränpläne bzw. Dränübersichtspläne für Glehn, Buir, Kerpen und Blatzheim, die vom FZJ georeferenziert und digitalisiert wurden.

Insgesamt konnten 3003 parzellenscharfe Drän-Referenzflächen erfasst werden, die eine Gesamtfläche von 22.000 ha in NRW abdecken. Wie Abbildung 3-2 zeigt, ist die räumliche Verteilung in NRW ungleichmäßig. Bedingt durch die Datenlage liegt der Großteil der Referenzflächen in den Einzugsgebieten von Ems, Lippe und Erft. 50 % der Drän-Referenzflächen befinden sich auf Pseudogleyen, 21 % auf pseudovergleyten Böden (Tabelle 3-2). Damit beruht der größte Teil der Drän-Referenzflächen auf Staunässe. Weitere 10 % der Flächen liegen auf Parabraunerden und 7 % auf Braunerden und somit nicht auf Standorten, die per se als hydromorph und bei landwirtschaftlicher Nutzung als dränbedürftig gelten können (KA3 1982). Vermutlich ist die Maßstabsebene der Bodenkarten 1:50.000 zu generalisiert, um kleinräumige Boden-Heterogenitäten abbilden zu können (Leurs et al. 2016). Ein höher aufgelöster Bodendatensatz stand jedoch nicht mit landesweiter Abdeckung zur Verfügung.

Tabelle 3-2: Bodentypen in den Drän-Referenzflächen

Bodentypen	Anteil (%)
Auenböden	0.5
Braunerden	6.5
Plaggenesche	0.6
Gleye	4
Kolluvien	0.9
Parabraunerden	10.2
Pseudogleye	50.1
pseudovergleyte Böden	20.6
vergleyte Böden	2.5
Niedermoores	0.2
Ranker	0.9
Rendzina	2.3
Regosole	0.6

3.2 Eingangsdaten für die Ableitung potenziell dränkter Flächen

In Tabelle 3-3 sind die für die Ableitung potenziell dränkter Flächen in Nordrhein-Westfalen verwendeten Datengrundlagen zusammenfassend dargestellt. Anschließend werden die Daten kartographisch aufbereitet und erläutert.

Tabelle 3-3: Datengrundlagen für die Ableitung potenzieller Standorte von landwirtschaftlich genutzten Dränflächen in Nordrhein-Westfalen

Datenbedarf	Datensatz	Quelle
Relief	DGM10	Bezirksregierung Köln
Landnutzung	InVeKoS, ergänzt um DLM25 im Stand 03/2017, bearbeitet durch Thünen Institut	Landwirtschaftskammer, Bezirksregierung Köln
Bodendaten	Bodenkarte BK50 aus 02/2017	Geologischer Dienst
Sümpfungsdaten	Bergbaubedingte GW-Absenkung 2012 zu 1955 im oberen GW-Leiter GW-Absenkung linker Niederrhein	LANUV LINEG
Hydrogeologischer Flurabstand	Modellergebnis zur Grundwasseroberfläche und Grundwassergleichenkarten	Fa. delta-h im Auftrag des LANUV, Erftverband, LINEG, EGLV
Drän-Ausschlussflächen	Lodshof Trockenflächen j11tr	Erftverband
Kulturstaugebiete	Oberflächenwasserkörper	LANUV

Die Eingangsdaten liegen teilweise im Vektorformat, teilweise aber auch als Rasterdaten vor und wurden im Vorfeld der Modellierung auf ein Raster mit der für die Modellierung verwendeten Zellengröße von 100 m vereinheitlicht. Aufbereitung, Darstellung und Analyse der Daten

erfolgte mit ArcGIS 10.2. Als einheitliches geodätisches Bezugssystem wurde ETRS1989, UTM Zone 32N, gewählt, da die meisten Datensätze in diesem System vorlagen.

3.2.1 Reliefparameter

Aus dem DGM10 wurden mit GIS zwei Reliefparameter abgeleitet, die bei der Ableitung der potenziell dränierten Landwirtschaftsflächen zur Anwendung kommen (Kap. 2). Dabei handelt es sich um den Konvergenz-Divergenz-Index (Abbildung 3-3) und die horizontale Entfernung zum nächsten Fließgewässer (Abbildung 3-4). Der Konvergenz-Divergenz-Index erlaubt eine Ausgliederung von Hangabschnitten, d.h. Ober-, Mittel- und Unterhang bzw. Ebenen. Diese Information wird für die Lagekorrektur der Staunässeböden benötigt (Abbildung 2-1).

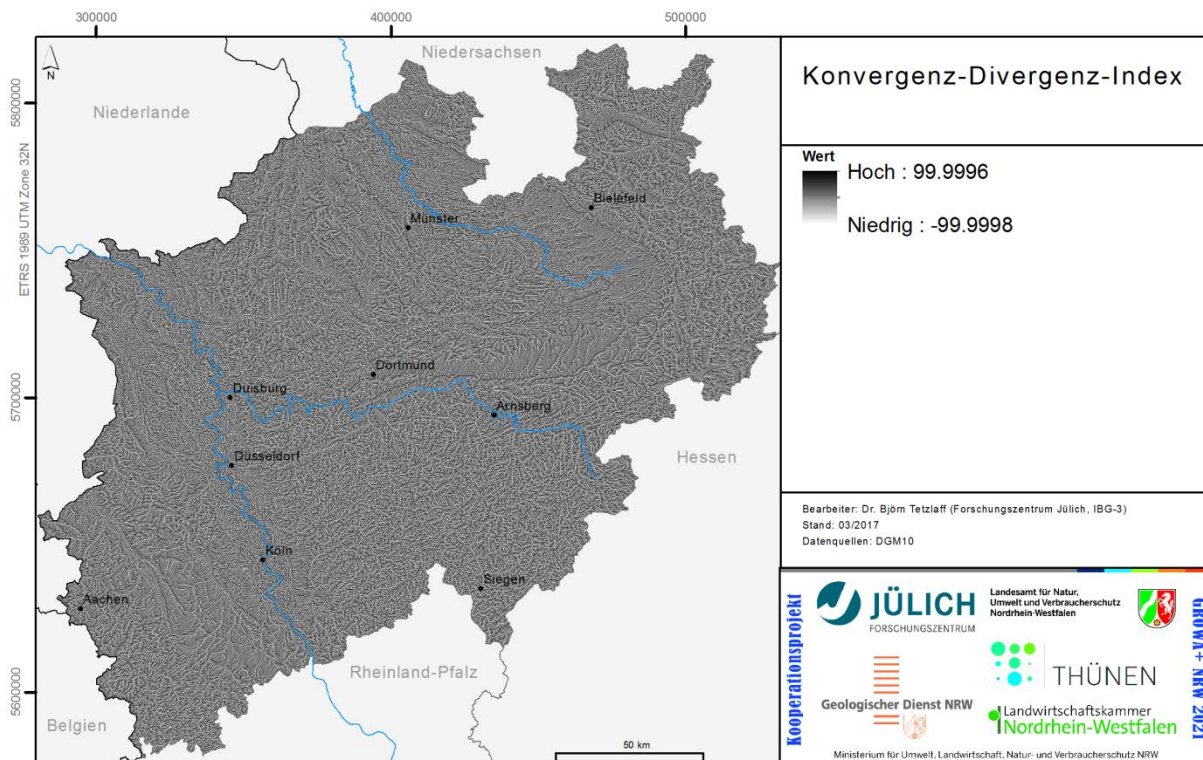


Abb. 3-3: Konvergenz-Divergenz-Index

Die Entfernung zum nächstgelegenen Fließgewässer dient als Unterscheidungskriterium zwischen dränbedürftigen Flächen, die aufgrund ihrer Nähe zu einem Vorfluter auch dränfähig sind und solchen vernässten Flächen, die entweder nicht an einen Vorfluter kosteneffizient angebunden werden können und damit nicht künstlich entwässert werden können. Oder die Entwässerung erfolgt über Gräben, die in der Landschaft blind enden und in denen der Dränabfluss versickert. Dies schließt qualitative und quantitative Effekte auf die Oberflächengewässer über den Eintragspfad „Dränagen“ aus, sodass diese Landwirtschaftsflächen hier keine Berücksichtigung finden. Abbildung 3-4 zeigt das Ergebnis der Ableitung. Demnach sind große Entfernungen zum nächsten Fließgewässer v.a. in den Lössgebieten anzutreffen, in denen

sich aufgrund der hohen Speicherkapazität des Untergrunds in Verbindung mit der geringen Hangneigung ein weniger dichtes Gewässernetz entwickelt hat.

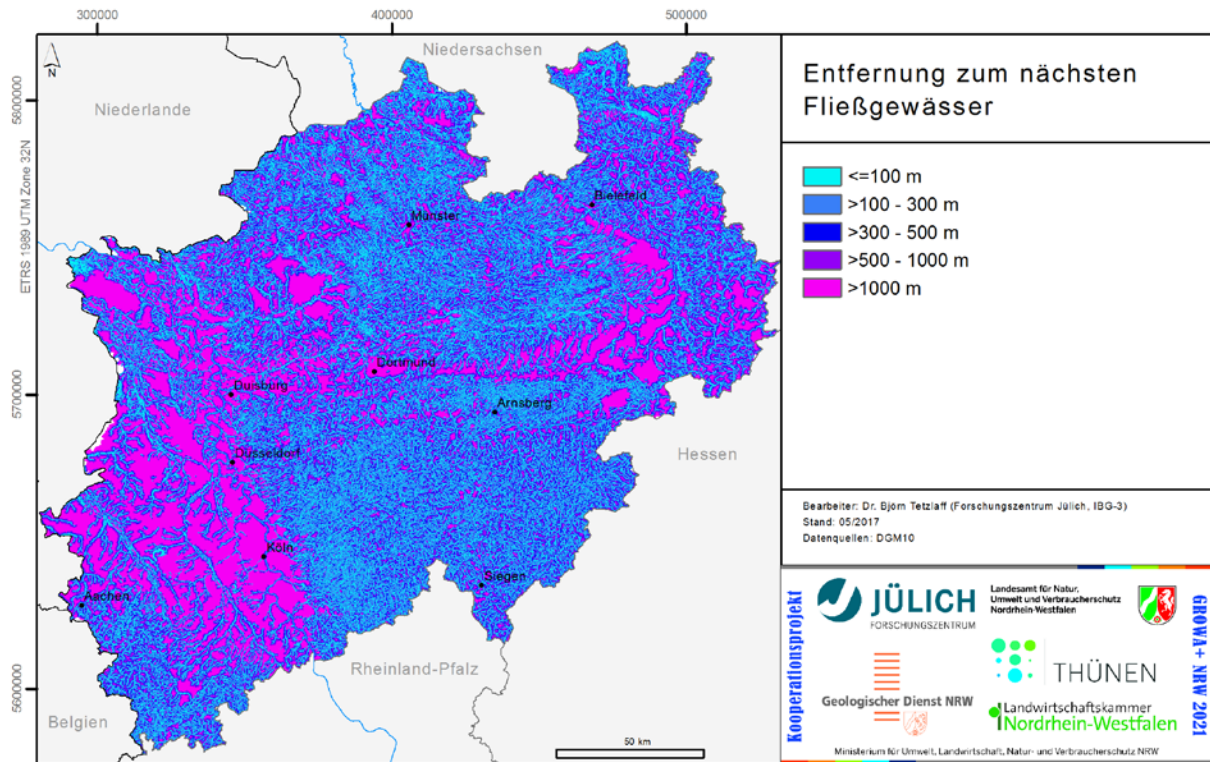


Abb. 3-4: Entfernung zum nächsten Fließgewässer

3.2.2 Landnutzung

Abbildung 3-5 zeigt die landwirtschaftliche Nutzfläche in NRW, wie sie sich im Projekt aus den aktuellen InVeKoS-Daten, ergänzt um ATKIS-DLM25, zusammensetzt. Das Zusammenstellen und Verschneiden der Daten erfolgt beim Projektpartner TI. Die Version ist vom März 2017. Die landwirtschaftliche Nutzfläche macht mit 17695 km² demnach ca. 52 % an der Landesfläche aus. Davon sind 34 % Ackerflächen nach InVeKoS, 13,4 % Dauergrünland nach InVeKoS, zusätzlich 1,9% Ackerland nach ATKIS sowie zusätzliche 2,6 % Dauergrünland nach ATKIS. Der restliche Anteil ergibt sich aus Dauerkulturen, wobei der Anteil von 0,6 % jeweils hälftig aus den beiden Datengrundlagen stammt.

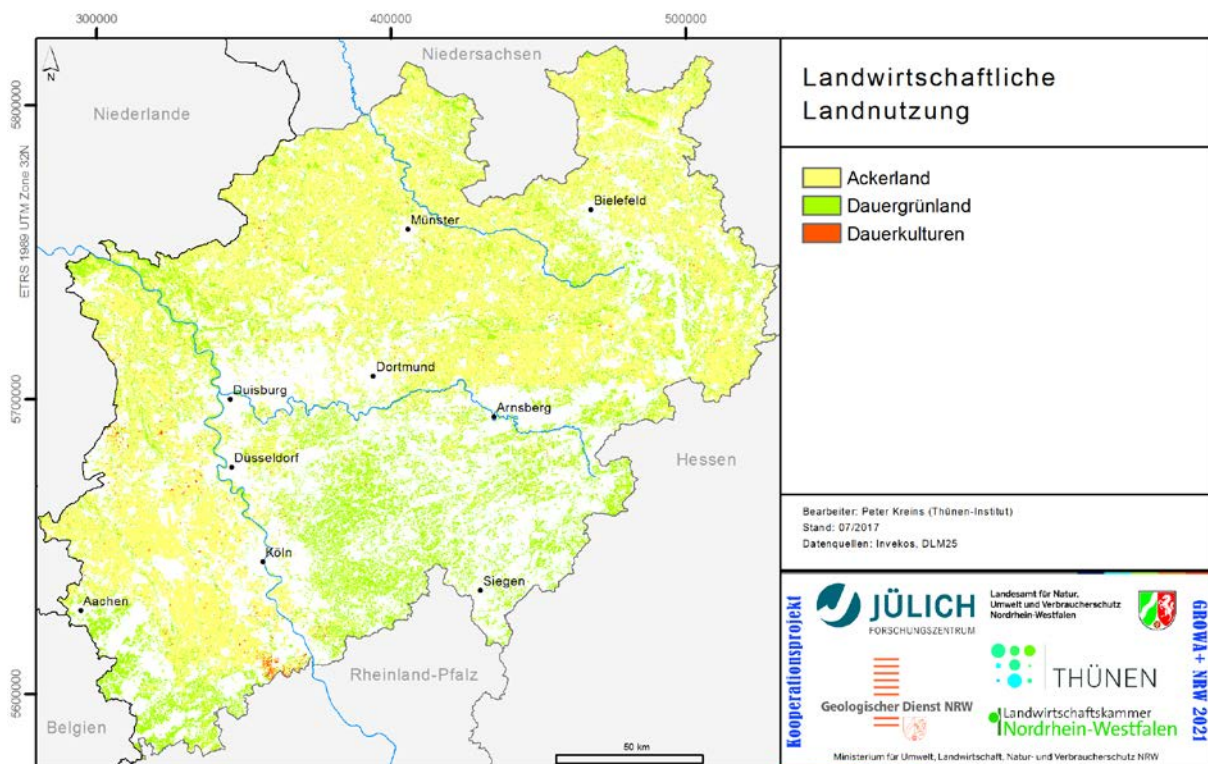


Abb. 3-5: Landwirtschaftliche Landnutzung

3.2.3 Bodenparameter

Wie in Kapitel 2 ausgeführt wurde, sind die Bodenverhältnisse wichtige Eingangsgrößen für die Ableitung der potenziell dränierbaren Flächen. Diese Verhältnisse werden durch spezifische Kombinationen aus Bodentyp, Grundwasserstufe und Staunässegrad beschrieben. Stellvertretend werden daher an dieser Stelle die Haupt-Bodentypen dargestellt, wie sie sich nach Klassifizierung aus der Bodenkarte BK50 darstellen (Abbildung 3-6). Demnach sind hydromorphe Böden v.a. im Münsterland, nördlich von Bielefeld sowie in den Niederungen von Rur, Erft und Niers inklusive ihrer Nebengewässer stark verbreitet.

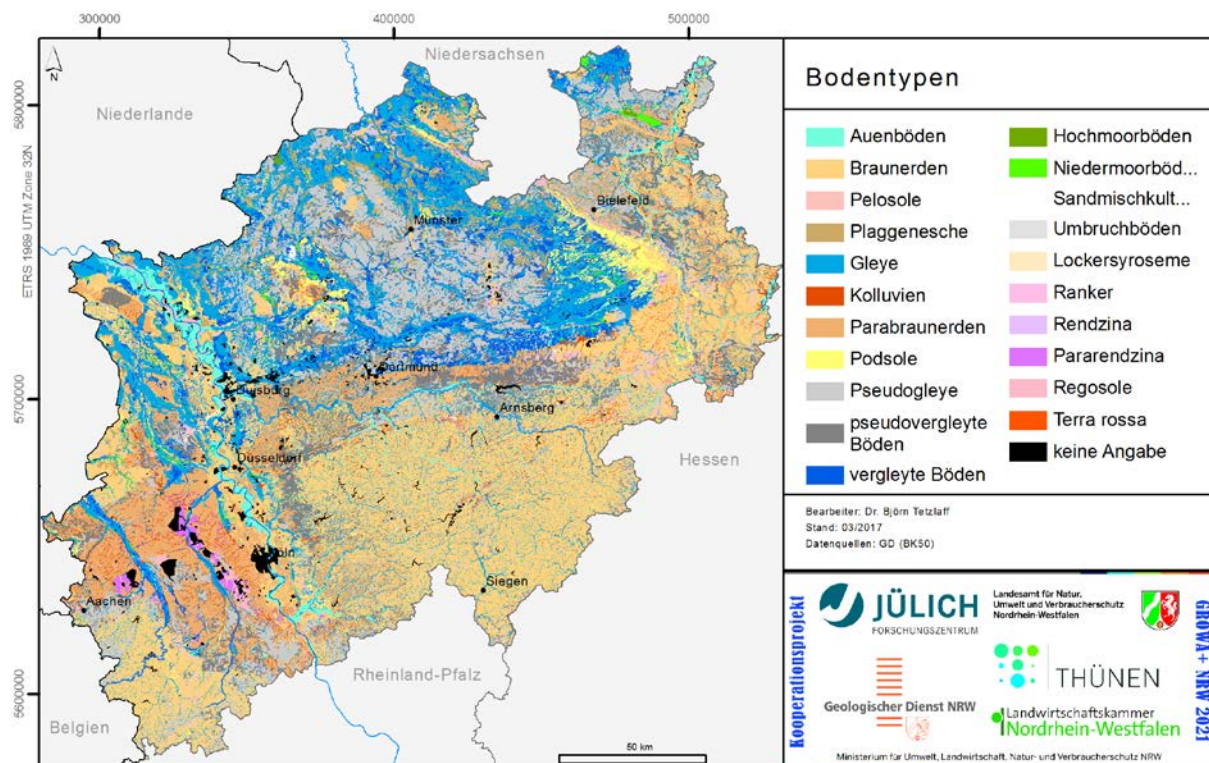


Abb. 3-6: Bodentypen

3.2.4 Sumpfungsseinfluss

Abbildung 3-7 zeigt die Verbreitung von Sumpfungsmaßnahmen in NRW, die sich auf das oberste Grundwasserstockwerk auswirken. Diese Grundwasserverhältnisse können den Dränbedarf grundvernässter Böden mitbestimmen. In Abstimmung mit den Experten des LANUV wurden weitere bergbauliche Grundwasserabsenkungen, z.B. im Ruhrgebiet und im Ibbenbürener Raum, ausgeklammert. Große Bedeutung haben Sumpfungsmaßnahmen im Rheinischen Braunkohlenrevier, wo sie sich gebietsweise auf die Böden bzw. Bodenwasserverhältnisse auswirken. Ein zweiter Schwerpunkt ist das LINEG-Gebiet, wo aufgrund von Bergsenkungen gepoldert wird.

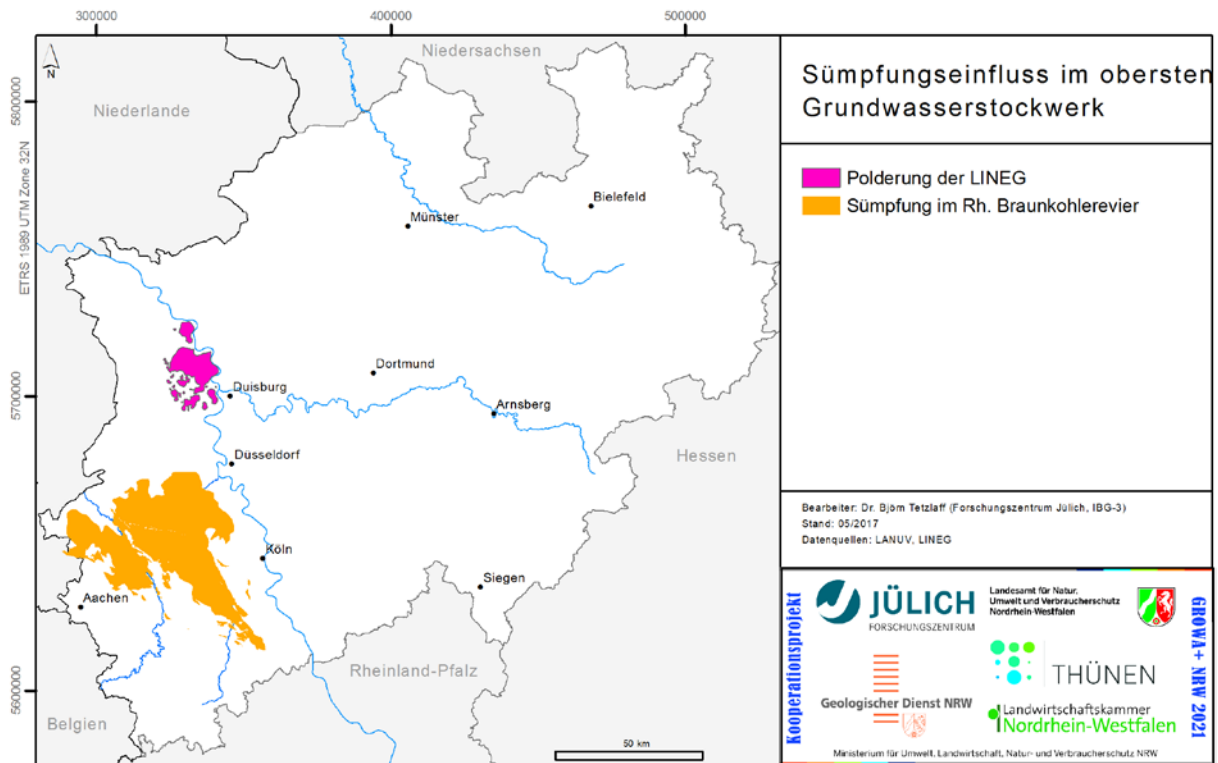


Abb. 3-7: Im Projekt berücksichtigter Sümpfungseinfluss im obersten Grundwasserstockwerk

3.2.5 Hydrogeologischer Grundwasserflurabstand

Die Karte des hydrogeologischen Grundwasserflurabstands ist als Abbildung 3-8 dargestellt. Sie beruht im Wesentlichen auf Modellergebnissen des Büros delta-h, wobei umfangreiche Grundwassergleichenpläne ergänzend berücksichtigt worden sind. Für die Ableitung der potenziell dränierter Flächen sind zusätzlich sog. Trockenflächen in das Raster eingestanz worden. Diese Trockenflächen ergeben sich aus den Grundwassergleichenplänen des Erftverbands und stellen grundwasserferne Standorte dar, z.B. Halden.

Ähnlich wie in Abbildung 3-6 sind Gebiete mit geringem Flurabstand von $\leq 1\text{m}$ im Jahresmittel v.a. zwischen Niers und Münsterland zu finden. Eine starke und räumlich zusammenhängende Grundvernässung in den Niederungen von Rur und Erft stellt sich nach Abbildung 3-8 jedoch nicht dar, was eine Folge der Sümpfungsauswirkungen im Rheinischen Braunkohlenrevier ist.

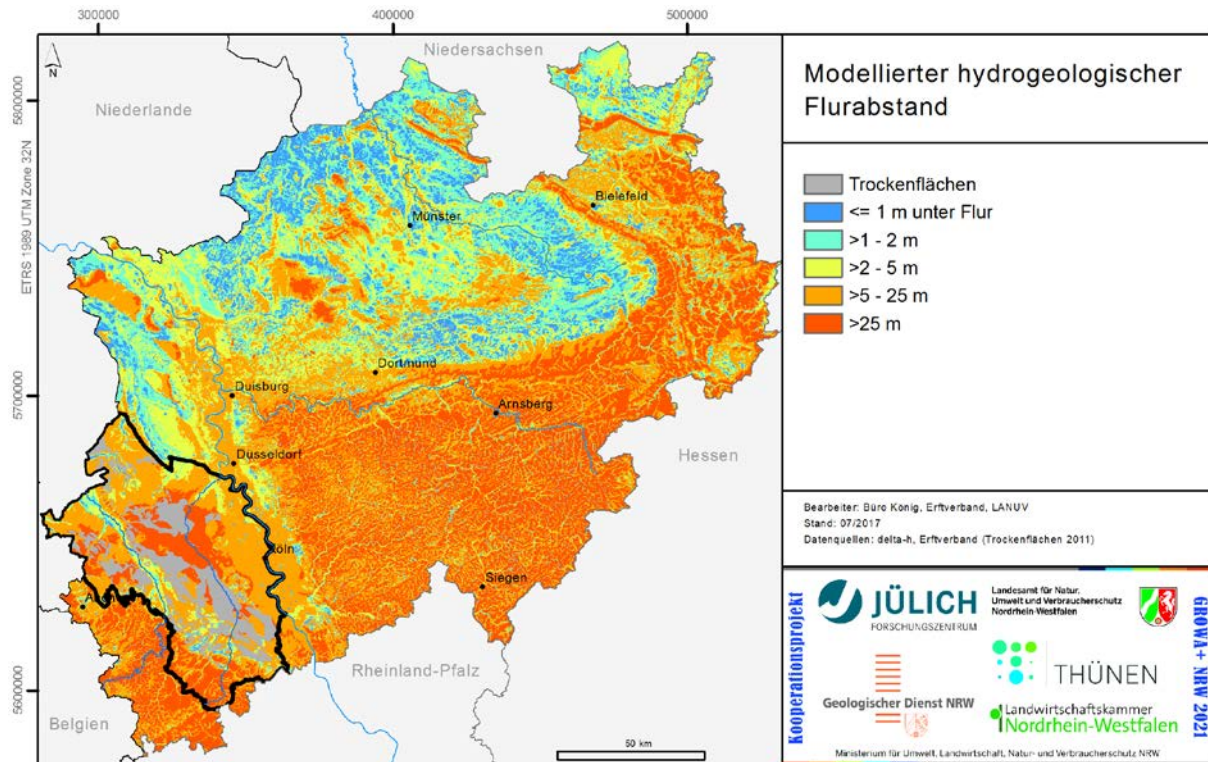


Abb. 3-8: Modellierter Grundwasserflurabstand

4 Ergebnisse

4.1 Karte der potenziell dränierbaren landwirtschaftlichen Flächen

Abbildung 4-1 zeigt das Ergebnis der GIS-basierten Ableitung potenziell dränkter Flächen unter Verwendung der in Kapitel 3.2 dargestellten Eingangsdaten. Der Gesamtumfang potenziell dränkter Flächen unter landwirtschaftlicher Nutzung beträgt 6917 km². Dies entspricht einem Anteil potenziell dränkter Flächen an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche von 39 %.

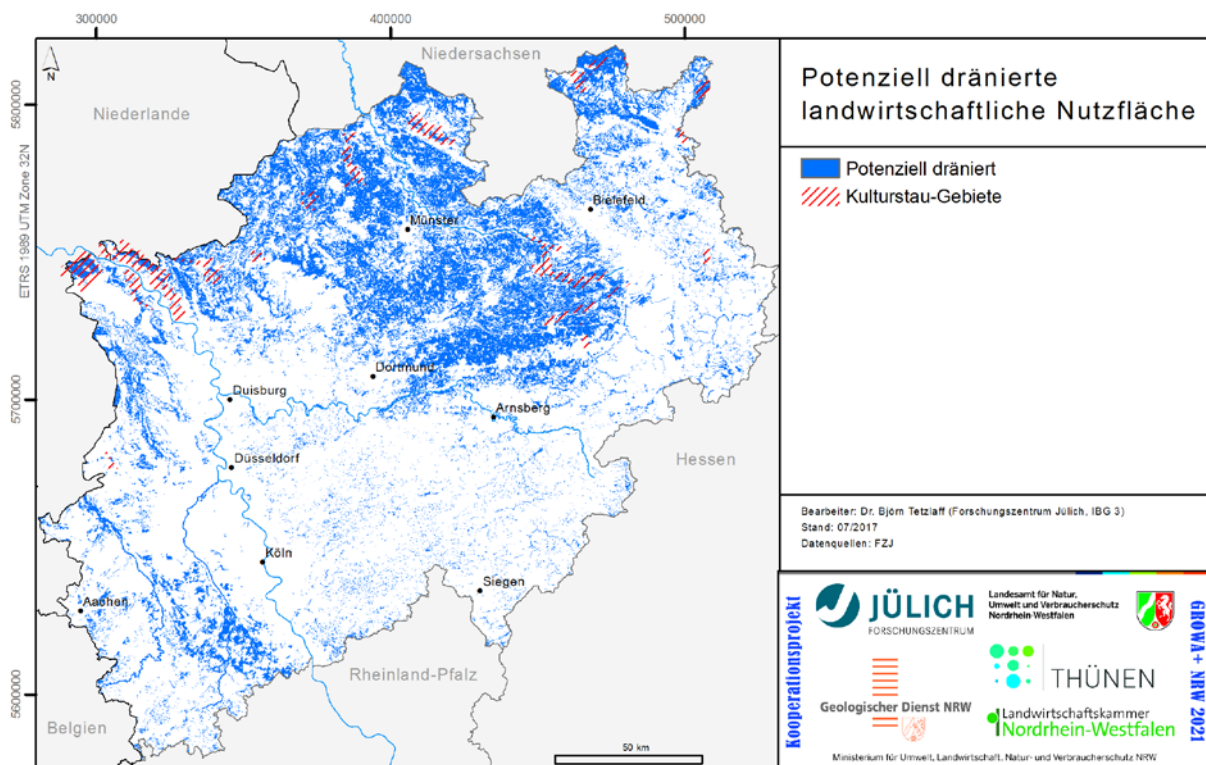


Abb. 4-1: Potenziell dränkter landwirtschaftliche Flächen (Modellergebnis)

Räumliche Schwerpunkte für Dränagen liegen in den Einzugsgebieten von Ems, Lippe, Ijssel, Große Aue (Weser) und Erft (Südteil). Dies ist Folge eines hohen Anteils grund- und stauvernasster Böden (Ems, Lippe, Ijssel), landwirtschaftlich genutzter Moorböden (Große Aue) sowie pseudovergleyter Parabraunerden (Erft). Der Dränflächenanteil bewegt sich mit 39 % zwischen einem Mittelgebirgsraum wie dem Bundesland Hessen mit 21 % (Tetzlaff et al. 2009) und einem Tiefland-geprägten Bundesland wie Schleswig-Holstein mit einem Dränflächenanteil von 73 % (Tetzlaff u. Kuhr 2011). Mit „Kulturstau-Gebiete“ sind in Abbildung 4-1 32 Oberflächenwasserkörper der Fallgruppe 6 ausgewiesen, die die Eigenschaft „Landentwässerung und –bewässerung (Kulturstau)“ aufweisen, z.B. im Einzugsgebiet der Düffel. In diesen Gebieten sind bei vernässten landwirtschaftlich genutzten Böden potenziell Dränagen vorhanden. Diese Dränagen sind jedoch nicht das ganze Jahr über wirksam, da vor dem Ende der Dränperiode Einstau erfolgt, z.B. durch Wehre im Vorfluter. Der dadurch erzeugte Rückstau in der

Fläche wird zur Bewässerung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen genutzt (Meisters et al. 2015). Insofern treten auch in Kulturstau-Gebieten Dränabfluss und mit diesem transportierte Stoffausträge auf. Die Intensität dieser Vorgänge bezogen auf das Jahr ist jedoch geringer als in vergleichbaren Drängebieten ohne Kulturstau.

Im Vergleich zur eingangs erwähnten Dränpotenzialkarte von 2010 werden jetzt mehr potenziell dränierbare Flächen ausgewiesen (Wendland et al. 2010). Seinerzeit betrug der Gesamtumfang 5964 km², was einem Dränflächenanteil von 35% entsprach. Die räumlichen Schwerpunkte waren mit Ausnahme der Lössböden in etwa vergleichbar. Abbildung 4-2 zeigt die Differenzen zwischen den Dränpotenzialkarten 2017 und 2010.

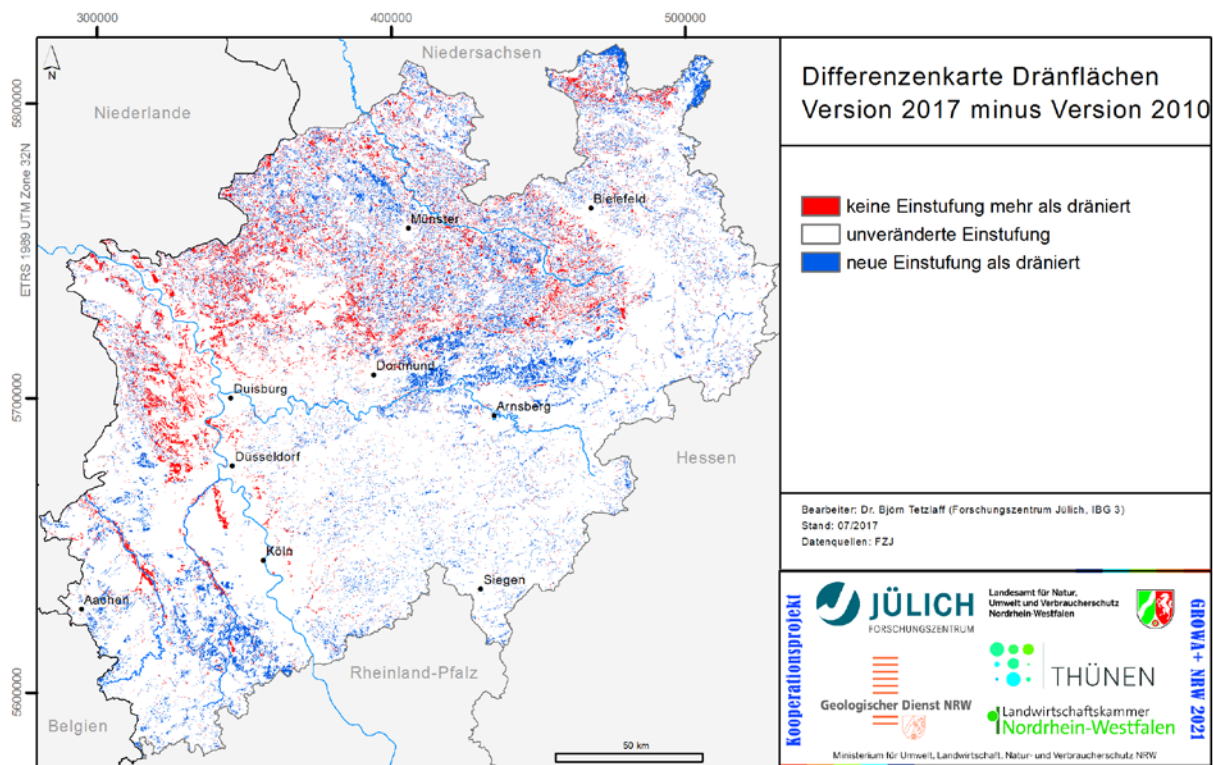


Abb. 4-2: Differenzen zwischen den abgeleiteten potenziell dränierbaren Landwirtschaftsflächen 2017 und 2010

Im Unterschied zur Version von 2010 werden in der aktuellen Ableitung von 2017 1726 km² nicht mehr als potenziell dränierbar eingestuft. Stattdessen werden 2679 km² neu als dränierbar eingestuft. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Die neue Einstufung als dränierbar geht u.a. auf veränderte Bewertungen der Bodenhydrologie, z.B. in den Böden, aber auch auf die Verwendung aktualisierter Bodendaten sowie des hydrogeologischen Flurabstands zurück. Der Wegfall von potenziell dränierbaren Flächen kann auf der Einbeziehung von Sümpfung beruhen, z.B. an der unteren Erft. Auch die Verwendung detaillierterer und aktueller Landnutzungsdaten, des Konvergenz-Divergenz-Index sowie die Umstellung der geodätischen Projektion von Gauß-Krüger auf ETRS haben Anteil an der oft kleinräumigen Änderung, z.B. im Münsterland.

4.2 Validitätsüberprüfung

Mit Hilfe der Drän-Referenzflächen ist es möglich, eine Validitätsüberprüfung der modellseitig abgeleiteten potenziell dränierter Flächen durchzuführen. Im GIS wurden die Mittelpunkte aller 3003 Drän-Referenzflächen bestimmt und mit einem Radius von 200 m gepuffert. Dies entspricht einer Unsicherheitsannahme von zwei Rasterzellen, was angesichts der Verschneidung zahlreicher, auch unterschiedlich skalierten, Eingangsdaten sowie der Projektionsumstellung gerechtfertigt scheint. Anschließend wurden diese Kreise mit der Dränpotenzialkarte von 2017 verschnitten. Abbildung 4-3 zeigt das Ergebnis dieser Verschneidung. Ergänzend wurde der letzte Arbeitsschritt mit der Dränpotenzialkarte von 2010 wiederholt.

Mit dem Begriff „Übereinstimmung“ in Abbildung 4-3 werden Fälle bezeichnet, in denen in der Realität eine Dränung vorhanden ist, d.h. es liegt eine Drän-Referenzfläche vor, und die in dieser Studie modellierten Flächen weisen ebenfalls eine potenzielle Dränung aus.

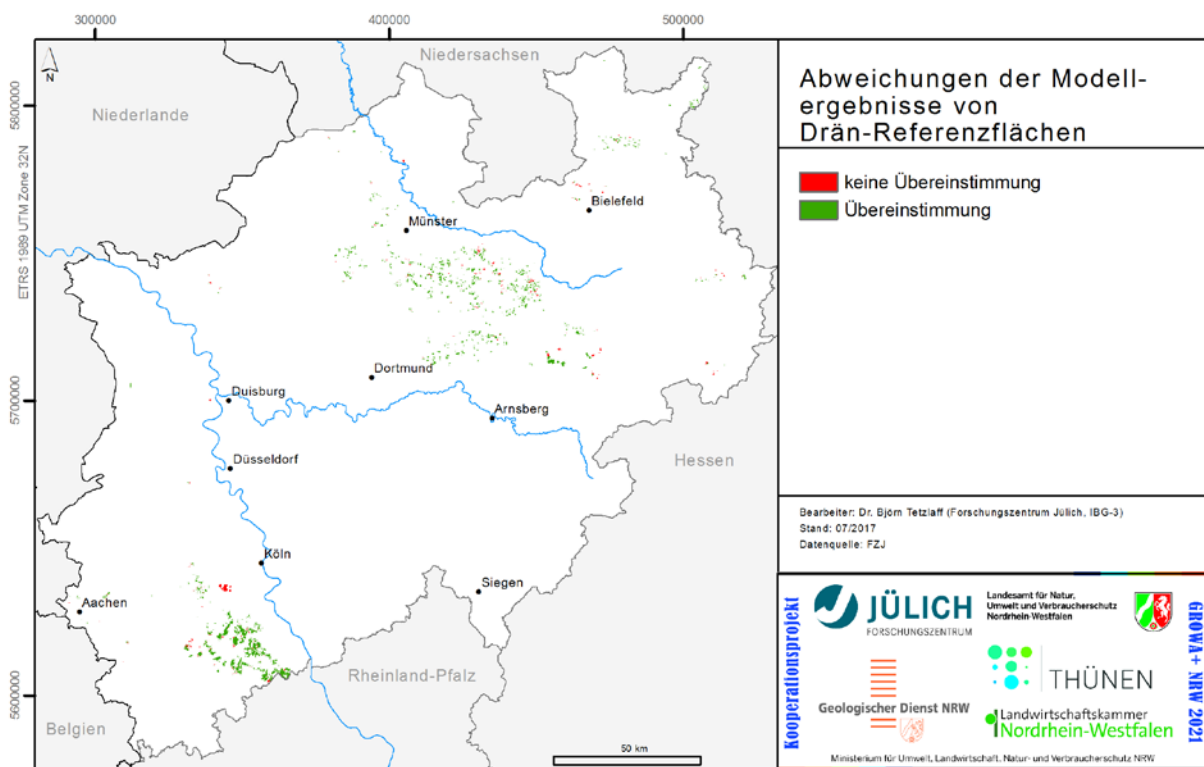


Abb. 4-3: Ergebnis der Validitätsüberprüfung der Dränpotenzialkarte 2017

Die Verschneidung liefert für die Dränpotenzialkarte 2017 eine Übereinstimmung mit Drän-Referenzflächen von 71 %, was als hoch und damit als gutes Ergebnis gewertet werden kann. Im Vergleich dazu erzielt die Dränpotenzialkarte 2010 nur eine Übereinstimmung von 56 %. Methodisch bedingt lassen sich nur Aussagen zur Übereinstimmung von Referenzflächen mit Modellergebnissen, nicht jedoch zu nicht-gedrängten Flächen erzielen. Außerdem wurden die Validitätsüberprüfungen für den Locker- und Festgesteinsbereich wiederholt. Die Drän-Referenzflächen teilen sich genau hälftig auf diese Bereiche auf. Für den Lockergesteinsbereich ergibt sich eine Übereinstimmung von 66 % (2010: 45 %) und für das Festgestein von 76 % (2010: 66 %). Daher lässt sich festhalten, dass die erneute Ableitung der potenziell dränierter

Flächen 2017 zu einer deutlichen Genauigkeitsverbesserung gegenüber der Version von 2010 geführt hat.

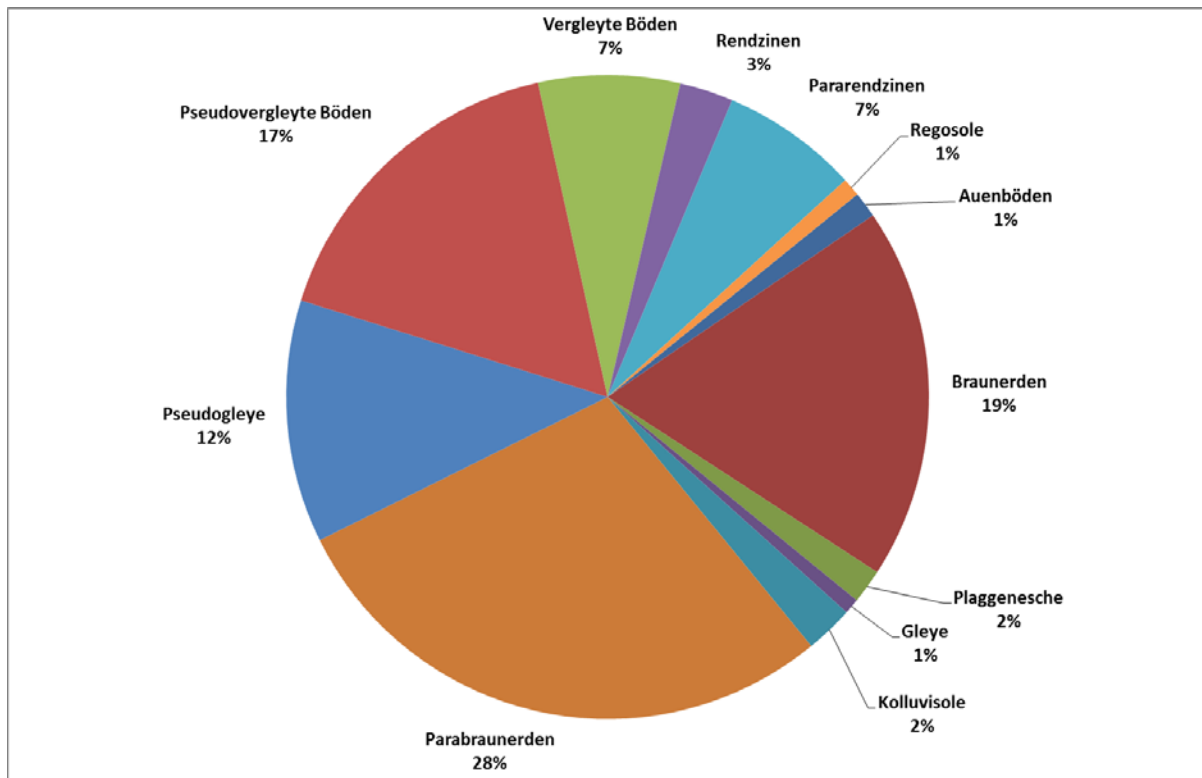


Abb. 4-4: Bodentypen-Verteilung in Drän-Referenzflächen, für die keine Übereinstimmungen mit der Dränpotenzialkarte 2017 erreicht wurden (zum Begriff „Übereinstimmung“ s.o.)

Nichtdestotrotz können für 29 % der Drän-Referenzflächen keine Übereinstimmungen mit der Dränpotenzialkarte erzielt werden. Abbildung 4-3 zeigt die Lage dieser Flächen. Aus Abbildung 4-4 gehen ihre Bodenverhältnisse hervor. Trockene terrestrische Mineralböden machen 62 % der Bodentypen aus. Diese sind in der Theorie auch nicht dränbedürftig (KA3 1982). Möglicherweise gibt es hier Vernässungen, die im Maßstab 1:50.000 der Bodenkarte durch Generalisierung entfallen oder es handelt sich um Spezialfälle. Darauf wird weiter unten eingegangen. Auenböden (1 %) werden in der Ableitung 2017 im Unterschied zu 2010 nicht mehr berücksichtigt. Weitere 28 % entfallen auf hydromorphe Bodentypen. Diese Standorte weisen entweder eine zu schwache Vernässung auf oder sie erfüllen die weiteren Bedingungen nicht, wie z.B. Entfernung zum Gewässer, Mindestgröße, Unterhang-Position (Kap. 2).

In Abbildung 4-3 fällt südwestlich von Köln ein größeres zusammenhängendes Gebiet auf, in dem die Drän-Referenzflächen keine Entsprechung in der Dränpotenzialkarte finden. Die Gebietsgröße lässt auf eine systematische Abweichung schließen. Hierbei handelt es sich um die Berrenrather Höhe, auf der Pararendzinen anstehen, die sich im Zuge der landwirtschaftlichen Rekultivierung im Rheinischen Braunkohlenrevier gebildet haben. Diese Rohböden sind nicht a priori dränbedürftig. In diesem Sonderfall jedoch handelt es sich um das „erste großflächige und einheitlich geplante landwirtschaftliche Rekultivierungsgebiet des Rheinischen Braunkohlenreviers aus den 1970er Jahren mit Höfen in den neu angelegten Weilern Berrenrath und

Brüggen inmitten großer Schläge“ (Kuladig 2017). Hier wird vermutet, dass die Löss-Aufbringung mit zu großer Verdichtung erfolgt ist (u.U. im Spülverfahren), sodass später Dränagen erforderlich wurden. Wie das Luftbild zeigt, sind die Saugerabstände mit 90 m ausgesprochen groß, was auf keinen großen hydrologisch verursachten Dränbedarf schließen lässt. Da sich diese Spezialfälle nicht für alle ähnlichen Boden-Landnutzungsverhältnisse verallgemeinern lassen, können sie in der modellgestützten Ableitung von Dränpotenzialkarten nicht berücksichtigt werden und führen zwangsläufig zu Abweichungen.

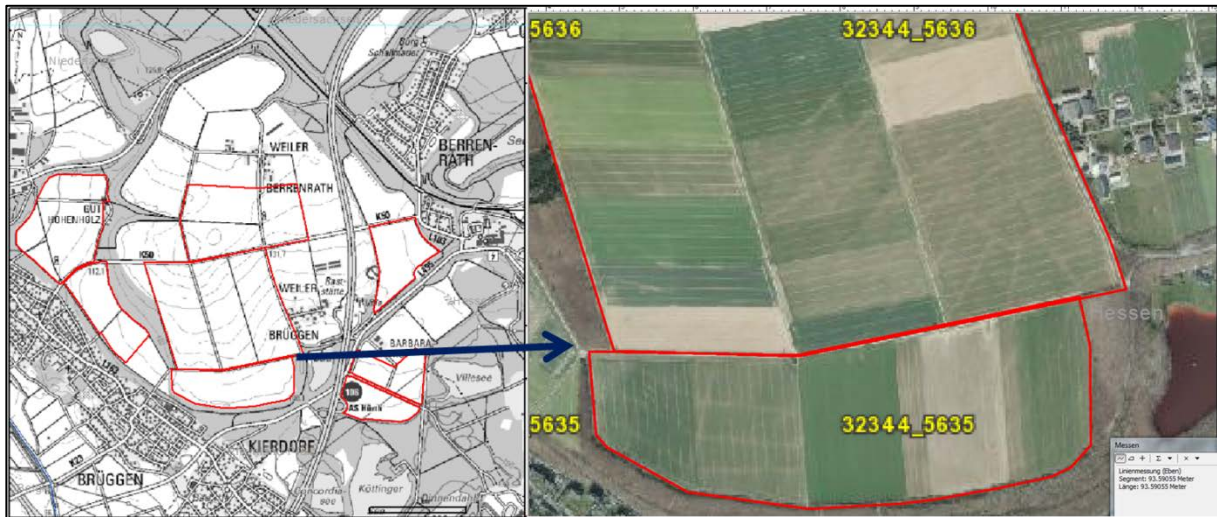


Abb. 4-5: Drän-Referenzfläche Berrenrath Höher (rote Umrandung) und Vergleich mit Luftbild

Drän-Referenzflächen, für die keine Übereinstimmung mit den modellierten potenziell dränierbaren Flächen ermittelt werden kann, werden nach der Validierung in die finale Karte potenziell dränkter landwirtschaftlicher Flächen zusätzlich aufgenommen. Insofern geht keine der mit großem Aufwand beschafften Dräninformationen bzw. Referenzflächen verloren.

5 Abschließende Bemerkungen

Die aktualisierte Ableitung potenziell dränkter Landwirtschaftsflächen ergibt einen vergleichbaren Anteil dränkter Flächen an der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche sowie gleiche Schwerpunkträume in Nordrhein-Westfalen wie die Ableitung aus dem Jahr 2010. Im Vergleich mit den Drän-Referenzflächen hat die erneute Ableitung 2017 jedoch zu einer deutlichen Genauigkeitsverbesserung gegenüber der Version von 2010 geführt. Die eingangs genannten Ziele des Forschungsauftrags wurden damit erfüllt.

Die Recherche nach Drän-Referenzflächen wurde bereits mit großem Aufwand betrieben. Um das Ableitungs-Verfahrens weiter zu verbessern, wäre jedoch eine weitere Verdichtung der Referenzflächen erforderlich. Die Vorgehensweise der Beschaffung von Dränplänen sowie die umfangreiche Auswertung von Luftbildern scheinen allerdings ausgereizt zu sein. Weitere Verbesserungen könnten daher nur von Befliegungen und fernerkundlichen Methoden erwartet werden, die speziell beauftragt werden müssen, um auf den Befliegungszeitpunkt direkten Einfluss nehmen zu können. Erfahrungen hierzu werden derzeit im Projekt „Agrodiffus“ des Erftverbands gesammelt, wobei die starke Austrocknung der Böden 2018 und 2019 eine Identifizierbarkeit von Dränagen in Drohnenaufnahmen weitgehend ausschließt. Derzeit verfügbare Satellitendaten bieten keine ausreichend hohe Auflösung und stellen damit für diese Fragestellung keine nutzbare Datenquelle dar.

6 Literatur

- ACKERMANN A., HEIDECKE, C., HIRT, U., KREINS, P., KUHR, P., KUNKEL, R., MAHNKOPF, J., SCHOTT, M., TETZLAFF, B., VENOHR, M. U. WENDLAND, F. (2015): Der Modellverbund AGRUM als Instrument zum landesweiten Nährstoffmanagement in Niedersachsen.- Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 37, Braunschweig, 314 S., DOI:10.3220/REP1450256145000.
- DIN 1185-1 (1973): Dränung - Regelung des Bodenwasser-Haushaltes durch Rohrdränung und Unterbodenmelioration.
- HEIDECKE, C., HIRT, U., KREINS, P., KUHR, P., KUNKEL, R., MAHNKOPF, J., SCHOTT, M., TETZLAFF, B., VENOHR, M., WAGNER, A. U. WENDLAND, F. (2015): Endbericht zum Forschungsprojekt „Entwicklung eines Instrumentes für ein flussgebietsweites Nährstoffmanagement in der Flussgebietseinheit Weser“ AGRUM+-Weser. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 21, Braunschweig, 380 S., DOI:10.3220/REP_21_2015.
- KA3 (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung.- 3. Aufl., Hannover.
- KULADIG (2017): Berrenrather Börde (Kulturlandschaftsbereich Regionalplan Köln 154).- <https://www.kuladig.de/Objektansicht/KLD-252156>, abgerufen am 27.10.2017.
- Leurs, S., Schrey, H. P. u. Schöbel, T. (2016): Analyse von Dränplänen zur Ableitung potenzieller Dränflächen aus bodenkundlichen, morphologischen und hydrologischen Standortfaktoren.- Projektbericht Geologischer Dienst, Krefeld.
- MEISTERS, J., NEBELUNG, H.W., HOFFMANN, J., SCHOLZ, H. U. RÜTTEN, M. (2015): ZUSAMMENFASSENDE Beschreibung des Be- und Entwässerungssystems im Deichverband Kleve-Landesgrenze.- Kranenburg, schriftl. Mitt. Herr Rütten, 8 S.
- TETZLAFF, B. (2006): Die Phosphatbelastung großer Flusseinzugsgebiete aus diffusen und punktuellen Quellen.- Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt/Environment, 65, Jülich, 287 S.
- TETZLAFF, B., KUHR, P. U. WENDLAND, F. (2008): Ein neues Verfahren zur differenzierten Ableitung von Dränflächenkarten für den mittleren Maßstabsbereich auf Basis von Luftbildern und Geodaten.- Hydrologie u. Wasserbewirtschaftung, 52 (1), 9-18.
- TETZLAFF, B., SCHREINER, H., VEREECKEN, H. U. WENDLAND, F. (2009): Modellgestützte Analyse signifikanter Phosphorbelastungen in hessischen Oberflächengewässern aus diffusen und punktuellen Quellen.- Abschlussbericht zum Kooperationsvertrag FZJ u. HLUG, Forschungszentrum Jülich, Reihe Energie und Umwelt, 29, 149 S.
- WENDLAND, F., KREINS, P., KUHR, P., KUNKEL, R., TETZLAFF, B. U. VEREECKEN, H. (2010): Räumlich differenzierte Quantifizierung der N- und P-Einträge in Grundwasser und Oberflächengewässer in Nordrhein-Westfalen unter besonderer Berücksichtigung diffuser landwirtschaftlicher Quellen.- Forschungszentrum Jülich, Reihe Energie und Umwelt, 88, 216 S. ISBN 978-3-89336-674-3.
- TETZLAFF, B. U. KUHR, P. (2011): Kartographische Erfassung potenziell gedränkter Flächen in Schleswig-Holstein.- Endbericht eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR), Laufzeit 01.05.2011 – 30.11.2011, 36 S.
- TETZLAFF, B., KELLER, L., KUHR, P., KREINS, P., KUNKEL, R. U. WENDLAND, F. (2016): Endbericht zum Forschungsprojekt „Räumlich differenzierte Quantifizierung der Nährstoffeinträge ins Grundwasser und die Oberflächen-gewässer Schleswig-Holsteins unter Anwendung der Modellkombination RAUMIS-GROWA-WEKU-MEPhos.- durchgeführt im Auftrag des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Jülich, 238 S.
- TETZLAFF, B., KREINS, P., KUHR, P., KUNKEL, R. U. WENDLAND, F. (2017): Quantifizierung der Stickstoff- und Phosphoreinträge ins Grundwasser und die Oberflächengewässer Thüringens mit eintragspfadbezogener und regionaler Differenzierung.- Endbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag der TLUG, Jülich, 182 S.

Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de