

Forstlich-standortkundliche Auswertung auf Basis der Bodenkarte 1 : 50 000

- Projektbericht -

TK25:	-	Bearbeitung:	Dipl.-Geogr. M. Dworschak Dipl.-Ing. agr. Dr. S. Schulte-Kellinghaus
Bereich:	-	Gesch.-Z.:	13.210/5398/2016
Anlagen:	1	Datum:	21.09.2018
Zitierhinweis:	DWORSCHAK, M.; SCHULTE-KELLINGHAUS, S. (2018): Forstlich-standortkundliche Auswertung auf Basis der Bodenkarte 1 : 50 000. Projektbericht. – 72 S.; Krefeld (Geol. Dienst Nordrh.-Westf.).		

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung	7
2	Auftrag und Aufgabenstellung	9
3	Vorläufer der Forstlichen Standortkarte in NRW	10
4	Datengrundlage Bodenkarte 1 : 50 000	12
5	Ergänzung des Datenbestandes der Bodenkarte 1 : 50 000	15
5.1	Basengehalt	15
5.2	Differenzierte Angaben zum Stauwassereinfluss	19
6	Methode zur Ermittlung des Gesamtwasserhaushalts	20
6.1	Gesamtwasserhaushalt sickerwassergeprägter Standorte	23
6.1.1	Berechnung des Wasserspeichervermögens des Bodens	25
6.1.2	Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationszeit	32
6.1.3	Ersteinstufung des Wasserhaushalts	38
6.1.4	Zu- und Abschläge auf Basis der Reliefanalyse	40
6.1.4.1	Reliefabhängige Verdunstung	41
6.1.4.2	Dünen / exponierte Sandstandorte	44
6.1.4.3	Hangwasserzug	47
6.1.5	Endeinstufung des Wasserhaushalts	50
6.2	Gesamtwasserhaushalt stauwassergeprägter Standorte	52
6.3	Gesamtwasserhaushalt grundwassergeprägter Standorte	53
7	Validierung der Ergebnisse	55
8	Kartendarstellung	59
9	Bereitstellung als Internetdienst	62
10	Ausblick: Weitere Auswertungen für die Forstplanung	63
11	Fazit	67
12	Verzeichnis der Schriften und Karten	68
	Anlage 1	71

Abbildungen	Seite	
1	Trockener, nährstoffarmer Waldstandort	6
2	Podsol aus Flugsand über kreidezeitlichem Kalkstein	17
3	Komponenten des Staunässegrades	19
4	Methodischer Ablauf bei der Ermittlung des Gesamtwasserhaushalts sickerwassergeprägter Standorte	24
5	Erweiterte Definition der Kennwerte zum Wasser- und Lufthaushalt	25
6	Durchwurzelbare Klüfte im Kalkstein im Stolberger Vennvorland	28
7	Liesegangische Ringe im Osning-Sandstein	29
8	Etwa 1 m tiefe, bis in den Mineralboden reichende Schrumpfungsrisse in einem Niedermoor	31
9	Dauer der forstlichen Vegetationsperiode in NRW (Anzahl der Tage > 10°C, Zeitraum 1981-2006)	36
10	Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (KWBv) in NRW	37
11	Grenzen der Wasserhaushaltsstufen in Abhängigkeit von der gewichteten nutzbaren Feldkapazität und der klimatischen Wasserbilanz bezogen auf die Vegetationszeit (>10°C)	38
12	Exemplarische Ersteinstufung eines Standortes mit 90 mm nFK bei einer KWBv von +40 mm	39
13	Digitales Geländemodell DGM10 von Nordrhein-Westfalen, dargestellt als Höhenstufenkarte	41
14	Direkter topografischer Strahlungsgenuss in Nordrhein-Westfalen, Summe für die Monate Mai – September	42
15	Normierte Einstrahlungssumme in Nordrhein-Westfalen für die Monate Mai – September	43
16	Bodenfeuchteindex (BFI) für Nordrhein-Westfalen	45
17	Bodenfeuchteindex (BFI) in der Umgebung von Reken	46
18	Normierte Werte des Bodenfeuchteindex zur Modifikation des Gesamtwasserhaushalts von potenziellen Dünenstandorten	46
19	Bodenfeuchteindex (BFI) als Detailausschnitt: Rheintal bei Ratingen bis Ruhr südlich Mülheim	48
20	Bodenfeuchteindex normiert und gewichtet mit der klimatischen Wasserbilanz (Vegetationszeit)	49
21	Beispiel für die Berechnung des Gesamtwasserhaushalts eines sickerwassergeprägten Standortes	51
22	Wasserhaushaltseinstufung der Standorte der BZE mit anhydromorphen Böden in der Gegenüberstellung von nFK und KWBa nach Angaben der LÖBF-Standortkundler	56

23	Wasserhaushaltseinstufung der Standorte der BZE mit anhydromorphen Böden in der Gegenüberstellung von nutzbarer Feldkapazität (2 m, gewichtet) und klimatischer Wasserbilanz (Vegetationszeit)	57
24	Forstliche Standortkarte auf der Grundlage der Bodenkarte 1 : 50 000 in der WMS-Darstellung; Ausschnitt. Nationalpark Eifel südwestlich des Rursee	60
25	Forstliche Standortkarte auf der Grundlage der Bodenkarte 1 : 5 000, Ausschnitt Raum Olsberg	60
26	Übersicht über die in Nordrhein-Westfalen vorhandenen Bodenkarten und Forstlichen Standortkarten unterschiedlicher Maßstäbe	66

Tabellen

Seite

1	Entwicklung der Forstlichen Standorterkundung in Nordrhein-Westfalen	11
2	Einstufung der Basensättigung bezogen auf die effektive Kationen-Austauschkapazität	16
3	Klassen des Gesamtwasserhaushalts (Wasserhaushaltsstufen) in der Forstlichen Standortkarte NRW	21
4	Parameter der Modellierung der Forstlichen Standorteigenschaften	22
5	Korrelationstabelle zur Bestimmung von Gesamtwasserhaushaltsstufen in Abhängigkeit von Niederschlag, Relief und nutzbarer Feldkapazität	23
6	Begrenzung der Durchwurzelbarkeit	26
7	nFK-Zuschläge für untergeordneten Stauwassereinfluss bei vorherrschend sickerwassergeprägten Böden	30
8	Klassifizierung der GWH-Indexwerte für vorwiegend sickerwassergeprägte Böden	50
9	Klassen des Gesamtwasserhaushalts (Wasserhaushaltsstufen) bei stauwassergeprägten Böden	53
10	Klassen des Gesamtwasserhaushalts (Wasserhaushaltsstufen) bei grundwassergeprägten Böden; Bewertung nach der Grundwasserstufe	54
11	Derzeit mögliche Auswertungen für die Bodenkarten des Geologischen Dienstes NRW	64

Anlage

Seite

1	Legende zur Forstlichen Standortkarte auf Grundlage der Bodenkarte 1 : 50 000	71
---	---	----

Verwendete Abkürzungen:

BDF	Boden-Dauerbeobachtungsflächen
BFI	Bodenfeuchteindex
BK5	Großmaßstäbige Bodenkarte zur Standorterkundung von NRW 1 : 5 000
BK5F	Großmaßstäbige Bodenkarte zur forstlichen Standorterkundung von NRW 1 : 5 000
BK5L	Großmaßstäbige Bodenkarte zur landwirtschaftlichen Standorterkundung von NRW 1 : 5 000
BK50	Bodenkarte von NRW 1 : 50 000
BZE	Bodenzustandserhebung im Wald
DFSK	Digitale Forstliche Standortklassifikation der LÖBF/ LB WH / Universität Göttingen
DGK5	Deutsche Grundkarte 1 : 5 000
DGM10	Digitales Geländemodell Gitterweite 10 m
DTK10	Digitale Topographische Karte 1 : 10 000
DWD	Deutscher Wetterdienst
ForstGIS	WMS von Wald und Holz NRW
FSK5	Forstliche Standortkarte 1 : 5 000
FSK50	Forstliche Standortkarte 1 : 50 000
GD	Geologischer Dienst NRW
GIS	Geografisches Informationssystem
GLA	Geologisches Landesamt NRW
GWH	Gesamtwasserhaushalt
KA5	Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Auflage
KlimaWIS.NRW	Klimadynamisches Waldinformationssystem NRW
KWB	Klimatische Wasserbilanz
KWBa	Klimatische Wasserbilanz des gesamten Jahres
KWBv	Klimatische Wasserbilanz der Vegetationsperiode
LANUV	Landesumweltamt NRW
LB WH	Landesbetrieb Wald und Holz NRW
LÖBF	Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW
LÖLF	Landesanstalt für Ökologie Landschaftsentwicklung und Forstplanung NRW
MKULNV	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW
MULNV	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW
MUNLV	Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW
nFK	Nutzbare Feldkapazität
NWZ	Naturwaldzelle
TK50	Topographische Karte 1 : 50 000
WFS	Web Feature Service
WMS	Web Map Service



Abb. 1: Trockener, nährstoffarmer Waldstandort
Stieleichenbestand auf einer sehr flachgründigen Braunerde über devonzeitlichem Schluffstein;
Spornlage im Gebiet Nideggen (Eifel); Gebiet mit leicht negativer klimatischer Wasserbilanz

1 Einleitung

Die forstliche Standortkartierung erfasst die Wuchsbedingungen der Waldstandorte hinsichtlich Klima, Wasser- und Nährstoffversorgung. Sie ist damit in der Lage, sowohl das Potenzial als auch die Risiken der unterschiedlichen Standorte zu bewerten. Wie am Klimawandel, an Grundwasserabsenkungen und Immissionseinflüssen leicht nachzuvollziehen ist, besitzen die Standortbedingungen eine zeitlich und räumlich dynamische Komponente.

In Kombination mit den Standortansprüchen der Baumarten ist der forstliche Standort die zentrale Grundlage für waldbauliche Planungen und Entscheidungen. Aufbauend auf den bei der Kartierung ermittelten Standortmerkmalen können gezielt Baumarten ausgewählt werden, für die sowohl unter ökonomischen als auch ökologischen Aspekten die besten Erfolgsaussichten bestehen.

Alle Bundesländer verfügen heute über mehr oder weniger detaillierte forstliche Standortkarten oder forstlich-standortkundliche Auswertungen. In Abhängigkeit von den verfügbaren Datengrundlagen und der historischen Entwicklung der Standortkartierung sind die verwendeten Methoden zur Differenzierung der Forststandorte jedoch sehr unterschiedlich. Insbesondere weichen die Stufen des Wasser- und Nährstoffhaushalts hinsichtlich ihrer Herleitung, Bezeichnungen und Skalierungen mehr oder weniger stark voneinander ab. Im sogenannten Blauen Buch (Arbeitskreis Standortkartierung 2016) werden die Vorgehensweisen der einzelnen Bundesländer ausführlich beschrieben und einander gegenübergestellt. SCHMIDT et al. (2015) vergleichen darüber hinaus sehr detailliert die Kartierverfahren der nordwestdeutschen Bundesländer.

Das Land Nordrhein-Westfalen hat im Landesforstgesetz (§ 60) eine auf das gesamte Landesgebiet bezogene forstliche Standortkartierung als Grundlage für die sachgerechte Prüfung und Durchführung von Erst- und Wiederaufforstungen festgeschrieben. Schon frühzeitig entschied die Landesforstverwaltung NRW, im Rahmen der forstlichen Standorterkundung alle Bodeninformationen als neutrale Grundlagendaten vom Geologischen Dienst im Gelände nach einheitlicher Methode erheben zu lassen (EIDMANN 1957; MÜCKENHAUSEN 1957). Diese Entscheidung mit Weitblick versetzt NRW heute in die Lage, anspruchsvolle GIS-Modellierungen zu Fragen der Standorteigenschaften im Klimawandel auf eine solide Datenbasis zu stellen, wie es anderen Bundesländern nur in Ausnahmefällen möglich ist.

Nordrhein-Westfalen verfügt heute für knapp zwei Drittel der Landeswaldfläche über genaue Bodenkarten im Maßstab 1 : 5 000 (BK5F). Für das gesamte Landesgebiet liegt die digitale mittelmaßstäbige Bodenkarte im Maßstab 1 : 50 000 (BK50) vor. Beide Kartenwerke stehen neben ihrer Verwendung für die forstliche Standorterkundung als Informationengrundlagen für viele weitere Anwendungsbereiche zur Verfügung, zum Beispiel für Fragen des Grundwasser- und Naturschutzes und des Bodenmonitorings.

Heute ist es möglich, die nach standardisierten Regelwerken erhobenen Bodeninformationen mit aktuellen digitalen Klimadaten und hochauflösenden Geländemodellen im Rahmen anspruchsvoller Modellierungen

zu verknüpfen. Das Ergebnis sind praxisorientierte Auswertungen, die über leistungsfähige Informationssysteme als digitale Kartendienste (WMS, WFS) sowohl der Landesverwaltung als auch der Allgemeinheit zur Verfügung stehen.



2 Auftrag und Aufgabenstellung

Das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW beauftragte am 25.10.2016 den Geologischen Dienst NRW (GD) mit einer forstlich-standortkundlichen Auswertung auf der Datengrundlage der Bodenkarte BK50, die für mittel- und kleinmaßstäbige Übersichten und Fragestellungen herangezogen werden soll. Dabei sollte die fachliche Kompatibilität mit der BK5-Auswertung "Standortkundliche Grundlagen der Baumartenwahl" bzw. einer methodischen Weiterentwicklung dieser BK5F-Auswertung gewährleistet sein. Wesentliche Vorgabe war, dass alle Waldbestände in NRW nach einer einheitlichen Methode bewertet werden. Es handelt sich insofern um ein einstufiges Verfahren der forstlichen Standortbewertung.

Die standortkundliche Auswertung - Arbeitstitel "Forstliche Standortkarte NRW (Übersichtskarte)" soll in zwei separaten Layern folgende Kerninhalte zeigen:

- Wasserhaushalt (repräsentiert durch den Gesamtwasserhaushalt)
- Nährstoffhaushalt (repräsentiert durch den Basengehalt)

Weitere Anforderungen waren

- Verwendung aktueller Klimadaten des Landesumweltamtes NRW (LANUV) bzw. des Deutschen Wetterdienstes (DWD)
- fachliche Einbeziehung der Ergebnisse der "Digitalen Forstlichen Standortklassifikation" auf Flächen ohne BK5F (insbesondere Bergland) sowie der Ergebnisse der "Forstlichen Standortkartierung" der ehemaligen LÖBF
- fachliche Abstimmung im Arbeitskreis "Forstliche Standortkarte"
- Kennzeichnung des Produkts als Dienstleistung für die Landesforstverwaltung
- Bereitstellung in üblichen IT-Formaten der Landesverwaltung (internetbasierter Dienst) unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen des Klimadynamischen Waldinformationssystems

Zusätzliche standortkundlich relevante Informationen und Auswertungen sind im Datenbestand der Bodenkarte (z. B. Angaben zu Bodenartenschichtungen und zu bodentypologischen Kennzeichnungen) bzw. des Klimaatlas NRW oder spezieller klimatischer Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes / LANUV (z. B. zur Länge der Vegetationszeit oder zur klimatischen Wasserbilanz) enthalten. Für spezielle Fragen ist über die forstlichen Informationssysteme (z. B. ForstGIS, Waldinformationssystem NRW, KlimaWIS.NRW) der Rückgriff auf die Detailinformationen der einzelnen Fachgebiete gewährleistet.

3 Vorläufer der Forstlichen Standortkarte in NRW

Ursprünglich diente die Bodenkartierung der Waldflächen zusammen mit einer Vegetationskartierung / einem Vegetationsgutachten den forstlichen Standortkartierern als Basisinformation für weitere standortkundliche Untersuchungen und Bewertungen, die letztlich in eine Forstliche Standortkarte im Maßstab 1 :10 000 mündeten (Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen 1984; Tab. 1). Im Jahr 1998 gab die Landesforstverwaltung diese Vorgehensweise auf und legte die digitale Bodenkarte als zentrales Element der forstlichen Standorterkundung in NRW fest. Eine auf der Bodenkarte aufbauende Standortbewertung sollte den standortkundlich geschulten Forstbediensteten vor Ort überlassen bleiben.

Vorläuferin der jetzt vom Geologischen Dienst vorgelegten Forstlichen Standortkarte ist die Auswertung "Bodenkundliche Grundlagen der Waldbauplanung", die Mitarbeiter* aus der forstlichen Standortkartierung der damaligen LÖBF zusammen mit dem GD 2003 für die großmaßstäbige Bodenkarte entwickelt haben (DOHMEN et al. 2003). Diese Auswertung beurteilte primär den Bodenwasserhaushalt (Wasserspeichervermögen, Grundwasser- und Stauwassereinfluss), verzichtete allerdings auf die Einbeziehung von Relief- und Klimadaten. Sie enthielt zusätzlich Aussagen zum Basengehalt der Standorte sowie stark vereinfachte Substratangaben auf Basis der Bodenartenschichtungen.

In den Jahren 2007 bis 2008 entwickelte der GD erstmals eine Methode zur Herleitung der 14 Stufen des Gesamtwasserhaushalts und präsentierte diese 2009 mit der Auslieferung der großmaßstäbigen Bodenkarte des Nationalparks Eifel. Seit nunmehr etwa 10 Jahren gehört die Auswertung "Standortkundliche Grundlagen der Baumartenwahl" zu den Standardbestandteilen der BK5F und ist derzeit noch im BK5F-WMS des Geologischen Dienstes NRW abrufbar. Die Auswertung setzt das Wasserspeichervermögen des Bodens in Beziehung zur klimatischen Wasserbilanz und differenziert den Wasserhaushalt zusätzlich in Abhängigkeit von ausgeprägten Sonnen- und Schatthängen. Daneben sind Angaben zum Nährstoffhaushalt (Basengehalt) enthalten.

Auf die BK50 hat der GD die Auswertemethode nicht angewandt, da entscheidende Daten zum Basengehalt und zum Stauwassereinfluss bisher fehlten.

Seitens des Landesbetriebes Wald und Holz NRW liegt die Digitale Standortklassifikation auf Basis der BK50 vor (z. B. ASCHE & SCHULZ 2005), die mit der vom GD verwendeten Methode nicht übereinstimmt und insofern zu abweichenden Ergebnissen führt.

* Im gesamten Text wird bei Begriffen, die sich auf Personen beziehen, aus Gründen der Lesbarkeit generell das generische Geschlecht verwendet.

Tab. 1: Entwicklung der forstlichen Standorterkundung in Nordrhein-Westfalen

bis 1998	Bodenkartierung 1 : 5.000 (GLA) + Vegetationsgutachten + Forstliche Standortkartierung 1 : 5.000 / 1 : 10.000 mit Geländearbeiten (LÖLF / LÖBF)
ab 1998	Bodenkartierung 1 : 5.000 GLA > GD
1998	Auswertung "Digitale Forstliche Standortklassifikation auf Basis der BK50" (LÖBF > LB WH, Universität Göttingen) - <i>Gesamtwasserhaushalt / Trophie</i> - <i>zunächst nur für das Mittelgebirge, später auf ganz NRW ausgeweitet</i>
2003	Auswertung "Bodenkundliche Grundlagen der Waldbauplanung auf Basis der BK5F" (AG Forstfachliche Auswertungsmöglichkeiten der digitalen BK5F im Auftrag des MUNLV) - <i>Bodenwasserhaushalt / Nährstoffhaushalt (Basensättigung) / Substrat</i> - <i>seit 2003 BK5F-Standardauswertung</i> - <i>Weiterentwicklung zu Forstlicher Standortkarte im Abschlussbericht vorgesehen</i>
2009	Auswertung "Standortkundliche Grundlagen der Baumartenwahl auf Basis der BK5F" (GD) - <i>Gesamtwasserhaushalt / Nährstoffhaushalt (Basensättigung)</i> - <i>seit 2009 BK5F-Standardauswertung inklusive Ausweisung standortgerechter Baumarten nach ASCHE (2002)</i>
2018	Auswertung "Forstliche Standortkarte NRW (Übersichtskarte) auf Basis der BK50" (GD) - <i>Gesamtwasserhaushalt / Nährstoffhaushalt (Basensättigung)</i>
2019	geplant: Auswertung "Forstliche Standortkarte NRW auf Basis der BK5F" (GD) - <i>Gesamtwasserhaushalt / Nährstoffhaushalt (Basensättigung) / Substrat</i>

4 Datengrundlage Bodenkarte 1 : 50 000

Zur sachgerechten Abschätzung der Datenqualität und Genauigkeit der BK50 und damit auch der daraus abgeleiteten Forstlichen Standortkarte sind einige Vorinformationen zur Konzeption und Entstehungsgeschichte der BK50 notwendig. Ausführliche Informationen zu Aufbau, Inhalt und Methodik der Karte enthält die Monografie "Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1 : 50 000 - BK50" (SCHREY 2014).

Die Bodenkarte 1 : 50 000 ist eine mittelmaßstäbige Übersichtskarte (Planungsmaßstab in NRW). Sie beschreibt in einheitlicher Weise den Aufbau der Böden bis in 20 dm Tiefe bzw. bis zum Festgestein, falls dieses oberhalb von 20 dm Tiefe ansteht. Die Aufnahme und Darstellung richtet sich nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005) sowie nach ergänzenden Regelwerken des Geologischen Dienstes NRW (GEOLOGISCHER DIENST NORDRHEIN-WESTFALEN 2008, 2011).

Der Datenbestand der BK50 umfasste bisher folgende Basisparameter:

- Bodentyp
- Bodenartenschichtung mit Feinbodenarten und Grobbodenanteil, Humus- und Karbonatgehalt
- Ausgangsgestein der Bodenbildung (Festgesteine oder Geogenese von Lockergesteinen und deren Stratigrafie)
- Grundwasserstufe
- Staunässegrad

Bis auf die Humusform und den Podsoligkeitsgrad sowie Kennzeichnungen einiger spezieller Bodenveränderungen (z. B. Ackeraufforstungen, Wölbäcker), die nur in der großmaßstäbigen Bodenkarte (BK5F) vorhanden sind, ergeben sich damit für die BK50 und die BK5F identische Attribute.

Ein Vorteil der nordrhein-westfälischen BK50 besteht darin, dass sie nicht lediglich aus anderen Datenquellen, zum Beispiel aus Geologischen Karten und Reliefinformationen, abgeleitet wurde, sondern dass auf der Basis dieser Informationen das Gelände wie bei der BK5F-Kartierung – nur in größerem Abstand – abgebohrt wurde. Soweit zum Zeitpunkt der Kartierung bereits großmaßstäbige Bodenkarten vorlagen, wurden diese stark räumlich und fachlich zusammengefasst, teilweise auch vereinfachend neu interpretiert, in die Bodenkarte 1 : 50 000 eingearbeitet.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden nachträglich ergänzt:

- Basengehalt unter Wald einschließlich Tiefengradient
- Staunässestärke mit Tiefenbereich

Wenn die BK50 vor der BK5 vorlag, beruht sie auf knapp einem Zehntel der Sondierbohrungen im Vergleich zur BK5. Bedingt durch die maßstabsbedingte Begrenzung des Darstellbaren, reicht das auch aus. Details und Besonderheiten werden aber eher übersehen oder unterdrückt.

Die Linienführung der Grenzen in der BK50 orientiert sich an den topografischen Grundlagen der zur Zeit der Kartierung aktuellen mittelmaßstäbigen Karten der TK50. Daher weisen die bodenkundlichen Abgrenzungen der BK50 im heute technisch problemlosen Vergleich mit großmaßstäbigen topografischen Informationen (z. B. DTK10, DGK5) zwangsläufig auch unplausible Verläufe auf.

Die BK50 wurde seit den 1960er Jahren ursprünglich als analoge Karte erarbeitet. Das Kartenwerk besteht aus 89 Kartenblättern. Hinsichtlich der Flächengröße umfasst eine vollständig kartierte Karte etwa 50 000 Hektar (ca. 500 km²). Zum Vergleich deckt eine Bodenkarte 1 : 5 000 (BK5) genau 400 Hektar Fläche ab.

Jedes gedruckte BK50-Kartenblatt bot in der Randlegende nur Platz für maximal 45 Einheiten. Es war somit zwingend notwendig, die unterschiedlichen Böden extrem stark zusammenzufassen. Bodentypenangaben, Bodenartenschichtungen sowie Angaben zum Ausgangsgestein in den Randaufstellungen der analogen BK50 waren somit Durchschnittsangaben (Legendeneinheiten) für teils wenige, teils aber auch für weit mehr als 100, über das gesamte Kartenblatt verteilte Flächen. Die zusammengefassten Fachinformationen der BK50 beruhen zudem – insbesondere im Flachland – zu einem hohen Anteil nicht nur auf Sondierbohrungen im Wald, sondern auch auf Bohrungen auf Acker- und Grünlandstandorten.

Aus diesen Randbedingungen ergeben sich in der BK50 zum einen oft große Spannbreiten der Angaben, zum Beispiel bei den Bodenartenschichtungen sowohl hinsichtlich der Bodenarten als auch in Bezug auf die Schichtmächtigkeiten. Zum anderen ist in den Angaben sowohl die typische Differenzierung des Bodenprofils als auch die Differenzierung vieler Flächen derselben Einheit über das gesamte Kartenblatt enthalten.

Bei der Digitalisierung, die zum Ende der 1980er Jahre begonnen wurde, konnten durch Autorengespräche einige Verbesserungen dieser Zusammenfassungen erreicht werden, indem Legendeneinheiten aufgesplittet wurden. Die meisten der maßstabsbezogenen fachlichen Zusammenfassungen ließen sich jedoch nicht auflösen. Der Bezug der Linienführung der BK50 zur Topografie der TK50 lässt sich ohnehin nicht verändern.

Für die heute vorliegende digitale BK50 bedeutet das: Alle gleich lautenden Einheiten im Gebiet eines BK50-Blattes besitzen identische Angaben zu den vorkommenden Bodentypen und zur Bodenartenschichtung. Lediglich die Informationen zum Grundwasserschwankungsbereich und zur Staunässe, die bereits in den analogen Karten mittels Signaturen einzelflächenbezogen dargestellt wurden, sind auch in der digitalen BK50 flächenindividuell. Zum Vergleich: In der großmaßstäbigen Bodenkarte BK5 kennzeichnen sämtliche Angaben die tatsächlichen bodenkundlichen Verhältnisse in der Einzelfläche.

Es ist wichtig zu wissen: Die BK50 ist keine generalisierte BK5! Heute liegt der Schwerpunkt der Bodenkartierung in NRW klar auf der großmaßstäbigen Bodenkarte. Aktualisierungen der BK50 erfolgen erst dann, wenn ein BK50-Kartenblatt komplett überarbeitet wird. Der Hintergrund ist, dass die Kartierung der besonders im Flachland stark zersplitterten Waldflächen zwangsläufig nicht zu einem homogenen Gesamtbild der

Bodenverhältnisse führt, so dass eine Aktualisierung einer BK50 normalerweise erst bei Vorliegen der Kartierung auch der großflächigen landwirtschaftlichen Nutzflächen sinnvoll ist.

Die Ergebnisse neuer BK5-Kartierungen finden also keinen unmittelbaren Eingang in die BK50. Das führt auf den beiden Maßstabsebenen im Detail zu mehr oder weniger deutlichen Unterschieden in den bodenkundlichen Flächeninformationen und Flächenabgrenzungen. Gerade in den nordrhein-westfälischen Flachlandgebieten lösen sich die großen BK50-Einheiten beim Blick in die BK5 in ein kleinflächiges Mosaik ganz unterschiedlicher Standorte auf. Dass sich diese Unterschiede dann trotz gleicher methodischer Vorgehensweise auch in den Auswertungen durchpausen, zum Beispiel beim Geländewasserhaushalt, ist unvermeidbar.

Was bedeuten diese Aspekte nun für die forstlich-standortkundliche Auswertung der BK50-Daten? Auch durch die Ergänzung um die Basengehalte unter Wald und um die Staunässestärke mit Tiefenbereich sowie unter Einsatz moderner Rechenmethoden und hochauflösender Reliefmodelle ist nur eine begrenzte Verbesserung der Aussagegenauigkeit erreichbar. Die Vergrößerungsmöglichkeit für die Forstliche Standortkarte von NRW auf Basis der BK50 wird daher in den Internetdiensten der Landesverwaltung auf maximal 1 : 25 000 beschränkt. Diese Vorgehensweise ist mit dem Auftraggeber abgestimmt.

Damit eignet sich die Forstliche Standortkarte auf Basis der Bodenkarte 1: 50 000 primär für regionale forstliche Fragestellungen und Planungen. Für einzelne Waldbestände kann sie eine erste, orientierende standortkundliche Vorinformation liefern, die dann gegebenenfalls durch die BK5F oder durch weitere Spezialuntersuchungen vor Ort überprüft werden kann. Für die konkrete bestandesbezogene Waldbauplanung und für lokale Flächenbewertungen, zum Beispiel zur Befahrbarkeit oder Bodenschutzkalkung, ist ihre Eignung stark eingeschränkt.

Im Kartenbild zeigt die Auswertung der Stufen des Gesamtwasserhaushalts auf Basis der BK50 an einzelnen Stellen Brüche in der Darstellung, die auf unplausible Ergebnisse hindeuten. Die Ursache liegt meist in den bodenkundlichen Basisdaten, insbesondere in den Bodenartenschichtungen, die sich bis in die Auswertungen durchpausen. Der GD versucht, solche Problemfälle durch Revisionskartierungen möglichst schnell zu beseitigen; zurzeit werden beispielsweise die BK50-Blätter L3916 Bielefeld, L4518 Marsberg, L4910 Gummersbach und L5110 Waldbröl überarbeitet. Da diese Revisionskartierungen in der Regel mit Geländearbeiten verbunden sind, werden sich die Korrekturarbeiten aber leider noch über einen längeren Zeitraum hinziehen.

5 Ergänzung des Datenbestandes der Bodenkarte 1 : 50 000

Anders als die großmaßstäbige Bodenkarte BK5F verfügte die BK50 bisher weder über Angaben zum Nährstoffhaushalt (Basengehalt) noch über genauere Angaben zu Stärke und Tiefenbereich des Stauwassereinflusses. Um eine methodisch gleichartige Auswertung von BK5F und BK50 zu gewährleisten, mussten diese fehlenden Daten zunächst gutachterlich ergänzt und in den BK50-Datenbestand eingefügt werden.

Für diese Arbeiten wurden langjährig erfahrene GD-Kartierer aus der forstlichen Bodenkartierung eingesetzt. Sie nutzten dazu

- ihre Erfahrungen bei der bodenkundlichen Kartierung vergleichbarer Böden und Substrate in geologisch und bodenkundlich ähnlichen Gebieten
- ihre Erkenntnisse aus umfangreichen pH-Wert-Geländemessungen bei der BK5F in den vergangenen 10 Jahren
- die Ergebnisse alter analoger Bodenkarten, die noch nicht digitalisiert wurden
- die Analysenergebnisse von ca. 8 500 Waldbodenprofilen in NRW (BK5F-Kartierung, BZE I und II, BDF, NWZ, BK50)
- Auswertungen von Bodenprofilbeschreibungen und Analysen, die für bodenkundliche Monografien erstellt wurden
- im GD vorhandene Geologische Karten (inkl. Manuskriptkarten) sowie die Erkenntnisse der regional erfahrenen Kollegen aus der geologischen Kartierung
- die forstlichen Standortkarten der LÖBF
- großmaßstäbige Bodenkarten landwirtschaftlich genutzter Flächen (hinsichtlich Staunässe, Substrate, Schichtungen)

5.1 Basengehalt

Für die forstliche Standortbewertung spielt neben dem Wasserhaushalt die Kennzeichnung des chemischen Bodenzustands und des Nährstoffhaushaltes eine entscheidende Rolle. Allerdings sind die *"Zusammenhänge zwischen Vorräten, Verfügbarkeiten, Freisetzung durch Verwitterung, gegenseitiger Beeinflussung und Stoffflüssen, Quellen und Senken der einzelnen Elemente"* sowie die wechselseitigen Beziehungen zwischen Wasser- und Nährstoffhaushalt außerordentlich komplex (Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 169). Diese Komplexität bei der Geländekartierung zu erfassen und dann vereinfacht in Bodenkarten darzustellen ist ausgesprochen schwierig.

Ein aussagekräftiger Parameter für die Einschätzung der chemischen Eigenschaften der Bodenlösung ist die Basensättigung, das ist der prozentuale Anteil der basisch wirkenden Kationen Natrium, Kalium, Kalzium und Magnesium an den Austauschern (Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 178 f.; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2018; S. 16). Pauschal lässt sich sagen: Je höher die Basensättigung bei



gleichem Wasserhaushalt des Bodens ist, ein umso besseres Wachstum der Waldbäume ist zu erwarten. Berücksichtigt werden muss aber, dass bei extrem hoher Kalzium- und Magnesium-Sättigung auf Karbonatstandorten die Versorgung mit Eisen, Mangan, Kalium und Phosphor eingeschränkt sein kann (KÖLLING 2010).

Schon zu Beginn der nordrhein-westfälischen forstlichen Bodenkartierung wurde neben der Humusform die Basensättigung als stellvertretende Kenngröße für die Nährstoffversorgung in das Kartiersystem eingeführt. Bei der BK5F wird die durchschnittliche Basensättigung des Bodens bis 20 dm Tiefe geschätzt und in 6 Klassen dargestellt (Tab. 2). Dabei wird der Hauptwurzelraum - ebenso wie bei der Bewertung des Bodenwasserhaushalts - stärker gewichtet als die extensive Wurzelzone im zweiten Bodenmeter. Auf diese Weise wird besonders bei Zweischichtböden das Vorhandensein basenreicher (nährstoffreicher) Unterböden nicht vernachlässigt, aber auch nicht überbewertet (Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 173).

Tab. 2: Einstufung der Basensättigung bezogen auf die effektive Kationen-Austauschkapazität

Stufe	Bezeichnung	Basensättigung [Masse-%]
1	sehr basenarm	≤ 7
2	basenarm	> 7 - 20
3	mäßig basenhaltig	> 20 - 50
4	basenreich	> 50 - 85
5	sehr basenreich	> 85
6	sehr basenreich, kalkdominiert*	> 85

* Stufe 6: Boden bereits in der obersten Bodenartenschicht karbonathaltig

Innerhalb des Mineralbodens nimmt die Basensättigung im Normalfall entweder zur Tiefe hin kontinuierlich zu oder sie verbleibt auf einem etwa gleichen Niveau. Zur Tiefe abnehmende Sättigungsgrade kommen meist nur auf anthropogen stark beeinflussten Standorten vor (Kalkung, Immissionen, anthropogener Bodenauftrag).

Vor allem bei zweischichtigen Böden mit sehr unterschiedlicher Basenversorgung im oberen und unteren Profilteil ist ein Mittelwert nur eingeschränkt aussagefähig (Abb. 2). Besonders gravierende Unterschiede werden deshalb durch folgende Zusatzangaben zur Basengehaltsstufe ausgedrückt:

- ... a sehr große Differenz zwischen sehr basenreichem oder basenreichem oberem und sehr basenarmem oder basenarmem unterem Profilteil
- ... z sehr große Differenz zwischen sehr basenarmem oder basenarmem oberem und sehr basenreichem oder basenreichem unterem Profilteil

Beispiel:

- 3z** insgesamt mäßig basenhaltig bei sehr basenarmem oder basenarmem oberem und sehr basenreichem oder basenreichem unterem Profilteil

Diese Zusatzangaben sind nicht nur Inhalt der Bodenkarte, sondern sie werden auch in die Forstliche Standortkarte übernommen. Sie können vor allem bei der Bestandesbegründung und Naturverjüngung sowie für Naturschutzfragen (Pflanzengesellschaften) von Bedeutung sein.

Die Humusformen und der Podsoligkeitsgrad, bei der BK5F wichtige zusätzliche Parameter zur Kennzeichnung der Nährstoffsituation, lassen sich nachträglich ohne Geländeaufnahme nicht qualifiziert in den BK50-Datenbestand einbringen. Damit sind zum Beispiel differenzierte Aussagen zur Bodenschutzkalkung auf Basis der BK50 / FSK50 nur schwer möglich. Dies gilt ebenso für die Ableitung von Tiefenprofiltypen des Basengehaltes (GAUER 2009; KÖLLING 2010), die für die BK5F als Datenergänzung vorgesehen sind.



Abb. 2: Podsol aus Flugsand über kreidezeitlichem Kalkstein (ab 60 cm Tiefe), Beispiel für extreme Unterschiede im Bezug auf den Basengehalt zwischen sehr basenarmem oberem und sehr basenreichem unterem Profilteil

Um eine Allgemeinverständlichkeit zu erreichen, werden in Abstimmung mit dem Auftraggeber in der Forstlichen Standortkarte die Begriffe "Nährstoffhaushalt" und "nährstoffhaltig" verwendet; auf die Begriffe "Basensättigung", "Basengehalt" und "basenhaltig" wird verzichtet. In der Methodendokumentation (Randlegende) zur Forstlichen Standortkarte wird auf die Zusammenhänge hingewiesen (Anlage 1).

Die Festlegung der Basengehalte für die etwa 155 000 Flächen der BK50 erwies sich als schwieriger als erwartet. Als wichtigste Informationen zur Herleitung dieses Parameters wurden folgende BK50-Daten genutzt:

- Bodenartenschichtung einschließlich Karbonatgehalt und Ausgangsgestein
- bodentypologische Ausprägung
- Angaben zu Grundwasser und Staunässe

Auf dieser Basis wurde eine erste Zuordnung der Basengehalte zu den Legendeneinheiten der BK50 vorgenommen. In einer überschaubaren Zahl von Fällen erfolgte eine weitere grafische Aufteilung von BK50-Einheiten aufgrund unterschiedlicher Ausgangssubstrate (z. B. Kalkstein / Sandstein).

Trotzdem zeigten sich danach in der Basengehaltsdarstellung im Hinblick auf den räumlichen Zusammenhang der Bodeneinheiten (Bodenvergesellschaftung) noch in erheblichem Maße Unplausibilitäten, die zunächst beseitigt werden mussten. Sie waren überwiegend bedingt durch Grundwasserzuzug aus Gebieten mit karbonathaltigen oder karbonatfreien Ausgangsgesteinen. Der Parameter "Grundwasserchemismus" wurde bei der zurückliegenden bodenkundlichen Kartierung nicht erfasst; er zeigt sich allerdings nach umfangreichen pH-Wert-Messungen bei der BK5F-Kartierung in den letzten 10 Jahren als besonders wichtig für die Beurteilung der Unterböden.

Abschließend erfolgte für viele Flächen mit vorliegenden BK5F-Kartierungen und deren Nachbargebieten ein Abgleich der Basengehaltseinstufungen. Deutliche Diskrepanzen konnten nur beseitigt werden, indem in der BK50 Flächen gleicher Legendeneinheiten mit unterschiedlichen Basengehalten belegt wurden. Vor allem vor dem Hintergrund der sehr großen Spannen (Bodenarten, Mächtigkeiten) bei den BK50-Bodenartenschichtungen erscheint dies fachlich zulässig. Allerdings ergeben sich in weiten Bereichen aufgrund der in Kapitel 4 dargestellten Zusammenhänge zwangsläufig immer noch abweichende Einstufungen von sich überlagernden Flächen beider Kartenwerke.

5.2 Differenzierte Angaben zum Stauwassereinfluss

Bei der großmaßstäbigen Bodenkartierung des GD werden für alle Böden, die innerhalb ihres Profils Stau- oder Haftnässe aufweisen, folgende Parameter angesprochen:

- Tiefenbereich der Staunässe
- Staunässestärke im vernässten Tiefenbereich
- Staunässegrad

Der Staunässegrad (Vernässungsgrad) ist dabei eine zusammenfassende Kennzeichnung für die Vernässung eines Bodens durch Stau- oder Haftnässe. Er bewertet also das gesamte Bodenprofil. Der Staunässegrad ist abhängig von der Dauer der Vernässung, das heißt dem Wechsel zwischen Nass- und Trockenphasen, der Intensität der Vernässung sowie von dem Tiefenbereich, in dem die Vernässung auftritt. Die Dauer und die Intensität der Vernässung werden zur Vereinfachung zusammenfassend als Staunässestärke beschrieben (Abb. 3).

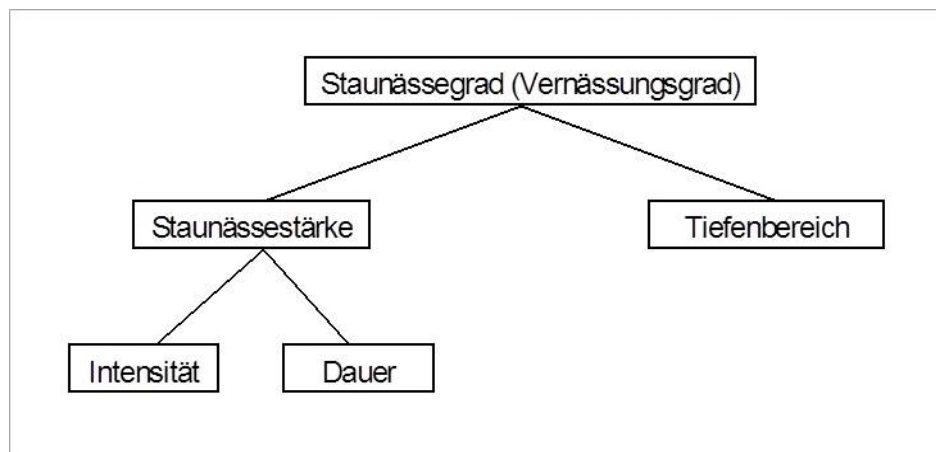


Abb. 3: Komponenten des Staunässegrades (aus: Richtlinien für die großmaßstäbigen Bodenkartierung, GEOLOGISCHER DIENST NORDRHEIN-WESTFALEN 2011)

Die BK50 enthält lediglich Angaben zum Staunässegrad. Ein Podsol mit stauwasserfreiem oberem Profilteil und einem dicht gelagerten, tonigen Staukörper im unteren Profilteil (tieferer Unterboden), typisch für das Münsterland, wurde zum Beispiel hinsichtlich des Staunässegrades insgesamt als schwach staunass eingestuft. Unter Berücksichtigung des Bodentyps, der Bodenartenschichtung und des Staunässegrades wird jetzt der Tiefenbereich, der tatsächlich durch Stauwasser beeinflusst ist, genauer beschrieben, zum Beispiel: "mittlere Staunässe in 8 - 12 dm Tiefe". Abgeleitet wurden die eingefügten spezifischeren Daten aus der Bodenartenschichtung, der bodentypologischen Ausprägung und den bereits vorhandenen Angaben zum Staunässegrad. Die Daten bilden die Voraussetzung für eine differenziertere Bewertung des Wasserhaushalts insbesondere bei Böden mit schwächerem oder tief sitzendem Stauwassereinfluss (s. Kap. 6.1.1).

6 Methode zur Ermittlung des Gesamtwasserhaushalts

Der Wasserhaushalt eines Forststandortes wird durch die Bodeneigenschaften, die Lage im Relief und die klimatische Situation bestimmt. Aus ihrer Zusammenschau ergibt sich der Gesamtwasserhaushalt. Bestimmende Elemente für den Gesamtwasserhaushalt sind unter anderem:

Boden	Wasserspeichervermögen, Hangzugswasser, Grundwassereinfluss, Stauwassereinfluss, Durchwurzelbarkeit
Relief	Hangrichtung, Hangneigung, Hangposition
Klima	Niederschlag, Temperatur, Wind

Die vorgelegte Auswertung zum Gesamtwasserhaushalt fußt methodisch auf der bisherigen Karte "Standortkundliche Grundlagen der Baumartenwahl". Der Auftrag zur Erstellung einer Forstlichen Standortkarte auf Grundlage der BK50 bot den Anlass, diese bisher bei der BK5F eingesetzte Methode weiter zu entwickeln und zu verbessern, und zwar unter Verwendung aktueller Klimadaten des DWD und des LANUV sowie mithilfe hochauflösender Reliefinformationen (Abb. 13).

Wesentlichen Anteil an den Verbesserungen hatte eine komplexe Reliefanalyse auf Basis des digitalen Geländemodells 1 : 10 000 (DGM10, bereitgestellt von der Bezirksregierung Köln, Abteilung Geobasis NRW), die vom Göttinger Ingenieurbüro Scilands im Auftrag des Geologischen Dienstes NRW durchgeführt wurde. Die Scilands GmbH besitzt eine mehr als 20-jährige Erfahrung auf dem Gebiet der Reliefanalyse. Sie verwendet das in Kooperation mit dem Geografischen Institut der Universität Göttingen, AG Systemanalyse, entwickelte Programm SAGA (**S**ystem zur **A**utomatischen **G**ewissenschaftlichen **A**nalyse) (KÖTHE 2017; KÖTHE & BOCK 2006). Mithilfe der berechneten komplexen morphometrischen Reliefparameter sowie exakter Daten zum Strahlungsgenuss lässt sich der Gesamtwasserhaushalt der Standorte damit jetzt deutlich differenzierter abbilden.

Gegenüber der bisher verwendeten Methode waren unter anderem folgende methodische Anpassungen / Neuentwicklungen notwendig:

- Die Auswertung der Bodenartenschichtungen der BK50 ist auf die Parameter der KA5 umgestellt worden, die Auswertungen der BK5F befinden sich noch in Umstellung. Methodische Weiterentwicklungen müssen hinsichtlich der Berechnung und Klassifizierung der Flächen bereits die neuen Werte berücksichtigen.
- Die bisher verwendeten Klimadaten der Bezugsperiode 1961-1990 werden ersetzt durch die neuesten verfügbaren Klimadaten: Bezugsperiode 1981-2010 (Klimaatlas Nordrhein-Westfalen online, LANUV NRW 2018). Damit verbunden ist unter anderem auch eine komplette Umstellung des technischen Ablaufs der Berechnungen, da die Daten des Klimaatlas nunmehr als Rasterdaten mit 1 × 1 km Rasterzellgröße vorliegen.
- Als Komponenten der Reliefauswertung wurden bisher nur Sonn- und Schatthänge nach der Definition der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) (AD-HOC-AG BODEN (2005), Abb. 5, S. 59) bei einer Hangneigung > 10° verwendet; dies wird ersetzt durch differenziertere Reliefmerkmale auf Basis einer



Auswertung des DGM10. Das Raster von 10 × 10 m gilt für die Standorterkundung als gute Arbeitsbasis (Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 17).

- Durch Auswertung des DGM10 konnte die laterale Wasserbewegung (Hangzugswasser) als Einflussgröße für den Wasserhaushalt sowie der besondere Wasserhaushalt von Dünenstandorten einbezogen werden.
- Die kartografische Darstellung wurde an die veränderte Datenbasis angepasst.

Aus der Kombination der Boden-, Klima- und Relieffdaten werden für die Forstliche Standortkarte 14 Klassen des Gesamtwasserhaushalts (Wasserhaushaltsstufen) abgeleitet (Tab. 3), die in Nordrhein-Westfalen seit längerer Zeit üblich sind. Die verwendeten Begriffe haben in der forstlichen Standorterkundung eine lange Tradition. Die Klassen charakterisieren den "*standortstypischen, jahreszeitlichen Verlauf von Bodendurchfeuchtung, -durchlüftung und der davon abhängenden Bodenerwärmung mit Hilfe von Indizien über mindestens eine Klimaperiode (30 Jahre)*" (Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 275).

Tab. 3: Klassen des Gesamtwasserhaushalts (Wasserhaushaltsstufen) in der Forstlichen Standortkarte NRW

Ausprägung	Klasse des Gesamtwasserhaushalts
vorwiegend durch Sickerwasser geprägte Standorte	1 sehr trocken
	2 trocken
	3 mäßig trocken
	4 mäßig frisch
	5 frisch
	6 sehr frisch
vorwiegend durch Stauwasser geprägte Standorte	7 wechsell trocken
	8 mäßig wechselfeucht
	9 wechselfeucht
	10 staunass
vorwiegend durch Grundwasser geprägte Standorte	11 grundfrisch
	12 grundfeucht
	13 feucht
	14 nass

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei den Wasserhaushaltsstufen der Forstlichen Standortkarte um eine auf Waldbäume ausgerichtete Klassifizierung handelt, die den Bodenraum bis 2 m Tiefe einschließt. Sehr tiefgründige Standorte sowie Standorte mit hohem Wasserspeichervermögen in tieferen Schichten, können etwa in dem durch die Krautschicht erschließbaren Bodenraum durchaus tro-

ckener sein, als es die Wasserhaushaltsstufe angibt. Insofern können auf solchen Standorten auch ökologische Artengruppen auftreten, die zunächst für eine abweichende Wasserhaushaltsstufe sprechen. Für Fragen des Naturschutzes und der Pflanzengesellschaften könnte man in diesem Zusammenhang über eine separate Auswertung zum Wasserhaushalt nachdenken, die sich nur auf den obersten Bodenmeter bezieht.

Im Folgenden wird die methodische Vorgehensweise zur Ermittlung der sickerwasser-, staunässe- und grundwassergeprägten Stufen des Gesamtwasserhaushalts beschrieben. Es ist das Ziel ein landesweit einheitliches, maßstabsadäquates Modell auf Basis der verfügbaren Daten (vgl. Tab. 4) zu entwickeln.

Tab. 4: Parameter der Modellierung der forstlichen Standorteigenschaften, die für NRW zur Verfügung stehen

Parameter		Quelle
Bodendaten	Bodenartenschichtung: - Bodenarten - Anteile der Bodenarten - Bodenskelett-Anteile - Humusgehalte - Karbonatgehalte - Schichtmächtigkeiten - Grundwasserstufen - Staunässestärken und -tiefenbereiche - Basengehalte	Bodenkarte, basierend auf Ansprache der Bodenkartierer im Gelände; an Bodenaufgrabungen und bei Einzelproben abgesichert durch ergänzende Laboranalysen
	nutzbare Feldkapazität je Bodenart	Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5)
Klimadaten	klimatische Wasserbilanz (1981-2010)	Klimaatlas NRW, räumlich modellierte Monatswerte (DWD, LANUV) 1 × 1 km-Raster
	Dauer der forstlichen Vegetationsperiode (1981-2006)	DWD (HYRAS-Datensatz), räumlich modellierte Tageswerte 5 × 5 km Raster
Reliefdaten	DGM10	Geobasis NRW
	- Bodenfeuchteindex - direkter topografischer Strahlungsgenuss	Scilands GmbH, auf Basis DGM10

6.1 Gesamtwasserhaushalt sickerwassergeprägter Standorte

Die vom Geologischen Dienst entwickelte Methode zur Ermittlung des Gesamtwasserhaushalts bei sickerwassergeprägten Standorten (Bodentypen z. B. Rendzina, Braunerde, Podsol) orientiert sich grundsätzlich am Ansatz der Standortkartierung in Rheinland-Pfalz, die in einem einstufigen Verfahren den Jahresniederschlag und die nutzbare Feldkapazität des Bodens unter Berücksichtigung des Reliefs in Beziehung setzt (Tab. 5).

Tab. 5: Korrelationstabelle zur Bestimmung von Gesamtwasserhaushaltsstufen in Abhängigkeit von Niederschlag, Relief und nutzbarer Feldkapazität in Rheinland-Pfalz (nach EDER 1980; aus Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 285)

Niederschlags- gruppe mm	Relief	Gruppen der nutzbaren Wasserspeicherkapazität [mm nFK]							
		200	140	120	100	80	65	50	
> 950	Schatthang	äfr	äfr	äfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr
	eben < 10°	äfr	äfr	äfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr
	Sonnhang	äfr	äfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr
750–950	Schatthang	äfr	sfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr
	eben < 10°	äfr	sfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr
	Sonnhang	äfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr	str
675–750	Schatthang	äfr	sfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr
	eben < 10°	äfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr	str
	Sonnhang	sfr	fr	zfr	mfr	mfr	tr	str	str
600–675	Schatthang	äfr	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr	str
	eben < 10°	sfr	fr	zfr	mfr	mtr	tr	str	ätr
	Sonnhang	fr	zfr	mfr	mtr	tr	str	str	ätr

äfr äußerst frisch; sfr sehr frisch; fr frisch; zfr ziemlich frisch; mfr mäßig frisch;
mtr mäßig trocken; tr trocken; str sehr trocken; ätr äußerst trocken

Folgende Aspekte schränken die Verwendbarkeit des rheinland-pfälzischen Ansatzes für Nordrhein-Westfalen ein:

- er bewertet das Wasserspeichervermögen nur bis 1 m Tiefe, in NRW können Bodenartenschichtungen bis 2 m Tiefe verwendet werden
- er bezieht nicht die Verdunstung ein; für NRW steht die klimatische Wasserbilanz zur Verfügung
- er bildet sehr grobe Klassen für den Jahresniederschlag; Niederschlagssummen über 950 mm fallen in eine Stufe; in Nordrhein-Westfalen liegen die höchsten Jahresniederschläge bei über 1650 mm (im Gebiet Meinerzhagen)

- er differenziert bei sickerwassergeprägten Standorten 9 Wasserhaushaltsstufen, in NRW seit dem Beginn der Standortkartierung eine 6-stufige Klassifizierung (teils mit untergeordneten Stufen) eingeführt, äußerst trocken, ziemlich frisch und äußerst frisch fehlen hier

In einem Gespräch mit Herrn Dr. J. Gauer (Landesforsten Rheinland-Pfalz) befürwortete dieser unter anderem die Verwendung der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationszeit als Ersatz für den Jahresniederschlag sowie – entsprechend der charakteristischen Wurzelverteilung in Waldböden – eine Tiefengewichtung der nutzbaren Feldkapazität. Zudem müsse nach seiner Ansicht auch stärker der Hangwasserzug einbezogen werden (GAUER & FEGER & SCHWÄRZEL 2011).

Unter anderem aus diesen Hinweisen ergibt sich die in Abbildung 4 skizzierte Neukonzeption zur Bestimmung des Gesamtwasserhaushalts sickerwassergeprägter Standorte.

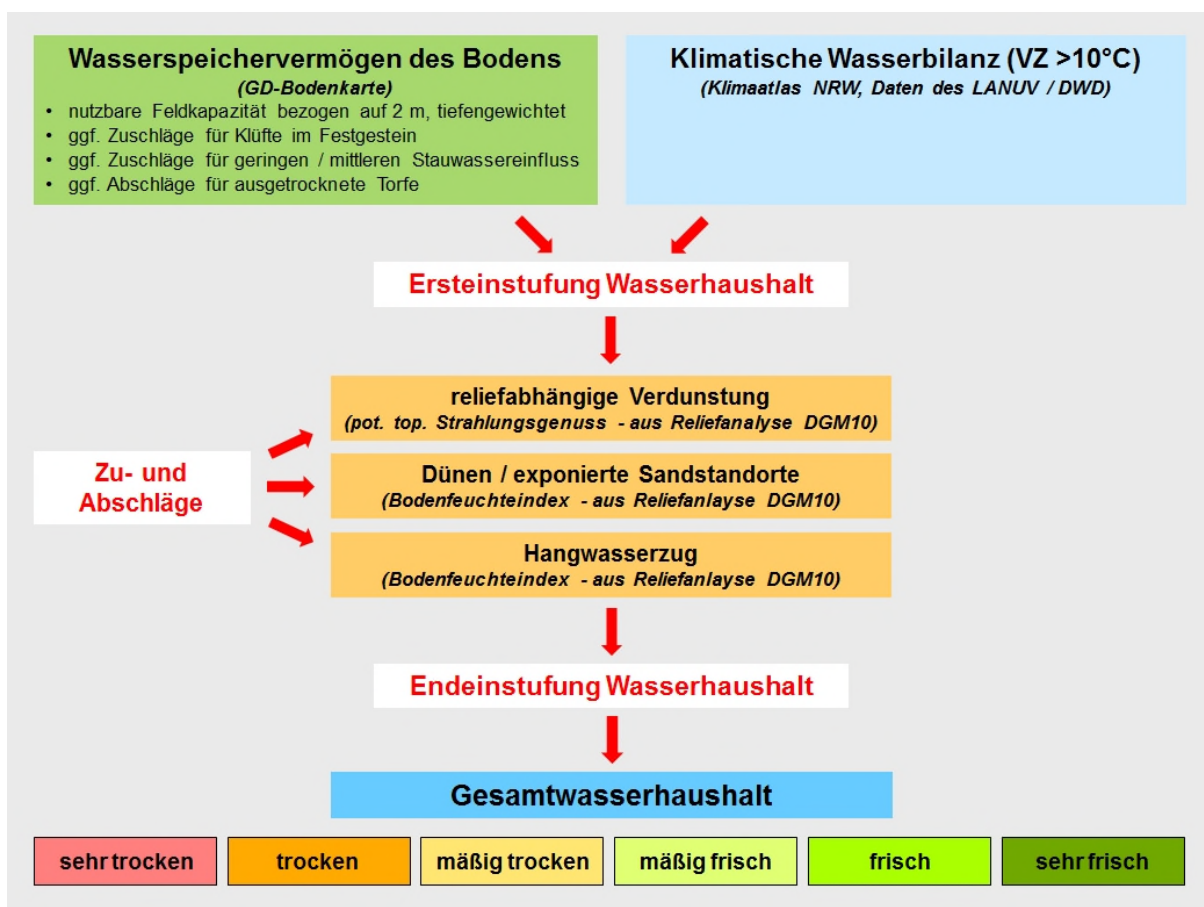


Abb. 4: Methodischer Ablauf bei der Ermittlung des Gesamtwasserhaushalts sickerwassergeprägter Standorte

6.1.1 Berechnung des Wasserspeichervermögens des Bodens

In einem Boden, der durch ergiebige Niederschläge wassergesättigt ist, stellt sich nach etwa drei niederschlagsfreien Tagen ein Gleichgewicht zwischen Wasserleitung und Wasserspeicherung ein, wenn der Boden nicht durch Grundwasser oder Staunässe beeinflusst wird. Die Poren, die nach etwa drei Tagen noch Wasser enthalten, bestimmen seine nutzbare Feldkapazität (nFK). In erster Linie ist die nutzbare Feldkapazität abhängig von den vorkommenden Feinbodenarten, ganz entscheidend aber auch vom Grobbodengehalt (z. B. Steine, Grus, Kies).

Die nutzbare Feldkapazität ist die zentrale bodenkundliche Größe bei der Wasserhaushaltsbewertung sickerwassergeprägter Standorte. Die nFK-Berechnung greift auf die quantifizierten Angaben der Bodenartenschichtung sowie auf bodenartenspezifische Kennwerte der Bodenkundlichen Kartieranleitung, 5. Auflage (AD-HOC-AG BODEN 2005) bzw. des Blauen Buchs, 7. Auflage (Arbeitskreis Standortkartierung 2016) zurück sowie auf einen Entwurf zur DIN 4220 (E DIN 4220, 2017). Berechnet wird die nutzbare Feldkapazität je Bodenartenschicht aus dem Anteil der Bodenarten bei mittlerer Lagerungsdichte, korrigiert durch volumenprozentuale Abschläge für den Grobbodenanteil beziehungsweise durch Zuschläge für den Humusgehalt. Die Aufsummierung der tiefengewichteten nutzbaren Feldkapazitäten aller Bodenartenschichten über die Bezugstiefe der Berechnung ergibt die nutzbare Feldkapazität des Bodenkörpers. In der Berechnung nicht fassbar sind Faktoren wie die Gefügeentwicklung, biogene Grobporen wie Wurm- und Wurzelgänge, unterschiedliche Lagerungsdichten, Feinschichtungen, Bänderungen oder sonstige inhomogene Verteilungen (Linsen o. ä.) im Mineralboden.

Saugspannung in hPa	< 60	60 bis < 300	300 bis < 15 000	≥ 15 000
pF-Wert	< 1,8	1,8 bis < 2,5	2,5 bis < 4,2	≥ 4,2
Porenäquivalent in µm	> 50	50 bis > 10	10 bis > 0,2	≤ 0,2
Porenbezeichnung	weite Grobporen	enge Grobporen	Mittelporen	Feinporen
Bodenwasser	schnell bewegliches	langsam bewegliches	pflanzenverfügbares	nicht pflanzenverfügbares
	Sickerwasser		Haftwasser	
Kennwerte		eGp	Feldkapazität	
Kurzzeichen	Luftkapazität	nutzbare	Feldkapazität	Totwasser
	LK	nFK		TOT
	Gesamt-Porenvolumen			

Abb. 5: Erweiterte Definition der Kennwerte zum Wasser- und Lufthaushalt (aus DIN 4220: 2008-11)

Bei grundwasserfreien und nicht durch Staunässe dominierten Böden entspricht die nutzbare Feldkapazität dem Anteil der Mittelporen (0,2 bis 10 µm), die bei Saugspannungen von über pF 2,5 bis unter pF 4,2 ent-

wässert werden. Durch hoch anstehendes Grundwasser oder starke Staunässe beeinflusste (hydromorphe) Böden trocknen natürlicherweise nicht so weit ab; bei ihnen entspricht diese nutzbare Feldkapazität daher dem Anteil der engen Grobporen (10 bis 50 μm) zusätzlich zu dem der Mittelporen (0,2 bis 10 μm), die zusammen bei Saugspannungen von über pF 1,8 bis unter pF 4,2 entwässert werden (Abb. 5). Durch die unterschiedliche Berücksichtigung hydromorpher und nicht hydromorpher Böden werden die Auswertungen zu den bodenphysikalischen Kennwerten Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität standortspezifischer und für die ökologische Land- und Forstwirtschaft aussagekräftiger (E DIN 4220, 2017). Der GD hat 2018 aus diesem Grund seine bodenkundlichen Auswertungen generell entsprechend angepasst.

Soweit nicht Grundwasser, stärkere Staunässe oder Festgestein die Durchwurzelbarkeit begrenzen, stellen bei Waldböden die obersten 20 dm die Bezugstiefe für die Berechnung dar. Für die Fälle einer begrenzten Durchwurzelbarkeit wird zunächst die Gründigkeit berechnet. Tabelle 6 listet die Kriterien auf. Im Falle mehrerer relevanter Kriterien gilt die geringste Tiefe als Grenze, bei der die Berechnung der nFK abgeschnitten wird.

Tab. 6: Begrenzung der Durchwurzelbarkeit

Parameter	Kriterium	maximale Gründigkeit
Festgestein	Lockergesteinsmächtigkeit Feinbodenmächtigkeit	größerer Wert
Grundwasser	GW unverändert Moore, Moorgleye, Anmoorgleye Nassgleye sonstige Böden: Grundwasserstufe 1A Grundwasserstufe 1 Grundwasserstufe 1B Grundwasserstufe 2 Grundwasserstufe 2A Grundwasserstufe 3 Grundwasserstufe 4 sonstige Grundwasserstufen	1 dm 2 dm 1 dm 2 dm 2 dm 6 dm 8 dm 10,5 dm 16,5 dm 20 dm
Staunässe	Staunässestärke = 5 Moore, Moorstagnogleye Moorpseudogleye, Stagnogleye sonstige Böden Staunässestärke = 4 alle Böden Staunässestärke ≤ 3 alle Böden	1 dm 2 dm Mitte Vernässungsbereich Untergrenze Vernässungsbereich 20 dm

Im Zuge der Berechnung der nFK wird der Bodenkörper wie folgt über die Tiefe gewichtet:

- 0 bis 6 dm 100 % der nutzbaren Feldkapazität
- 7 bis 12 dm 60 % der nutzbaren Feldkapazität
- 13 bis 20 dm 20 % der nutzbaren Feldkapazität

Durch die Tiefengewichtung bildet die Berechnung das Durchwurzelungsverhalten der Bäume nach: der Schwerpunkt liegt auf dem Hauptwurzelraum (Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 173; LEVEL II AD-HOC AG (2003), S. 21 f.). Eine selektive Durchwurzelung bestimmter Schichten des Bodenprofils ist zwar in der Natur nicht selten, dies lässt sich jedoch kaum in Regeln fassen. Die erforderlichen Daten lassen sich bei einer Bodenkartierung nicht erfassen.

Durchwurzelbare Bereiche des Festgesteins, zum Beispiel in Form von Klüften, Spalten und Schichtfugen oder wasserhaltenden Gesteinsoberflächen, spielen bei flach- bis mittelgründigen Böden im Mittelgebirgsraum nicht nur für eine Verankerung der Waldbäume eine Rolle, sondern auch für den Wasserhaushalt (Abb. 6). So konnte zum Beispiel GERKE (1987, S. 27) für einen Buchenbestand auf zerklüftetem Kalkgestein (Wellenkalk, heute als Jena-Formation bezeichnet) im Göttinger Wald eine Durchwurzelungstiefe von mehr als 4 m Tiefe feststellen. Bei der Bodenkartierung mit dem Pürckhauer-Bohrer können solche kluftgeprägten Bereiche nicht erfasst werden, sie finden sich dadurch auch nicht in der Bodenartenschichtung wieder und werden somit bei der nFK-Berechnung nicht einbezogen.

Da für die kartierten Waldflächen in NRW überwiegend keine Informationen zu Ausbildung des Gesteinsuntergrundes vorliegen, werden die kluftgeprägten Bereiche gutachterlich mit pauschalen Zuschlägen auf die nutzbare Feldkapazität bewertet:

- 15 mm für Karbonatgesteine, die bereits im obersten Meter anstehen, 10 mm für sonstige Gesteine
- 10 mm für Karbonatgesteine, die im zweiten Meter anstehen, 5 mm für sonstige Gesteine

Die höheren Werte für Karbonatgesteine werden mit der leichteren Verwitterbarkeit und Aufweitbarkeit der Klüfte begründet (z.B. bei Kalk- und Mergelsteinen) und beruhen auch auf Erfahrungen des GD im Bereich der Hydrogeologie. Hier wurde den Kalk(Mergel)steinen, im Vergleich zu anderen Gesteinen, ein hoher Kluftanteil zugewiesen. Sobald neue Erkenntnisse über einzelne Gesteine in NRW vorliegen, können die Zuschläge differenziert angepasst werden.



Abb. 6: Durchwurzelbare Klüfte im Kalkstein im Stolberger Vennvorland; durch die Sondierbohrungen bei der Bodenkartierung sind solche Klüfte normalerweise nicht zu erfassen

Bei Böden, deren Einstufung nach der nutzbaren Feldkapazität bereits frisch oder besser ist, erfolgt kein Zuschlag, da hier davon auszugehen ist, dass die Bäume nicht auf die Kluftdurchwurzelung angewiesen sind und ihren Wasserbedarf ausreichend über den Speicher der Feinbodenschichten abdecken können.

Sehr poröse Gesteine, die als Grobbodenbeimengungen in der Feinbodenmatrix vorliegen, können durchaus zum Wasserspeichervermögen beitragen. So können zum Beispiel auch Sandsteine, die wie der Osning-Sandstein (Abb. 7) als Grundwasserleiter bekannt sind, Wasser aufnehmen und den Pflanzen zur Verfügung stellen. Der GD hat damit begonnen, bei der Kartierung solche Gesteine zu identifizieren und ihnen pauschal Werte für die nutzbare Feldkapazität zuzuweisen. Auch diese Vorgehensweise wird bei Vorliegen neuer Erkenntnisse weiterentwickelt.



Abb. 7: Stark poröser Osning-Sandstein, dessen Wasserspeichervermögen für den Standort von Bedeutung sein kann. Die helleren und dunkleren Zonen sind Liesegang-Ringe, die belegen, dass Wasseraufnahme und Diffusionsprozesse im Stein eine Rolle spielen.

Stauwassereinfluss ist - soweit er die Durchwurzelung nicht erheblich behindert - als positiv für die Waldbestände zu bewerten. Schwache oder tiefsitzende Staunässe sorgt während der Vegetationsphase für einen zeitweiligen Wasserrückhalt und eine Wasserreserve. In der vorliegenden Methode des GD wird dies über Zuschläge (bis maximal 18 mm, Tab. 7) auf die nutzbare Feldkapazität berücksichtigt, abhängig von der Stärke und der Tiefenlage der Staunässe, der Mächtigkeit des Stauwasserleiters und der klimatischen Wasserbilanz. Bei den verwendeten Zuschlägen handelt es sich um erfahrungsbasierte Schätzungen nach folgenden Kriterien:

- relative Abstufung der Wirkung nach Staunässestärke, Obergrenze und Mächtigkeit des vernästen Bereichs
- Begrenzung der Wirkung in der Weise, dass nur bei Böden im Grenzbereich zwischen zwei Wasserhaushaltsstufen eine Verschiebung zur besser wasserversorgten stattfindet
- Basis dafür sind die Klassenbreiten bei mäßig trockenen und mäßig frischen Standorten
- bei trockenen (und sehr trockenen) Standorten führt dies aufgrund der geringeren Klassenbreiten zu einer relativ stärkeren Aufwertung
- bei frischen (und sehr frischen) Standorten ist die positive Wirkung der Staunässe kaum relevant; da die Wasserhaushaltsklassen breiter sind, findet sehr viel seltener eine Aufwertung der Stufe statt
- Differenzierung nach KWBv: geringer Zuschlag bei negativer und höherer Zuschlag bei positiver KWBv

Tab. 7: nFK-Zuschläge für untergeordneten Stauwassereinfluss bei vorherrschend sickerwassergeprägten Böden

Stauwassereinfluss			Zuschlag auf nFK [mm]		
Staunässe- stärke	Obergrenze Tiefenbereich	Mächtigkeit Tiefenbereich	KWBv < -100	KWBv -100 - 100	KWBv > 100
SW1	0 - 20 dm	< 3 dm	0,66	1	1,5
SW1	0 - 20 dm	>= 3 dm	1,98	3	4,5
SW2	0 - 20 dm	< 3 dm	1,98	3	4,5
SW2	0 - 10 dm	>= 3 - 5 dm	5,94	9	13,5
SW2	0 - 10 dm	> 5 dm	7,92	12	18
SW2	> 10 - 20 dm	>= 3 - 5 dm	1,98	3	4,5
SW2	> 10 - 20 dm	> 5 dm	3,96	6	9
SW3, SW4, SW5	4 - 10 dm	-	3,96	6	9
SW3, SW4, SW5	>10 - 20 dm	-	7,92	12	18

Tiefreichend entwässerte Torfe weisen häufig Schrumpfungsriffe auf und zeigen ein wasserabweisendes körniges Bodengefüge (Abb. 8). In der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005) liegen für solche Verhältnisse bisher keine angepassten Kennwerte vor. Sie wurden daher gutachterlich festgelegt. In Abhängigkeit von der Tiefenlage des Grundwasserspiegels (Grundwasserstufe) gehen ausgetrocknete Torfe mit deutlich reduzierten Kennwerten in die nFK-Berechnung ein. Bei Torfen, die noch innerhalb des Kapillarraumes liegen wird die nFK gegenüber natürlichen Torfen um 50% reduziert, bei Torfen außerhalb des Kapillarraumes um 75%.



Abb. 8: Etwa 1 m tiefe, bis in den Mineralboden reichende Schrumpfungsrisse in einem Niedermoor (Einflussbereich der Sumpfung im Niederrheinischen Braunkohlengebiet, Raum Knechtsteden bei Neuss)

Berechnung der nFK der Flächen:

$$nFK_F = nFK_{S6} + nFK_{S12} + nFK_{S20} + Z + W$$

mit:

$$nFK_{S6} = \sum [nFK_j * S6] * 1$$

$$nFK_{S12} = \sum [nFK_j * S12] * 0,6$$

$$nFK_{S20} = \sum [nFK_j * S20] * 0,2$$

und:

$$nFK_j = \sum [(nFK(b_{ij}) + H(b_{ij})) * (B(b_{ij}) - X(b_{ij}))] * M_j$$

mit:

nFK_F = nFK der Fläche F

nFK_{S_6} = nFK der Tiefenstufe 0 bis 6 dm

$nFK_{S_{12}}$ = nFK der Tiefenstufe 6 bis 12 dm

$nFK_{S_{20}}$ = nFK der Tiefenstufe 12 bis 20 dm

W = Zuschlag für untergeordneten Stauwassereinfluss

Z = Festgesteinszuschlag:

wenn $\sum (nFK_{S_6} + nFK_{S_{12}} + nFK_{S_{20}})$ zu einer Ersteinstufung mäßig frisch oder trockener führt

und wenn Karbonatgestein oberhalb 10 dm: Z = 15 mm

oder wenn Silikatgestein oberhalb 10 dm oder Carbonatgestein oberhalb 20 dm: Z = 10 mm

oder wenn Silikatgestein oberhalb 20 dm: Z = 5 mm

sonst: Z = 0 mm

S₆, S₁₂, S₂₀ = Anteil der Schicht in Tiefenstufe (0 bis 6 dm, 6 bis 12 dm, 12 bis 20 dm)

nFK_j = Schicht-nFK für Schicht j

M_j = Schichtmächtigkeit der Schicht j

$nFK(b_{ij})$ = nFK der Bodenart b_i in der Schicht j

für Flächen mit GW1-GW3 oder SW4-SW5: nFK mit engen Grobporen, sonst nFK ohne enge Grobporen

j = Schichtindex der Schicht s

i = Bodenartenindex der Bodenart b

b_{ij} = Bodenart 1 bis n in der Schicht j

B = Bodenartenquantifikator

H = Humuszuschlag für Bodenart zur nFK

X = Skelettanteil

6.1.2 Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationszeit

Gegenüber der forstlichen Standortkartierung der 1980er und 1990er Jahre liegen Klimadaten heute in hochauflösender Form als Rasterdaten vor. Das LANUV hat dem GD als aktuellste verfügbare Daten die Klimadaten des Klimaatlas für NRW (1981-2010), auf Grundlage der Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD), bereitgestellt: Niederschlag, Temperatur, klimatische Wasserbilanz als Monats- und Jahreswerte. Dies erfüllt damit auch die Anforderung der Standortkartierung, zur Eliminierung von Schwankungen zumindest mittlere Werte einer Klimaperiode von 30 Jahren zu verwenden (Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 275).

Die klimatische Wasserbilanz ist – als Mittelwert – der übliche Parameter zur Beurteilung des Klimas eines Standortes. Für den konkreten Standort ist häufig die Varianz des Bestandesniederschlages als Folge von Witterungsschwankungen von größerer Bedeutung (Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 34). Auftreten von Trocken- und Nassperioden sind entscheidend für die Risikobelastung eines Standortes (Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 150). Dies muss bei der Beurteilung eines konkreten Standortes berück-

sichtigt werden. Für eine landesweite und -einheitliche Auswertung gibt es dennoch keine andere Möglichkeit als Mittelwerte zu nutzen und mittlere standortkundliche Einstufungen vorzunehmen.

Zur Methodik der Berechnung schreibt das LANUV: "Der DWD unterhält ein umfangreiches und langjähriges Stationsnetz, das mit unterschiedlichster Messtechnik und Sensorik Daten zu beispielsweise Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer erhebt. Die Daten werden nach international festgelegten Normen gewonnen und stehen meist seit 1951 zur Verfügung. Der DWD interpoliert die Stationsdaten unter Berücksichtigung der Geländetopographie auf ein Raster von 1 km × 1 km, so dass sich Flächenkarten für NRW ergeben." (LANUV NRW 2018)

Das LANUV hat zudem für den GD die Länge der forstlichen Vegetationsperiode (Anzahl der Tage > 10°C, Abb. 9) durch den Deutschen Wetterdienst berechnen lassen. Die Daten wurden aus den täglichen Rasterfeldern der Tagesmitteltemperatur aus dem HYRAS-Datensatz (FRICK et al. 2014) für den Zeitraum 1981 - 2006 berechnet und für jeden Rasterpunkt die mittlere jährliche Anzahl Tage ≥ 10 °C bestimmt. Dieser Datensatz liegt allerdings nur in einer 5 × 5 km² Auflösung vor (MÜLLER 2017).

Auf Basis der Länge der forstlichen Vegetationsperiode und der monatlichen klimatischen Wasserbilanz wurde für das 1 × 1-km-Raster der Klimadaten die klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (KWBv) berechnet (Abb. 10). Dafür wird von gleich langen Perioden vor und nach den meteorologischen Sommermonaten Juni, Juli und August ausgegangen; die Monatswerte der KWB werden anteilig aufsummiert. Diese klimatische Wasserbilanz kann jeder Bodenfläche als Attribut zugewiesen werden.

Berechnung KWBv

für jede Rasterzelle des Klimaatlas

Wenn Veg10 ≤ 31

$$\text{KWBv} = \text{Veg10}/31 * \text{KWB}_{\text{jul}}$$

Wenn Veg10 > 31 und ≤ 92

$$\text{KWBv} = \text{KWB}_{\text{jul}} + ((\text{Veg10} - 31) / 2) / 30 * \text{KWB}_{\text{jun}} + ((\text{Veg10} - 31) / 2) / 31 * \text{KWB}_{\text{aug}}$$

Wenn Veg10 > 92 und ≤ 153

$$\text{KWBv} = \text{KWB}_{\text{jun}} + \text{KWB}_{\text{jul}} + \text{KWB}_{\text{aug}} + ((\text{Veg10} - 92) / 2) / 31 * \text{KWB}_{\text{mai}} + ((\text{Veg10} - 92) / 2) / 30 * \text{KWB}_{\text{sep}}$$

Wenn Veg10 > 153 und ≤ 214

$$\text{KWBv} = \text{KWB}_{\text{mai}} + \text{KWB}_{\text{jun}} + \text{KWB}_{\text{jul}} + \text{KWB}_{\text{aug}} + \text{KWB}_{\text{sep}} + ((\text{Veg10} - 153) / 2) / 30 * \text{KWB}_{\text{apr}} + ((\text{Veg10} - 153) / 2) / 31 * \text{KWB}_{\text{okt}}$$

(Werte der Veg10 > 214 treten nicht auf)

mit

KWB_{jul} = mittlere KWB Juli

KWB_{aug} = mittlere KWB August

etc.

Bei der BK5 und bei kleinen Flächen der BK50 liegen die Bodenflächen zwischen mehreren Rastermittelpunkten der Klimakarten, nur vereinzelt liegen Rastermittelpunkte innerhalb einer Bodenfläche. Bei der

BK50 liegen aufgrund der größeren Flächengröße der einzelnen Bodenflächen häufiger Rastermittelpunkte innerhalb einer Bodenfläche. Dadurch ist eine direkte Zuweisung von Klimadaten an jede einzelne Fläche über Rastermittelpunkte nicht möglich.

Es erscheint nicht vertretbar, das Raster der Klimadaten weiter regional zu verfeinern, um die Anzahl der direkten Zuweisungen zu erhöhen, da davon auszugehen ist, dass mit dem 1×1 km-Raster die fachlich vertretbare maximale Auflösung erreicht ist. Um Zufallszuordnungen von Klimadaten zu Bodenflächen zu reduzieren, wird jede Bodenfläche mit einem Puffer von 333 m (das ist $1/3$ der Rasterweite des Klimarasters) mit den Rasterzellenmittelpunkten der Klimadaten überlagert und das arithmetische Mittel der Rasterzellwerte der Bodenfläche als Eigenschaft zugewiesen. Für die Bodenflächen, die bei dieser Vorgehensweise unberücksichtigt geblieben sind, wird die Überlagerung mit einem Puffer von 667 m ($2/3$ Rasterzellweite des Klimarasters) wiederholt. Für Bodenflächen der BK5 ist für eine geringe Zahl kleiner Flächen eine Wiederholung mit einem Puffer von 1000 m oder 1500 m erforderlich.

Da in den meisten Fällen die Unterschiede der Klimawerte benachbarter Zellen gering sind, ist eine weitergehende Gewichtung der Werte der einzelnen Zellen nicht erforderlich. Diese müsste andererseits auch wieder das Relief berücksichtigen, was wiederum eine – nicht zulässige – weitere Regionalisierung der Klima-Rasterdaten wäre.

Bei der BK50 treten Flächen auf, die eine große laterale Verbreitung haben und dadurch sich über einen Raum erstrecken, innerhalb dessen es doch zu einer deutlichen Variabilität der Klimadaten kommt. Hier wurde bewusst in Kauf genommen, dass es durch die oben beschriebene Vorgehensweise der Zuordnung von Klimadaten zu Bodenflächen zu Sprüngen zwischen benachbarten Flächen kommt. Die Alternative wäre gewesen, Bodenflächen zu teilen, möglicherweise aufzurastern in einem den Klimadaten entsprechenden Raster, um ihnen Klimadaten mit einer geringeren Streubreite zuzuweisen.

Eine derartige Aufteilung hätte das Prinzip verletzt, das für die Auswertung beider Maßstäbe gilt: Grundlage bleibt die Bodenfläche mit ihren bodenkundlichen Grenzen und Inhalten. Eine rein geometrische Aufteilung hätte immer eine fachlich nachvollziehbare Anpassung der bodenkundlichen Eigenschaften – Bodenartenschichtung, Grundwasser-, Staunässeverhältnisse – mit entsprechender Anpassung an Topografie und Relief erfordert. Ein derartiger Eingriff hätte wiederum die Bodenkarte der vorliegenden BK50 zu stark verändert und wäre angesichts des Anspruchs, eine mittelmaßstäbige standortkundliche Übersichtskarte zu erzeugen, nicht angemessen gewesen. Für fachlich und räumlich differenziertere Fragestellungen steht die BK5 mit ihrer Auswertung zur Verfügung.

Eine 1×1 km-Aufrasterung großer Bodenkartenpolygone würde eine räumliche Genauigkeit der Bodenkarte vortäuschen, die sie dort nicht besitzt, sowie Anpassungen der Bodenpolygone an die mittelmaßstäbige topografische Kartengrundlage verschleiern.

Letztlich ist zu beachten, dass bei der Kombination von räumlichen Daten verschiedener Quellen und Maßstäbe der kleinste Maßstab bzw. die geringste Auflösung die weitere Verarbeitung bestimmen muss.

Bei der Kombination der Klimadaten mit der Topografie zeigen die Auswertungen, dass es in Einzelfällen besonders bei sehr stark reliefiertem Gelände auch zu unplausiblen Ergebnissen durch die zufällige Lage der Rastermittelpunkte kommen kann. Diese durch kleinräumige Unterschiede bedingten, nicht plausiblen Werte sind jedoch auf Grund der bestehenden Datenbasis nicht aufzulösen und würden weit über das Ziel der Mittelmaßstäbigkeit hinausgehen.



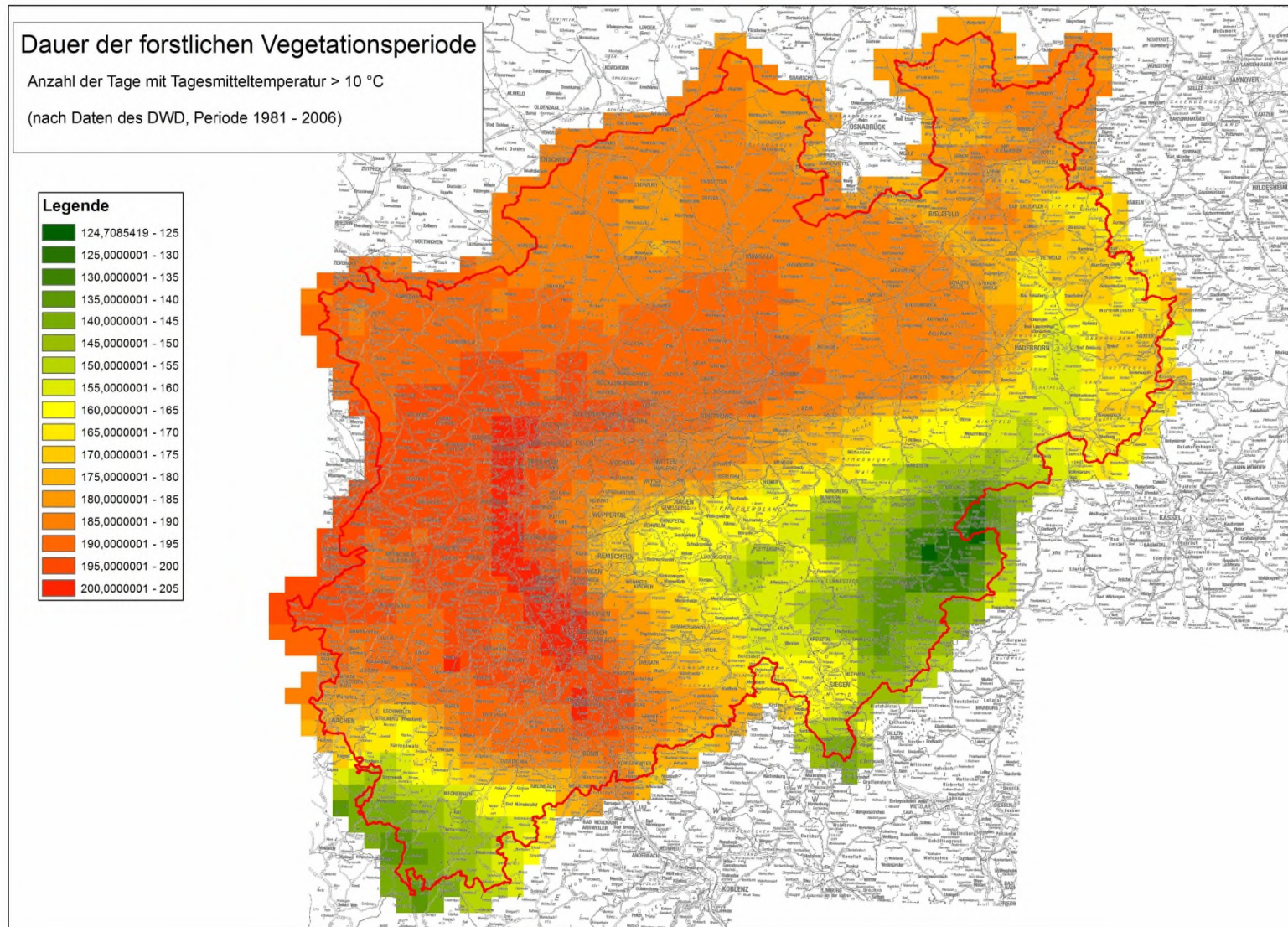


Abb. 9: Dauer der forstlichen Vegetationsperiode in NRW (Anzahl der Tage > 10°C, Zeitraum 1981-2006), Daten des DWD, für die Darstellung klassifiziert

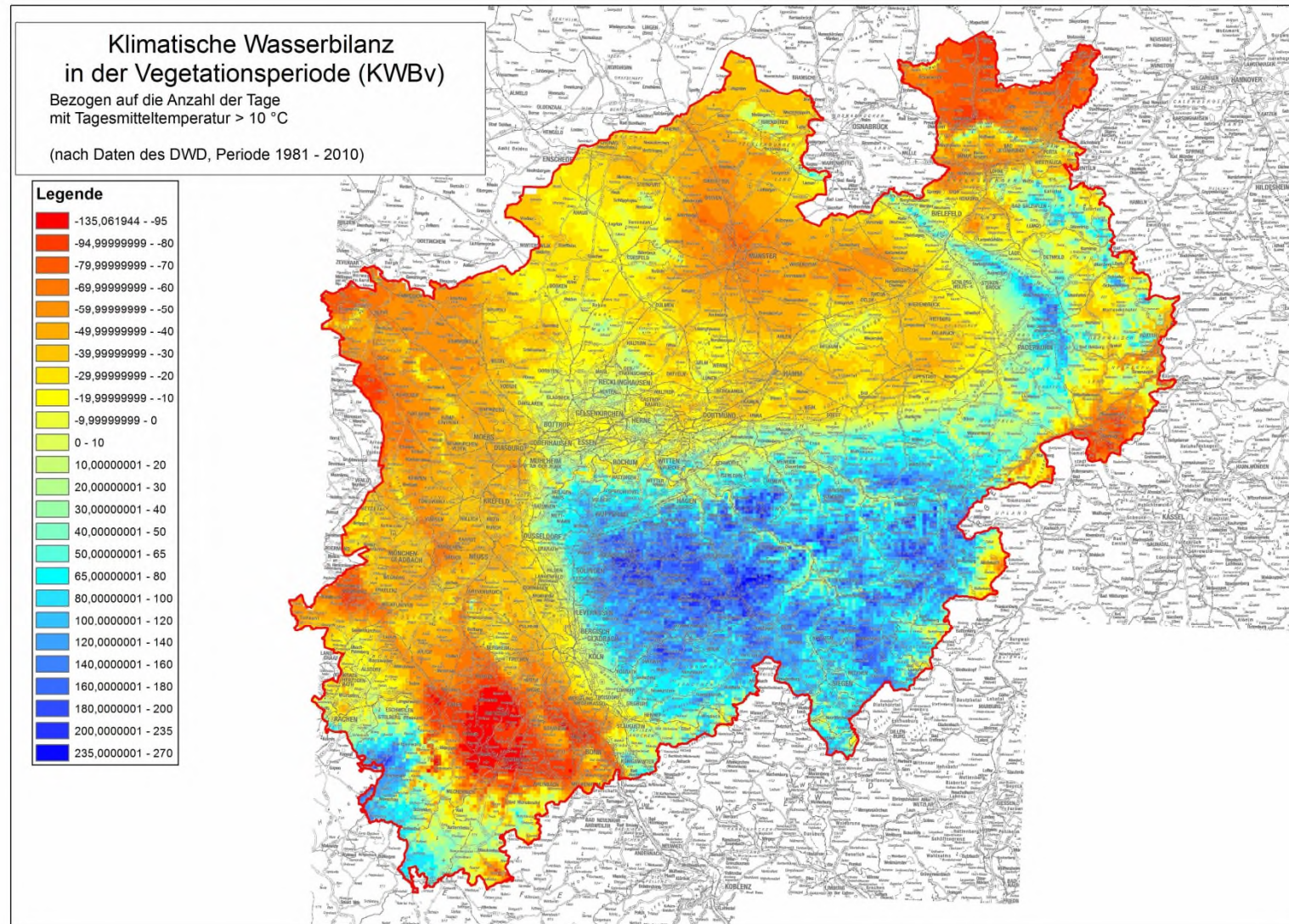


Abb. 10: Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (KWBv) in NRW, berechnet mit Daten des DWD (KWB Zeitraum 1981-2010 und Dauer der forstlichen Vegetationsperiode), klassifiziert für die Darstellung

6.1.3 Ersteinstufung des Wasserhaushalts

Aus der nutzbaren Feldkapazität der Flächen und ihrer klimatischen Wasserbilanz wird eine Ersteinstufung des Gesamtwasserhaushalts sickerwassergeprägter Standorte vorgenommen. Grundlagen sind die in der Abb. 11 dargestellten Beziehungen. Sie stellen die Grenzen zwischen den Wasserhaushaltsstufen in Abhängigkeit von nFK des Bodens und KWBv des Standortes dar. Durch Grundwasser oder Staunässe geprägte Böden werden einer eigenständigen Bewertung nach ihrem mittleren Grundwasserstand bzw. nach der Stärke und Tiefenlage der Staunässe unterzogen (s. Kap. 6.2 und 6.3). Die nutzbare Feldkapazität spielt hier eine untergeordnete Rolle.

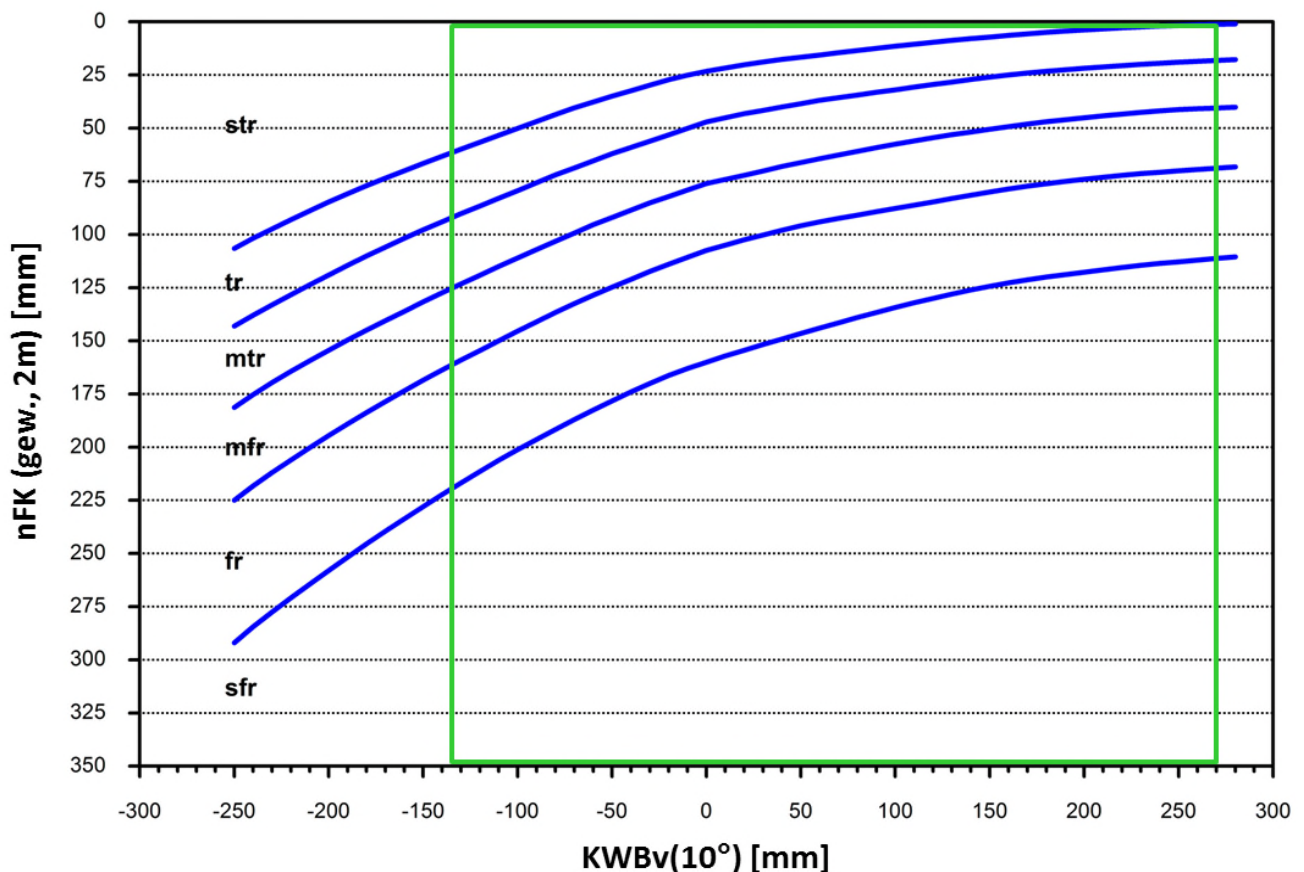


Abb. 11: Grenzen der Wasserhaushaltsstufen in Abhängigkeit von der gewichteten nutzbaren Feldkapazität und der klimatischen Wasserbilanz bezogen auf die Vegetationsperiode ($>10^{\circ}\text{C}$); der grüne Rahmen zeigt die aktuell in NRW vorkommenden Bedingungen, im Zuge des Klimawandels wird sich der Rahmen voraussichtlich nach links verschieben.

Bei der Ersteinstufung erhalten die Standorte in Abhängigkeit von nFK und KWBv Indexpunkte. Die Breite einer Wasserhaushaltsklasse entspricht einem Punkt (Abb. 12). Im Beispielfall würde ein Standort mit nFK 90 mm und KWBv +40 mm 4,3 Punkte erhalten und damit in der Ersteinstufung in die Stufe mäßig frisch fallen, nahe der Grenze zu frisch. Weitere Zusatzbewertungen auf Basis der Relieffanalyse können den Standort in Richtung einer benachbarten Wasserhaushaltsklasse verschieben. Dies gilt ebenso bei einer

veränderten KWBv, die sich aus Klimawandel-Prognosen ergeben könnte. Generell gilt: geringere Indexwerte bedeuten eine trockenere, höhere Indexwerte eine feuchtere Erdestufung.

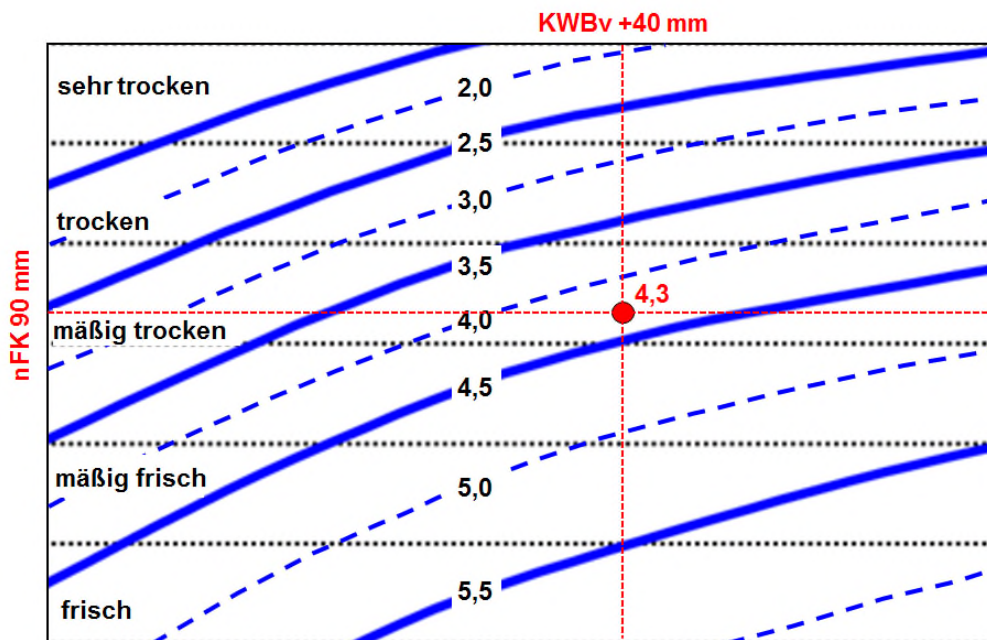


Abb. 12: Exemplarische Erdestufung eines Standortes mit 90 mm nFK bei einer KWBv von +40 mm; vergrößerter Ausschnitt der Grafik aus Abbildung 11 (X-Achse: KWBv, Y-Achse: nFK)

Die Festlegung der Grenzen bei sickerwassergeprägten Böden geht davon aus, dass

- Böden mit gleicher nFK und gleicher KWBv landesweit in die gleiche Wasserhaushaltsstufe eingestuft werden
- Böden mit gleicher nFK bei steigender KWBv zunehmend frischer eingestuft werden
- Böden mit gleicher nFK bei abnehmender KWBv zunehmend trockener eingestuft werden
- mit steigender KWBv der Einfluss des Niederschlagsüberschusses den Standort immer stärker prägt, so dass die Klassenbereiche schmaler werden, bei zunehmender nFK (und konstanter KWBv) dementsprechend schneller ein Übergang in die höhere Klasse erfolgt (als bei geringerer KWBv)
- mit sinkender KWBv der Einfluss des Niederschlagsmangels und damit des Wasserspeichervermögens des Bodens für den Standort immer bedeutender wird, so dass die Klassenbereiche breiter werden und dementsprechend bei zunehmender nFK (und konstanter KWBv) später ein Übergang in die höhere Klasse erfolgt (als bei höherer KWBv)

Der Verlauf der Kurven wurde gutachterlich festgelegt und ist das Ergebnis von Auswertungen unterschiedlicher Quellen:

- Einstufung von Standorten durch die vorliegenden Forstlichen Standortkarten in verschiedenen regional-klimatischen Situationen
- Einstufung von Standorten durch Standortkartierer der Landesforstverwaltung NRW, insbesondere in Verbindung mit Geländebegehungen

- Einstufung von Standorten durch standortkundlich versierte, erfahrene Bodenkartierer des GD
- Vergleich mit der Einstufung ähnlicher Böden in der Digitalen Forstlichen Standortklassifikation
- Vergleich mit der rheinland-pfälzischen Klassifikation (nur im Bezug auf den grundsätzlichen Kurvenverlauf)

Da die Kurven in ihrer Lage sehr genau festgelegt wurden, war es nicht möglich Regressionsgleichungen zu ermitteln, die diese Kurven ausreichend beschreiben. Stattdessen wird jede Kurve zusammengesetzt aus einer Serie von Geraden-Abschnitten, deren Lage mathematisch exakt bestimmbar ist. Die sich daraus ergebende Ungenauigkeit durch die Abweichung von einer stetigen Kurve ohne "Knicke" ist vernachlässigbar, insbesondere in Anbetracht der Alternative der möglichen ungenaueren Regressionen.

Die Punkte auf den Kurven besitzen feste Indexwerte; für die realen Kombinationen aus nFK und KWBv der Bodenflächen wird der zugehörige dimensionslose Indexwert des Wasserhaushalts zwischen den Kurven stufenlos interpoliert. Dies ist für weitere Zusatzbewertungen auf Basis der Reliefanalyse sowie für spätere Berechnungen von Klimawandelszenarien wichtig, da es durchaus eine Rolle spielt, ob eine Flächeneinstufung zum Beispiel mitten in der Stufe oder am Rand zur benachbarten Stufe liegt.

Durch die bis hierher beschriebene Vorgehensweise ist sichergestellt, dass die Flächen der Bodenkarte als Basis der Auswertung erhalten bleiben. Die Eigenschaften der Bodenflächen bleiben nachvollziehbar die prägende Basis der Auswertung der Bodenkarte.

6.1.4 Zu- und Abschlüge auf Basis der Reliefanalyse

Als Basis für die Auswertungen zum Wasserhaushalt wurde durch das Ingenieurbüro Scilands GmbH (Göttingen) eine Reliefanalyse mit den Daten des DGM10 durchgeführt (vgl. Abb. 13). Das Raster von 10 × 10 m gilt für standortkundliche Auswertungen als gute Arbeitsbasis (Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 17). Der GD nutzt diese Daten insbesondere zur sehr differenzierten Bewertung der Einstrahlung (Sonn- und Schatthänge) sowie zur Abschätzung von reliefgesteuerten Prozessen im Wasserhaushalt der Standorte (Hangwasserzug, Dünen).

Die Größenordnung der reliefbedingten Modifikation des Wasserhaushalts durch Zu- und Abschlüge auf die Einstufung orientiert sich an den Zu- und Abschlügen für Sonn- und Schatthänge und Hangwasserzug, die SHRIVASTAVA & ULRICH (1977) beschreiben.

Die Indexwerte des Gesamtwasserhaushalts der Bodenflächen aus der Ersteinstufung nach nFK und KWBv werden auf Grundlage der nachfolgend beschriebenen Reliefauswertung modifiziert. Erst zum Abschluss werden die Indexwerte klassifiziert in die Stufen des Gesamtwasserhaushalts.

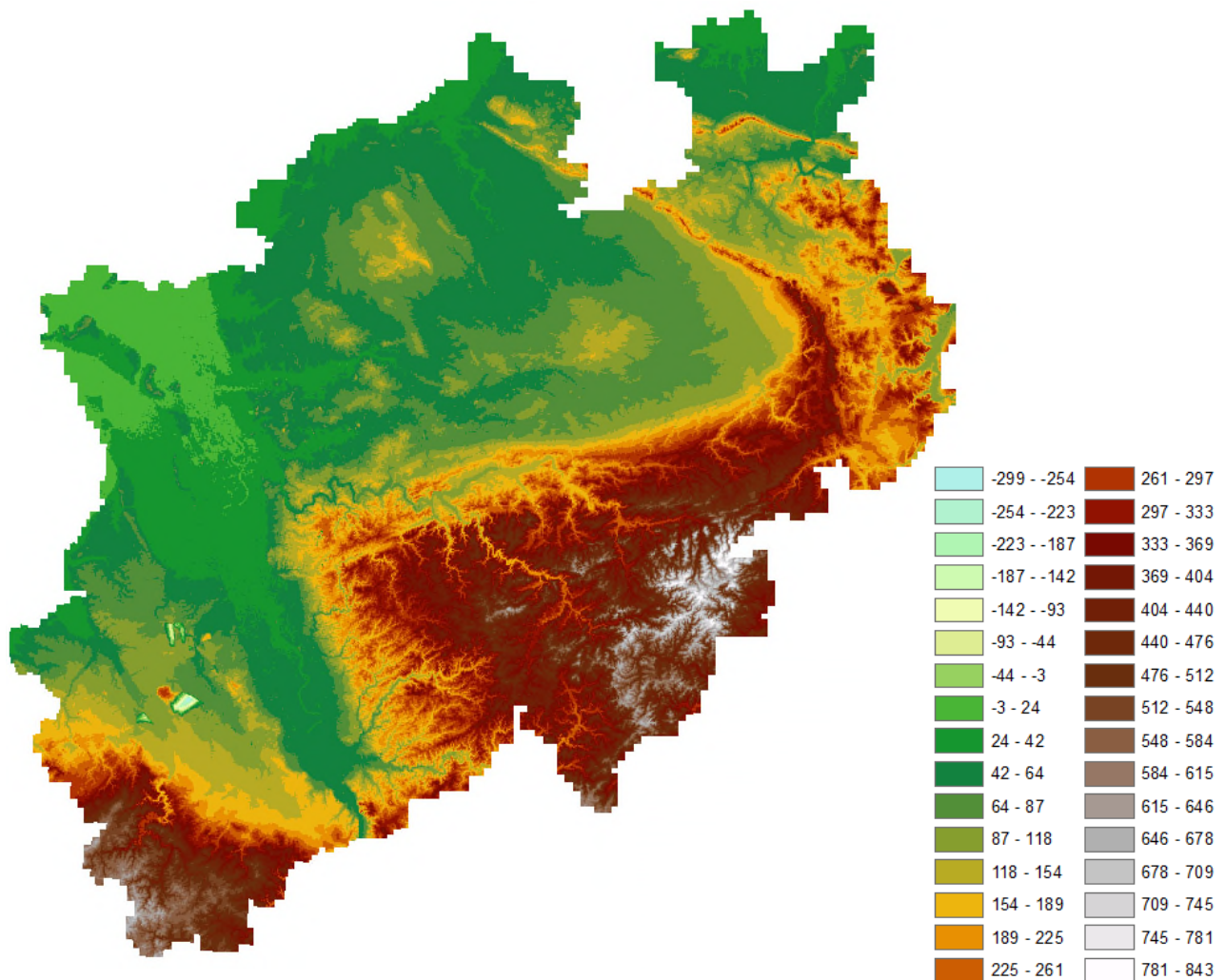


Abb. 13: Digitales Geländemodell DGM10 von Nordrhein-Westfalen (Geobasis NRW), dargestellt als Höhenstufenkarte (m NN); Grundlage für die Auswertung des DGM10 durch die Scilands GmbH

6.1.4.1 Reliefabhängige Verdunstung

Anstelle der einfachen Abgrenzung von Sonn- und Schatthängen wird für die lokale Variation des Standortklimas der aus dem DGM10 abgeleitete "Direkte topografische Strahlungsgenuss" verwendet. Er gibt die Energiemenge in kWh/m² an, die direkt oder diffus in einem bestimmten Zeitraum auf die Erdoberfläche trifft. Berücksichtigt werden dabei Exposition, Geländeneigung, Abschattung, absolute Geländehöhe und Breitengrad sowie der jeweilige Sonnenstand (KÖTHE 2017).

Es wurden für die einzelnen Monate Stichtagswerte (jeweils für den 21. Tag jeden Monats) berechnet (mdl. Mitt. KÖTHE 2017) sowie eine Jahressumme. Die Werte des Zeitraumes Mai - September wurden summiert und als Einstrahlung während der forstlichen Vegetationsperiode verwendet.

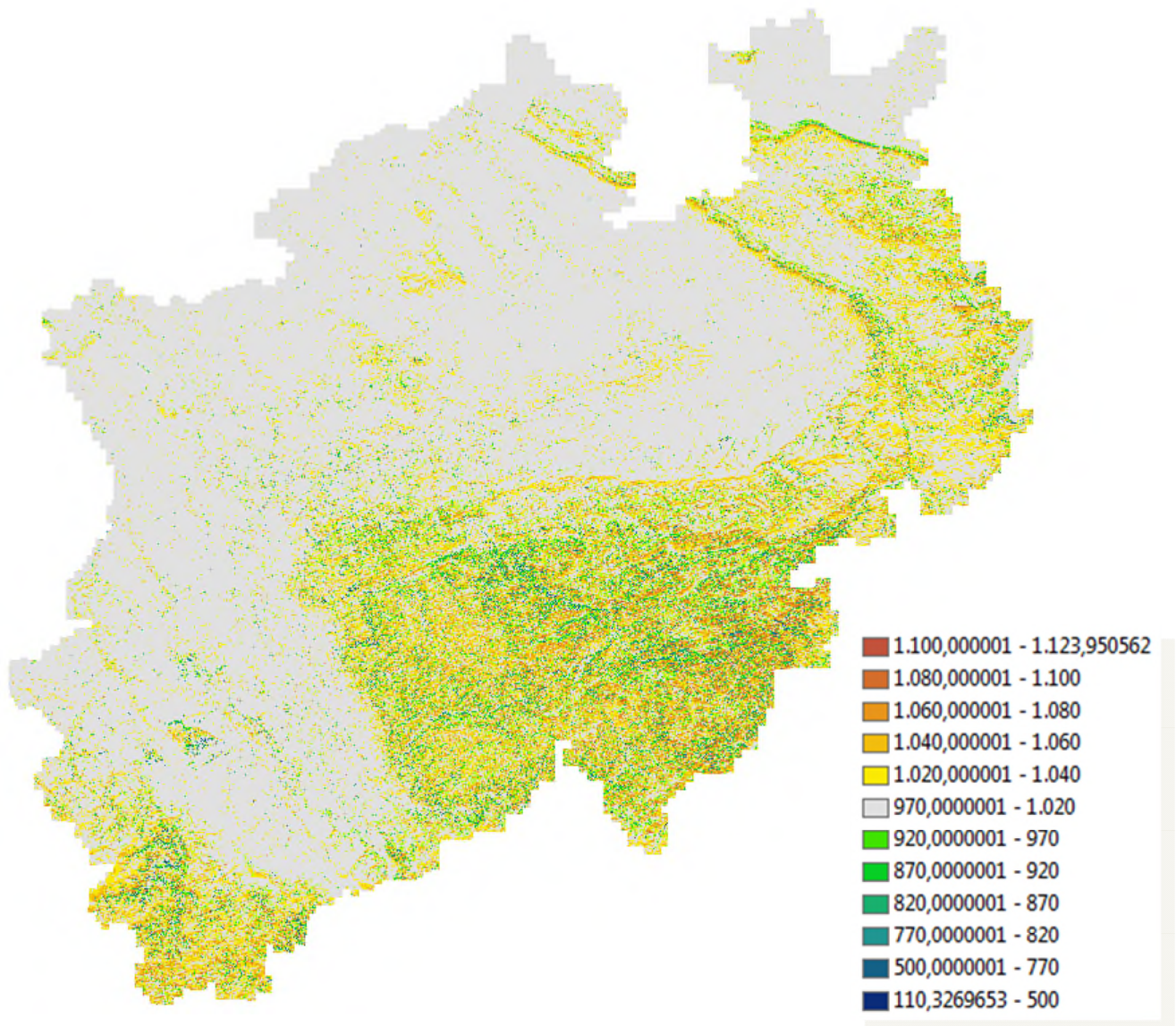


Abb. 14: Direkter topografischer Strahlungsgenuss, Summe [kWh/m²] für die Monate Mai – September, klassifiziert für die Darstellung; Auswertung des DGM10 durch die Scilands GmbH

Es werden ebene Flächen als neutral eingestuft. Dazu wurden große ebene, beziehungsweise als eben angesehene Flächen ausgewählt; es handelt sich hierbei um die Wasseroberflächen von Stauseen in verschiedenen Landesteilen, die Oberfläche des Rheins, die in NRW ein Gefälle von 49,9 m bis auf 8,7 m aufweist, sowie Abbauniveaus in den Braunkohlentagebauen. Aufgrund der Verteilung in NRW liegen deren Einstrahlungswerte zwischen etwa 970 und 1020 kWh/m². Gebiete mit geringerem oder höherem topografischem Strahlungsgenuss werden stufenlos normiert und dienen zur Modifikation der Indexwerte aus der Ersteinstufung der Bodenflächen. Die Modifikation geht davon aus, dass im Extremfall zwischen sonnenabgewandter und sonnenzugewandter Lage eine Differenzierung von maximal einer Wasserhaushaltsstufe anzunehmen ist. Diese Werte wurden mithilfe zweier Regressionen errechnet; auf diese Weise werden für Einstrahlungen < 965 kWh/m² Zuschlagswerte von 0,002 bis 0,492 (für absolute Ausnahmen bis 0,6), für Einstrahlungen > 1020 kWh/m² (negative) Zuschlagswerte von -0,013 bis -0,59 erreicht.

Da die Einstrahlungswerte nicht mit ihren absoluten Werten sondern nur normiert verwendet werden, ist die Abweichung der verwendeten 5-Monats-Periode von der realen forstlichen Vegetationsperiode vernachlässigbar.

Abbildung 14 zeigt deutlich die unterschiedlichen Landesteile, die Mittelgebirgsregionen fast komplett eingefärbt mit intensivem Relief und die Flachlandregionen, in denen nur partiell Relief zu berücksichtigenswerten Einstrahlungsunterschieden führt.

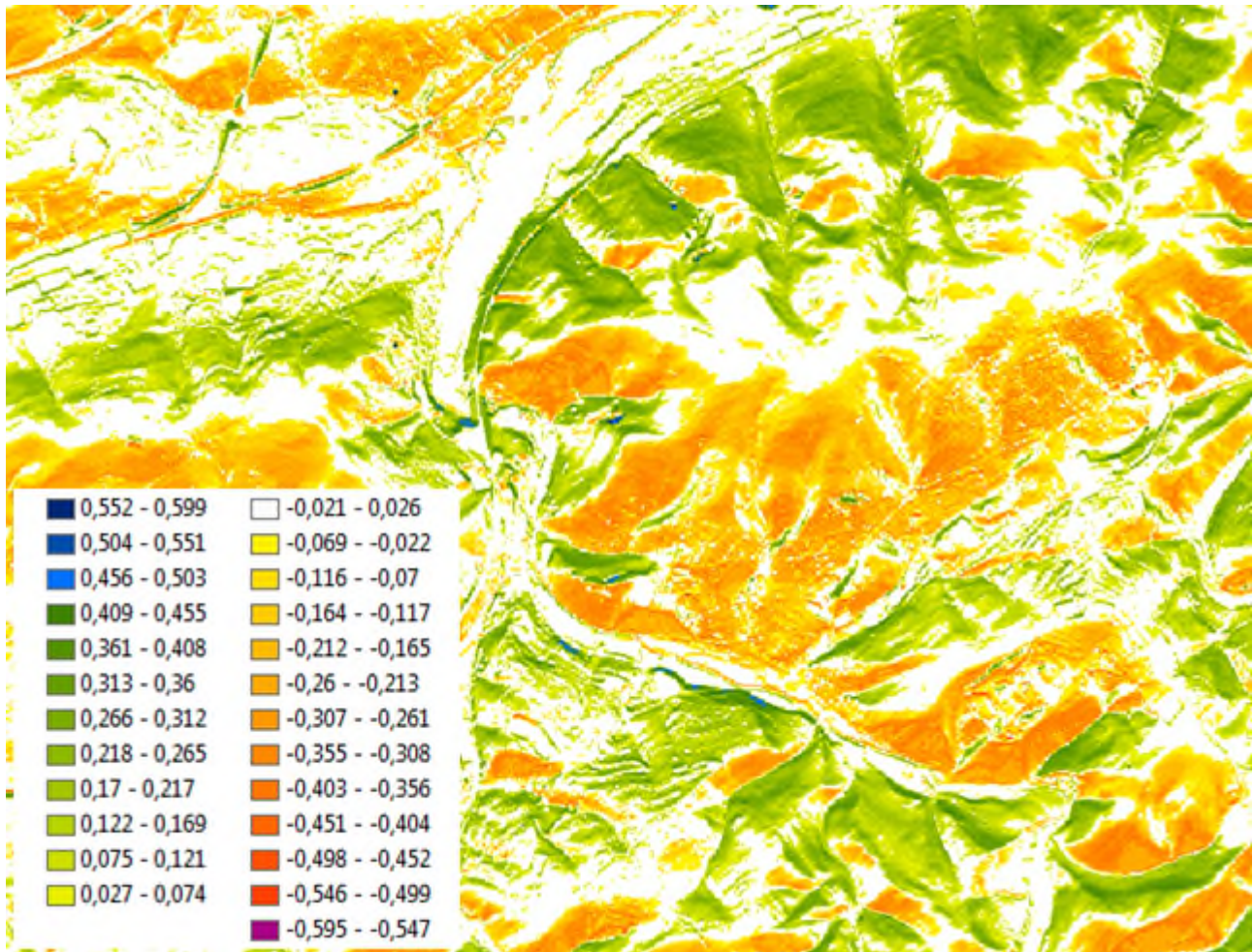


Abb. 15: Einstrahlungssumme in Nordrhein-Westfalen für die Monate Mai - September, normiert und für die Darstellung klassifiziert; Beispiel: Tal der Ennepe, Raum Gevelsberg / Ennepetal

Abbildung 15 zeigt die Auswirkungen von Hangneigungen und Exposition in einer Mittelgebirgsregion. Bis auf ausgesprochene Kuppen-, Plateau- oder Talbodenlagen sind nahezu alle Flächen geneigt und erhalten dementsprechend zumindest eine geringe Modifikation der Wasserhaushaltseinstufung, maximal plus/minus 0,6 Indexpunkte. Dabei bedeuten negative Werte eine Verschiebung zu trockeneren, positive Werte eine Verschiebung zu feuchteren Verhältnissen.

Normierung:

Wenn $(E - 1000) \cdot -1 \leq -20$

$$Ex = (E - 1000) \cdot -1 \cdot 0,0056 + 0,0992$$

Wenn $(E - 1000) \cdot -1 \geq 30$

$$Ex = \ln((E - 1000) \cdot -1) \cdot 0,1844 - 0,6535$$

Sonst $Ex = 0$

E = Einstrahlung Mai-September [kWh/m^2], Wertebereich 110 bis $1124 \text{ kWh}/\text{m}^2$

$965 - 1020 \text{ kWh}/\text{m}^2$ als eben und damit neutral angesehen

Ex = normierter Einstrahlungswert zur Modifikation der Gesamtwasserhaushaltsberechnung

6.1.4.2 Dünen / exponierte Sandstandorte

Die Scilands GmbH berechnet mit ihrer Methode des "Modifizierten Bodenfeuchteindex (W1)" den relief-abhängigen Wasserhaushalt der Landschaft, unabhängig davon, ob Wasser oberflächlich oder unterirdisch abfließt. Bei diesem Index handelt es sich um eine dimensionslose Zahl – bei der Auswertung des DGM10 von NRW zwischen 4,6 und 23,7 –, die eine relative Differenzierung erlaubt. Der Indexwert einer Zelle des DGM hängt unter anderem davon ab, wie viele Zellen des DGM ein Gefälle in Richtung der betrachteten Zelle haben und theoretisch in diese Zelle entwässern. Die geringsten Werte finden sich dementsprechend auf Kuppen oder Rücken, die keinen Zufluss besitzen. Diese finden sich vor allem in den Mittelgebirgsregionen, aber auch in isolierten erhöhten Lagen des Münsterlandes oder des Rheinlandes. Die höchsten Werte finden sich an den Grenzen von NRW, wo sich in den großen Flusstälern beim Verlassen des Landes (Rhein, Weser, aber auch Ems, Rur, Niers) der jeweils tiefstgelegene Sammelpunkt für einen größeren Landschaftsraum befindet (vgl. Abb. 16, 17, 19).

Die Erfahrung der forstlichen Standortkundler zeigt, dass Sandstandorte im nordwestdeutschen Flachland meist als mäßig frisch einzustufen sind, bei Lagen auf Dünen oder ähnlich exponierten Standorten werden sie dagegen meist als mäßig trocken eingeschätzt, auf extrem hohen Dünen teils auch als trocken (ACHTERBERG 1998; KÄMMERLING & BÖSKEN 1996; Forstliche Standortkarten Reken und Rhede). Erklären lassen sich die unterschiedlichen Wasserverhältnisse mit einer schnellen Wasserversickerung in den locker gelagerten Dünensanden sowie vermutlich durch einen verstärkten Wind- und damit Verdunstungseinfluss an den besonders exponierten Standorten.

Diese Besonderheit wird mithilfe der Auswertung des Bodenfeuchteindex nachvollzogen. Standorte mit Böden aus 2 m Sand einschließlich schwach lehmigem oder schwach schluffigem Sand ohne Grundwasser- oder Staunässe-Einfluss werden dazu als potenzielle Dünen aus der Bodenkarte selektiert.

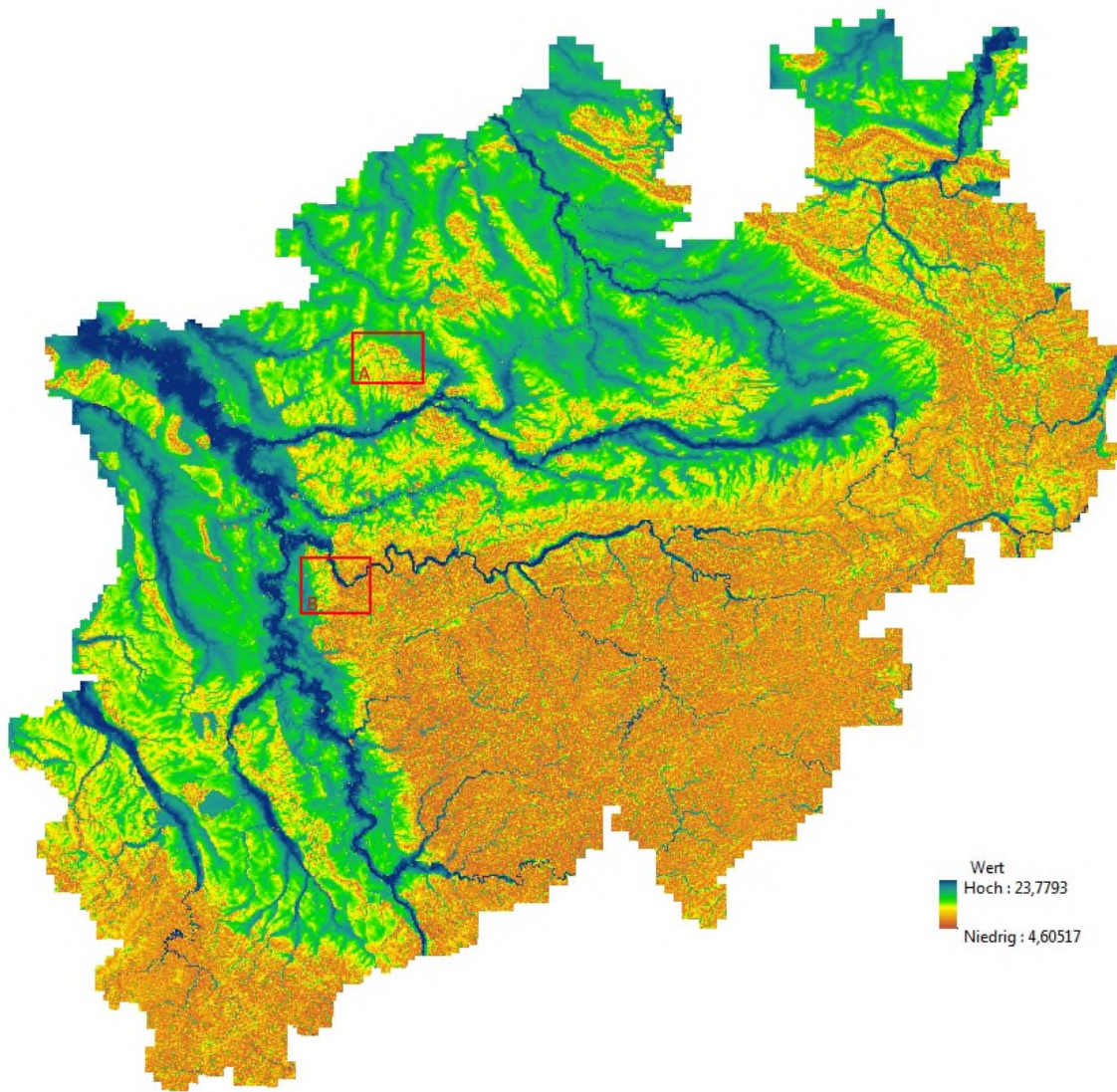


Abb. 16: Bodenfeuchteindex (BFI) für Nordrhein-Westfalen, geringe Werte gelb und rot, hohe Werte grün und blau; Auswertung des DGM10 durch die Scilands GmbH (A, B: Ausschnitte der Abbildungen 17 und 19)

Der konzeptionelle Ansatz ist, dass Sandböden auf Dünen und, da Dünen morphologisch nicht ausreichend sicher identifiziert werden können, auch sonstige Kuppen oder ähnlich exponierte Kanten aufgrund dieser Exposition um maximal eine halbe Stufe im Gesamtwasserhaushalt trockener eingeschätzt werden sollen.

Aus dem Bodenfeuchteindex wurden die geringsten Werte als Kuppen und oberste Oberhanglagen selektiert. Diese wurden entsprechend normiert (Abb. 18). Die Gesamtwasserhaushalts-Indexwerte der selektierten Sandböden werden mit den so festgelegten Werten modifiziert.

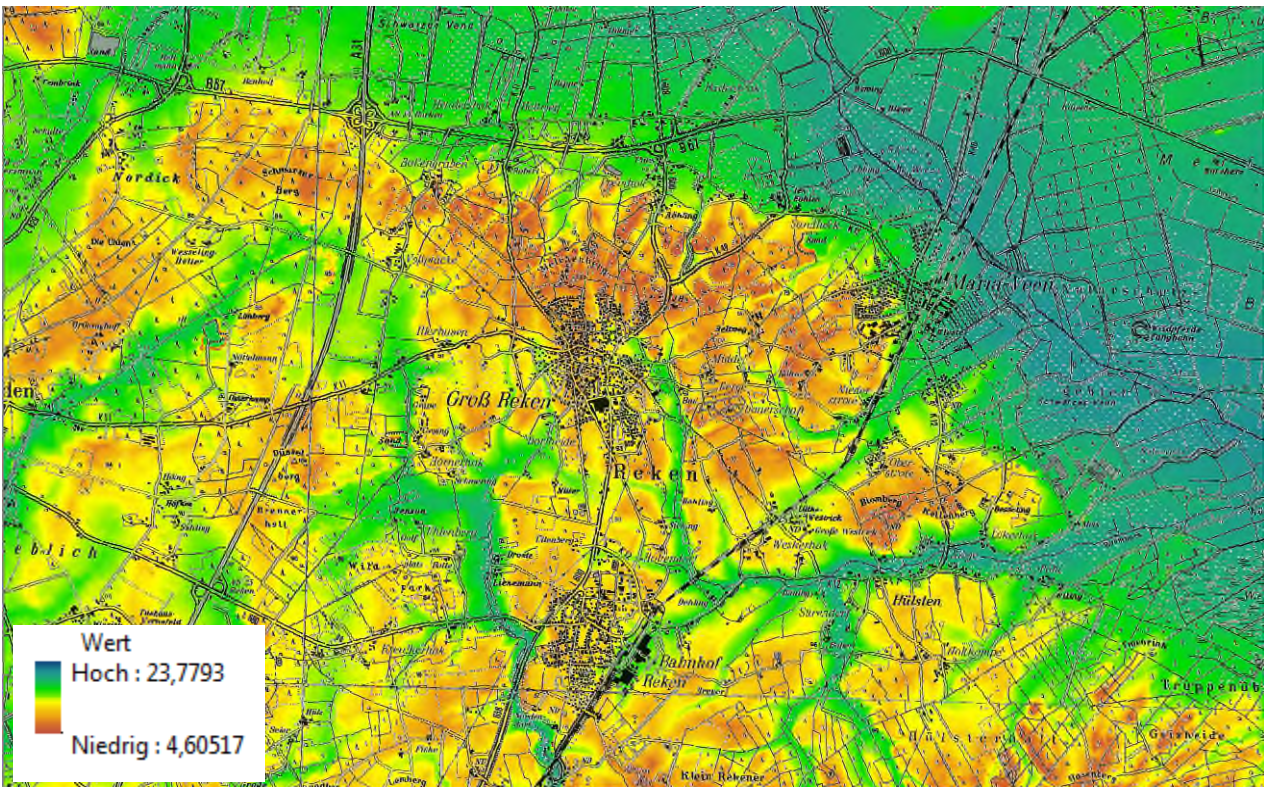


Abb. 17: Bodenfeuchteindex (BFI) in der Umgebung von Reken (Münsterland, vgl. Abb. 16, Ausschnitt A); Auswertung des DGM10 durch die Scilands GmbH



Abb. 18: Normierte Werte des Bodenfeuchteindex (D_{BFI}) zur Modifikation des Gesamtwasserhaushalts von potenziellen Dünenstandorten; Kartenausschnitt wie Abb. 17

Berechnung Korrektur Sanddünen:

$$D_x = D_{\text{BFI}} * B_s$$

mit

Wenn $BFI \leq 9$

$$D_{\text{BFI}} = (BFI - 9) / 10$$

Sonst

$$D_{\text{BFI}} = 0$$

und

Wenn alle Boden-Schichten $< 8\%$ Ton und $< 20\%$ Schluff und kein Grundwasser keine Staunässe

$$B_s = 1$$

Sonst

$$B_s = 0$$

D_x = Korrektur-Wert für GWH-Indexpunkte

D_{BFI} = normierter BFI-Wert zur GWH-Korrektur potenzieller Dünen

B_s = Selektionsfaktor für Sandböden

6.1.4.3 Hangwasserzug

Hangzugwasser – auch als Interflow oder Zwischenflächenabfluss bezeichnet - entsteht, wenn bei Hangstandorten die Wasserleitfähigkeit des Bodens zur Tiefe stark abnimmt und das Wasser folglich in Richtung des größten Gefälles abgelenkt wird. Böden an Mittel- und Unterhängen erhalten auf diese Weise Zuschusswasser. Die Mengen sind unmittelbar abhängig vom jeweiligen oberhalb gelegenen Einzugsgebiet. Ausschlaggebend für die Entstehung von Hangzugwasser ist im Mittelgebirgsraum weit verbreitet die typische Ausprägung übereinander lagernder Fließerden, nämlich die Kombination aus einer locker gelagerten periglazialen Hauptlage und einer zur Tiefe folgenden dichter gelagerten Basislage beziehungsweise einer verlehnten Zersatzzone des Festgesteinsuntergrundes (NORDMANN & GÖTTLEIN & BINDER 2009; HELLER 2012).

Auf Kuppen und Rücken des Berglandes prägt das entsprechend der nFK im Boden gespeicherte Wasser in Verbindung mit der klimatischen Wasserbilanz den Wasserhaushalt des Standortes. Erst nach Aufsättigung der nFK wird überschüssiges Wasser in den Untergrund oder lateral verlagert. Insofern ist es plausibel, hier keinen zusätzlichen Wasserverlust durch das Hangzugwasser anzusetzen. Die häufig trockeneren Standorte in diesen Geländepositionen werden normalerweise allein schon durch die oft flachgründigeren oder skelettreicheren Böden charakterisiert.

In ebener Lage bei mächtigeren Lockersedimenten versickert dieses Wasser vertikal zum Grundwasser und steht der Vegetation nicht mehr zur Verfügung. Zur Entstehung von Hangzugwasser kommt es hier normalerweise nicht.

Die messtechnische Erfassung des lateralen Wassertransports ist aufwendig und kompliziert; es besteht auf diesem wichtigen Feld noch Forschungsbedarf, insbesondere auch hinsichtlich der Quantifizierung (GAUER & FEGER & SCHWÄRZEL 2011). Zusätzlich zum Hangzugwasser kann es bei besonders starken Niederschlägen in Hanglagen auch zum oberflächlichen Abfluss des Niederschlagswassers kommen.

Bei der vorliegenden Auswertung wird davon ausgegangen, dass Hangzugwasser – relevant für den forstlichen Standort – überwiegend in Gebieten mit Niederschlagsüberschuss, also einer positiven klimatischen Wasserbilanz während der Vegetationsperiode auftritt. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass in Gebieten mit höherem Niederschlagsüberschuss bei ansonsten gleicher Lage im Relief mehr Wasser zur Verfügung steht, das hangabwärts verlagert werden kann und die Wasserversorgung am Mittel- und Unterhang verbessern kann.

Der Bodenfeuchteindex wurde für die Bewertung des Hangwasserzuges im Modell des GD herangezogen. Dabei wurde die DGM-Auswertung des Bodenfeuchteindex reduziert auf Bereiche mit positiver KWBv; außerdem wurden Bereiche höherer Werte ausgeblendet, die immer nur in Tälern oder Auen und damit in typischen Grundwasserregionen vorkommen, bei denen das potenziell zufließende Wasser dementsprechend standortkundlich nicht als Hangzugwasser sondern gegebenenfalls als Grundwasser relevant ist.

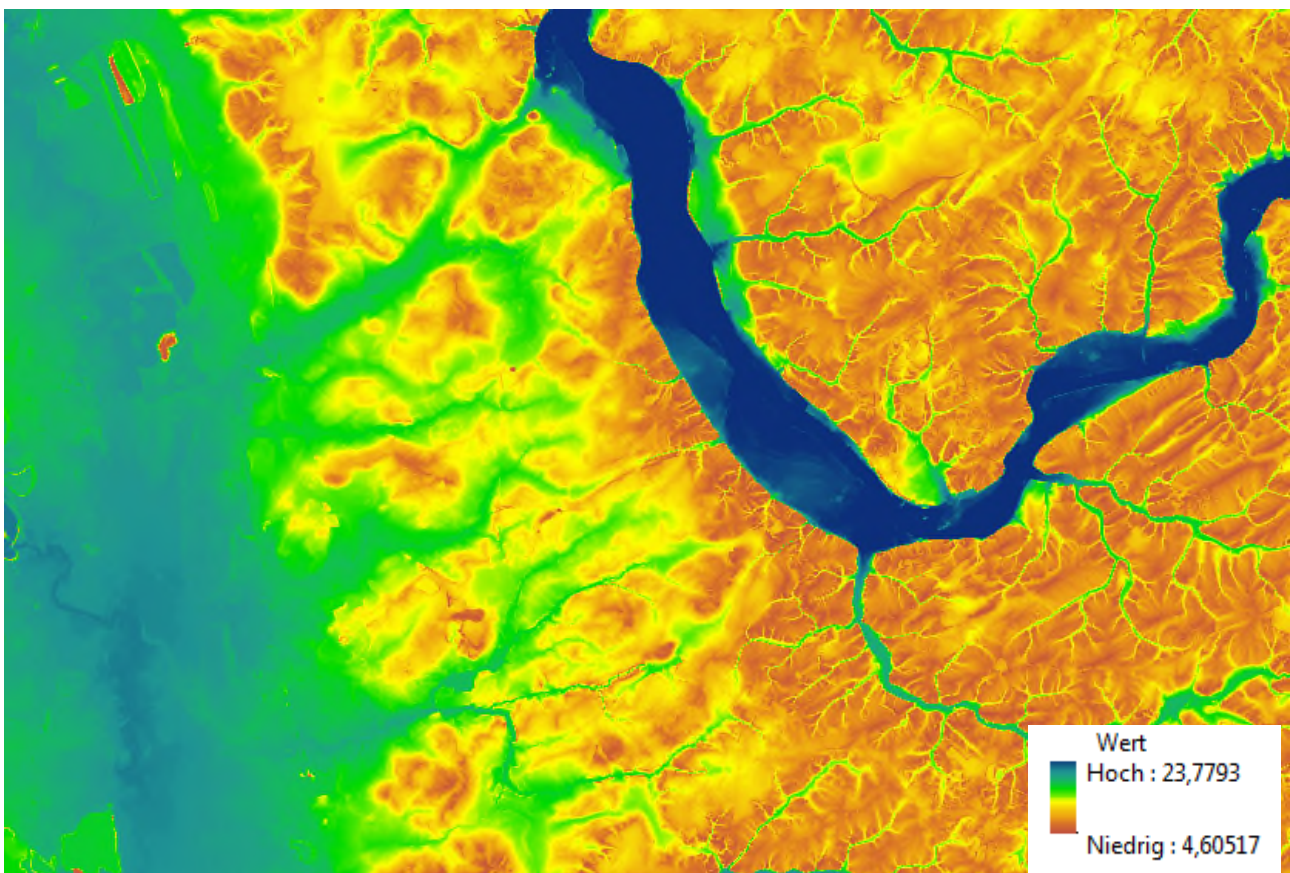


Abb. 19: Bodenfeuchteindex (BFI) als Detailausschnitt: Rheintal bei Ratingen bis Ruhr südlich Mülheim (vgl. Abb. 16, Ausschnitt B), geringe Werte gelb und rot, hohe Werte grün und blau; Auswertung des DGM10 durch Scilands

Die Werte des Bodenfeuchteindex wurden mit der klimatischen Wasserbilanz (KWBv) gewichtet und stufenlos normiert. Die gewichteten und normierten Werte – zur Modifikation des Indexwertes der Ersteinstufung des Wasserhaushalts der Böden – gehen davon aus, dass durch Hangzugswasser – bei sonst gleichen bodenkundlichen und klimatischen Bedingungen - am Mittel- und Unterhang eine Verbesserung der Wasserversorgung bei ansonsten gleichen Verhältnissen von maximal einer Wasserhaushaltsstufe anzunehmen ist.

Durch die Kombination des 10 × 10 m-Rasters der Reliefauswertung mit dem 1 × 1 km-Raster der klimatischen Wasserbilanz zur Gewichtung der Werte des Bodenfeuchteindex ergeben sich – insbesondere in der Kartendarstellung der normierten Indexwerte – unvermeidbar Sprünge. Diese sind allerdings so gering, dass sie sich normalerweise nicht bis zur Endeinstufung der Böden durchschlagen.

Abbildung 20 zeigt als Beispiel – für die Darstellung klassifiziert – die normierten Werte des Bodenfeuchteindex. In der Darstellung weiße Flächen erhalten keine Modifikation, da die KWBv negativ ist oder die Werte des BFI zu hoch sind und deshalb abgeschnitten wurden. Korrekturwerte größer 1 lassen sich nicht ganz ausschließen. Sie entstehen allerdings normalerweise in Bereichen, deren Böden in Tallagen grundwasser-geprägt sind (Gleye, Auen), so dass sich der Hangwasserzuzug methodisch und auch standortkundlich nicht auswirkt.

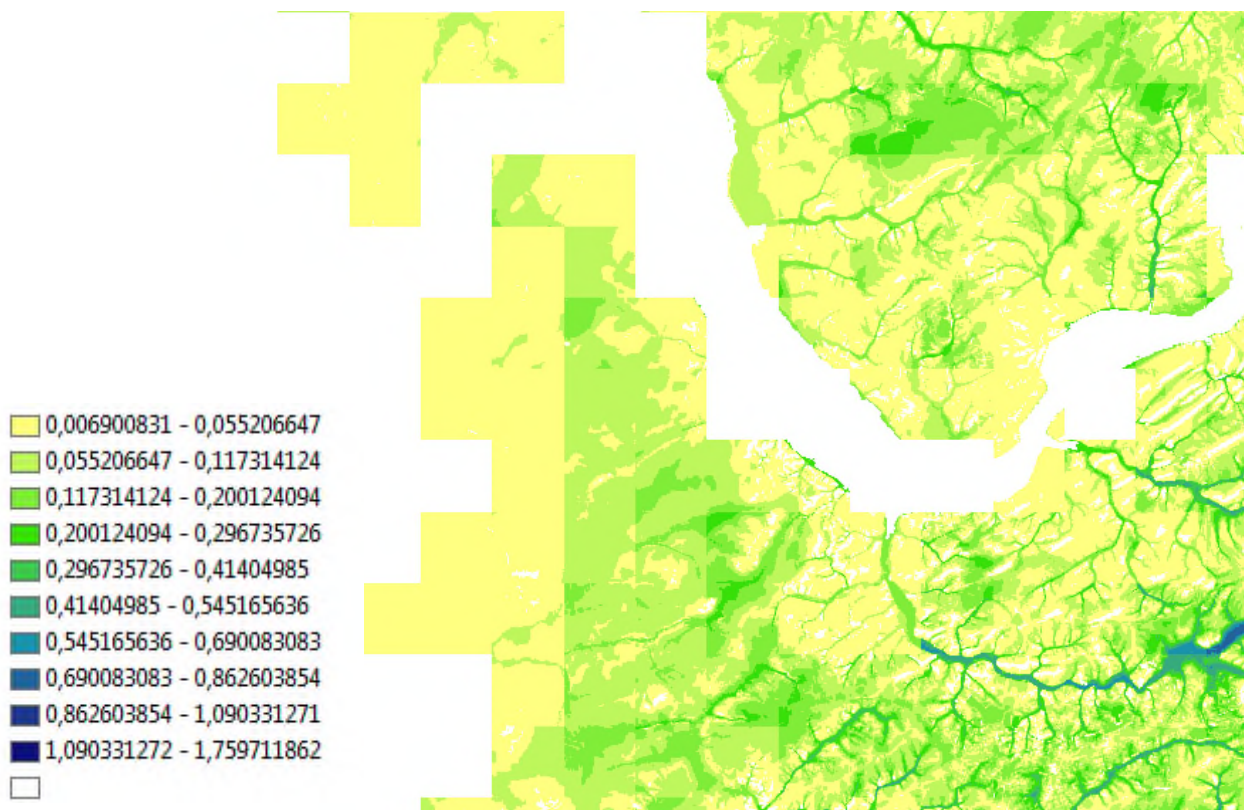


Abb. 20: Bodenfeuchteindex normiert und gewichtet mit der klimatischen Wasserbilanz (Vegetationsperiode) (Hx); die Klassifikation für die Darstellung mit begrenzter Klassenzahl führt zu scheinbar gravierenden Brüchen an den Grenzen des Klimarasters, aufgrund der geringen Unterschiede in den Punktezuschlägen wirkt sich dies nur in sehr seltenen Fällen auf die Wasserhaushaltsstufe aus; Kartenausschnitt wie Abb. 17

Korrektur Hangwasserzug

$$H_x = H_{BFI} * K_{KWBv} * 2$$

mit

Wenn $BFI > 6$ und $BFI < 18$

$$H_{BFI} = (BFI - 6) / 10$$

Sonst

$$H_{BFI} = 0$$

und

Wenn $KWBv < -10$

$$K_{KWBv} = 0$$

Sonst

$$K_{KWBv} = (KWBv + 10) / 280$$

H_x = Korrektur-Wert für GWH-Indexpunkte

H_{BFI} = normierter BFI-Wert zur Hangzugkorrektur

K_{KWBv} = normierter KWBv-Wert zur Hangzugkorrektur

6.1.5 Endeinstufung Wasserhaushalt

Die Endeinstufung des Wasserhaushalts erfolgt durch Summierung der Indexpunkte der Ersteinstufung und aller Korrekturwerte für jede einzelne Rasterzelle und anschließende Klassifikation (Beispiel siehe Abb. 21).

$$GWH_x = nFK\text{-Wert} + E_x + D_x + H_x$$

Für die Klassifizierung gelten folgende Grenzwerte (Tab. 8):

Tab. 8: Klassifizierung der Gesamtwasserhaushalt-Indexwerte für vorwiegend sickerwassergeprägte Böden

Gesamtwasserhaushalt-Indexwert	Klasse des Gesamtwasserhaushalts
$GWH_x < 1,5$	sehr trocken
$GWH_x 1,5 - < 2,5$	trocken
$GWH_x 2,5 - < 3,5$	mäßig trocken
$GWH_x 3,5 - < 4,5$	mäßig frisch
$GWH_x 4,5 - < 5,5$	frisch
$GWH_x \geq 5,5$	sehr frisch



Standort

Lage:	TK25 Olsberg, 390 m NN, Mittelhang, gering geneigt, SW-Exposition
Klima:	469 mm Niederschlag (VZ), +95 klimatische Wasserbilanz (VZ)
Boden:	Pseudogley-Braunerde nährstoffarm (basenarm) schwache Staunässe in 3 – 5 dm Tiefe bis 4 – 6 dm mittel bis stark steiniger toniger Schluff bis 7 – 9 dm sehr stark steiniger schluffiger Lehm bis 20 dm Tonstein aus Fließerde, Hauptlage über Fließerde, Basislage über Tonstein

Berechnung Gesamtwasserhaushalt

nFK (Bodenartenschichtung, gew.):	$nFK_{S6} + nFK_{S12} + nFK_{S20} = 83,65 \text{ mm}$
Zuschlag Stauwasser:	$W = + 1,98 \text{ mm}$
Zuschlag Klüfte:	$Z = + 10 \text{ mm}$
nFK-Summe:	$nFK_F 95,63 \text{ mm}$
Ersteinstufung:	4,6 Punkte (Indexpunkte aus Kombination nFK-Summe und KWBv)
Zuschlag Einstrahlung:	$Ex = - 0,25 \text{ Punkte}$
Zuschlag Dünen:	$Dx = 0 \text{ Punkte}$
Zuschlag Hangwasserzug:	$Hx = + 0,03 \text{ Punkte}$
Endeinstufung:	$GWHx = 4,38 \text{ Punkte}$
Wasserhaushaltklasse:	mäßig frisch (3,5 - < 4,5 Punkte)

Abb. 21: Beispiel für die Berechnung des Gesamtwasserhaushalts eines sickerwassergeprägten Standortes; der Standort befindet sich im Grenzbereich der Klassen mäßig frisch und frisch; nach der Ersteinstufung (nFK, KWBv) liegt er knapp in der Klasse frisch; aufgrund der Südwestexposition (erhöhte Einstrahlung) fällt er nach der Endeinstufung in die Klasse mäßig frisch

6.2 Gesamtwasserhaushalt stauwassergeprägter Standorte

Das Stauwasser ist ein nur zeitweise vorhandenes Bodenwasser, das sich auf einer tonreichen oder dicht gelagerten oder verfestigten Bodenzone infolge einer verzögerten Versickerung des Niederschlagswassers bildet und nur einen Tiefenbereich von wenigen Dezimetern erfüllt. In der Vegetationszeit wird das Stauwasser meist mehr oder weniger vollständig verbraucht. Danach entsprechen viele stauwassergeprägte Böden sickerwassergeprägten Standorten. Böden mit sehr starkem, lang anhaltendem Stauwassereinfluss (z. B. Stagnogleye) bilden ökologisch einen Übergang zu den Grundwasserböden.

Tief sitzender und schwächer ausgeprägter Stauwassereinfluss ist - im Sinne eines Wasserrückhalts - für den Baumbestand eher positiv zu bewerten, während oberflächennahe und stärkere Staunässe zur Behinderung der Durchwurzelung sowie zu schlechter Erwärmung und Luftmangel führt. Schluff- und feinstsandreiche Böden weisen zum Teil Haftnässe (haftwasserbedingte Staunässe) auf; diese wird bei der standortkundlichen Auswertung gleichartig wie Staunässe behandelt. Im Datenbestand der Bodenkarte sind die Angaben zu Stau- und Haftnässe differenziert erfasst.

Durch Staunässe geprägte und dominierte Böden (z. B. Pseudogleye und Stagnogleye mit mittlerer oder stärkerer Staunässe oberhalb von 4 dm Tiefe) werden nach den Kriterien Staunässestärke und Obergrenze der Staunässe unmittelbar den Gesamtwasserhaushaltsstufen "mäßig wechselfeucht", "wechselfeucht" und "staunass" zugeordnet (Tab. 9). Hintergrund ist, dass Bodenkartierer im Gelände die Staunässeverhältnisse nach allen zur Verfügung stehenden Kriterien, einschließlich der Geländelage, der Vegetation und der Humusformen, bereits integrierend bewertet haben, so dass weitere Berechnungen hier nicht notwendig sind.

Die bodenkundliche Kartierung erfasst auch Böden mit nur geringmächtiger oberflächennaher Vernässungszone als Pseudogleye mit mittlerer Staunässestärke. Je nach Bodenartenschichtung bzw. je nach Abfolge der Substrate der Bodenbildung wird eine Einstufung derartiger Böden als "mäßig wechselfeucht" den standortkundlichen Eigenschaften nicht gerecht. Die Vernässungsphase kann sehr kurz sein, so dass die Standorte vorwiegend durch die nFK der Böden und die Niederschläge geprägt werden. Daher werden staunässegeprägte Böden in Gebieten mit negativer klimatischer Wasserbilanz, deren Staukörper bereits oberhalb einer Tiefe von 4 dm ansteht und deren nutzbare Feldkapazität gleichzeitig einen Wert von 55 mm nicht überschreitet (äußerst geringe und sehr geringe nFK) als wechselfeucht ausgewiesen. Diese Standorte sind allerdings nur gering verbreitet.

Tab. 9: Klassen des Gesamtwasserhaushalts (Wasserhaushaltsstufen) bei stauwasser geprägten Böden (Obergrenze des Tiefenbereichs der Staunässe zwischen 0 und 3 dm)

Klasse des Gesamtwasserhaushalts	Staunässestärke	weitere Kriterien
wechsel trocken	mittel	nFK gering KWBv negativ Obergrenze Staukörper < 4 dm
mäßig wechselfeucht	mittel	
wechselfeucht	stark	
staunass	sehr stark	

6.3 Gesamtwasserhaushalt grundwasser geprägter Standorte

Grundwasser ist unterirdisches Wasser, das Hohlräume zusammenhängend ausfüllt, der Schwerkraft unterworfen ist und sich durch Gefälle bzw. durch unterirdische Druckpotenziale bewegen kann. Im Gegensatz zum Stauwasser ist das Grundwasser normalerweise ganzjährig vorhanden. Es unterliegt jedoch jahreszeitlich typischen Schwankungen in der Tiefenlage des Vorhandenseins, sowie in Abhängigkeit vom jeweiligen Vorfluter oder von anthropogenen Einflüssen.

Grundwasser wird in Bodenkarten in Form von Grundwasserstufen dargestellt. Sie kennzeichnen den mittleren Schwankungsbereich der Grundwasseroberfläche unterhalb der Geländeoberfläche während des hydrologischen Sommerhalbjahres (Mai - Oktober). Zusätzlich zur nutzbaren Feldkapazität liefern durch Grundwasser beeinflusste Böden durch kapillar aufsteigendes Grundwasser weiteres pflanzenverfügbares Wasser nach. Die Zone des geschlossenen Kapillarraums ist in die Grundwasserstufe einbezogen.

Durch Grundwasser geprägte Standorte werden nach den Grundwasserstufen den Wasserhaushaltsklassen nass, feucht, grundfeucht und grundfrisch zugeordnet (Tab. 10). Haben Grundwasserabsenkungen oder -anstiege stattgefunden, so gelten immer die zum Zeitpunkt der Bodenkartierung aktuellen Stufen. Starke Grundwasserschwankungen finden für die Forstlichen Standortkarten keine spezielle Berücksichtigung. Im Datenbestand der Bodenkarten sind diese Informationen aber abrufbar. Für die Auswahl von Baumarten, zum Beispiel in Auengebieten, kann diese Zusatzinformation in späteren Arbeitsschritten relevant werden.

Tab. 10: Klassen des Gesamtwasserhaushalts (Wasserhaushaltsstufen) bei grundwassergeprägten Böden; Bewertung nach der Grundwasserstufe

Klasse des Gesamtwasserhaushalts	Grundwasserstufe	Grundwasserschwankungsbereiche
nass	GW1 GW1A, GW1B	0 – 4 dm 0 – 2 dm, 2 – 4 dm
feucht	GW2 GW2A	4 – 8 dm 6 – 10 dm
grundfeucht	GW3	8 – 13 dm
grundfrisch	GW4	13 – 20 dm abhängig von nFK & KWBv

Böden der Klassen "nass" und "feucht" werden vom Grundwasser dominiert. "Grundfeuchte" Standorte verfügen über den bodenartenabhängigen kapillaren Wasseraufstieg auch in Trockenperioden immer noch langfristig über einen Grundwasseranschluss im Unterboden. Auch sie sind somit noch grundwassergeprägt.

Eine Besonderheit ergibt sich für die Klasse "grundfrisch". Sie gelten allgemein als Grundwasserstandorte, obwohl der Wasserhaushalt vorwiegend vom oberen Profilteil bestimmt wird (Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 276). Bei der bisherigen Einstufung in den Auswertekarten des Geologischen Dienstes NRW galt als entscheidendes Merkmal für die Klasse "grundfrisch" das Vorhandensein von Grundwasser in 13 – 20 dm Tiefe. Damit fielen Böden in dieselbe Wasserhaushaltsklasse, unabhängig davon, ob sie im grundwasserfreien Hauptwurzelraum aus Löss, Flugsand oder überwiegend aus Steinen bestanden.

Solche Standorte werden jetzt nach dem Wasser- und Lufthaushalt im oberen Profilteil differenziert bewertet. Als "grundfrisch" gelten jetzt nur noch Standorte, für die sich nach der nutzbaren Feldkapazität des Bodens insgesamt eine Einstufung als "mäßig trocken" oder "mäßig frisch" ergibt. In diese Kategorie fallen bereits tiefgründige Sandböden ohne nennenswerten Grobbodenanteil (z. B. Flugsandstandorte). Bei diesen Böden ist von einer deutlichen Verbesserung des Wasserhaushalts durch das Grundwasser auszugehen. Böden mit tiefgründig sehr geringem Speichervermögen (z. B. bei Ausbildung extrem grobbodenreicher Deckschichten) werden als rein sickerwassergeprägte Standorte bewertet (Klassen "trocken" und "sehr trocken"). Es wird hier angenommen, dass das sehr tief anstehende Grundwasser von den Pflanzenwurzeln nur noch schwer erreicht werden kann. Bei frischen und sehr frischen Verhältnissen (z. B. bei Löss- Standorten) ist zu erwarten, dass die hohe bis sehr hohe Wasserspeicherfähigkeit die Standorteigenschaften bestimmt und sich der sehr tiefe Grundwassereinfluss nur noch leicht verbessernd auswirkt, weshalb auch hier die Einstufung als „grundfrisch“ entfällt.

7 Validierung der Ergebnisse

Voraussetzung für die schlüssige forstlich-standortkundliche Bewertung in NRW ist ein methodisch homogenes Gesamtgefüge; nur bei identischer Methodenanwendung sind die Auswertungsergebnisse zwischen BK5F und BK50 vergleichbar. Die Neukonzeption und Methodenentwicklung wurde deshalb zunächst an Beispielkarten der BK5F vorgenommen und validiert. Erst nach Abschluss dieser Arbeitsschritte wurde die Bewertungsmethode auf die BK50-Daten übertragen. Damit ist in jedem Fall gewährleistet, dass der Hauptanwendungsbereich der Methode, nämlich die konkrete waldbauliche Planung für den einzelnen Waldbestand auf Basis der BK5F, mit qualifizierten Entscheidungsgrundlagen versorgt wird.

Für die Aufstellung der Beziehung zwischen nutzbarer Feldkapazität, klimatischer Wasserbilanz in der Vegetationszeit und Wasserhaushaltsstufe wurden alle verfügbaren Forstlichen Standortkarten einschließlich der Erläuterungsberichte ausgewertet. Im Bergland wurden die Einstufungen der Digitalen Standortklassifikation (ASCHÉ 2016) vergleichend herangezogen. Zudem konnten forstliche Bodenkartierer des GD ihre standortkundlichen Kenntnisse und Erfahrungen einbringen. Danach wurden für einzelne BK5F-Kartierprojekte in unterschiedlichen Landesteilen auf Basis der Neuprogrammierungen Manuskriptkarten zum Gesamtwasserhaushalt erstellt.

Folgende BK5F-Kartierungen wurden als Testobjekte ausgewählt:

- Nationalpark Eifel
Berglandbereiche mit starkem Höhen- und Klimagradienten vom Hohen Venn bis zur Niederrheinischen Bucht
- Warstein / Olsberg
Berglandbereiche mit starkem Höhen- und Klimagradienten vom Haarstrang bis in die höchsten Bereiche des Sauerlandes
- Östlicher Teutoburger Wald mit Übergang zur Senne (Bereich Lage)
bodenkundlich sehr komplexes Gebiet hinsichtlich Wasser- und Nährstoffhaushalt; Rendzinen und Podsole eng vergesellschaftet
- Kleve, insbesondere Reichswald
Gebiet mit großem Bodenartenspektrum; insbesondere Feindifferenzierung sandiger Standorte
- Reken
enger Wechsel von sickerwasser-, stauwasser- und grundwassergeprägten Standorten; ausgeprägte Dünengebiete

Die Beurteilung durch erfahrene Standortkundler war dem GD außerordentlich wichtig, da erst auf diese Weise eine Feinjustierung der Methode möglich wurde. Standortkundlich versierte Mitarbeiter des Landesbetriebes Wald und Holz (LB WH) wurden um Prüfung der Testergebnisse gebeten:

- Herr Stemmer (RFA Münsterland): Teutoburger Wald / Senne (NWZ Hermannsberg), Sandstandorte im Münsterland
- Herr Dohmen, Herr Ganser (RFA Niederrhein): Kleve-Reichswald
- Herr Dr. Röös, Herr Dr. Spors (Nationalparkforstamt Eifel); Nationalpark Eifel

Mit Herrn Stemmer sowie den Herren Dohmen und Ganser fanden Befahrungen und Diskussionen im Gelände statt, die sehr wertvolle Hinweise zur Verbesserung der o. a. Beziehung gaben. Ein Besprechungstermin mit Herrn Dr. Rööös und Herrn Dr. Spors fand – nach deren Prüfung der Auswertungen – im Nationalparkforstamt statt.

Mit Herrn Dr. Gehrman, LANUV NRW, wurde die methodische Vorgehensweise ausführlich diskutiert. Freundlicherweise stellte Herr Dr. Gehrman dem GD die Einstufungen des Gesamtwasserhaushalts der forstlichen Standortkartierer für die etwa 500 BZE-Punkte zur Verfügung.

Die Abbildung 22 zeigt die Verteilung der Wasserhaushaltseinstufung der anhydromorphen Böden der BZE I in der Beziehung von nFK und KWBa nach Angaben der LÖBF.

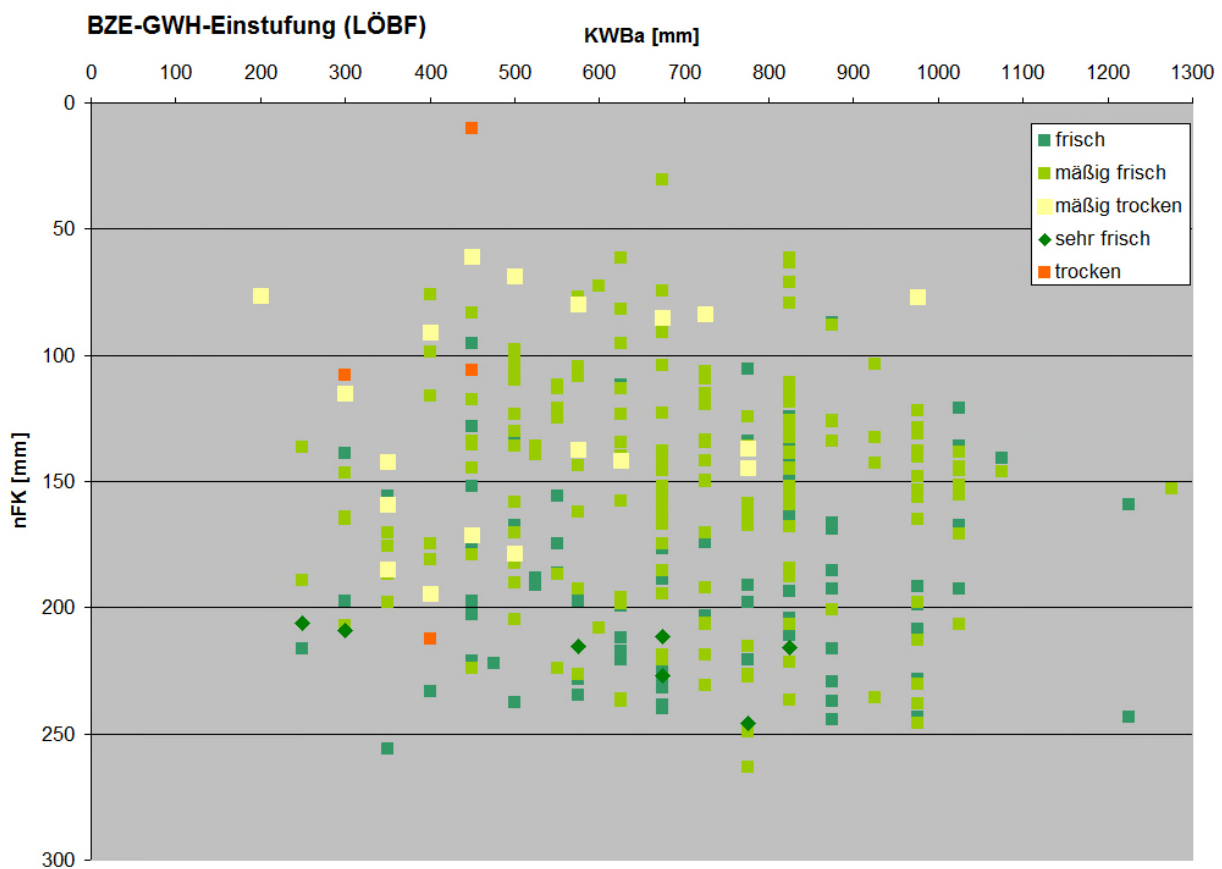


Abb. 22: Wasserhaushaltseinstufung der Standorte der BZE I mit sickerwassergeprägten Böden in der Gegenüberstellung von nutzbarer Feldkapazität und Klimatischer Wasserbilanz (Jahr) nach Angaben der LÖBF-Standortkundler

Die Abbildung 23 zeigt die Verteilung der Wasserhaushaltseinstufung der anhydromorphen Böden der BZE I in der Beziehung von nFK – berechnet nach der Methode des GD (2 m, tiefengewichtet) – und KWbv (1981-2010).

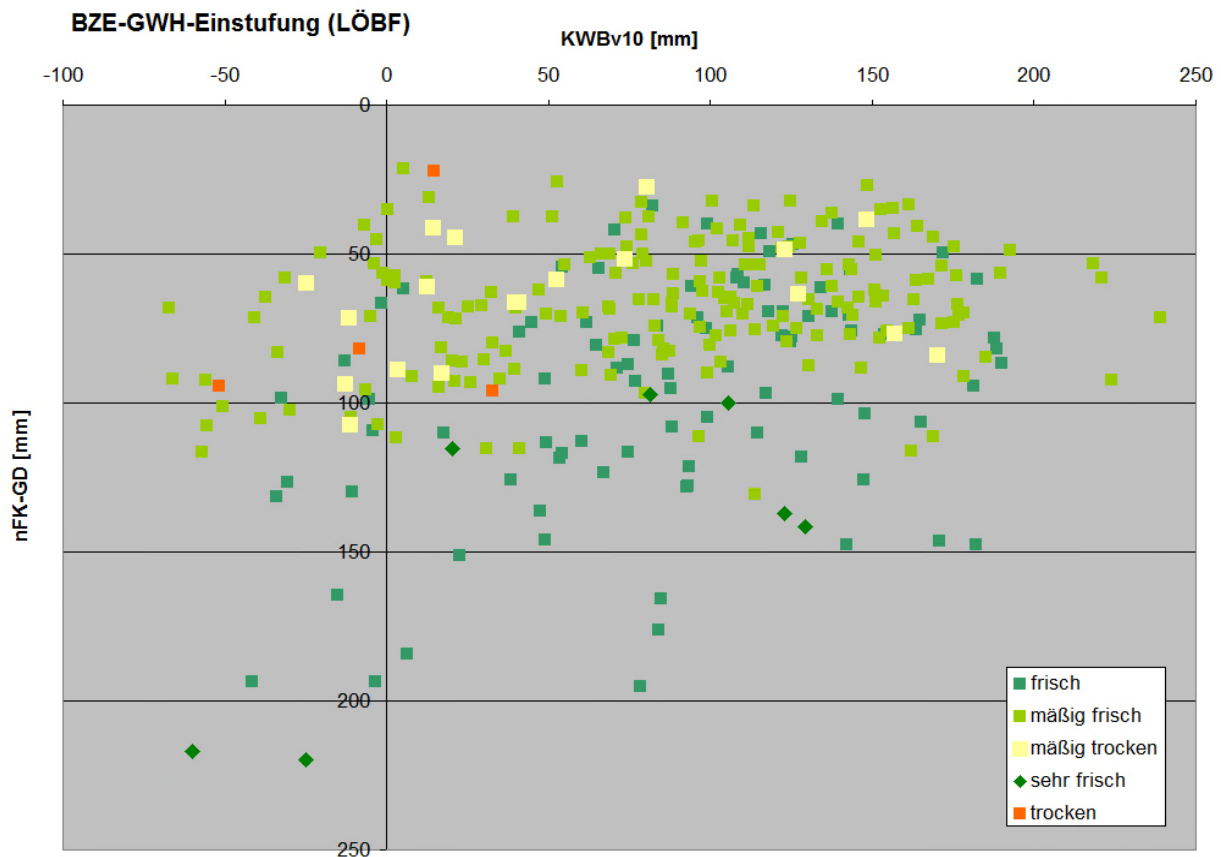


Abb. 23: Wasserhaushaltseinstufung der Standorte der BZE I mit anhydromorphen Böden in der Gegenüberstellung von nutzbarer Feldkapazität (2 m, gewichtet) und klimatischer Wasserbilanz (Vegetationszeit) nach Berechnung des GD

Beide Gegenüberstellungen zeigen eine unbefriedigende Beziehung der Wasserhaushaltseinstufung zu nFK und Klimadaten. Bei der Einstufung nach der Methode des GD zeigt sich eine Tendenz zur Trennung der frischen und sehr frischen Standorte bei Böden mit höherer nFK und der mäßig frischen und mäßig trockenen bei Böden mit geringerer nFK. Nicht berücksichtigt sind die Hanglage und die Exposition, die Berücksichtigung der Reliefeinflüsse könnte die dargestellte Beziehung möglicherweise leicht verbessern, aber nicht grundsätzlich verändern.

Die eigentliche Erklärung dürfte aber darin liegen, dass die Wasserhaushaltseinstufung von erfahrenen Standortkundlern vorgenommen wurde, die es mit sehr guter regionaler Kenntnis gewohnt waren in einem zweistufigen Verfahren zu arbeiten. Der Arbeitskreis Standortkartierung (2016, S. 317) schreibt zu dieser Problematik: *"Im zweistufigen Verfahren sind jedoch objektive, überregional gültige Ansprachen des Wasserhaushalts kaum möglich. Die Wasserhaushaltsangaben sind daher in erster Linie als ordinale Größen zu betrachten, die innerhalb begrenzter geografischer Einheiten (Wuchsbezirke, Kartiergebiete) die Rangfolge der Standorte und nicht absolute Größen kennzeichnen."*

Auf eine weitere Problematik der traditionellen Standortkartierung weisen GAUER & BEHRENS & STEINRÜCKEN (2016, S. 127) hin. Ihrer Beobachtung nach verwenden Standortkartierer die extremen Stufen "sehr trocken" und "sehr frisch" zurückhaltend. Dadurch wird die Bewertungsskala stark eingeschränkt, und in der Konsequenz liegen die Standorte überwiegend im Bereich zwischen mäßig trocken und frisch – genau wie es sich bei den BZE-Standorten beobachten lässt.

Insgesamt zeigt die GD-Methode zur Herleitung des Gesamtwasserhaushalts im Flachland Ergebnisse, die den Einschätzungen der forstlichen Standortkartierer sehr nahe kommen. Die Einstufung der staunässe- und grundwasserdominierten Standorte ist nachvollziehbar und vergleichbar, ebenso wie die vor allem bodenartenabhängige Differenzierung der sickerwassergeprägten Standorte. Ausdrücklich eingeschlossen sind hier auch die Sandstandorte des Flachlandes, deren Gesamtwasserhaushalt nach der bisher beim GD verwendeten Methode oft etwas zu günstig bewertet wurde.

Im Gebiet Warstein / Olsberg, stellvertretendes Beispiel für weite Bereiche des Sauer- und Siegerlandes, ergeben sich nach der GD-Methode Stufen des Gesamtwasserhaushalts, die nicht vollständig flächenidentisch sind, aber in einer vergleichbaren Größenordnung liegen wie die Einstufungen der Digitalen forstlichen Standortklassifikation des LB WH. Bis auf wenige Ausnahmen ergeben sich hier bei positiver klimatischen Wasserbilanz unter Einbeziehung der Kluftdurchwurzelung meist mäßig trockene (Kuppen, Oberhänge) bis sehr frische Standortverhältnisse (tiefgründige, lössgeprägte Unterhängen), wobei eine Abhängigkeit von der Geländehöhe / klimatischen Wasserbilanz erkennbar ist.

Insbesondere im östlichen Teutoburger Wald mit dem Übergang zur Senne erwiesen sich die Plausibilitätsprüfungen der Auswertekarten vor Ort, die auch anhand von Bodenprofilen und forstlichen Ertragsmessungen vorgenommen wurden, als ausgesprochen erfolgreich. Die sehr komplexen Standortverhältnisse ließen sich durch die GD-Methode mit einem sehr hohen Genauigkeitsgrad abbilden. Vor allem die Zuschläge auf die nFK für die durchwurzelbaren Klüfte führen auf den Kalkstein- und Kalkmergelstein-Standorten zu realistischeren Wasserhaushaltsstufen, die mit den Ertragsmessungen in Einklang zu bringen sind. Ebenso erwies sich die Verwendung von Angaben zum Tiefengradienten des Basengehaltes bei den sandüberdeckten Kalksteinböden als sehr zielführend.

8 Kartendarstellung

Die kartografische Darstellung der Forstlichen Standortkarte auf der Grundlage der Bodenkarte 1 : 50 000 zeigt folgende Elemente:

- den Gesamtwasserhaushalt in 14 Klassen (6 sickerwassergeprägte Klassen, 4 stauwassergeprägte Klassen, 4 grundwassergeprägte Klassen)
- den Nährstoffhaushalt in 6 Klassen

Da die Karte über Internetdienste der Allgemeinheit zugänglich gemacht werden soll, wurde versucht, die kartografische Darstellung möglichst einfach und leicht erfassbar zu halten. So wird der Gesamtwasserhaushalt mit Flächenfarben im 10 × 10 m-Raster dargestellt (Abb. 24). In einer weiteren, hinschaltbaren Ebene, sind die Polygongrenzen der Bodeneinheiten mit Signaturen für den Nährstoffgehalt (maximal zweistellige Ziffern-Buchstaben-Kombination) sichtbar.

Die vorgestellte Auswertung erstellt eine Forstliche Standortkarte als Übersichtskarte für das gesamte Gebiet von NRW. Dabei werden alle Flächen unabhängig von ihrer aktuellen Nutzung ausgewertet und dargestellt. Diese Vorgehensweise ermöglicht es einem Nutzer, regionale oder großräumige Zusammenhänge zu sehen und Überblicke zu gewinnen. Insbesondere erfolgt auf diese Weise keine Festlegung eines bestimmten Standes der Flächennutzung, sondern je nach Fragestellung können die erforderlichen Teilbereiche selektiert werden oder nicht relevante Bereiche ausgeblendet oder ausgeschnitten werden. Durch die komplette flächenhafte Darstellung kann leichter eine Beziehung zur zugrunde liegenden Bodenkarte BK50 hergestellt werden; die methodische Ableitung der Standortkarte aus der Bodenkarte wird leichter nachvollziehbar. Gerade in Regionen mit geringem Waldanteil und kleinen Waldstücken könnte eine Darstellung allein der Waldflächen den Eindruck einer Detailliertheit erwecken, die dem Maßstab der Ausgangsdaten nicht entspricht.

Trotz der zum Teil hohen Auflösung der verwendeten Eingangsdaten – insbesondere der Relieffdaten – bestimmen die fachliche und räumliche Auflösung der wesentlichen Basisdaten der Bodenkarte die Grenzen einer maßstabsgerechten Nutzung der Standortkarte. Daher halten wir eine Nutzung bis zu einem maximalen Maßstab 1 : 25 000 in Verbindung mit einer entsprechenden topografischen Grundlage für angemessen und vertretbar. Für Fragestellungen, die eine höhere fachliche und geometrische Auflösung benötigen ist stattdessen die Bodenkarte 1 : 5 000 mit ihrer standortkundlichen Auswertung zu nutzen. Die Forstliche Standortkarte auf der Grundlage der Bodenkarte 1 : 50 000 kann dort maßstabsbedingt normalerweise nur Vorinformationen liefern.

Die Forstliche Standortkarte auf Grundlage der Bodenkarte 1 : 5 000 wird voraussichtlich 2019 durch den GD an die hier vorgestellten methodischen Fortentwicklungen angepasst sein und zusätzlich eine vereinfachte Substratschichtung enthalten (Abb. 25). Für die standortkundliche Auswertung der BK50 wäre aufgrund der heterogenen Schichtungsangaben eine solche Substratschichtung zum einen nur wenig informativ. Zum anderen würde sie die Kartendarstellung deutlich überlasten. Im Bedarfsfall können die Angaben aber auch jederzeit in den Datenbestand integriert werden.

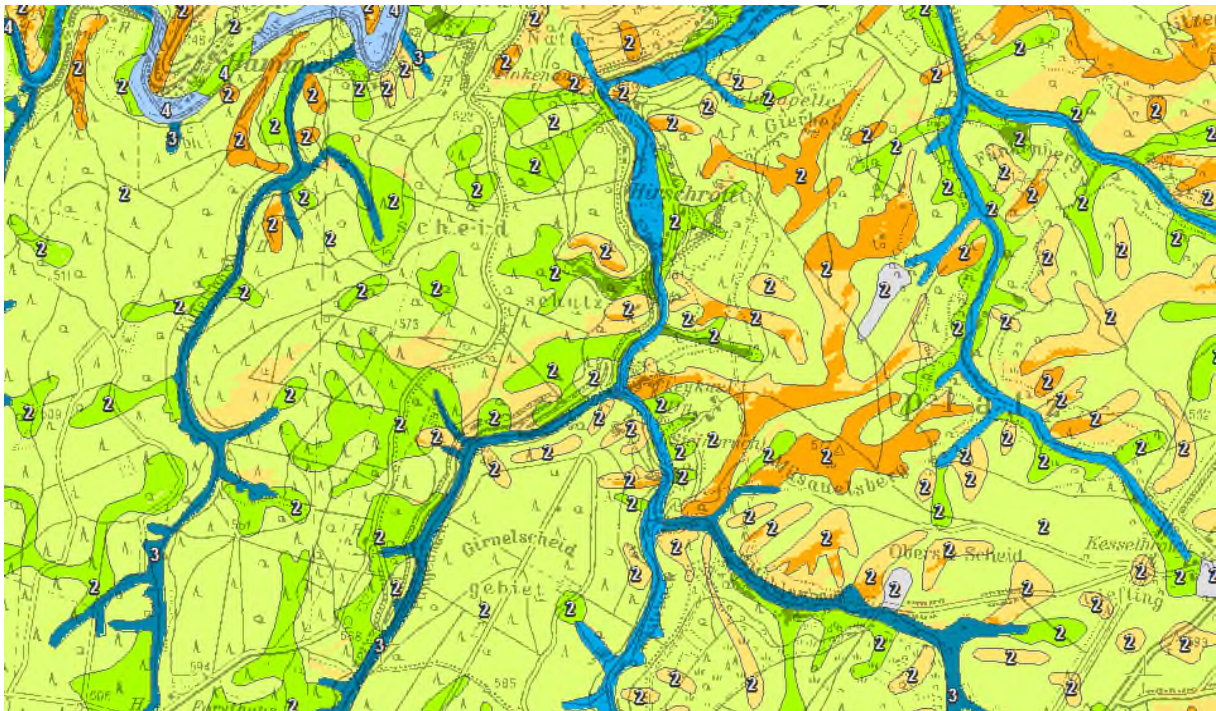


Abb. 24: Forstliche Standortkarte auf der Grundlage der Bodenkarte 1 : 50 000 in der WMS-Darstellung; Ausschnitt: Nationalpark Eifel, südwestlich des Rursees; Gesamtwasserhaushalt mit farbigem Raster, Nährstoffhaushalt mit Ziffern; die Grenzlinien gelten nur für den Nährstoffhaushalt

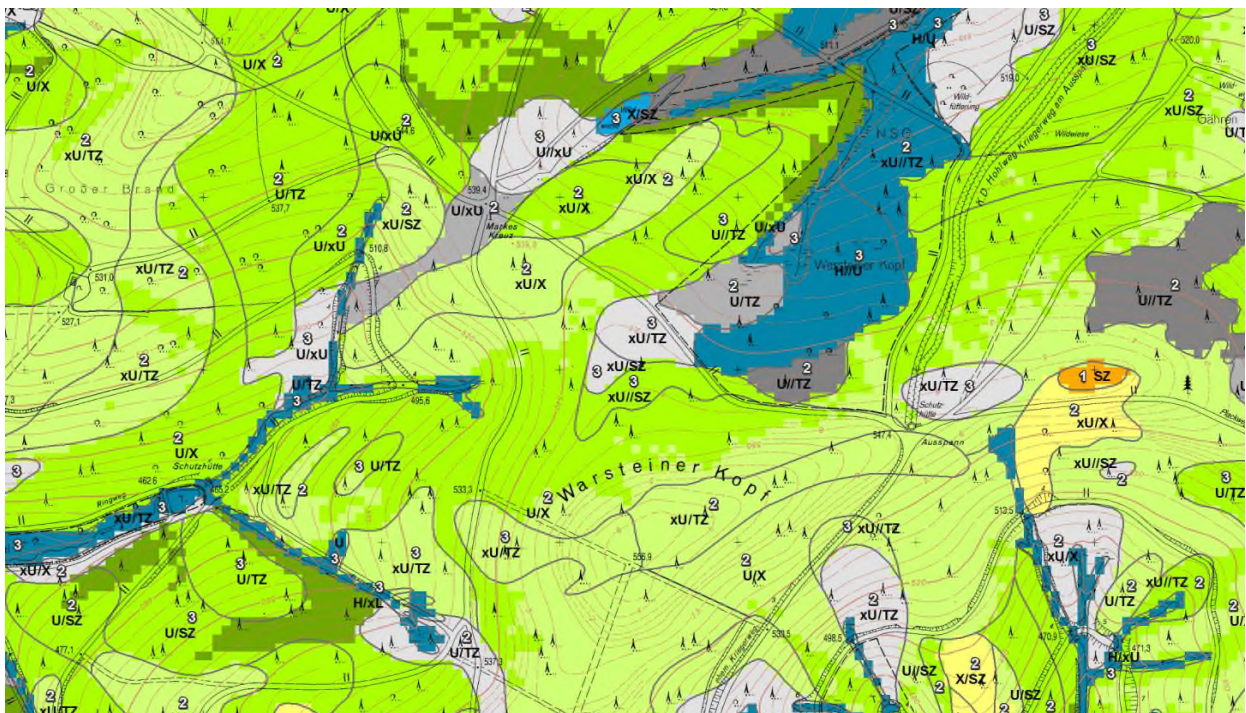


Abb. 25: Forstliche Standortkarte auf der Grundlage der Bodenkarte 1 : 5 000, Ausschnitt Raum Olberg; diese Karte zeigt zusätzlich eine vereinfachte Substratschichtung



Die Ausweisung einer Wärmehaushaltsstufe (Höhenstufe) war in dem Auftrag des MULNV NRW an den GD NRW nicht vorgesehen. Diese könnte aber nachträglich durch das LANUV NRW in Zusammenarbeit mit dem GD NRW als eigenständiger Layer eingefügt werden, sinnvollerweise abgeleitet aus der klimatischen Auswertung "Länge der Vegetationszeit".



9 Bereitstellung als Internetdienst

Die Forstliche Standortkarte auf Grundlage der BK50 wurde seit Juni 2018 von IT NRW als Test-WMS im NRW-Landes-Intranet bereitgestellt. Dieser wurde Anfang September 2018 von IT NRW umgestellt und ist als ein frei zugänglicher WMS im Internet verfügbar. Dieser WMS kann von Nutzern in eine Web-Anwendung wie TIM-Online, GEOviewer oder in ein lokales GIS eingebunden werden. Außerdem kann er in die Informationsportale der Landesforstverwaltung NRW integriert werden, wie es schon mit der BK5F geschehen ist.

Der WMS ist aus fachlichen Gründen auf einen maximalen Darstellungsmaßstab von 1 : 25 000 eingestellt, als minimaler Maßstab ist aus Gründen der Ladezeiten ein Maßstab von 1 : 300 000 vorgesehen.

Der Titel des WMS lautet: "IS FSK50 Forstliche Standortkarte 1 : 50.000 von NRW (Übersichtskarte), auf Grundlage der Bodenkarte 1 : 50.000".

Die Adresse des WMS lautet:

<https://www.wms.nrw.de/gd/fsk050?>

Zudem wurde ein Download als ATOM-Feed eingerichtet.

Die Bodenkundlichen Grundlagen der BK50 stehen ebenfalls als WMS mit dem Titel "IS BK50 Bodenkarte von NRW 1 : 50 000" oder zum Download zur Verfügung.

Die Adresse des WMS lautet:

<https://www.wms.nrw.de/gd/bk050?>

Kostenloser Download des Datensatzes über einen Datencontainer (ATOM-Feed):

<https://www.gis-rest.nrw.de/atomFeed/rest/atom/5c120c49-1486-4fc0-827c-da14624af4a4>

Die Bodenkarte 1 : 5 000 der Waldflächen in NRW (BK5F) mit allen Auswertungen steht als WMS mit dem Titel "IS BK5 Bodenkarte zur Forstlichen Standorterkundung von NRW 1 : 5 000" zur Verfügung. Der WMS beinhaltet derzeit noch die Auswertung "Standortkundliche Grundlagen der Baumartenwahl" auf Basis der BK5; diese wird 2019 durch die Forstliche Standortkarte 1 : 5 000 ersetzt.

Die Adresse des WMS lautet:

<https://www.wms.nrw.de/gd/bk05?>

Ein Download über einen Datencontainer ist aufgrund der Größe des Datenbestandes nicht möglich.

10 Ausblick: Weitere Auswertungen für die Forstplanung

Mit der Forstlichen Standortkarte auf der Grundlage der Bodenkarte 1 : 50 000 liegt für Nordrhein-Westfalen eine flächendeckende standortkundliche Bewertung in Form einer Übersichtskarte vor (Abb. 26), die – insbesondere in geologisch-bodenkundlich einheitlichen Gebieten - auch eine orientierende Vorinformation für die bestandesbezogene Waldbauplanung liefern kann. Die Übertragung der neu entwickelten Methode auf den digitalen Datenbestand der großmaßstäbigen Bodenkarte zur forstlichen Standorterkundung wird 2019 erfolgen.

Für die forstliche Praxis stellen die Forstlichen Standortkarten in erster Linie wichtige Entscheidungshilfen für die Baumartenwahl dar, natürlich auch unter Einbeziehung der durch den Klimawandel bedingten Standortveränderungen. Darüber hinaus ist ihre Einsatzmöglichkeit bei der konkreten operationalen Waldbewirtschaftung eingeschränkt. Hier ist es in der Regel sinnvoll, auf den klimatisch-bodenkundlich-standortkundlichen Gesamtdatenbestand zurückzugreifen und spezielle Anwendungen und Auswertungen zu nutzen oder maßgeschneidert neu zu entwickeln. Tabelle 11 zeigt als Übersicht, welche Auswertungen für den bodenkundlichen Datenbestand des GD bereits vorliegen. Die in der Liste grün dargestellten Themen sind aus forstlicher Sicht sicherlich von erheblichem Interesse, blau unterlegte könnten für forstliche Spezialfragen interessant sein (z. B. für forstliches Monitoring), die übrigen Auswertungen sind auf eine landwirtschaftliche Flächennutzung ausgerichtet.

Der GD ist gerne bereit, Auswertungen weiterzuentwickeln und neu zu konzipieren, wünschenswert wäre hier eine enge Zusammenarbeit mit der Landesforstverwaltung und dem LANUV. So besteht zum Beispiel konkret zu den Themen "Windwurfgefährdung" und "Befahrbarkeit" methodischer Überarbeitungs- bzw. Entwicklungsbedarf.

Bisher wird ein Teil der in Tabelle 11 aufgeführten Auswertemethoden ausschließlich auf die großmaßstäbigen Bodenkarten angewandt. Gemeinsam mit der Landesforstverwaltung sollte der GD klären, für welche Methoden eine Übertragung auf den BK50-Datenbestand sinnvoll und fachlich vertretbar ist.

Zum Thema "Standortveränderungen im Klimawandel" hat der GD bereits 2011 Auswertungen auf BK5-Basis für ein Projektgebiet im nördlichen Sauerland vorgelegt (DWORSCHAK & SCHULTE-KELLINGHAUS 2011). Die verwendeten Szenarien orientierten sich an den Prognosekarten von SPEKAT et al. (2006). Solche Klimawandel-Szenarien könnten auch für andere Bereiche des Landes oder auf der Grundlage der BK50 für das gesamte Land berechnet werden. Auch eine Verknüpfung der Standortansprüche der unterschiedlichen Baumarten mit den Forstlichen Standortkarten in Form von Baumarten-Eignungskarten oder die räumliche Zuordnung von Waldentwicklungstypen wäre möglich. Die entsprechenden Baumarten-Tabellen (z. B. ASCHE 2002; DOHMEN et al. 2003) lassen sich problemlos in das Informationssystem einbinden.

Tab. 11: Derzeit mögliche Auswertungen für die Bodenkarten des Geologischen Dienstes NRW; grün unterlegt: Themen von besonderem Interesse für forstliche Fragestellungen, blau unterlegt: für weitergehende forstliche Fragen gegebenenfalls interessant

Thema	Verfügbarkeit
Bodeneinheiten	BK5 & BK50
vereinfachter Bodentyp	BK5 & BK50
Bodenartengruppe des Oberbodens	BK5 & BK50
Stauwassereinfluss	BK5 & BK50
Grundwassereinfluss (aktuell)	BK5 & BK50
Grundwassereinfluss (ehemalig)	BK5
vereinfachte Substratschichtung	BK5F
Schutzwürdige Böden	BK5 & BK50
Durchwurzelbarkeit (Physiologische Gründigkeit)	BK5
Bodenschutzkalkung	BK5F
Windwurfgefährdung	BK5F
Befahrbarkeit (<i>in Entwicklung</i>)	BK5
Forstliche Standortkarte <i>möglich: Klimawandelszenarien, Baumartenwahl</i>	BK5F & BK50
Basengehalt Tiefentypen (<i>in Vorbereitung</i>)	BK5F
Pflanzenverfügbares Bodenwasser	BK5L & BK50
Optimaler Grundwasserflurabstand	BK5 & BK50
Erodierbarkeit des Oberbodens	BK5 & BK50
Erosions- und Verschlammungsgefährdung	BK5L & BK50
Effektive Durchwurzelungstiefe	BK5 & BK50
Nutzbare Feldkapazität (We)	BK5 & BK50
Nutzbare Feldkapazität (Forst)	BK5F & BK50
Feldkapazität	BK5 & BK50
Luftkapazität	BK5 & BK50
Kapillaraufstieg von Grundwasser	BK5 & BK50
Gesättigte Wasserleitfähigkeit	BK5 & BK50
Versickerungseignung	BK5 & BK50
Sickerwasserrate & Austauschhäufigkeit Sickerwasser	BK5L & BK50
Denitrifikationspotential	BK5 & BK50
Kationenaustauschkapazität	BK5 & BK50
Grabbarkeit	BK5 & BK50
Verdichtungsempfindlichkeit	BK5 & BK50
Friedhofseignung (Vorauswahl)	BK5L
mittlere Bodenart Ap-Horizont (KA5 & LUFA)	BK5L
Anwendungsbeschränkung Pflanzenschutzmittel (NG415, NG407)	BK5L

Entscheidend für die tatsächliche Nutzung der Forstlichen Standortkarten ist ihre Verfügbarkeit in digitalen Informationssystemen. Der Geologische Dienst arbeitet seit Langem mit großer Kraftanstrengung daran, die in analoger Form vorliegenden großmaßstäbigen Bodenkarten zu digitalisieren und in einem WMS verfügbar zu machen. Bis Sommer 2019 werden voraussichtlich – bis auf größere Gebiete im Hochsauerland – alle vorhandenen, TK25-bezogenen BK5F-Kartierungen des GD digitalisiert sein.

In Abstimmung mit der Landesforstverwaltung könnte der GD versuchen, mittelfristig auch die Informationen der Forstlichen Standortkarten der LÖBF, die meist ursprünglich im Maßstab 1 : 5 000 aufgenommen wurden, für die landesweit einheitliche standortkundliche Bewertung nutzbar zu machen. Dazu müssten die LÖBF-Daten zunächst unter Zuhilfenahme der BK50, der BK5L und alter, analoger BK5F-Kartierungen in Bodeninformationen "rückübersetzt" werden. Der GD bietet an, ein Konzept zur Vorgehensweise zu entwickeln und dieses an einer der LÖBF-Kartierungen prototypisch zu testen.

An einem Konzept für eine zusätzliche, allgemein verständliche Standortbewertung in Klartextform wird gearbeitet. Hier sollen die bodenkundlich und standortkundlich relevanten Elemente in Beziehung gesetzt und hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Waldbestände kombiniert betrachtet werden. Eingeschlossen sein soll dabei zum Beispiel auch eine grafische Darstellung der Tiefenausprägung der Nährstoffgehalte (Anwendung allerdings nur für die Einzelflächen der BK5F).

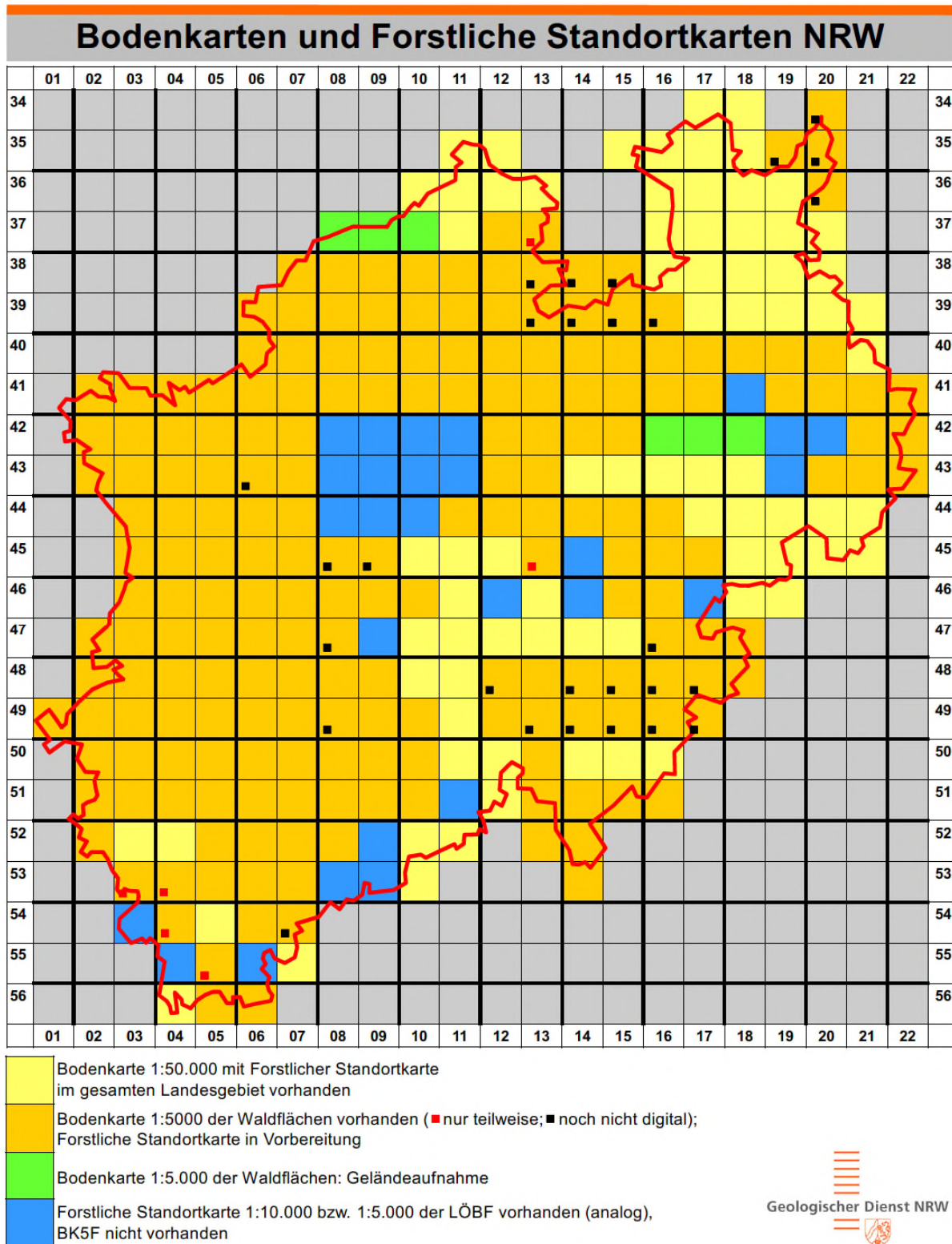


Abb. 26: Übersicht über die in Nordrhein-Westfalen vorhandenen Bodenkarten und Forstlichen Standortkarten unterschiedlicher Maßstäbe (Stand: September 2018)

11 Fazit

Die neue Forstliche Standortkarte auf der Grundlage der Bodenkarte 1 : 50 000 ist Teil eines bodenkundlich-standortkundlichen Gesamtpaketes für das Land Nordrhein-Westfalen, das umfassend für angewandte Fragestellungen der Waldbewirtschaftung und forstlichen Beratung, in der naturschutzfachlichen Praxis und für naturwissenschaftliche Spezialfragen Verwendung finden kann.

Die Vorteile der neu konzipierten Auswertemethode sind:

- Sowohl auf der Ebene 1 : 50 000 als auch im Maßstab 1 : 5 000 werden die Boden-, Klima- und Reliefdaten standortkundlich nach identischer Methode ausgewertet und die Ergebnisse gleichartig dargestellt, so dass eine unmittelbare Vergleichbarkeit beider Maßstabsebenen gewährleistet ist.
- Bei Vorliegen neuer Klimadaten bzw. Klimaprognosen oder aktualisierter bodenkundlicher Kennwerte lassen sich die standortkundlichen Informationen schnell in einheitlicher Form maßstabsübergreifend aktualisieren.
- Sobald nach BK50-Revisionskartierungen neue bodenkundliche Informationen vorliegen, wird die Forstliche Standortkarte angepasst und ein Update über die entsprechenden Informationsportale bereitgestellt.
- Für neu kartierte bzw. digital aufbereitete großmaßstäbige Bodenkarten steht die Forstliche Standortkarte als Standard-Auswertung unmittelbar bei Fertigstellung der Bodenkarte ebenfalls zur Verfügung.

Sowohl den Forstbediensteten des Landes als auch dem interessierten Laien bieten die mit modernen Methoden entwickelten Auswertungen eine schnell verfügbare, objektive und einheitliche Informationsbasis. Dies ist sicherlich ein enormer Gewinn für die Forstwirtschaft und den Wald in Nordrhein-Westfalen. Klar ist aber auch: Die Informationssysteme unterstützen durch ihren Umfang und Einheitlichkeit die forstlichen Spezialkenntnisse und die über viele Jahrzehnte gewonnenen lokalen Erfahrungen der Forstbediensteten vor Ort, sie können diese aber nicht ersetzen.

Abschließend bedanken sich die Autoren beim Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz, insbesondere bei Herrn Kaiser, Herrn Dr. Joosten und Herrn Dr. Mrosek, für die Beauftragung des Projektes und das Vertrauen in die Arbeit des Geologischen Dienstes. Darüber hinaus gilt der Dank auch Herrn Stemmer, Herrn Dr. Rööß, Herrn Dr. Spors, Herrn Dohmen und Herrn Ganser vom Landesbetrieb Wald und Holz sowie Frau Müller und Herrn Dr. Gehrmann vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, die dem GD umfangreiche Daten und ihr Know-how zur Verfügung gestellt haben. Für die schnelle und kompetente Überführung der neu entwickelten Forstlichen Standortkarte in einen WMS hat Herr Tworek (IT.NRW) gesorgt; auch ihm sei gedankt.

12 Verzeichnis der Schriften und Karten

Schriften

- ACHTERBERG, H. (1998): Standortkartierung für das Bundesforstamt Senne – Liegenschaft Senne. - Erläuterungen mit zahlr. Abb. u. Tab., 6 Ktn.; Werther/Westf. (Büro f. Forst- und Landschaftsplanung H. Achterberg). - [unveröff.]
- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl. - 438 S.; Hannover.
- Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung (2016): Forstliche Standortaufnahme - Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen, 7. Aufl. - 400 S.; Eching (IHW-Verlag).
- ASCHE, N. (2002): Standortgerechte Baumartenwahl für Nordrhein-Westfalens Wälder. – LÖBF-Mitteilungen 2/2002: 20-24: 5 Abb., 3 Tab.; Recklinghausen (Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten Nordrh.-Westf.).
- ASCHE, N. (2016): Die Verfahren der einzelnen Bundesländer: Nordrhein-Westfalen. – In: Arbeitskreis Standortkartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung (2016): Forstliche Standortaufnahme, 7. Aufl.: 326-329; Eching (IHW-Verlag). - [auch: [https://www.wald-und-holz.nrw.de/wald-in-nrw/standortklassifikation/\(5.7.2018\)](https://www.wald-und-holz.nrw.de/wald-in-nrw/standortklassifikation/(5.7.2018))]
- ASCHE, N.; SCHULZ, R. (2005): Forstliche Standorterkundung mit digitalen Werkzeugen. Ein neuer Weg in Nordrhein-Westfalen. - Wertermittlungsforum **23**: 129-132; Hannover.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2018): Waldböden in Deutschland – Ausgewählte Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung. – 43 S.; Berlin.
- DIN 4220: 2008-11: Bodenkundliche Standortbeurteilung – Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen). - Berlin (Beuth-Verlag).
- E DIN 4220-2017: Neuentwurf zur DIN 4220: Bodenkundliche Standortbeurteilung – Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (normative und nominale Skalierungen) - 75 S., 25 Abb., 50 Tab.; Berlin (Beuth-Verlag).
- DOHMEN, H.; DWORSCHAK, M.; MEYER, A.; MILBERT, G.; SCHULTE-KELLINGHAUS, S.; STEMMER, M.; THOMBANSEN, K. (2003): Forstfachliche Auswertungsmöglichkeiten der digitalen großmaßstäbigen Bodenkarte. – 13 S., 6 Karten; Krefeld (Geologischer Dienst Nordrh.-Westf.). - [Projekt im Auftrag des MKULNV NRW; unveröff.]
- DWORSCHAK, M.; SCHULTE-KELLINGHAUS, S. (2011): Veränderung forstlicher Standorteigenschaften bei Klimawandel. Auswertungen auf Basis großmaßstäbiger Bodenkarten des nördlichen Sauerlandes. – ArcGIS-Projekt m. Erl.; Krefeld (Geologischer Dienst Nordrh.-Westf.). – [Projekt im Auftrag des MKULNV NRW; unveröff.]
- EDER, W. (1980). Quantifizierung von bodenkundlichen Standortfaktoren als Grundlage für eine leistungsbezogene Standortkartierung insbesondere auf Buntsandsteinstandorten der Pfalz. – Mitt. a. Forsteinrichtung u. Waldbau **23**: 263 S.; Mainz (LFW Rheinland-Pfalz).
- EIDMANN, F. E. (1957): Grundsätze und Organisation der forstlichen Standortkartierung in den öffentlichen Wäldungen Nordrhein-Westfalens. – Allg. Forst- u. Jagd.-Ztg. **128**: 65-68. – Frankfurt/M. (Sauerländer's Verlag).
- FRICK, C., STEINER, H., MAZURKIEWICZ, A., RIEDINGER, U., RAUTHE, M., REICH, T., & A. GRATZKI (2014): Central European high-resolution gridded daily data sets (HYRAS): Mean temperature and relative humidity. –

Meteorol. Z., 23, 15-32, 14 Abb., 4 Tab.; Stuttgart (Borntraeger) – [doi 10.1127/0941-2948/2014/0560 – [<http://www.schweizerbart.de/content/papers/download/82855> (17.7.2018)]]

- GAUER, J. (2009): Böden als Waldstandorte. - in: BLUME, H.-P. et al. (Hrsg.): Handbuch der Bodenkunde, 32. Erg. Lfg. 06/09. - Weinheim (Wiley).
- GAUER, J.; BEHRENS, T.; STEINRÜCKEN, U. (2016): Digitale Standortkartierung – eine effektive Methode zur Erstellung von Standortskarten. - Forstarchiv **88** (4): 121–131; München.
- GAUER, J.; FEGER, K.-H.; SCHWÄRZEL, K. (2011): Erfassung und Bewertung des Wasserhaushalts von Waldstandorten in der forstlichen Standortkartierung: Gegenwärtiger Stand und künftige Anforderungen. – Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz, Heft **12**: 7–16; Göttingen.
- GEOLOGISCHER DIENST NORDRHEIN-WESTFALEN (2008): Anleitung zur Erfassung bodenkundlicher Daten (Datenschlüssel Bodenkunde 2008). - 250 S.; Krefeld (Geol. Dienst Nordrh.-Westf.). - [unveröff.]
- GEOLOGISCHER DIENST NORDRHEIN-WESTFALEN (2011): Richtlinien für die großmaßstäbige Bodenkartierung (Kartier Richtlinien 2011). - 142 S.; Krefeld (Geol. Dienst Nordrh.-Westf.). - [unveröff.]
- GERKE, H. (1987): Untersuchungen zum Wasserhaushalt eines Kalkbuchenwald-Ökosystems und zur Wasserbewegung in flachgründigen Böden und im durchwurzelten Kalkgestein als Grundlage zur Modellentwicklung. - Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme / Waldsterben Universität Göttingen **A 27**; Göttingen.
- HELLER, K. (2012): Einfluss periglazialer Deckschichten auf die oberflächennahen Fließwege am Hang - eine Prozessstudie im Osterzgebirge, Sachsen. – Diss. TU Dresden; 221 S.; Dresden.
- KÄMMERLING, T.; BÖSKEN, N. (1996): Forstliche Standortkartierung im Kartierungsgebiet der TK25 4106 Rhede. Erläuterungen. – 77 S.; ohne Ortsangabe (Forst- und Landschaftsplanungsbüro Klein und Kämmerling GbR).
- KÖLLING, C. (2010): Macht sauer wirklich lustig? Drei Viertel der Waldböden Bayerns sind kaum versauert, aber das restliche Viertel lässt Probleme erwarten. - LWF aktuell **78**: 21-24; Freising.
- KÖTHE, R. (2017): Aufbereitung des DGM10 von Nordrhein-Westfalen und Ableitung morphometrischer Reliefparameter - Kurzdokumentation. – 14 S.; Göttingen (Ing.-Büro Scilands). – [unveröff.]
- KÖTHE, R.; BOCK, M. (2006): Development and Use in Practice of SAGA Modules for high quality Analysis of Geodata. – Gött. Geogr. Abh. **115**: 85-96; Göttingen.
- Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen (1984): Arbeitsanweisung zur Durchführung der forstlichen Standortkartierung im Lande NW. – Recklinghausen (LÖLF Nordrh.-Westf.). – [unveröff. Arbeitspapier]
- LANUV NRW (2018): <http://www.klimaatlas.nrw.de/Beobachtungsdaten-Artikel> (abgerufen am 17.7.2018)
- Landesforstgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (Landesforstgesetz - LFoG), in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. April 1980 (GV. NW. S. 546); zuletzt geändert durch Artikel 18 des Gesetzes vom 15. November 2016 (GV. NRW. S. 934).
- LEVEL II AD-HOC AG "Wasserhaushalt" der Bund-Länder-Arbeitsgruppe Forstliches Umweltmonitoring (2003): Wasserhaushalt von Waldökosystemen: Methodenleitfaden zur Bestimmung der Wasserhaushaltskomponenten auf Level II-Flächen. – Hrsg.: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft; 93 S; Göttingen. – [<http://www.gbv.de/dms/goettingen/359594360.pdf>]
- MÜCKENHAUSEN, E. (1957): Grundsatzfragen der Bodenkartierung, insbesondere für die forstliche Standorterkundung in Nordrhein-Westfalen. – Allg. Forst- u. Jagd.-Ztg. **128**: 69-78. – Frankfurt/M. (Sauerländer's Verlag).
- MÜLLER, N. (2017): Mitteilung per E-Mail zur Bereitstellung der Daten durch das LANUV.



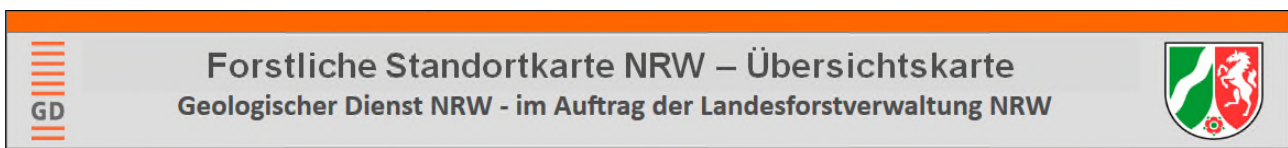
- NORDMANN B.; GÖTTLEIN, A.; BINDER, F. (2009): Einfluss unterschiedlicher Waldbestockung auf die Abflussbildung – ein Beispiel aus einem Wassereinzugsgebiet im Frankenwald. - Hydrologie u. Wasserbewirtschaftung **53**: 80-95.; Koblenz.
- SCHMIDT, W.; STÜBER, V.; ULLRICH, T.; PAAR, U.; EVERS, J.; DAMMANN, K.; HÖVELMANN, T.; SCHMIDT, M. (2015): Synopse der Hauptmerkmale der forstlichen Standortkartierungsverfahren der Nordwestdeutschen Bundesländer. – Beitr. Nordwestdeutsche Forstl. Versuchsanstalt **12**; Göttingen (Universitätsverlag).
- SCHREY, H. P. (2014): Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1 : 50 000 - BK50. – 123 S.; Krefeld (Geol. Dienst Nordrh.-Westf.).
- SHRIVASTAVA, M. B. & ULRICH, B. (1977): Schätzung quantitativer Bodenparameter bei der forstlichen Standortkartierung am Beispiel des hessischen Berglandes. – Forstwiss. Centralblatt **96**: 186-200; Hamburg.
- SPEKAT, A.; GERSTENGARBE, F.-W.; KREIENKAMP, F.; WERNER, P. C. (2006): Fortschreibung der Klimaszenarien für Nordrhein-Westfalen. – Potsdam (Bruecke-Potsdam GbR). – [Bericht im Auftrag der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten Nordrh.-Westf.]

Karten

- Bodenkarte zur Standorterkundung, Erfassungsmaßstab 1 : 5 000, m. Erl. – Krefeld [Geol. Dienst Nordrh.-Westf.). – [Auszug aus dem digitalen Fachinformationssystem Bodenkunde]
 Verfahren Nationalpark Eifel (Forst) (2009)
 Verfahren Oeding / Rhede (Forst) (2005)
 Verfahren Olsberg (Forst) (2002)
 Verfahren Östlicher Teutoburger Wald (Forst) (2011)
 Verfahren Reken (Forst) (2005)
 Verfahren Warstein (Forst) (2007)
- Digitale Forstliche Standortklassifikation. Standorttypen. – ForstGIS online. Kartendienst des Landesbetriebes Wald und Holz, Münster [http://forstgis.wald-und-holz.nrw.de/mapbender/frames/index.php?PHPSESSID=mfsuudrq922gced7nuc765m41&gui_id=ForstGISonline%20extern]
- Forstliche Standortkarte von Nordrhein-Westfalen 1 : 5 000; erstellt im Auftrag der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten Nordrh.-Westf.
 Kartierung TK25 Blatt 4106 Rhede (1996); ohne Ortsangabe (Forst- und Landschaftsplanungsbüro Klein und Kämmerling GbR). – [unveröff. Manuskript]
 Kartierung TK25 Blatt 4108 Reken (1996); Arnsberg (Wald und Umweltplanung Leonhardt). – [unveröff. Manuskript]
- Klimaatlas Nordrhein-Westfalen online. – Hrsg.: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz. – Recklinghausen. – [<http://www.klimaatlas.nrw.de/karte-klimaatlas>]
- Standortstypenkarte Senne 1 : 10 000 (1998). – Hrsg.: Referat für Standortkartierung der Forstinspektion Nord bei der Oberfinanzdirektion Magdeburg, Außenstelle Hannover. – 6 Kartenblätter; Werther / Westf. (Büro f. Forst- und Landschaftsplanung H. Achterberg).



Legende zur Forstlichen Standortkarte auf Grundlage der Bodenkarte 1 : 50 000



Die Forstliche Standortkarte NRW (Übersichtskarte) stellt auf Grundlage der Bodenkarte 1 : 50 000 von NRW (BK50) als wesentliche forstliche Standortmerkmale den **Wasserhaushalt** und die natürliche **Nährstoffversorgung** der Böden dar. Die Bewertung bezieht sich auf 2 m Bodentiefe, wobei der Hauptwurzelausraum stärker gewichtet wird.

Die BK50 ist maßstabsbedingt räumlich und fachlich generalisiert, ihre Auswertungen und Ableitungen sind deshalb für konkrete flächenbezogene Planungen allenfalls als erste Orientierung zu verwenden!

Die Stufen des Wasserhaushalts werden unter Berücksichtigung des Bodenwasserhaushalts (Speichervermögen, Grundwasser, Stauwasser), des Reliefs (Sonnen- und Schatthänge, Hangwasserzuzug) und des Klimas (Niederschlag, Verdunstung, klimatische Wasserbilanz) ermittelt.

Tabelle 1: Klassen des Wasserhaushalts

Ausprägung	Wasserhaushaltsklasse	Farbe *
vorwiegend durch Sickerwasser geprägte Standorte	sehr trocken	255 127 127
	trocken	255 170 0
	mäßig trocken	255 230 115
	mäßig frisch	224 255 115
	frisch	170 255 0
	sehr frisch	112 168 0
vorwiegend durch Stauwasser geprägte Standorte	wechselfrisch	255 190 232
	mäßig wechselfeucht	225 225 225
	wechselfeucht	178 178 178
	staunass	130 130 130
vorwiegend durch Grundwasser geprägte Standorte	grundfrisch	0 255 197
	grundfeucht	166 209 255
	feucht	0 169 230
	nass	0 132 168

* Für die Farben werden zur Nachvollziehbarkeit auch die RGB-Farbwerte angegeben.

Als Indikator für die Nährstoffversorgung von Waldböden gilt allgemein die Basensättigung, das ist der durchschnittliche prozentuale Anteil von Kalzium, Magnesium, Kalium und Natrium an der Kationen- Austauschkapazität des Bodens.

Tabelle 2: Bewertung der Nährstoffversorgung

Zeichen in der Standortkarte	Bewertung
1	sehr nährstoffarm
2	nährstoffarm
3	mäßig nährstoffhaltig
4	nährstoffreich
5	sehr nährstoffreich
6	sehr nährstoffreich, kalkdominiert
...a	nährstoffreicher oder sehr nährstoffreicher oberer Profilteil und nährstoffarmer oder sehr nährstoffarmer unterer Profilteil
...z	nährstoffarmer oder sehr nährstoffarmer oberer Profilteil und nährstoffreicher oder sehr nährstoffreicher unterer Profilteil

Weitergehende bodenkundliche Informationen der hier zugrundeliegenden BK50 sind dem **WMS zur Bodenkarte von NRW 1 : 50 000** zu entnehmen unter der

URL: <https://www.wms.nrw.de/gd/bk050?>

Für konkrete Planungen stehen Bodenkarte und Forstliche Standortkarte im Maßstab 1 : 5 000 als **WMS zur Bodenkarte von NRW 1 : 5 000** zur Verfügung unter der

URL: <https://www.wms.nrw.de/gd/bk05?>

Eine Übersicht über die Bereiche des Landes, in denen die großmaßstäbige Bodenkarten zur Verfügung stehen, gibt der **WMS Übersicht zur Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1 : 5 000** unter der

URL: https://www.wms.nrw.de/gd/bk05_uebersichtskarte?