

Dürre-Empfindlichkeit landwirtschaftlicher Standorte

- Projektbericht -

Anlagen:	-	Bearbeitung:	Dr. C. Schilli Dr. H.-P. Schrey Dr. S. Schulte-Kellinghaus
Zitierhinweis	-	Datum:	24.11.2021
	SCHILLI, C.; SCHREY, H.-P., SCHULTE-KELLINGHAUS, S. (2021): Dürre-Empfindlichkeit landwirtschaftlicher Standorte, Projektbericht. – 43 S.; Krefeld (Geol. Dienst Nordrh.-Westf.)		

Dürre-Empfindlichkeit landwirtschaftlicher Standorte

Inhaltsverzeichnis	I
Verzeichnis der Abbildungen	II
Verzeichnis der Tabellen	III
Einleitung	1
1 Begrifflichkeiten	1
1.1 Standort	1
1.2 Trockenheit und Dürre	2
1.3 Dürre-Empfindlichkeit	3
2 Datenbasis	3
2.1 Bodenkarten	3
2.2 Klimadaten	4
2.2.1 Vegetationsperiode	4
2.2.2 Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode	8
2.3 Relief	10
2.3.1 Direkter topographischer Strahlungsgenuss	11
2.3.2 Bodenfeuchteindex	12
2.4 Flächennutzung	13
3 Methode	14
3.1 Bodenwasserhaushalt landwirtschaftlicher Böden	14
3.2 Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung	21
3.2.1 Ersteinstufung	21
3.2.2 Relief	23
3.2.2.1 Reliefabhängige Verdunstung	23
3.2.2.2 Hangwasserzuzug	25
3.2.3 Endeinestufung	30
3.2.4 Nutzung der Karten „Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung“	34
3.3 Dürre-Empfindlichkeit für die landwirtschaftliche Nutzung	36
4 Zusammenfassung	38
5 Literatur	38

Verzeichnis der Abbildungen:

- Abb. 1:** Dauer der Vegetationsperiode (Veg5), berechnet als Zahl der Tage $> 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ in der Periode 1981-2010
- Abb. 2:** Deskriptive Statistik zur Verteilung der Dauer der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode
- Abb. 3:** Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (KWBv5), berechnet auf Basis der Klimadaten der Periode 1981-2010
- Abb. 4:** Deskriptive Statistik zur Klimatische Wasserbilanz in der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode (KWBv5), berechnet auf Basis der Klimadaten der Periode 1981-2010
- Abb. 5:** Zuweisung der Daten der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode zu den Polygonen der BK50
- Abb. 6:** Zuweisung der Daten der Klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode zu den Polygonen der BK50
- Abb. 7:** Digitales Geländemodell DGM10 von Nordrhein-Westfalen (Geobasis NRW), dargestellt als Höhenstufenkarte (m NN); Grundlage für die Auswertung des DGM10 durch die Scilands GmbH
- Abb. 8:** Direkter topographischer Strahlungsgenuss, Summe [kWh/m²] für die Monate Mai – September, klassifiziert für die Darstellung; Auswertung des DGM10 durch die Scilands GmbH
- Abb. 9:** Bodenfeuchteindex (BFI), Auswertung des DGM10 durch Scilands.
- Abb. 10:** Einfluss des Grundwassers auf die Wasserversorgung von Kulturpflanzen in Anhängigkeit von GWO (Tiefe der Grundwasseroberfläche), T3 (Tiefe, in der die kapillare Aufstiegsrate unter 3 mm/d fällt), We (nutzungs- und bodenartenspezifische effektiven Durchwurzelungstiefe).
- Abb. 11:** Einstufung der Wasserversorgung von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen: Ackernutzung
- Abb. 12:** Einstufung der Wasserversorgung von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen: Ackernutzung: Grünlandnutzung
- Abb. 13:** Ableitung der Indexwerte des Standortwasserhaushaltes aus der Beziehung zwischen Wasserversorgung des Bodens (mm nFK) und Klimatischer Wasserbilanz (KWBv5). Der blaue Rahmen stellt die Spannweite der KWBv5 für NRW dar.
- Abb. 14:** Einstrahlungssumme in Nordrhein-Westfalen für die Monate Mai - September, normiert und für die Darstellung klassifiziert (Werte ebener Lage auf 0 gesetzt sowie zwischen -0,001 und +0,001 aus der Darstellung ausgeschlossen); Beispiel: Raum Ennepetal
- Abb. 15:** Deskriptive Statistik zur landesweiten Verteilung der Zu- und Abschläge aufgrund unterschiedlicher Sonneneinstrahlung. Zur Verdeutlichung der Verteilung sind Werte zwischen -0,001 und +0,001 aus der Berechnung ausgeschlossen.
- Abb. 16:** Bodenfeuchteindex (BFI) als Detailausschnitt: Rheintal bei Ratingen bis Ruhr südlich Mülheim, geringe Werte gelb und rot, hohe Werte grün und blau; Auswertung des DGM10 durch Scilands

- Abb. 17:** normierte Werte der KWBv5 als Gewichtungsfaktoren des BFI zur Berechnung der Korrektur des Standortwasserhaushalts-Indexwertes
- Abb. 18:** normierte Werte des BFI zur Berechnung der Korrektur des Standortwasserhaushalts-Indexwertes (ähnlicher Ausschnitt wie Abb. 16)
- Abb. 19:** Bodenfeuchteindex normiert und gewichtet mit der klimatischen Wasserbilanz (KWBv5)
- Abb. 20:** Standortwasserhaushalt Ersteinstufung Acker
- Abb. 21:** Standortwasserhaushalt Einstufung Acker mit Reliefkorrektur
- Abb. 22:** Standortwasserhaushalt Einstufung Acker, ATKIS Landwirtschaft
- Abb. 23:** Standortwasserhaushalt Ersteinstufung Grünland
- Abb. 24:** Standortwasserhaushalt Einstufung Grünland mit Reliefkorrektur
- Abb. 25:** Standortwasserhaushalt Einstufung Grünland, ATKIS Landwirtschaft
- Abb. 26:** Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung: Einstufung Acker, mit Signaturen zu Grund- und Stauwassereinfluss
- Abb. 27:** Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung: Einstufung Grünland, mit Signaturen zu Grund- und Stauwassereinfluss
- Abb. 28:** Dürre-Empfindlichkeit Landwirtschaft, Ackernutzung
- Abb. 29:** Dürre-Empfindlichkeit Landwirtschaft, Grünlandnutzung

Verzeichnis der Tabellen:

- Tabelle 1:** Parameter der Modellierung der Standorteigenschaften, die für NRW zur Verfügung stehen
- Tabelle 2:** Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen unter Acker und Grünland mit Hinweisen auf den Grundwassereinfluss
- Tabelle 3:** Beispielrechnung zur Wasserversorgung unter Acker und unter Grünland für die Einheit L3510_G-P851GW3 der BK50
- Tabelle 4** Einfluss des Grundwassers auf die Wasserversorgung von Kulturpflanzen in Anhängigkeit von
 GWO der Tiefe der Grundwasseroberfläche
 T3 der Tiefe, in der die kapillare Aufstiegsrate unter 3 mm/d fällt,
 We der nutzungs- und bodenartenspezifischen effektiven Durchwurzelungstiefe.
- Tabelle 5:** Definition der Klasse der Wasserversorgung bei KWBv = 0, für die Berechnung des Standortwasserhaushalts
- Tabelle 6:** Definition der Stufen der Dürre-Empfindlichkeit auf Basis der Indexwerte des Standortwasserhaushalts für die landwirtschaftliche Nutzung. Zum Vergleich die Wasserversorgung von Böden bei KWBv = 0 und ohne Reliefeinfluss

Einleitung

Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) beauftragte 2020 den Geologischen Dienst NRW (GD), eine Karte der Dürre-Empfindlichkeit landwirtschaftlich genutzter Standorte zu entwickeln. Diese soll die Karte der Dürre-Empfindlichkeit der Waldstandorte ergänzen, die aus der Forstlichen Standortkarte FSK50 abgeleitet wurde.

Dazu wurde eine Methode entwickelt, die auf Basis der Bodenkarte von NRW 1 : 50.000 (BK50) eine landesweit einheitliche und vergleichbare Kartendarstellung des Bodenwasserhaushaltes und des Standortwasserhaushaltes landwirtschaftlich genutzter Flächen ermöglicht.

Die Ergebnisse der Karte für den „Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung“ wurde bis Ende 2020 mit der Landwirtschaftskammer abgestimmt.

Die auf Basis der Karte für den „Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung“ aufbauende Karte der „Dürre-Empfindlichkeit landwirtschaftlich genutzter Standorte“ wird mit Inhalt und Berechnungsmethode hier ebenfalls erläutert.

Die entwickelte Karte der „Dürre-Empfindlichkeit landwirtschaftlich genutzter Standorte“ ist eine landesweite Übersichtskarte und ist aufgrund des Maßstabes 1 : 50.000 der zentralen Grundlage der BK50 **nicht** für konkrete Aussage zu Einzelflächen zu verwenden.

1 Begrifflichkeiten

Die Begriffe Dürre, Trockenheit und verwandte Begriffe, ebenso Begriffe wie Gefahr, Risiko, Gefährdung, Empfindlichkeit werden in vielen Texten, Berichten, Diskussionen in Verbindung mit Umwelt-Problemen oder Fragen des Klimawandels vielfältig verwendet. Häufig werden verschiedene Begriff ohne ausreichende Definition oder auch synonym verwendet.

Daher ist es von großer Wichtigkeit, zunächst durch klare Definition der hier verwendeten Begrifflichkeit festzulegen, worum es in diesem Bericht und in den zugehörigen Karten geht und wozu keine Aussagen gemacht werden.

1.1 Standort

Ein Standort im geographischen Sinn ist eine Position auf der Erdoberfläche (1). Bei einer ökologischen Betrachtung ist der Standort die zusammenfassende Bezeichnung für alle Umweltbedingungen, die an einem Ort auf einen Organismus einwirken. Der Begriff wird vor allem in der Pflanzenbauwissenschaft und Vegetationsökologie verwendet (2). Als Summe der einwirkenden Umweltbedingungen ist deshalb der Standort nicht mehr an den geographischen Punkt gebunden, sondern alle Punkte im Beobachtungsraum, die gleichartige Umweltfaktoren besitzen, gehören zum gleichen Standort (im Sinne des Wirkungszusammenhanges).

In diesem Text und den Karten wird der Begriff Standort im ökologischen Sinne verwendet. Der Standort umfasst hier die Summe der abiotischen Eigenschaften des Bodens, des Bodenwasserhaushalts, des Reliefs und des Klimas, die für das Pflanzenwachstum relevant sind.

Beschreibungen eines Standortes und seiner Eigenschaften beziehen sich auf das ökologische Potential und nicht auf momentane und variable Eigenschaften. Als wesentliche Faktoren gehen deshalb z. B. das Wasserspeichervermögen des Bodens ein und nicht ein aktueller Wassergehalt ebenso wie Klimadaten als längerfristige Mittelwerte und nicht aktuelle Wetter- oder Witterungsdaten.

1.2 Trockenheit und Dürre

Der Begriff der Trockenheit kann auf einen konkreten Ort bezogen die aktuellen Wasserverhältnisse bezeichnen; dies kann sich auf die Witterung oder den Boden beziehen.

Die „Trockenheit“ eines Standortes ist eine seiner Eigenschaften, die sich aus der Kombination der Standortfaktoren ergeben und damit einen Teil des ökologischen Potentials des Standortes darstellen. Als wesentliche Grundlage für das Pflanzenwachstum werden die Standorte hier in Klassen der Wasserversorgung eingeteilt.

In der Forstlichen Standortkarte gibt es gängige bzw. definierte Begriffe wie „trocken“ oder „mäßig trocken“ (Arbeitskreis Standortkartierung 2016). Derartige Konventionen gibt es in der Landwirtschaft nicht. Daher werden hier Klassen der Wasserversorgung mit vergleichbaren Inhalten und Abstufungen verwendet.

Beim Begriff der Dürre werden im Allgemeinen drei Typen von Bedingungen als Dürre bezeichnet (3, 7):

Meteorologische Dürre (klimatologische Trockenheit): sie entsteht, wenn über einen längeren Zeitraum ungewöhnlich wenig Niederschlag fällt.

Hydrologische Dürre ist zu verzeichnen, wenn Wasserstände der Gewässer unter einen Normalwert fallen und Wasserreserven in Seen, Wasserreservoiren oder Wasserspeichern unter den statistischen Durchschnitt fallen. Die *Hydrologische Dürre* ist die langfristige Folge der *Meteorologische Dürre*.

Bodentrokenheit und in deren Folge die *Landwirtschaftliche Dürre* ist gegeben, wenn im durchwurzelten Raum des Boden Wassermangel herrscht und es zu wenig Wasser für eine durchschnittliche landwirtschaftliche Produktion von Nutzpflanzen gibt. Das kann an langandauernd zu geringen Niederschlägen liegen, aber auch ein natürliches Merkmal eines Bodens oder einer Region sein.

Im Zuge dieses Berichtes und der Karten wird der Begriff der Dürre ausschließlich als *Meteorologische Dürre* verstanden, also als Mangel an Niederschlägen.

1.3 Dürre-Empfindlichkeit

Die Begriffe Gefahr, Risiko und Wagnis sind fachsprachlich exakt definiert. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird dies häufig nicht beachtet, wodurch die Begriffe oft synonym verwendet werden (4).

Eine *Gefahr* besteht, wenn eine Sachlage intrinsisch eine schädliche Wirkung haben kann.

Der zweite zu betrachtende Faktor ist die *Exposition*, also wie sehr ein betrachtetes Objekt der Gefahr ausgesetzt ist, bzw. wie hoch die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des gefährdenden Ereignisses ist.

Ein *Risiko* besteht nur dann, wenn eine Gefahr und die Exposition gemeinsam auftreten. Das Risiko wird im Allgemeinen als Kombination aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines unerwünschten Ereignisses und Schadensschwere bei einem etwaigen Eintritt des Ereignisses angesehen.

Die Begriffe „Risiko“ und „Gefährdung“ schließen also Häufigkeiten bzw. Wahrscheinlichkeiten und potentielle Schäden mit ein. Diese können von Auswertungen auf Basis der Standorteigenschaften nicht erfasst werden, sondern erfordern entsprechende meteorologische / klimatologische Daten in Verbindung mit zeitlichen Abläufen oder Häufigkeiten sowie z. B. auch Informationen zu den konkreten Pflanzenbeständen.

Die „Empfindlichkeit“ oder Sensitivität eines Standortes gegenüber eines oder mehrerer Einflüsse ist dagegen eine Eigenschaft des Standortes. Diese kann aus den vorliegenden Daten abgeleitet werden.

Die *Dürre-Empfindlichkeit* beschreibt, wie stark ein Standort auf eine Meteorologische Dürre reagiert, wie schnell es zu Bodentrockenheit kommt oder wie stark der Standort auf ausreichende regelmäßige Niederschläge angewiesen ist.

2 Datenbasis

Die Bewertung der Dürre-Empfindlichkeit landwirtschaftlich genutzter Standorte stützt sich auf Informationen zum Boden, zum Klima und zum Relief (Tabelle 1).

Tabelle 1: In NRW flächenhaft zur Verfügung stehende Parameter der Modellierung der Standorteigenschaften, die für die Karte der „Dürre-Empfindlichkeit landwirtschaftlich genutzter Standorte“ verwendet wurden

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

2.1 Bodenkarten

Die Daten zum Boden werden der BK50 entnommen. Diese liegt landesweit flächendeckend digital vor und steht im Internet frei zur Verfügung (8). Die relevanten Inhalte betreffen den Wasserhaushalt der Böden, also das Wasserspeichervermögen, den Einfluss von Grundwasser oder Stauwasser sowie die Durchwurzelungstiefe innerhalb der ersten 200 cm unter Geländeoberfläche.

2.2 Klimadaten

Die aktuellen klimatischen Verhältnisse für NRW stellt das LANUV NRW für die Normalperiode 1981-2010 bereit (5). Die Basisdaten zu diesen Karten als 1 × 1 km-Rasterdaten stellte das LANUV dem GD zur Verfügung. Diese Daten hat das LANUV für den GD berechnet auf Basis des HYRAS-Datensatzes des DWD (FRICK et al. 2014). Dieser enthält Tageswerte zu Niederschlag und Verdunstung für die Periode 1981-2010. Daraus wurden Monatswerte für die klimatische Wasserbilanz errechnet. Für die Berechnung der Standorteigenschaften wird die Dauer der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode benötigt, das ist die Zahl der Tage mit einer Mitteltemperatur > 5 °C, sowie die Klimatische Wasserbilanz (KWB) in der Vegetationsperiode (KWBv5).

2.2.1 Vegetationsperiode

Im Zuge der methodischen Abstimmung zwischen LANUV, Landwirtschaftskammer und GD NRW besteht Konsens, dass, wie auch für den Forstbereich, eine „Hauptvegetationszeit“ besteht. Diese dauert für landwirtschaftliche Kulturen von Mai bis September. Landwirtschaftliche Kulturen können jedoch auch außerhalb dieser Zeit wachsen und auf das Bodenwasser angewiesen sein. Die letzten Jahre haben deutlich gezeigt, dass landwirtschaftliche Nutzpflanzen sogar weit über die häufig genannte Hauptvegetationszeit hinaus auf Wasser(-reserven) im Boden zurückgreifen. So haben z. B. Kulturen, die erst im Herbst geerntet werden, wie Mais, Kartoffeln und mit Einschränkungen auch Zuckerrüben, z. T. noch von den späten Niederschlägen (bei sehr später Ernte bis in den Dezember hinein) profitiert. Dadurch wird deutlich, dass eine standortspezifische Vegetationsperiode auf Basis von Klimadaten, die über die Hauptvegetationszeit hinausgeht, sinnvoll ist.

Für die Forstliche Standortkarte wurde die Vegetationsperiode auf Basis der Anzahl der Tage mit Mitteltemperatur > 10 °C festgelegt. Die Tage der Vegetationsperiode werden dann zu gleichen Teilen um den mittleren Tag einer „Hauptvegetationszeit“ verteilt und somit die standortspezifische Vegetationszeit festgelegt.

Für die landwirtschaftlichen Flächen wird ein analoges Vorgehen angewandt, allerdings mit auf die Landwirtschaft angepassten Grundannahmen. Die Hauptvegetationszeit wird festgelegt als Zeitraum von Mai bis September. Die Vegetationsperiode wird auf Basis der Anzahl der Tage mit Mitteltemperatur von > 5 °C festgelegt. Dies entspricht der üblichen Definition der Wachstumszeit, die den Abschnitt des Jahres umfasst, in dem das Tagesmittel der Lufttemperatur mindestens 5° Celsius beträgt (6), auch als Vegetationstage bezeichnet.

Das LANUV hat für den GD die Länge der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode (Veg5, Anzahl der Tage > 5 °C, Abb. 1 und 2) auf Basis der Daten des Deutschen Wetterdienst berechnet. Die Daten wurden aus der Tagesmitteltemperatur aus dem HYRAS-Datensatz (Frick et al. 2014) für den

Zeitraum 1981 - 2010 berechnet. Dieser Datensatz liegt allerdings nur in einer 5 × 5 km² Auflösung vor (Müller 2017).

Die Zahl der Tage der Vegetationsperiode werden entsprechend zu gleichen Teilen um den 15.7. als zentralen Tag der Hauptvegetationszeit festgelegt. Auf Basis der Klimadaten der Periode 1981-2010 liegt die Dauer der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode zwischen 199 und 280 Tagen und reicht damit maximal von Ende Februar bis Anfang Dezember.

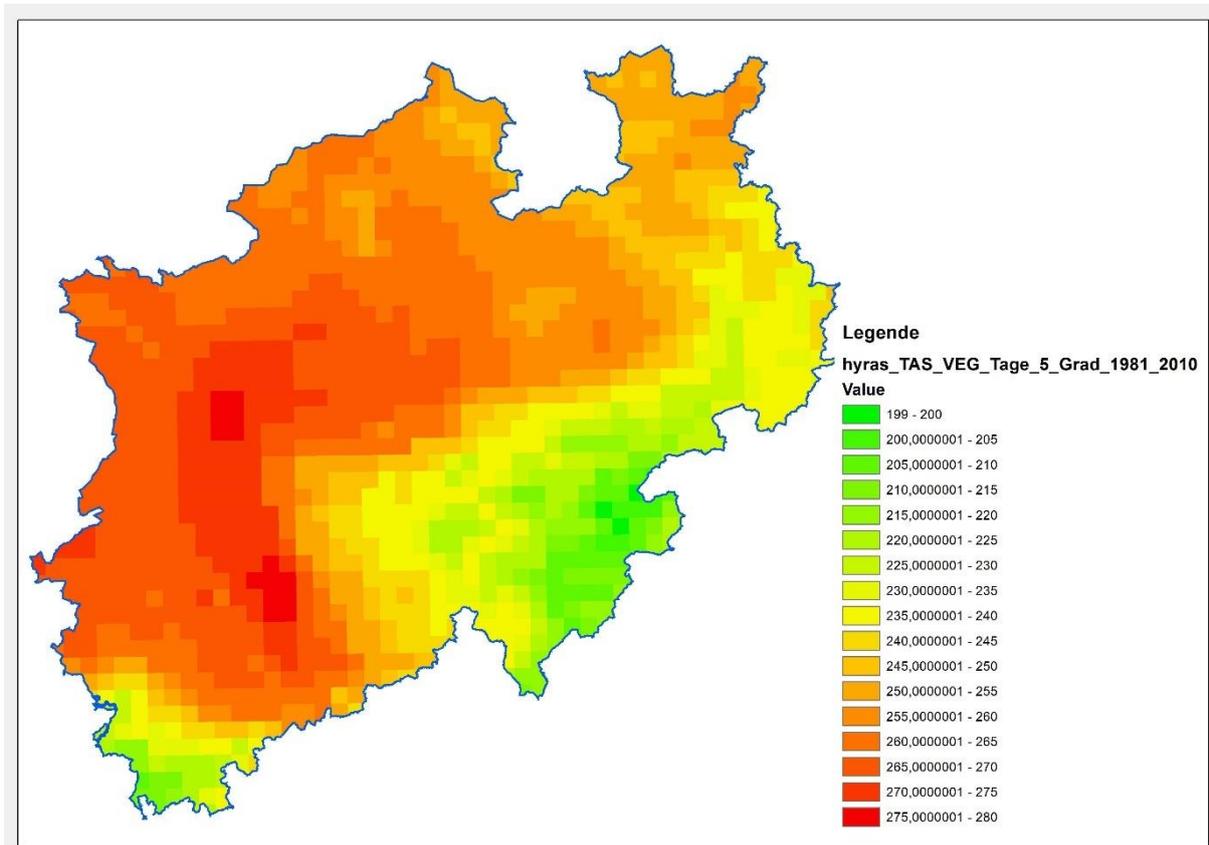


Abb. 1: Dauer der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode (Veg5), berechnet als Zahl der Tage > 5 °C in der Periode 1981-2010

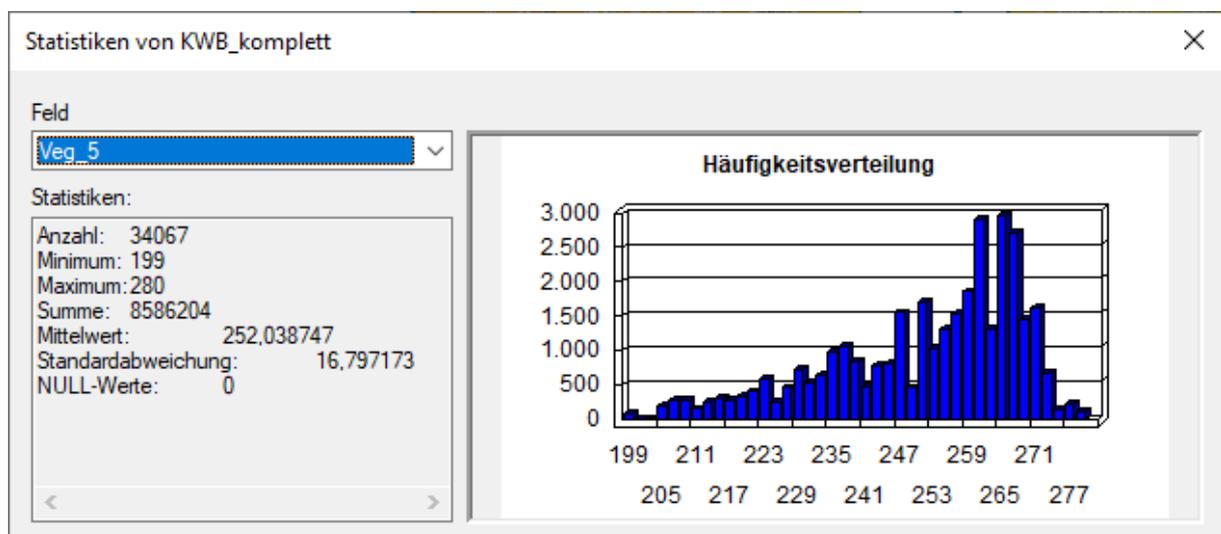


Abb. 2: Deskriptive Statistik zur Verteilung der Dauer der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode (Veg5)

2.2.2 Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode

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 als die mittleren Werte. Trocken- und Nassperioden sind entscheidend für die tatsächliche **Risikobelastung** eines Standortes. Dies muss bei der Beurteilung eines **konkreten** Standortes berücksichtigt werden. Für eine landesweite und -einheitliche Auswertung gibt es **dennoch** keine andere Möglichkeit als Mittelwerte zu nutzen und mittlere standortkundliche Einstufungen vorzunehmen und auf diese Weise das Potential darzustellen.

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)

Auf Basis der Länge der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode und der monatlichen klimatischen Wasserbilanz wurde für das 1 × 1-km-Raster der Klimadaten die KWBv5 berechnet (Abb. 3 und 4). 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 wird jeder Bodenfläche als Attribut zugewiesen.

Berechnung KWBv5

für jede Rasterzelle des Klimaatlas

Wenn Veg5 ≤ 31

$$\text{KWBv5} = \text{Veg5}/31 * \text{KWB}_{\text{Jul}}$$

Wenn Veg5 > 31 und ≤ 92

$$\text{KWBv5} = \text{KWB}_{\text{Jul}} + ((\text{Veg5} - 31) / 2) / 30 * \text{KWB}_{\text{Jun}} + ((\text{Veg5} - 31) / 2) / 31 * \text{KWB}_{\text{Aug}}$$

Wenn Veg5 > 92 und ≤ 153

$$\text{KWBv5} = \text{KWB}_{\text{Jun}} + \text{KWB}_{\text{Jul}} + \text{KWB}_{\text{Aug}} + ((\text{Veg5} - 92) / 2) / 31 * \text{KWB}_{\text{Mai}} + ((\text{Veg5} - 92) / 2) / 30 * \text{KWB}_{\text{Sep}}$$

Wenn Veg5 > 153 und ≤ 214

$$\text{KWBv5} = \text{KWB}_{\text{Mai}} + \text{KWB}_{\text{Jun}} + \text{KWB}_{\text{Jul}} + \text{KWB}_{\text{Aug}} + \text{KWB}_{\text{Sep}} + ((\text{Veg5} - 153) / 2) / 30 * \text{KWB}_{\text{Apr}} + ((\text{Veg5} - 153) / 2) / 31 * \text{KWB}_{\text{Okt}}$$

Wenn Veg5 > 214 und ≤ 275

$$\text{KWBv5} = \text{KWB}_{\text{Apr}} + \text{KWB}_{\text{Mai}} + \text{KWB}_{\text{Jun}} + \text{KWB}_{\text{Jul}} + \text{KWB}_{\text{Aug}} + \text{KWB}_{\text{Sep}} + \text{KWB}_{\text{Okt}} + ((\text{Veg5} - 214) / 2) / 31 * \text{KWB}_{\text{Mar}} + ((\text{Veg5} - 214) / 2) / 30 * \text{KWB}_{\text{Nov}}$$

Wenn Veg5 > 275

$$\text{KWB}_{v5} = \text{KWB}_{\text{mar}} + \text{KWB}_{\text{apr}} + \text{KWB}_{\text{mai}} + \text{KWB}_{\text{jun}} + \text{KWB}_{\text{jul}} + \text{KWB}_{\text{aug}} + \text{KWB}_{\text{sep}} + \text{KWB}_{\text{okt}} + \text{KWB}_{\text{nov}} + \left(\frac{\text{Veg5} - 275}{2} \right) / 28 * \text{KWB}_{\text{feb}} + \left(\frac{\text{Veg5} - 275}{2} \right) / 31 * \text{KWB}_{\text{dez}}$$

(Werte der Veg5 < 199 Tage oder > 280 Tage treten nicht auf)

mit

Veg5 = Dauer der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode, Zahl der Tage > 5 °C

KWB_{jul} = mittlere KWB Juli

KWB_{aug} = mittlere KWB August

etc.

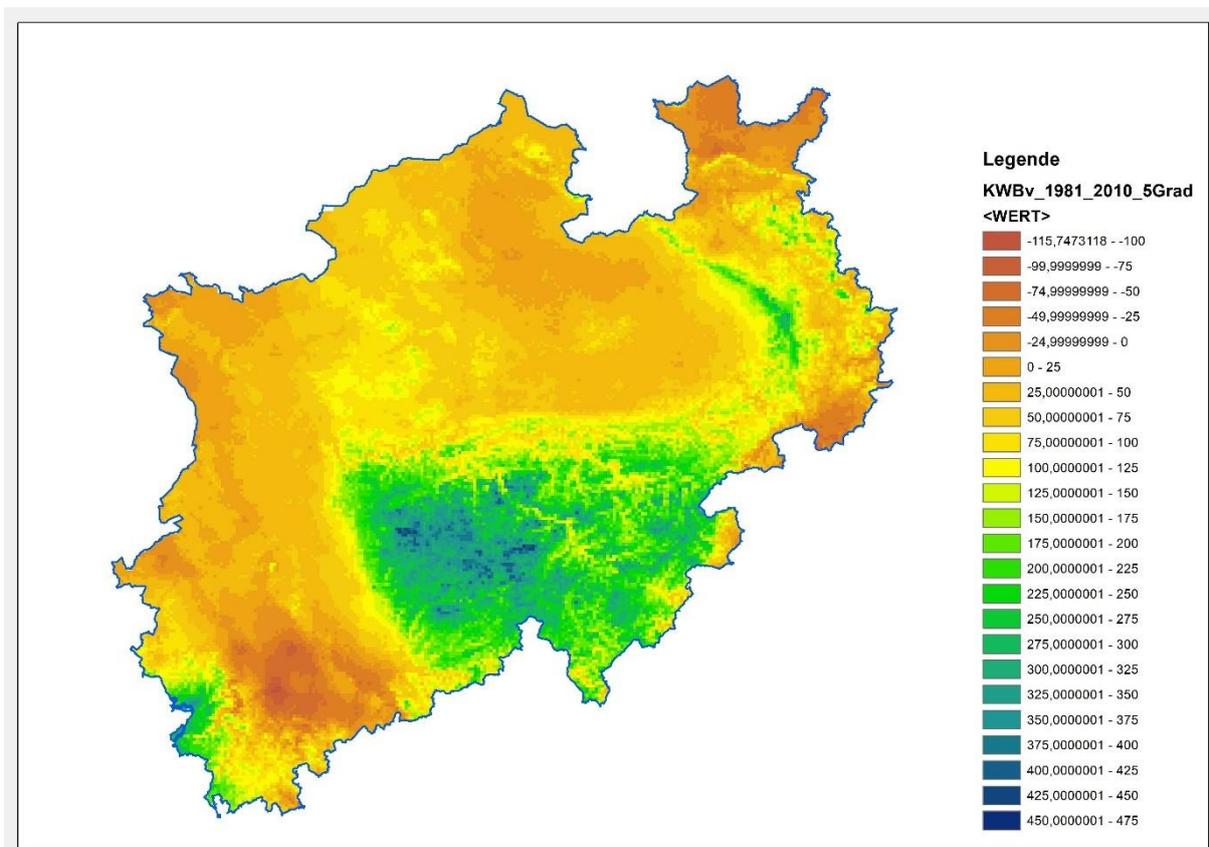


Abb. 3: Klimatische Wasserbilanz [mm] in der Vegetationsperiode (KWBv5), berechnet auf Basis der Klimadaten der Periode 1981-2010

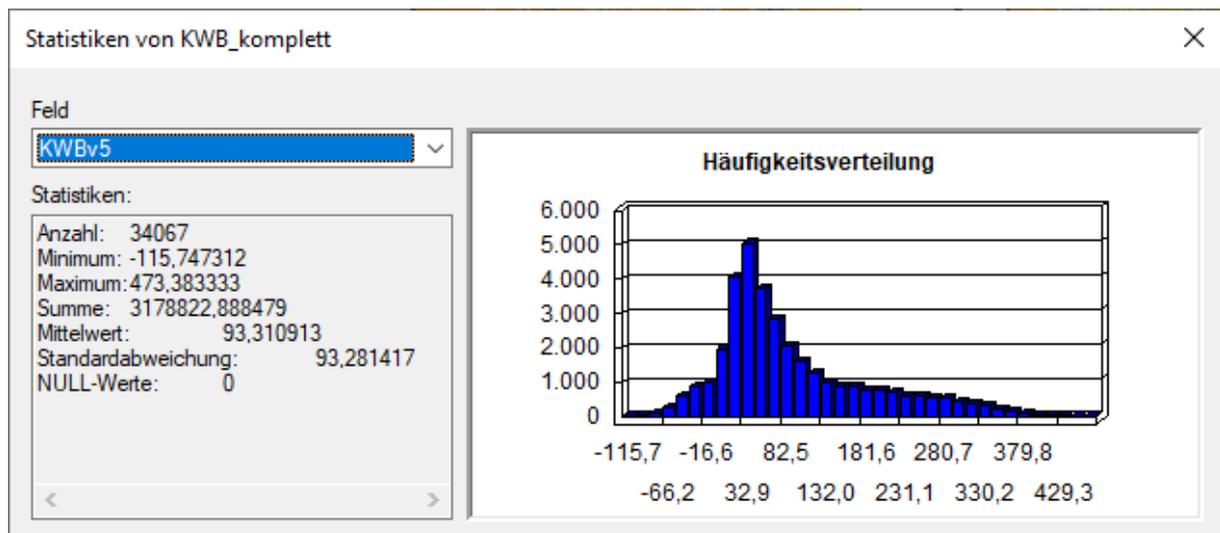


Abb. 4: Deskriptive Statistik zur Klimatischen Wasserbilanz in der landwirtschaftlichen Vegetationsperiode (KWBv5), berechnet auf Basis der Klimadaten der Periode 1981-2010

Bei der BK5 und bei kleinen Flächen der BK50 liegen die Bodenflächen **größenteils** zwischen mehreren Rastermittelpunkten der Klimakarten, nur vereinzelt liegen Rastermittelpunkte innerhalb einer Bodenfläche. Bei der BK50 liegen aufgrund der größeren Flächengröße der einzelnen Bodenpolygone häufiger auch mehrere Rastermittelpunkte innerhalb einer Bodenfläche. Dadurch ist eine direkte Zuweisung von Klimadaten an jede einzelne Fläche über Rastermittelpunkte nicht möglich.

Es ist 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 Breite (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.

Die Ergebnisse der Zuweisung der Klimadaten zu den Polygonen der BK50 zeigen die Abbildungen 5 und 6. Das gröbere Raster von 5×5 km sowie die Klassifizierung für die Darstellung lassen in Abb. 5 für Dauer der Vegetationsperiode noch sehr deutlich das Raster durchscheinen.

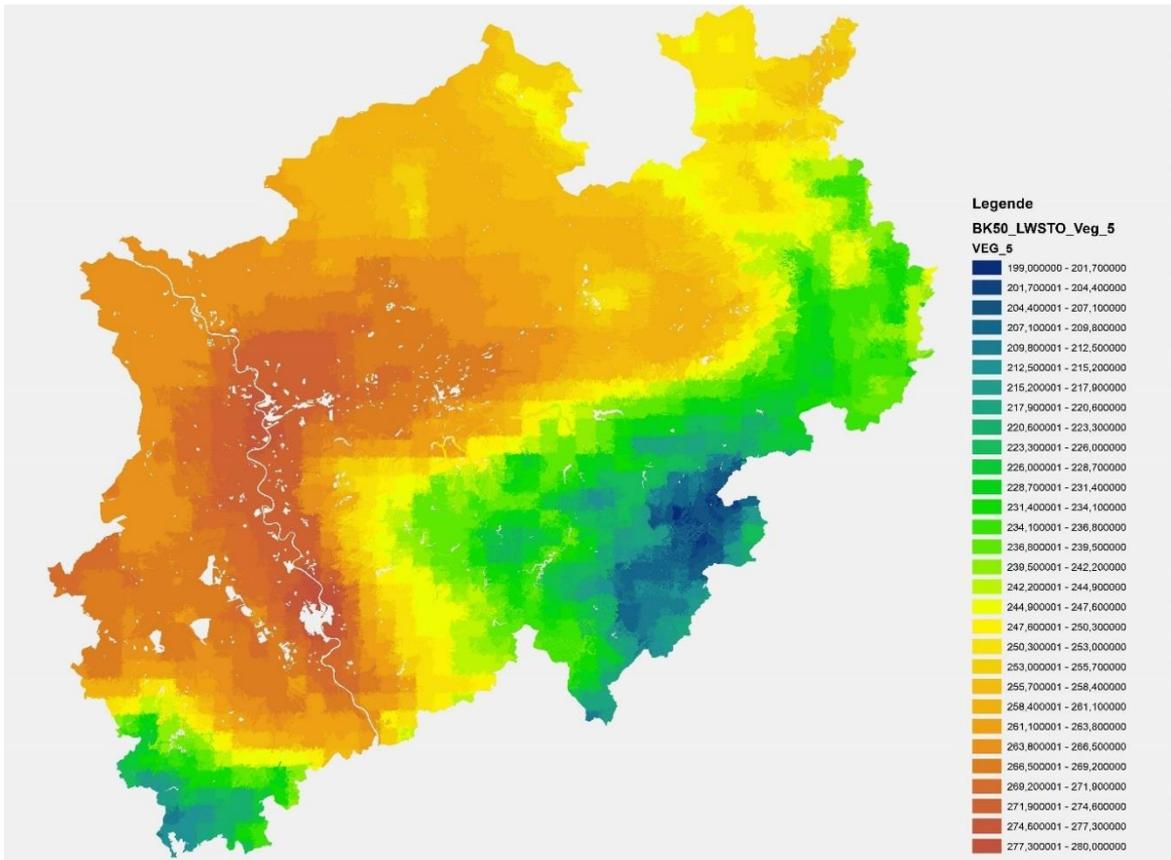


Abb. 5: Zuweisung der Daten der Veg5 zu den Polygonen der BK50

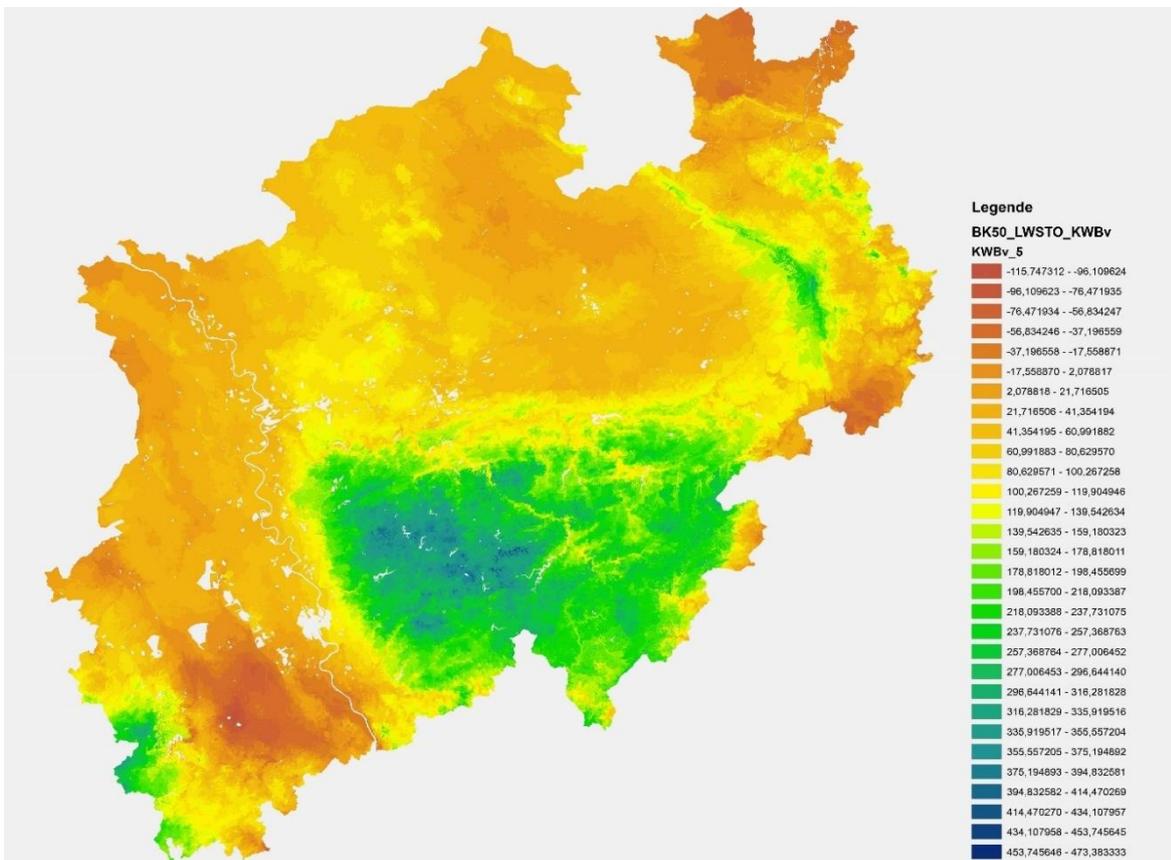


Abb. 6: Zuweisung der Daten der KWBv5 zu den Polygonen der BK50

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 topographische 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 Topographie zeigen die Auswertungen, dass es in Einzelfällen besonders in 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.

2.3 Relief

Als Eingangsdatum für die Relief-Informationen dient das DGM10 für NRW, bereitgestellt von Geobasis NRW.

Als Basis für die Auswertungen zum Wasserhaushalt wurde durch das Ingenieurbüro Scilands GmbH (Göttingen) eine Reliefanalyse mit den Daten des DGM10 durchgeführt (vgl. Abb. 7). Das Raster von 10 × 10 m gilt für standortkundliche Auswertungen als gute Arbeitsbasis (vgl. Arbeitskreis Standortkartierung 2016, S. 17). Der GD nutzt diese Daten insbesondere zur **sehr** differenzierten Bewertung der Einstrahlung (Sonnen- und Schatthänge) sowie zur Abschätzung von reliefgesteuerten Prozessen im Wasserhaushalt der Standorte (Hangwasserzug).

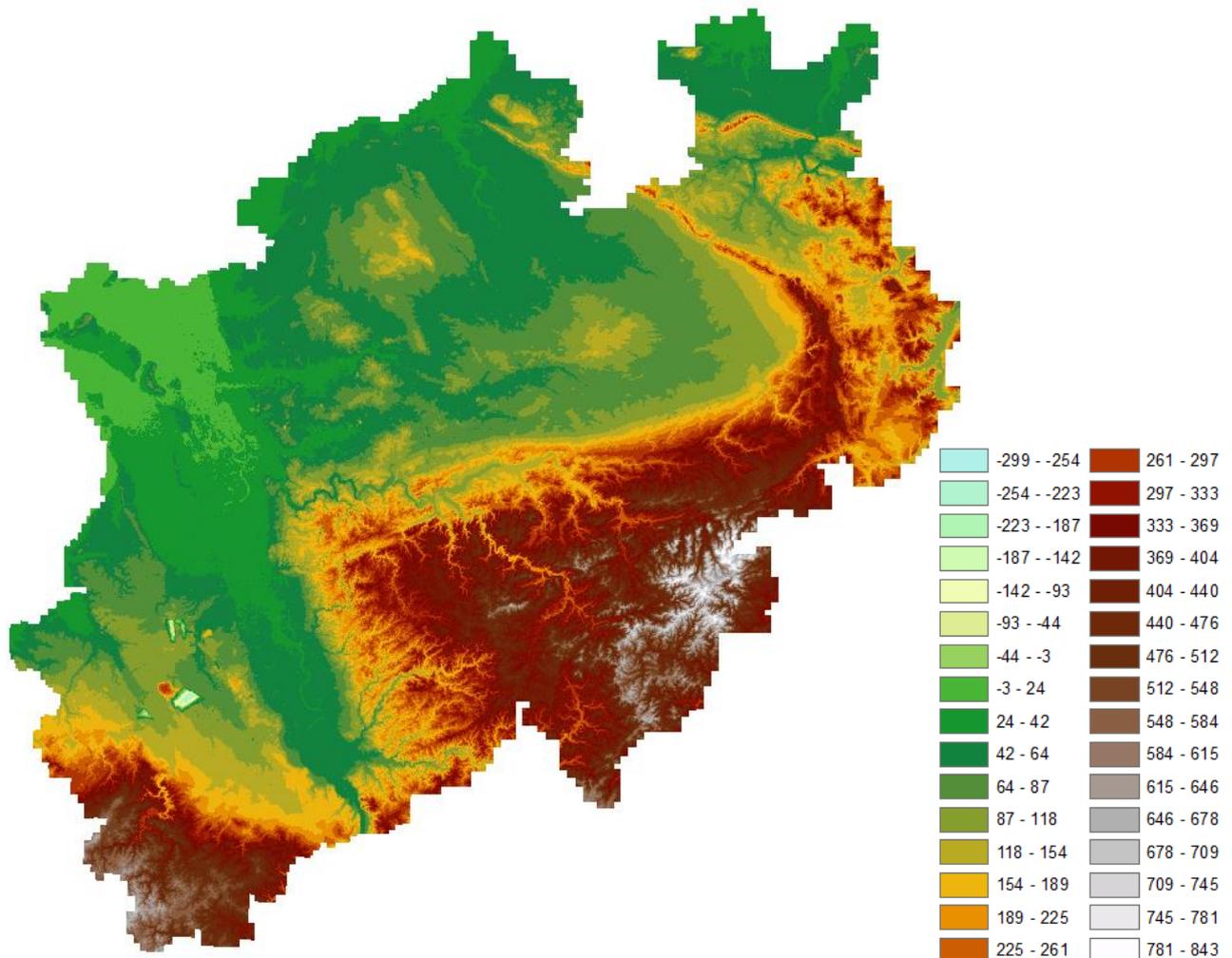


Abb. 7: Digitales Geländemodell DGM10 von Nordrhein-Westfalen (Geobasis NRW), dargestellt als Höhenstufenkarte (m NN); Grundlage für die Auswertung des DGM10 durch die Sci-lands GmbH

2.3.1 Direkter topographischer Strahlungsgenuss

Anstelle einer einfachen Abgrenzung von Sonn- und Schatthängen wird für die lokale Variation des Standortklimas der aus dem DGM10 abgeleitete "Direkte topographische 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 Hauptvegetationsperiode verwendet (Abb. 8).

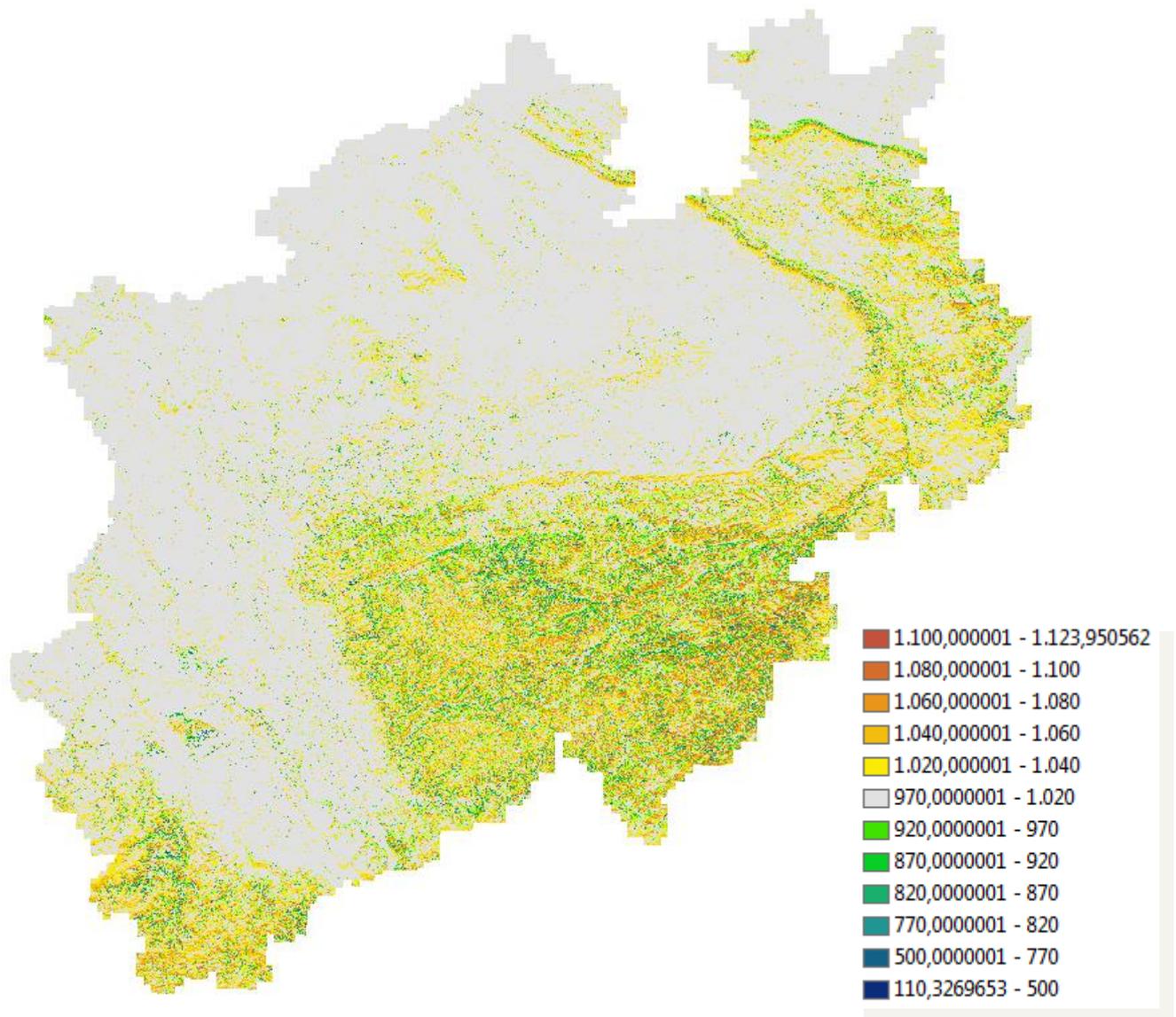


Abb. 8: Direkter topographischer Strahlungsgenuss, Summe [kWh/m²] für die Monate Mai – September, klassifiziert für die Darstellung; Auswertung des DGM10 durch die Scilands GmbH

2.3.2 Bodenfeuchteindex

Der Bodenfeuchteindex (BFI) ist das Ergebnis einer komplexen Reliefauswertung (Köthe 2017). Er stellt ein Maß für die potentiellen Feuchteverhältnisse des Bodens dar.

Er wertet für jede Rasterzelle des DGM aus, wieviel Wasser ihr zuströmen kann. Die entscheidenden Faktoren dafür sind die Größe des hangoberwärts liegenden Einzugsgebietes, Hangneigung, Hanglänge: er errechnet sich einerseits aus dem komplexen Reliefparameter "Einzugsgebietsgröße", also der potentiell durch Abfluss zur Verfügung stehenden Wassermenge, und andererseits aus dem lokalen Reliefparameter Neigung. Dieser steuert die Fließgeschwindigkeit und damit die Verweildauer des abfließenden Wassers. Damit modelliert er, wo in der Landschaft das Wasser herkommt und wo es hinfließt.

Die geringsten Werte besitzen damit Kuppen, die keinerlei Zufluss besitzen, hohe Werte finden sich an Unterhängen oder in Tälern mit großem Einzugsgebiet; die höchsten Werte finden sich an den

tiefgelegenen Reliefpositionen, an denen sich das Wasser der gesamten Landschaft sammelt. Dies zeigt anschaulich die Abb. 9. Die Auen der Flüsse, und am höchsten der Rhein und seine Aue am Ausfluss aus NRW in die Niederlande – aber auch Ems, Weser und Maas – zeigen dunkelblau die Sammlung des Wassers aus dem gesamten Land an. Dabei wird nicht unterschieden, ob in der Realität das Wasser oberflächlich, im Boden oder im Untergrund als Grundwasser (zu)fließt.

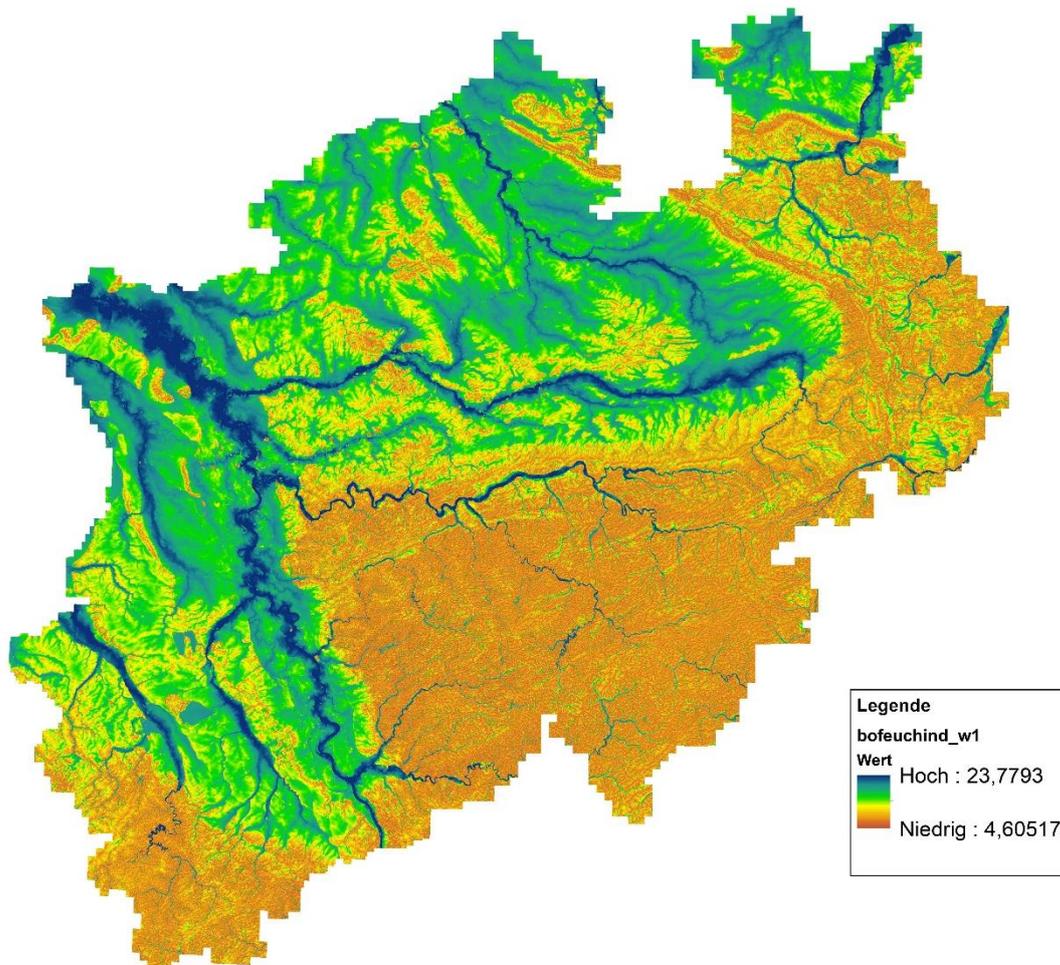


Abb. 9: Bodenfeuchteindex (BFI), Auswertung des DGM10 durch die Scilands GmbH.

2.4 Flächennutzung

Die Auswertungen der Bodenkarten werden zunächst auf die komplette Landesfläche von NRW berechnet. Für die Darstellung der Standorteigenschaften für die landwirtschaftliche Nutzung sowie der Dürre-Empfindlichkeit der landwirtschaftlich genutzten Standorte werden auf Grundlage der aktuellen ATKIS-Daten nur die als **landwirtschaftlich** genutzt gekennzeichneten Teilflächen ausgeschnitten. Ohne weitere Differenzierung werden für alle Flächen die Standorteigenschaften und Dürre-Empfindlichkeit gleichermaßen für Acker- und für Grünlandnutzung als unterschiedliche Szenarien berechnet und dargestellt. Die Nutzungsbezeichnungen lassen keinerlei Rückschlüsse auf die Intensität der Flächennutzung oder die angebauten Feldfrüchte bzw. Fruchtfolgen zu.

3 Methode

Die Berechnung erfolgt in mehreren Teilschritten, deren wesentlichen Ergebnisse ebenfalls als Karten bereitgestellt werden.

Im ersten Schritt wurde die Methode der „Bodenwasserhaushalt landwirtschaftlich genutzter Böden“ – als Verbesserung der bisherigen Auswertung „Pflanzenverfügbares Bodenwasser“ – neu entwickelt. Sie stellt das Wasserangebot des Bodens als Potential und wesentlichen Faktor der natürlichen Bodenfruchtbarkeit dar.

Die wesentlichen, weiteren abiotischen Standortfaktoren Klima und Relief werden im nächsten Schritt einbezogen zur neu entwickelten Karte „Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung“, die die Standorteigenschaften für landwirtschaftliche Nutzung darstellt, differenziert nach Acker- oder Grünland. Diese ist damit eine Ergänzung zur Forstlichen Standortkarte (FSK).

Im dritten Schritt wurde – analog der Vorgehensweise bei der Forstlichen Standortkarte – aus der Karte „Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung“ die Karte der „Dürre-Empfindlichkeit für die landwirtschaftliche Nutzung“ abgeleitet.

3.1 Bodenwasserhaushalt landwirtschaftlicher Böden

Das Bodenwasser kann in unterschiedlicher Form zur Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen beitragen; die Forstwirtschaft wird hier nicht betrachtet. Das pflanzenverfügbare Bodenwasser ist auch ein Maß für die natürliche Bodenfruchtbarkeit und für die landwirtschaftliche Ertragssicherheit.

Die Auswertung liegt in zwei Varianten vor, eine für Ackernutzung und eine für Grünlandnutzung, die sich in der Bezugstiefe der Berechnung unterscheiden. Die Bezugstiefen sind:

- für Acker die effektive Durchwurzelungstiefe je Bodenart (We_{Ac}) nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA5,
- für Grünland die halb so große effektive Durchwurzelungstiefe (We_{Gr}) je Bodenart nach KA5.

Zu beachten: die effektive Durchwurzelungstiefe gibt die Tiefe des ausschöpfbaren Wurzelraums an; sie ist nicht identisch mit der Mächtigkeit der durchwurzelbaren Schicht oder der Hauptwurzelzone.

Die Varianten der Auswertung für Acker und Grünland werden nicht bewertet, aber numerisch gleich klassifiziert, damit Böden nutzungsspezifisch vergleichbar sind.

Mit den Begriffen Acker- und Grünland sind hier nicht tatsächliche Nutzungen gemeint. Sie sind als vereinfachende Bezeichnungen für die unterschiedlichen Bezugstiefen der Berechnung zu verstehen. Es ist daher jedem Nutzer überlassen, für seine Fragestellung die angemessen erscheinende Bezugstiefe zu wählen.

Es werden drei Formen unterschieden, in denen pflanzenverfügbares Bodenwasser auftritt.

1. Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum

Bei Böden ohne Grundwasser- oder Staunäseeinfluss wird die Wasserversorgung der Kulturpflanzen durch die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum definiert.

Die Berechnung der nutzbaren Feldkapazität greift auf die quantifizierten Angaben der Bodenartenschichtung sowie auf bodenartenspezifische Kennwerte der Bodenkundlichen Kartieranleitung (5. Auflage, KA5) zurück. Die nutzbare Feldkapazität ist identisch mit dem Anteil der Mittelporen im Boden für:

- trockene, grundwasserfreie Böden
- Böden mit den Grundwasserstufen 4 bis 6
- für nicht staunässebeeinflusste Böden
- Böden mit den Staunässegraden 1 bis 3.

Die nutzbare Feldkapazität ist identisch mit dem Anteil der Mittelporen und der engen Grobporen für:

- nasse, grundwasserbeeinflusste Böden mit den Grundwasserstufen 1A bis 3
- staunässebeeinflusste Böden mit den Staunässegraden 4 und 5.

Berechnet wird die nutzbare Feldkapazität je Bodenartenschicht aus dem Anteil der Bodenarten bei mittlerer Lagerungsdichte, korrigiert durch volumenprozentuale Abschläge für den Grobbodenanteil bzw. durch Zuschläge für die Humusgehalte. Die Summe der nutzbaren Feldkapazitäten aller Bodenartenschichten über die effektive Durchwurzelungstiefe ergibt die für Pflanzen nutzbare Feldkapazität des Bodenkörpers.

In der Berechnung nicht fassbar sind Faktoren wie die Gefügeentwicklung, biogene Grobporen wie Wurm- und Wurzelgänge, Feinschichtungen, Bänderungen oder Linsenbildungen oder die Auswirkungen von Vererdung, Sackung und Benetzungshemmung in entwässerten Torfen.

Es findet keine Differenzierung des Wasserhaushaltes nach angebauten/anzubauenden Feldfrüchten mit unterschiedlich stark ausgeprägten Wurzelsystemen statt. Es erfolgt ausschließlich eine Bewertung des Standortes nach oben beschriebenen Kriterien ohne feldfruchtspezifische Unterscheidung (z.B. flachwurzeln Salat, tiefwurzeln Zuckerrüben).

2. Grundwasser

Grundwassereinfluss verzögert je nach Grundwasserstand und Kultur zu Beginn der Vegetationsperiode das Pflanzenwachstum, wenn die Wassersättigung im Boden zu Luftmangel und zu deutlich späterem Erwärmen des Bodens führt, zumal wenn das Grundwasser den Wurzelraum verkürzt.

Steht das Grundwasser unterhalb der effektiven Wurzeltiefe an, kann es durch seinen kapillaren Aufstieg in den effektiven Wurzelraum zur Wasserversorgung der Kulturpflanzen beitragen. Bei einer kapillaren Aufstiegsrate ≥ 3 mm/d gelten landwirtschaftliche Kulturen als hinreichend gut versorgt, ggf. nicht für einen Maximalertrag; eine kapillare Aufstiegsrate ≥ 5 mm/d gilt als Luxusversorgung; eine von 0,3 mm/d gilt als Schwellenwert für den Grenzflurabstand, also für die Tiefe unter der keine praktisch wirksame Evapotranspiration von Grundwasser mehr stattfindet.

Für diese Auswertung rechnerisch relevant ist die Tiefe T₃, bis zu der noch eine kapillare Aufstiegsrate ≥ 3 mm/d in den effektiven Wurzelraum erfolgt.

Der gesamte Kapillaraufstieg wird berechnet für den Bodenraum zwischen der effektiven Durchwurzelungstiefe nach KA5 und der Tiefe T₃ als Summe aus der nutzbaren Feldkapazität und 50 % der wassergefüllten Luftkapazität im Saum zwischen We und der Tiefe der Grundwasseroberfläche (GWO) bzw. 100 % der Luftkapazität unterhalb GWO (siehe Beispielrechnung Tabelle 3 und Tabelle 4).

Wenn T₃ unterhalb des mittleren Grundwasserstands liegt, hat der Boden einen relevanten Grundwasseranschluss und der gesamte Kapillaraufstieg aus dem Grundwasser und die nutzbare

Feldkapazität im effektiven Wurzelraum werden zur Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen zusammengefasst. Tabelle 2 stellt als Übersicht dar, bei welchen Stufen der Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen Grundwasser eine Rolle spielt.

3. Staunässe

Der Einfluss von Staunässe auf die Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen ist nur sehr schwer zu fassen, weil die Intensität der Staunässephänomene wenig über die Dauer der Nass- und Trockenphasen und über das Wasservolumen in der Nassphase aussagt; lediglich die Tiefe stauend wirkender Schichten lässt sich großmaßstäbig auskartieren. Wenn es sich um Haftnässe handelt, ist auch das Letztere nicht möglich.

Vor diesem Hintergrund bleiben sehr schwache und schwache Staunässe (nach KA5) hinsichtlich der Wasserversorgung unberücksichtigt.

Mittlere Staunässe wird nicht berücksichtigt, weil sie während feuchter Witterungsperioden ähnlich wie starke Staunässe wirken kann, während sie in trockeneren Perioden eher mit schwacher Staunässe verglichen werden kann.

Starke und sehr starke Staunässe (nach KA5) hingegen werden bei der Berechnung der nutzbaren Feldkapazität, wie unter Punkt 1 beschrieben, berücksichtigt und erhöhen diese i. d. R. somit.

Neben den oben genannten Teilaspekten des Bodenwasserhaushalts ist das Verhältnis von Niederschlag und Verdunstung, also die klimatische Wasserbilanz, für die Wasserversorgung der Pflanzen von erheblicher Bedeutung. Diese Größen fließen in diese Auswertung noch nicht ein. Ebenso unberücksichtigt bleiben saisonale Schwankungen des Grundwassers und ein möglicher seitlicher Zu- oder Abfluss (der jedoch beim BFI berücksichtigt wird).

Tabelle 2: Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen unter Acker und Grünland mit Hinweisen auf den Grundwassereinfluss

Farbe	Klassifizierte Wasserversorgung	Grundwassereinfluss unter Acker	Grundwassereinfluss unter Grünland
255 0 0	0 bis 25 mm	kein	kein
255 117 0	25 bis 75 mm	kein	kein
255 204 0	75 bis 125 mm	kein	vereinzelt
209 255 0	125 bis 175 mm	vereinzelt	immer
128 255 0	175 bis 225 mm	teilweise	immer
56 168 0	über 225 mm	überwiegend	immer
225 225 225	nicht bewertet		
	nicht kartiert		

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

Beispielrechnung

Wenn das Grundwasser ein quasi unerschöpfliches Reservoir darstellt, dann entspricht die zusätzliche Wasserversorgung für Kulturpflanzen der kapillaren Aufstiegsrate, die bestimmt wird durch die Höhe des Saums zwischen effektiver Durchwurzelungstiefe und mittleren Grundwasseroberfläche sowie den Bodenarten darin.

In der Beispielrechnung wird die Wasserreserve bis in die Tiefe berechnet, in der noch eine kapillare Aufstiegsrate ≥ 3 mm/d erreicht wird; dabei wird angenommen, dass das derart berechnete Wasservolumen den Pflanzen auch bei tiefer absinkenden Grundwasser, wenn auch ggf. mit niedrigerer Aufstiegsrate zur Verfügung steht. Dies soll mit der folgenden Tabelle 3 exemplarisch erläutert werden.

Tabelle 3: Beispielrechnung zur Wasserversorgung unter Acker und unter Grünland für die Einheit L3510_G-P851GW3 der BK50

Parameter	Acker	Grünland
Effektive Durchwurzelungstiefe, W_e , in dm	7	3 ^a
Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum, nFK _{we} , in mm	113	57
Tiefe bis zu der 3 mm/d kapillar aufsteigen, T3, in dm	12	9
Mittlere Grundwasseroberfläche, GWO, in dm, bei Stufe 3 (8 bis 13 dm)	10,5	10,5
Höhe des Saums zwischen W_e und GWO, in dm	3,5	7,5
Nutzbare Feldkapazität, nFK im Saum, in mm	67	86 ^b
50 % der Luftkapazität, LK im Saum, in mm	45	56 ^b
Nutzbare Feldkapazität, nFK unter GWO bis T3, in mm	16	0
100 % der Luftkapazität, LK unter GWO bis T3, in mm	22	0

^a Die W_e unter Grünland ergibt infolge des Bodenaufbaus 3 dm und nicht als rein rechnerische Hälfte von 7 dm bei Acker 3,5 dm.

^b Die Werte werden nicht berücksichtigt, da die Tiefe T3 oberhalb der Grundwasseroberfläche liegt und keinen methodenrelevanter Kapillaraufstieg am Standort erwartet wird.

Demnach setzt sich die Wasserversorgung dieses Bodens unter Acker aus

- 113 mm der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum,
- $67 + 45 = 112$ mm im Saum und
- $16 + 22 = 38$ mm unterhalb GWO zusammen;

insgesamt sind das $113 + 112 + 38 = 263$ mm für die Wasserversorgung von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen (WAS).

Mit der niedrigeren W_e beträgt die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum lediglich 57 mm und stellt die gesamte Wasserversorgung unter Grünland dar. Die niedrigere W_e führt zu einem höheren Saum von 7,5 dm über der Grundwasseroberfläche und damit zur möglichen

nutzbaren Feldkapazität und Luftkapazität im Saum von $86 + 56 = 142$ mm. Die werden aber nicht wirksam, weil die Tiefe T3 oberhalb der Grundwasseroberfläche liegt und daher keine hinreichend große Kapillaraufstiegsrate in den effektiven Wurzelraum gegeben ist.

Der variierende Einfluss des Grundwassers auf die Wasserversorgung der Kulturpflanzen

Für den Einfluss des Grundwassers auf die Wasserversorgung der Kulturpflanzen sind drei Zustände zu unterscheiden (Abbildung 10 und Tabelle 4):

- a) Das Grundwasser steht so hoch an, dass es den effektiven Wurzelraum, der ohne das Grundwasser gegeben wäre, verkürzt; also grundwassergeprägte Standorte.
- b) Das Grundwasser steht mehr oder weniger deutlich unter dem effektiven Wurzelraum an und trägt durch den Kapillaraufstieg in den effektiven Wurzelraum zur Wasserversorgung der Kulturpflanzen bei; also grundwasserbeeinflusste Standorte.
- c) Das Grundwasser steht so deutlich unter dem effektiven Wurzelraum an, dass kein Kapillaraufstieg in den effektiven Wurzelraum mehr stattfindet oder dieser zu vernachlässigen ist; also grundwasserunbeeinflusste Standorte (Grundwasser da, aber ohne Einfluss).

Hier nicht zu diskutieren sind grundwasserfreie Standorte, an denen kein Grundwasser auskartiert wurde oder dieses unter 2 m ansteht.

Erläuterungen

Die im Folgenden aufgeführten Erläuterungen sind schematisch in Abbildung 10 dargestellt.

- a) Eine Verkürzung des effektiven Wurzelraums durch hoch anstehendes Grundwasser gilt als gegeben, wenn der mittlere Grundwasserstand (siehe Grundwasserstufen der Bodenkarte) höher oder gleich der nutzungsspezifischen effektiven Durchwurzelungstiefe (We_{Ac} oder We_{Gr}) plus 3 dm ist.
Absenkungen des Grundwasserstandes in eine nutzungsspezifisch günstige Tiefe, wie sie unter b) diskutiert wird, wirken sich auf solchen Böden ertragssteigernd aus, weil der an der Oberfläche trockenere Boden sich früher erwärmt und der nutzbare Wurzelraum sich vergrößert; die Ertragssicherheit wird dadurch nicht gefährdet, aber meist ein breiteres Spektrum anbaubarer Kulturen ermöglicht.
- b) Wenn der mittlere Grundwasserstand (siehe Grundwasserstufen), GWO, tiefer ist als die nutzungsspezifische effektive Durchwurzelungstiefe (We_{Ac} oder We_{Gr}) plus 3 dm, dann trägt der Kapillaraufstieg mehr oder weniger zur Wasserversorgung der Kulturpflanzen bei, wenn der GWO höher liegt als T3. Der Anteil des Kapillaraufstiegs an der Gesamtversorgung ist die Differenz zwischen den Kennwerten $WAS_{Ac} - nFK_{We_{Ac}}$ bzw. $WAS_{Gr} - nFK_{We_{Gr}}$.
Auf solchen Böden können Anhebungen des Grundwassers, die noch nicht Zustand a) erreichen, für Trockenjahre zur Ertragssicherung führen, kaum zu Ertragssteigerungen. In Normaljahren sind Grundwasseranhebungen annähernd irrelevant, während für Nassjahre oder lange Nassperioden Ertragseinbußen möglich sind.
Auf solchen Böden sind annähernd auswirkungsfreie Absenkungen des Grundwassers möglich bis in die Tiefe T3_{Ac} unter Acker bzw. T3_{Gr} unter Grünland, die jeweils noch eine kapillare Aufstiegsrate von 3 mm/d in den effektiven Wurzelraum ermöglicht. Insofern der Grundwasserstand jedoch während der Vegetationsperiode schwankt, erhöht eine Absenkung des Grundwassers auf T3 das Risiko, dass in längeren Trockenperioden oder gar in Trockenjahren

die kapillare Aufstiegsrate deutlich unter 3 mm/d absinkt oder wie im Zustand c) gänzlich endet.

- c) Böden mit auskartiertem Grundwasser, in denen der Grundwasserstand so weit unter der effektiven Durchwurzelungstiefe liegt, dass ein Kapillaraufstieg ausbleibt bzw. ökologisch unwirksam ist, sind methodisch von grundwasserfreien Standorten nicht zu unterscheiden. Die Auswertung des Grenzflurabstands identifiziert die Tiefe, ab / unter der dies in Abhängigkeit von Bodenart und nutzungsabhängiger effektiver Durchwurzelungstiefe gegeben ist.

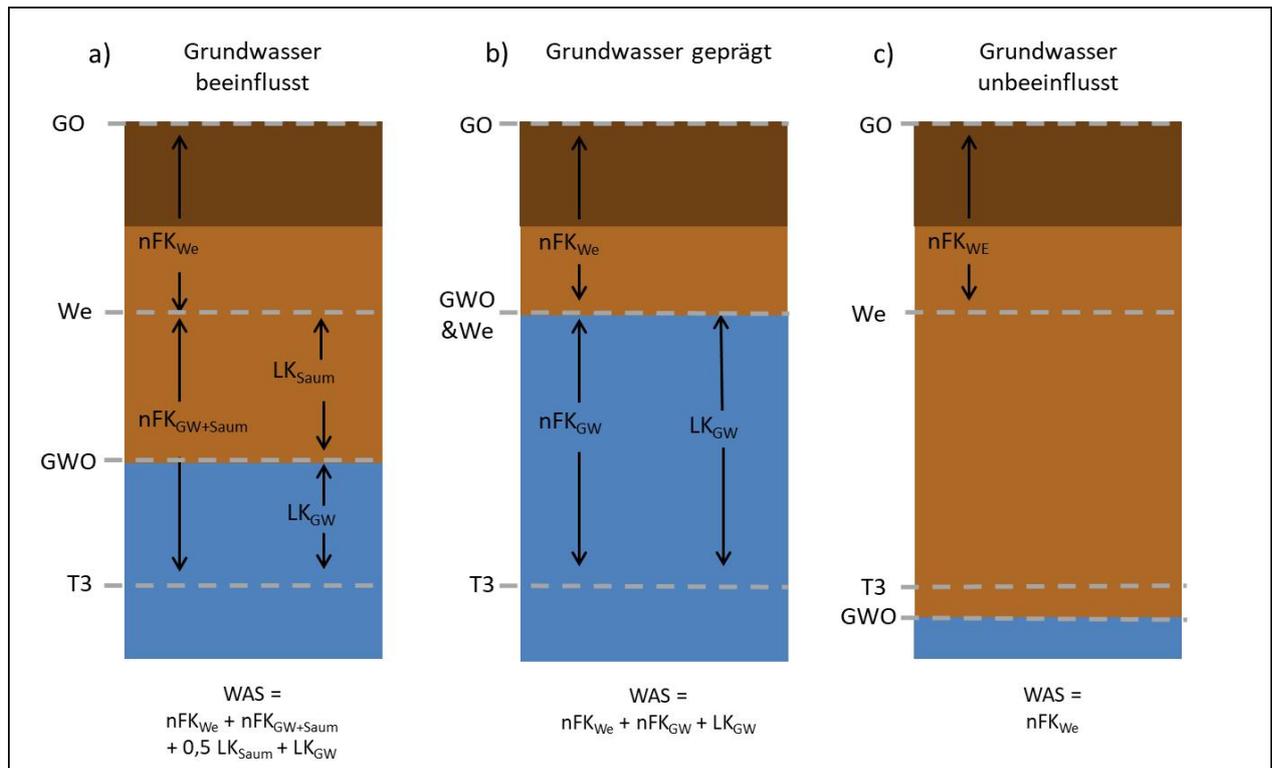
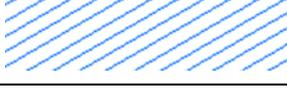


Abb. 10: Einfluss des Grundwassers auf die Wasserversorgung von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen (WAS) in Anhängigkeit von

- GWO der Tiefe der Grundwasseroberfläche
- T3 der Tiefe, in der die kapillare Aufstiegsrate unter 3 mm/d fällt,
- LK Luftkapazität
- nFK nutzbare Feldkapazität
- We der nutzungs- und bodenartenspezifischen effektiven Durchwurzelungstiefe.

Tabelle 4 Einfluss des Grundwassers auf die Wasserversorgung von Kulturpflanzen

Farbe 0 112 255	Grundwasser- einfluss	Beschreibung
	3 – geprägt von GW	Das Grundwasser steht unterhalb des effektiven Wurzel- raums an und trägt erheblich zur Wasserversorgung bei.
	2 – beeinflusst von GW	Das Grundwasser steht im 2-Meter-Raum an und trägt zur Wasserversorgung bei.
	1 – unbeeinflusst von GW	Das Grundwasser steht im 2-Meter-Raum an und trägt nicht zur Wasserversorgung bei.
	9 – Grundwasser unter 2 m	Grundwasser war oder ist vorhanden, jedoch unterhalb von 20 dm.
	0 – frei von Grundwasser	In den oberen 20 dm kein Grundwassereinfluss erkenn- bar

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

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen die Ergebnisse der Einstufung der WAS differenziert nach Acker- und Grünlandnutzung.

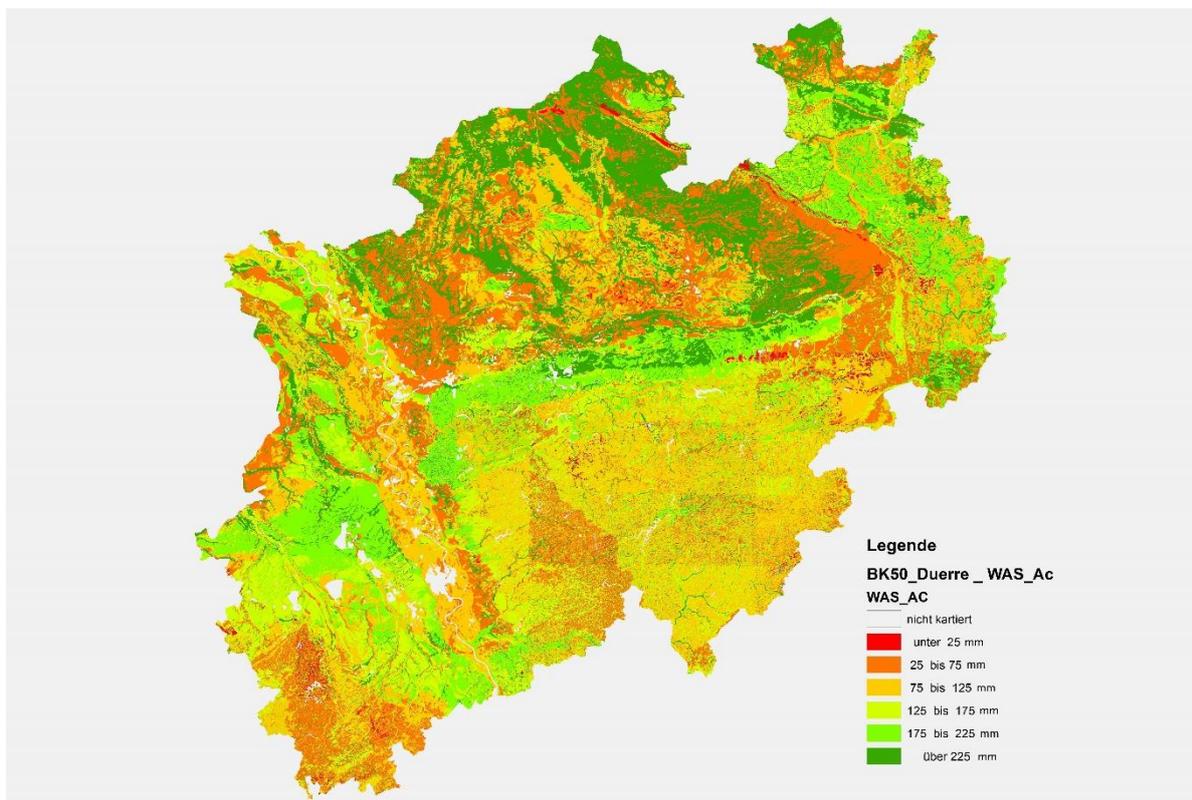


Abb. 11: Einstufung der Wasserversorgung von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen: Basis We Ackernutzung

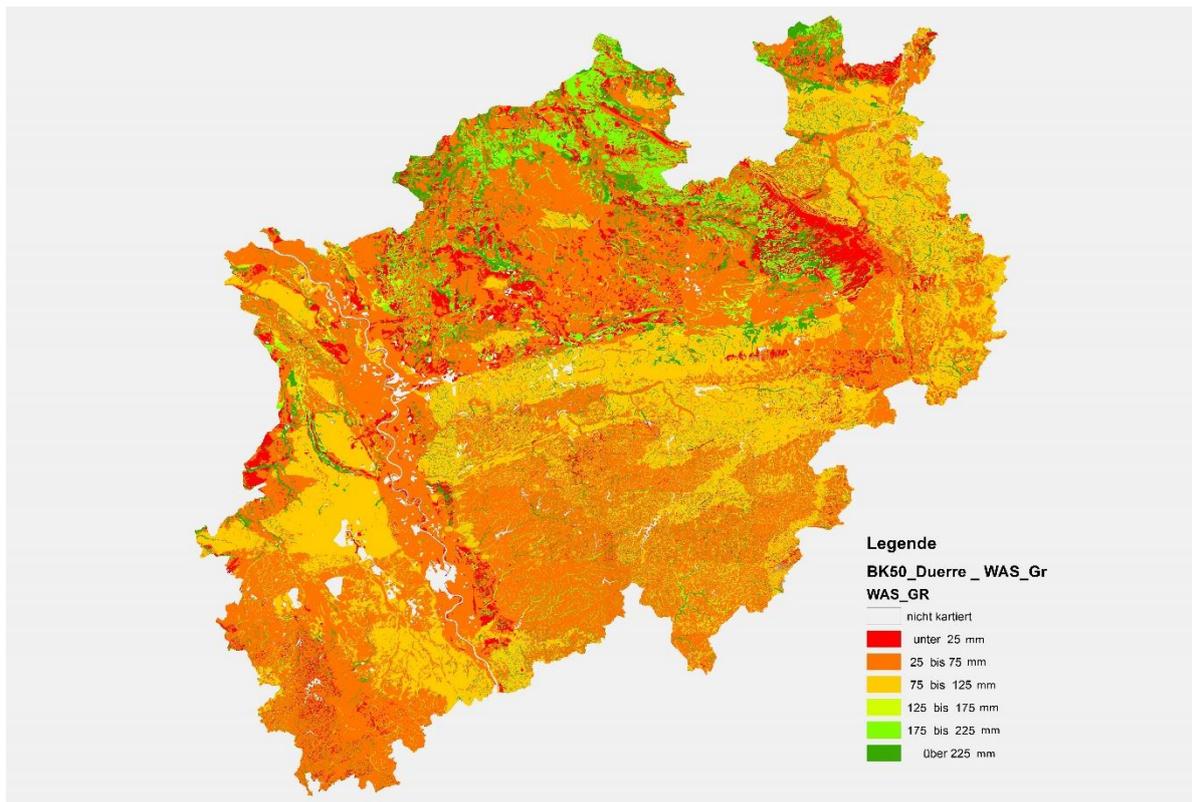


Abb. 12: Einstufung der Wasserversorgung von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen: Basis We Grünlandnutzung

3.2 Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung

Für die Berechnung des Standortwasserhaushalts müssen die weiteren wesentlichen abiotischen Faktoren neben den Bodeneigenschaften ebenfalls berücksichtigt werden.

Die Vorgehensweise orientiert sich an der für die Berechnung der Forstlichen Standortkarte entwickelten Methode. Sie beginnt mit der Ersteinstufung und Ermittlung eines stufenlosen Indexwertes durch die Verknüpfung der Bodendaten mit Klimadaten. Der nächste Schritt ist eine Modifikation dieses Indexwertes durch Zu- und Abschläge für Reliefeinflüsse. Zum Abschluss wird der ermittelte Standort-Index klassifiziert und kartenmäßig dargestellt.

3.2.1 Ersteinstufung

Nach der Methode, die für die FSK entwickelt wurde, wurde für die Beziehung zwischen Wasserversorgung und KWBv5 ein Nomogramm entwickelt (Abb. 13). Die farbig dargestellten Kurven grenzen dabei die Klassen des Standortwasserhaushalts gegeneinander ab. Der Verlauf der Kurven wurde gutachterlich festgelegt. Dabei werden folgende Prämissen berücksichtigt:

- mit steigender Wasserversorgung des Bodens steigt die Wasserversorgung des Standortes
- mit zunehmender KWBv5 steigt die Wasserversorgung des Standortes
- die Kurven des Nomogramms müssen den kompletten Bereich der auftretenden Wasserversorgung und auch den kompletten Bereich der KWBv5 abdecken: auch bei höchster positiver KWBv5 ist theoretisch eine sehr geringe oder äußerst geringe Wasserversorgung möglich; auch bei geringster negativer KWBv ist theoretisch eine sehr hohe oder äußerst hohe Wasserversorgung möglich

- je geringer die Wasserversorgung ist, desto stärker wirkt sich ein geringer Unterschied in der Wasserversorgung aus, dementsprechend schmaler sind die Klassen
- bei steigender KWBv5 wirkt sich der Zuwachs zunehmend geringer auf die Wasserversorgung aus, der Anstieg der Kurven nimmt ab
- bei abnehmender KWBv5 – insbesondere in den negativen Bereich – wirkt sich die Abnahme zunehmend stärker auf die Wasserversorgung aus, der Abfall der Kurven nimmt zu.

Als zentrale Festlegung wurden die Klassengrenzen des Standortwasserhaushalts bezogen auf eine KWBv5 von 0 mm festgelegt. Jede Kurve wird durch einen Indexwert gekennzeichnet (Tab. 5).

Im Zuge der Ersteinstuflung einer Bodenfläche nach Wasserversorgung und KWBv5 wird der Indexwert stufenlos zwischen den Kurven interpoliert.

Tabelle 5: Definition der Klasse der Wasserversorgung bei KWBv5 = 0, für die Berechnung des Standortwasserhaushalts für die landwirtschaftliche Nutzung

Klasse	Bezeichnung	Wasserversorgung bei KWBv5 = 0 mm	Indexpunkte	
			Spanne	Mitte
L1	äußerst gering 255 - 0 - 0	0 – 22 mm	0 - 1,5	1
L2	sehr gering 255 - 117 - 0	> 22 – 45 mm	1,5 – 2,5	2
L3	gering 255 - 204 - 0	> 45 – 75 mm	2,5 – 3,5	3
L4	mittel 200 - 255 - 0	> 75 – 120 mm	3,5 – 4,5	4
L5	hoch 128 - 255 - 0	> 120 – 175 mm	4,5 – 5,5	5
L6	sehr hoch 56 - 168 - 0	> 175 – 240 mm	5,5 – 6,5	6
L7	äußerst hoch 0 - 160 - 136	> 240 mm	> 6,5	7

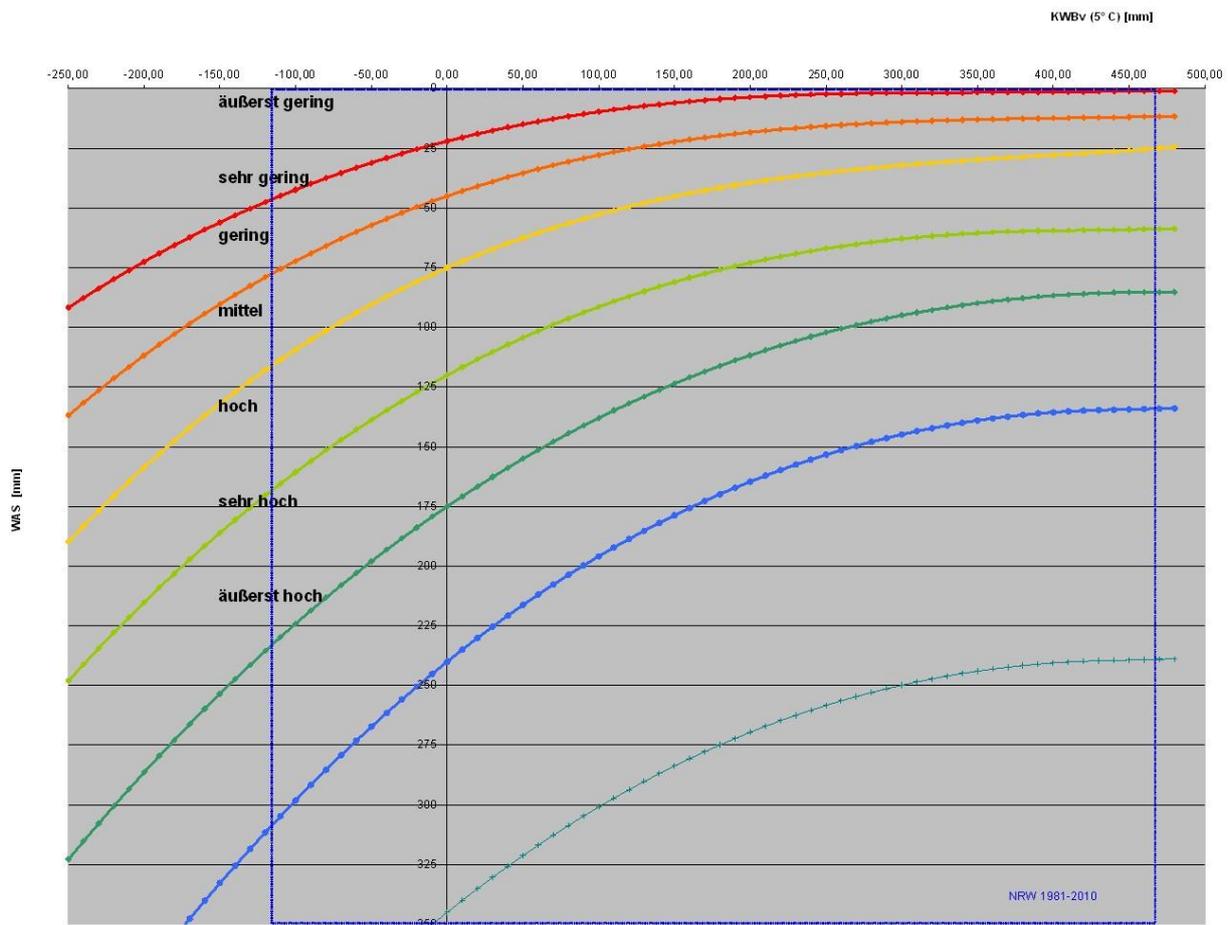


Abb. 13: Ableitung der Indexwerte des Standortwasserhaushaltes (STOX) aus der Beziehung zwischen WAS und KWBv5. Der blaue Rahmen stellt die Spannweite der KWBv5 für NRW dar.

Die Klasse äußerst hoch (L7) muss aus Gründen der Berechenbarkeit eine Obergrenze besitzen, die in der Graphik als Hilfslinie ohne Beschriftung eingezeichnet ist aber keine eigene Klasse darstellt.

3.2.2 Relief

Die Indexwerte des Standortwasserhaushalts aus der Erseinstufung nach nFK_{WE} und KWBv5 werden auf Grundlage der nachfolgend beschriebenen Reliefauswertung modifiziert. Erst zum Abschluss werden die Indexwerte klassifiziert in die Stufen des Standortwasserhaushalts.

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

3.2.2.1 Reliefabhängige Verdunstung

Sonnenhänge besitzen aufgrund der Einstrahlung als lokalklimatische Variation eine erhöhte Evapotranspiration, beschattete Bereiche oder sonnenabgewandte Bereiche eine reduzierte Evapotranspiration. Da es hier um Standortpotentiale handelt, wird kein weiteres Klimamodell verwendet,

sondern es wird der aus dem Relief abgeleitete potentielle topographische Strahlungsgenuss als Korrekturparameter verwendet.

Um für die Evapotranspiration relevante Standorteigenschaften zu differenzieren, werden ebene Flächen als neutral eingestuft. Dazu wurden große, als eben eingestufte Flächen ausgewählt; es handelt sich hierbei um die Wasseroberflächen von Stauseen in verschiedenen Landesteilen, die Oberfläche des Rheins, der 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 topographischem 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 innerhalb der gleichen Bodenfläche eine Differenzierung von maximal einer Wasserhaushaltsstufe anzunehmen ist. Die Werte zur Modifikation des Indexwertes aufgrund eines Einflusses der reliefabhängigen Evapotranspiration wurden mithilfe zweier Regressionen errechnet; auf diese Weise werden für Einstrahlungen < 965 kWh/m² Zuschlagswerte von 0,002 bis 0,5 (für absolute Ausnahmen bis 0,78) und für Einstrahlungen > 1020 kWh/m² (negative) Zuschlagswerte von -0,013 bis -0,6 (selten bis -0,77) erreicht.

Da die Einstrahlungswerte nicht mit ihren absoluten Werten, sondern nur normiert verwendet werden, ist die Abweichung der verwendeten Hauptvegetationszeit von der realen landwirtschaftlichen Vegetationsperiode vernachlässigbar.

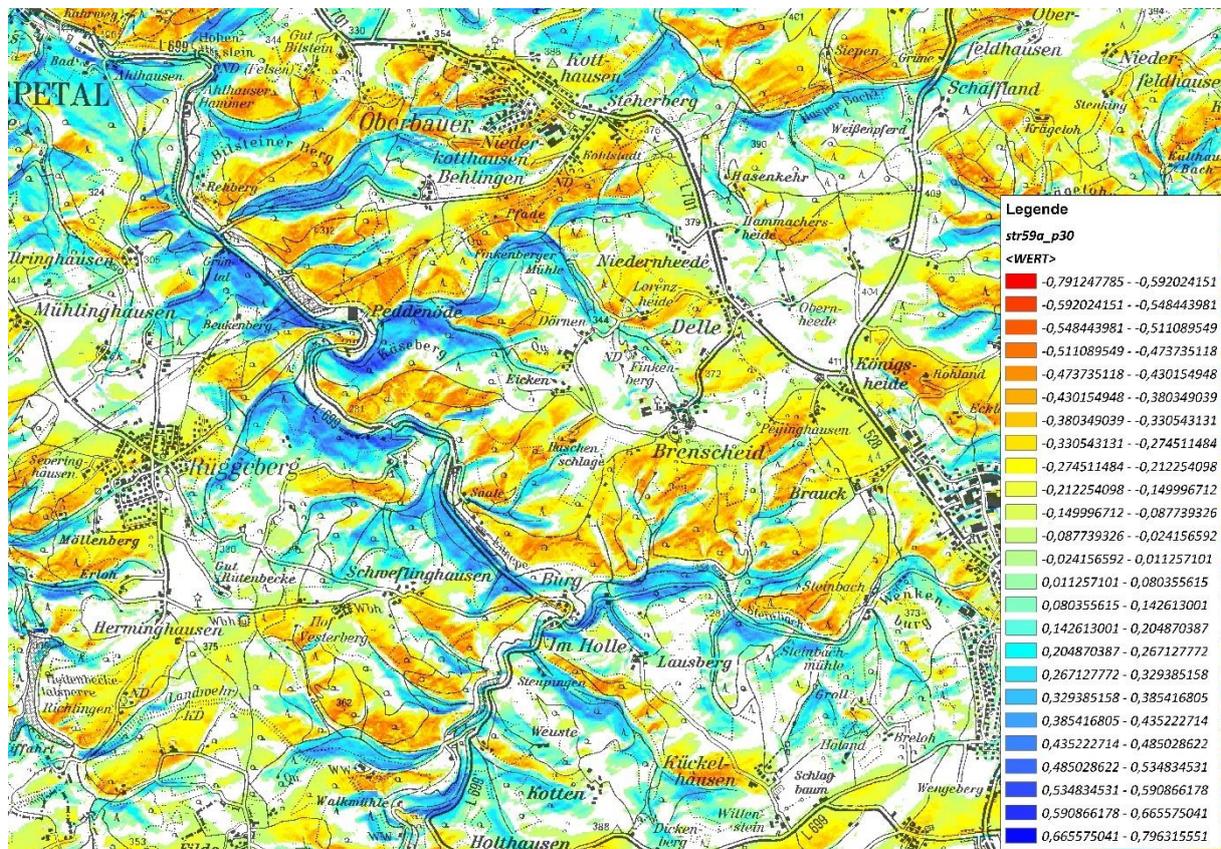


Abb. 14: Einstrahlungssumme in Nordrhein-Westfalen für die Monate Mai - September, normiert und für die Darstellung klassifiziert (Werte ebener Lage auf 0 gesetzt sowie

zwischen -0,001 und +0,001 aus der Darstellung ausgeschlossen); Beispiel: Raum Ennepetal

Abbildung 14 zeigt die Auswirkungen von Hangneigung und Exposition in einer Mittelgebirgsregion auf die Einstrahlungssumme. Bis auf ausgesprochene Kuppen-, Plateau- oder Talbodenlagen sind nahezu alle Flächen geneigt und erhalten dementsprechend eine Modifikation der Wasserhaushaltseinstufung, maximal plus/minus 0,79 Indexpunkte. Dabei bedeuten negative Werte eine Verschiebung zu trockeneren, positive Werte eine Verschiebung zu feuchteren Verhältnissen. Deutlich in Abbildung 14 zu erkennen ist, bei entsprechenden Neigungen, die Trennung von Nordhängen (negative Werte; rote Farbtöne) und Südhängen (positive Werte; blaue Farbtöne).

Die deskriptive Statistik zur Verteilung der normierten Werte der Einstrahlung in Abbildung 15 zeigt mit einem Mittelwert von -0,02 und einer Standardabweichung von 0,13, dass die Modifikation der Standortwasserhaushalts-Indexwerte durch die Einstrahlung überwiegend gering ist. Die weit überwiegenden Werte zwischen -0,3 und +0,3 führen nur bei Standorten, deren Werte nahe an Klassengrenzen liegen zu einer Verschiebung in die Nachbarklasse und damit zu einer erwünschten feineren und fachlich plausiblen Differenzierung der Standorte.

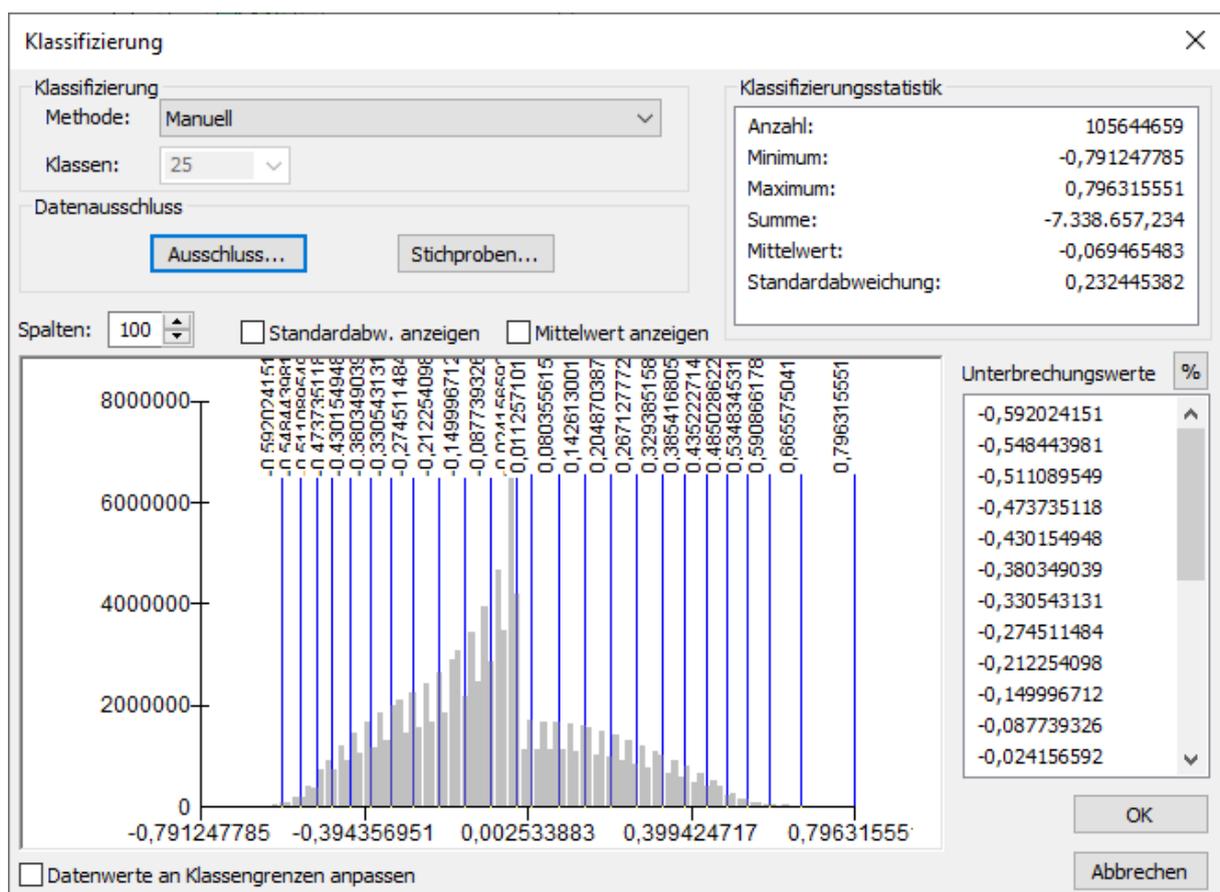


Abb. 15: Deskriptive Statistik zur landesweiten Verteilung der Zu- und Abschläge aufgrund unterschiedlicher Sonneneinstrahlung. Zur Verdeutlichung der Verteilung sind Werte zwischen -0,001 und +0,001 aus der Berechnung ausgeschlossen.

Normierung der Einstrahlung:

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

$$Ex = ((E - 1000) \cdot -1 \cdot 0,0056 + 0,0992) \cdot 1,3$$

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

$$Ex = (\ln((E - 1000) \cdot -1) \cdot 0,1844 - 0,6535) \cdot 1,3$$

Sonst $Ex = 0$

E = Einstrahlung Mai-September [kWh/m²], Wertebereich 110 bis 1124 kWh/m²

965 – 1020 kWh/m² als eben und damit neutral angesehen

Ex = normierter Einstrahlungswert zur Modifikation der Standortwasserhaushaltsberechnung

3.2.2.2 Hangwasserzug

Hangzugswasser – auch als Interflow oder Zwischenabfluss bezeichnet - entsteht, wenn bei Hangstandorten die Wasserleitfähigkeit des Bodens zur Tiefe stark abnimmt und das Wasser in Richtung des größten Gefälles abgelenkt wird. Böden an Mittel- und Unterhängen erhalten auf diese Weise Zuschusswasser. Die Mengen sind abhängig vom jeweiligen oberhalb gelegenen Einzugsgebiet. Ausschlaggebend für die Entstehung von Hangzugswasser ist die im Mittelgebirgsraum weit verbreitete typische Ausprägung übereinander lagernder Fließerden, i.d.R. 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 Hangzugswasser 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 sickert dieses Wasser vertikal ins Grundwasser und steht der Vegetation nicht mehr zur Verfügung. Zur Entstehung von Hangzugswasser 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 Hangzugswasser kann es, besonders bei starken Niederschlägen zu oberflächlichem Abfluss des Niederschlagswassers kommen.

Bei der vorliegenden Auswertung wird davon ausgegangen, dass Hangzugswasser – relevant für den landwirtschaftlichen Standort – während der Vegetationsperiode überwiegend in Gebieten mit deutlichem Niederschlagsüberschuss, also einer deutlich positiven klimatischen Wasserbilanz 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 und die Wasserversorgung am Mittel- und Unterhang verbessern kann.

Der Bodenfeuchteindex der Reliefauswertung (Abbildung 16) der Scilands GmbH wurde für die Bewertung des Hangwasserzuges im vorliegenden Modell herangezogen. Dabei wurde die DGM-Auswertung des Bodenfeuchteindex reduziert auf Bereiche mit positiver KWBv5 von mindestens +100 mm; außerdem wurden Bereiche höherer Werte des Bodenfeuchteindex ausgeblendet, die immer nur in Tälern oder Auen und damit in typischen Grundwasserregionen vorkommen, bei denen das potentiell zufließende Wasser dementsprechend standortkundlich nicht als Hangzugwasser, sondern gegebenenfalls als Grundwasser relevant ist und über andere Wege bereits im Modell berücksichtigt ist.

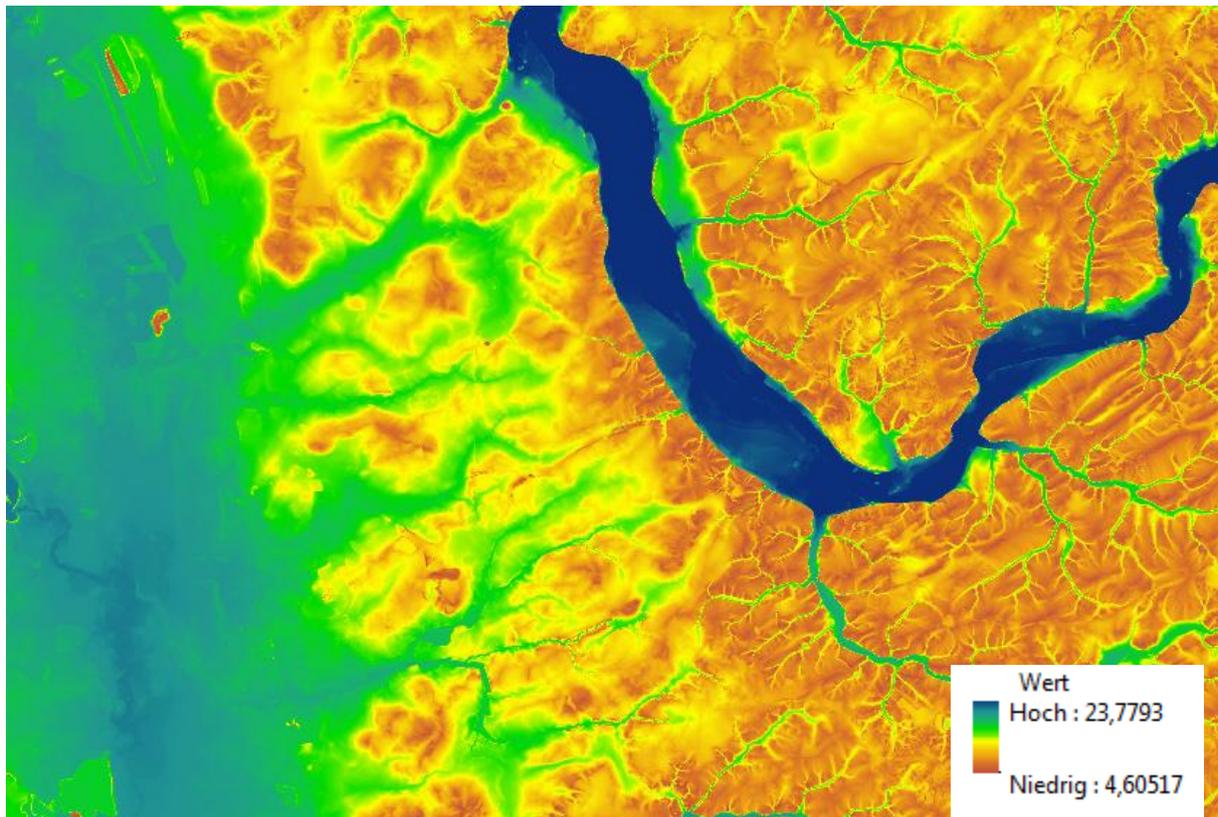


Abb. 16: Bodenfeuchteindex (BFI) als Detailausschnitt: Rheintal bei Ratingen bis Ruhr südlich Mülheim, geringe Werte gelb und rot, hohe Werte grün und blau; Auswertung des DGM10 durch die Scilands GmbH

Die Werte des Bodenfeuchteindex (Abbildung 16) werden gewichtet (auf Basis der normierten klimatischen Wasserbilanz (KWBv5, Abbildung 17)) und stufenlos normiert (Abbildung 18). Die gewichteten und normierten Werte – zur Modifikation des Indexwertes der Ersteinstufung des Standortwasserhaushalts – gehen davon aus, dass durch Hangzugwasser – bei sonst gleichen bodenkundlichen und klimatischen Bedingungen - am Mittel- und Unterhang eine Verbesserung der Wasserversorgung von maximal einer Wasserhaushaltsstufe anzunehmen ist.

In Hinblick auf die deutlich geringere Durchwurzelungstiefe von Grünland gegenüber Ackerkulturen wird von einem deutlich geringeren Gewinn an Hangzugwasser ausgegangen. Daher wird der berechnete Zuschlag um den Faktor 0,5 reduziert.

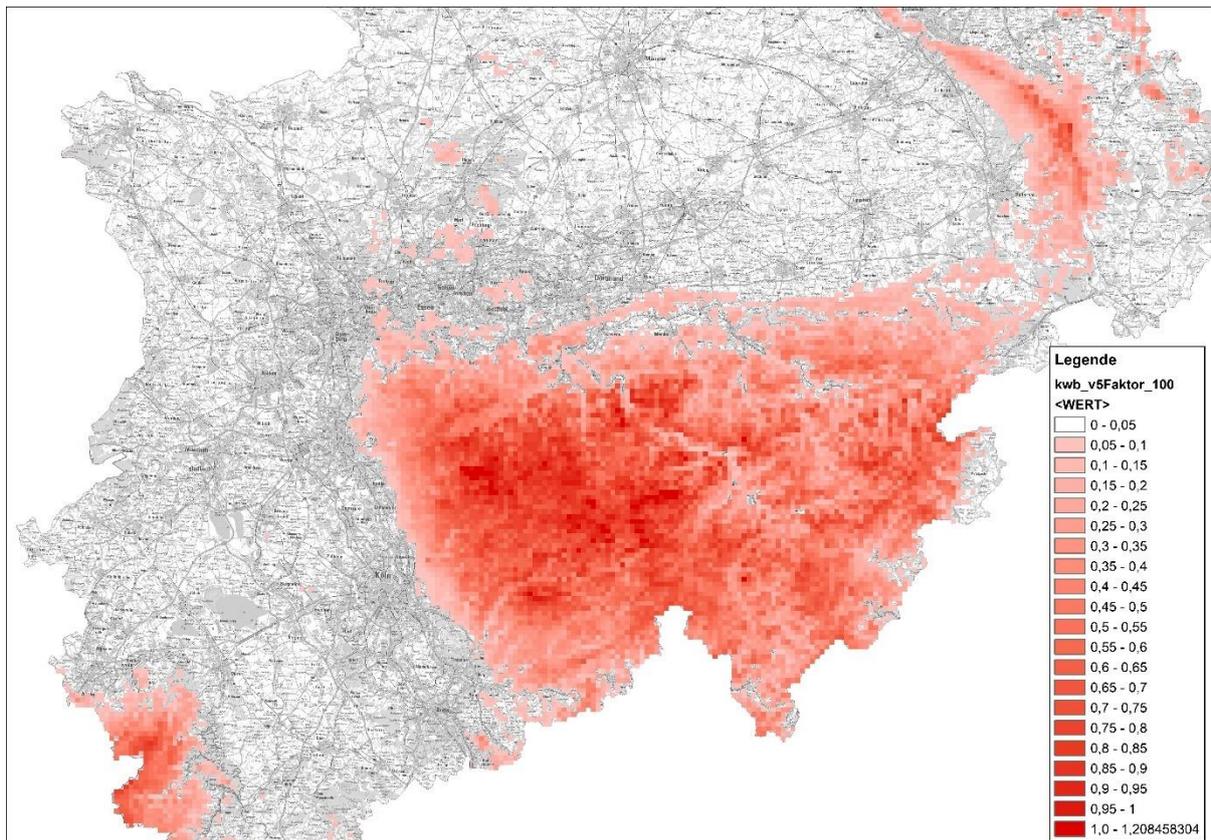


Abb. 17: Normierte Werte der KWBv5 als Gewichtungsfaktoren des BFI zur Berechnung der Korrektur des Standortwasserhaushalts-Indexwertes

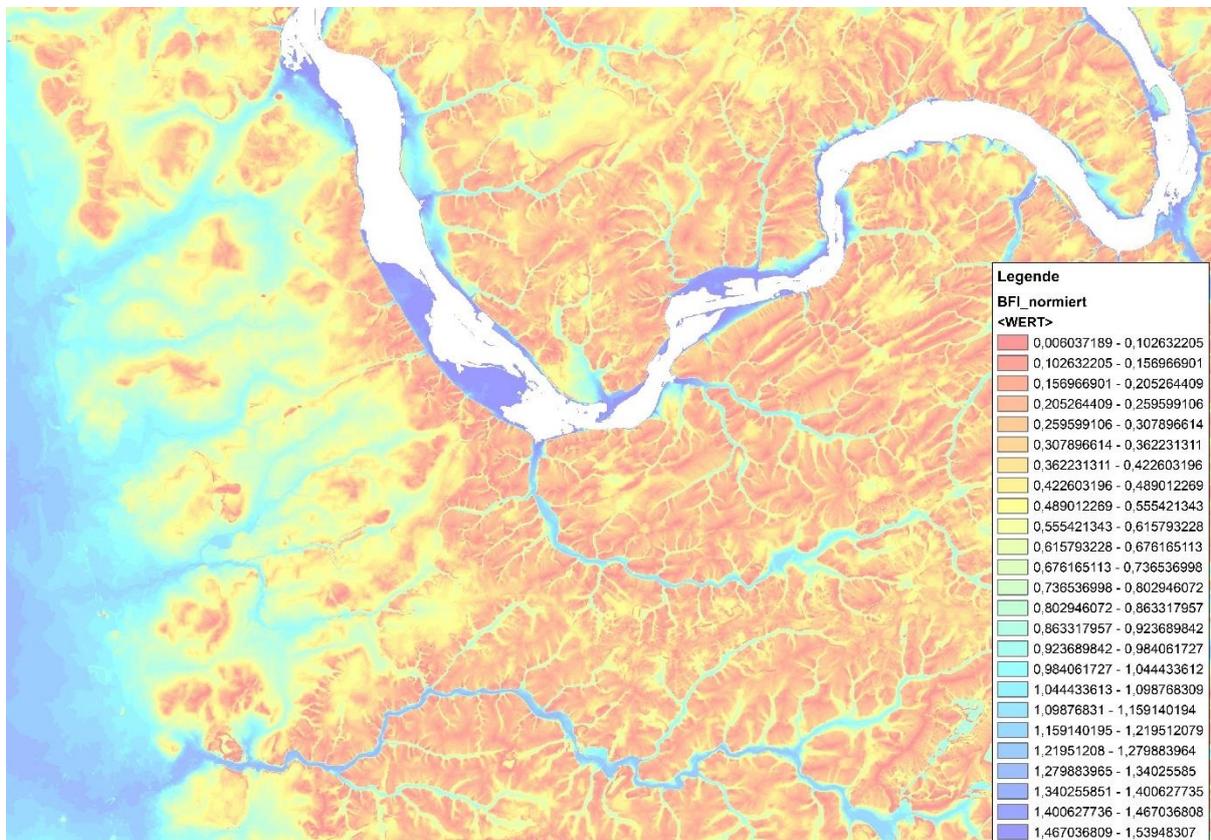


Abb. 18: Normierte Werte des BFI zur Berechnung der Korrektur des Standortwasserhaushalts-Indexwertes (ähnlicher Ausschnitt wie Abb. 16)

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 Standorte durchschlagen.

Abbildung 19 zeigt als Beispiel – für die Darstellung klassifiziert – die normierten und gewichteten Werte des Bodenfeuchteindex. In der Darstellung weiße Flächen erhalten keine Modifikation, da die $KWB_{v5} < +100$ mm 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 grundwassergeprägt sind (Gleye, Auen), so dass sich der Hangwasserzuzug methodisch und auch standortkundlich nicht auswirkt.

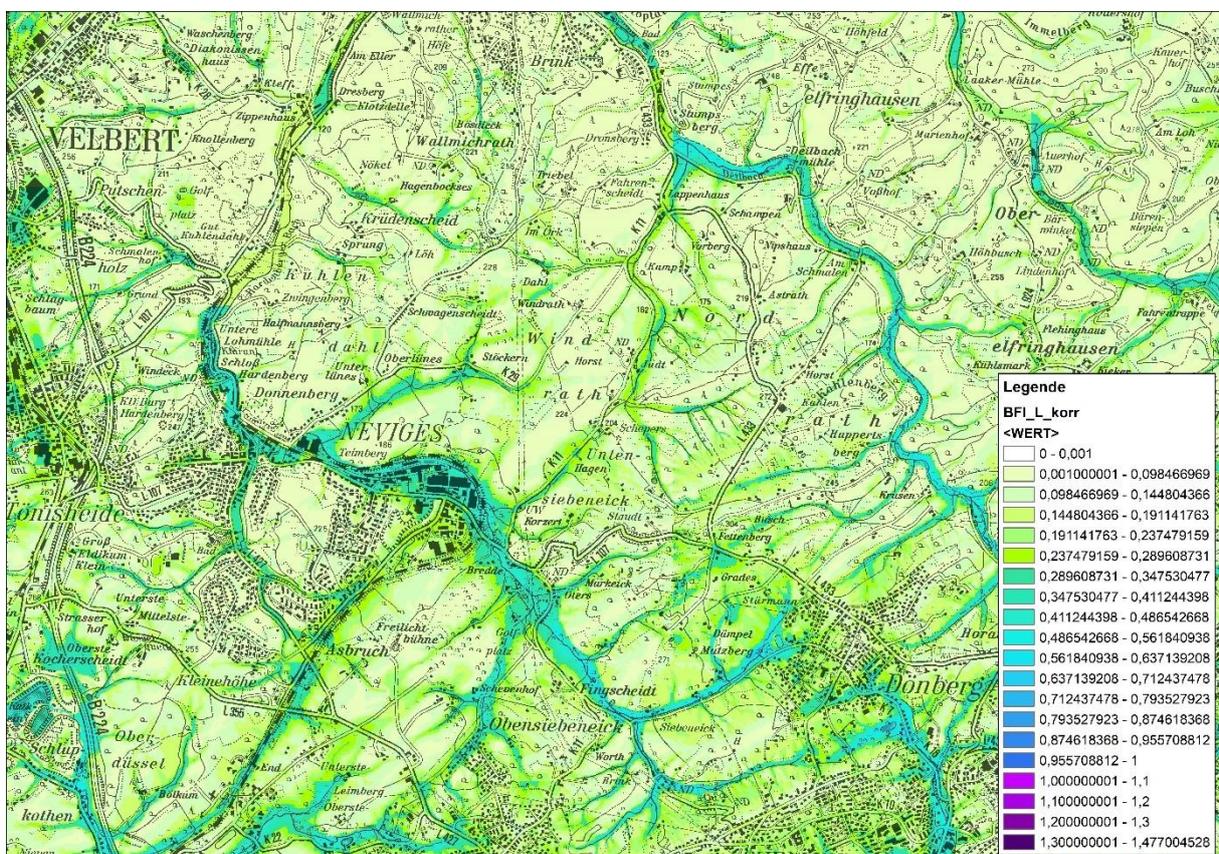


Abb. 19: Bodenfeuchteindex normiert und gewichtet mit der KWB_{v5} (H_{BFI})

Korrektur Hangzugwasser normiert:

$$H_{xA} = G_{KWBv} * H_{BFI}$$

$$H_{xG} = G_{KWBv} * H_{BFI} * 0,5$$

mit:

Wenn $KWBv5 < +100$

$$G_{KWBv} = 0$$

Wenn $KWBv5 \geq +100$

$$G_{KWBv} = (KWBv5 - 100) / 300$$

und:

Wenn $BFI > 20$ oder wenn $BFI < 4,60517$

$$H_{BFI} = 0$$

Wenn $BFI \geq 4,60517$ und $BFI \leq 20$

$$H_{BFI} = (BFI - 4,60517) / 10$$

$KWBv5$ = Klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode $> 5 \text{ }^\circ\text{C}$

G_{KWBv} = Gewichtungsfaktor nach $KWBv$ für Hangzugwasser

BFI = Bodenfeuchteindex

H_{BFI} = Bodenfeuchteindex, normiert

H_{xA} = Korrekturwert für Hangzugwasser, Acker

H_{xG} = Korrekturwert für Hangzugwasser, Grünland

3.2.3 Endeinstufung

Für die Endeinstufung des Standortwasserhaushalts werden die Indexwerte der Ersteinstufung und die Korrekturwerte nach Sonneneinstrahlung und Hangwasserzug zur Endeinstufung addiert.

Dieser modifizierte Indexwert wird wiederum mit den Kurven der nFK/KWBv-Beziehung (Abbildung 13) abgeglichen und klassifiziert.

Bei der Bewertung des Standortwasserhaushalts für landwirtschaftliche Nutzung wird das Potential der Standorte dargestellt, unabhängig von ihrer tatsächlichen Nutzung. Deshalb werden für alle Flächen, die nach ATKIS landwirtschaftlich genutzt werden sowohl die Acker- wie auch die Grünlandnutzung berechnet und dargestellt. Um Irritationen der Nutzer zu vermeiden werden allerdings alle Flächen, die nicht landwirtschaftlich genutzt werden, aus der Darstellung herausgenommen.

Die folgenden Abbildungen zeigen exemplarisch den Weg von der Ersteinstufung des landwirtschaftlichen Standortwasserhaushalts (Abb. 20 und 23), über die flächendeckende Einstufung der landwirtschaftlichen Standorte nach Reliefkorrektur (Abb. 21 und 24) bis zur Enddarstellung der Karte „Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung“, begrenzt auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen (Abb. 22 und 25).

Standortwasserhaushalt Landwirtschaft:

$$\text{STOx-A} = \text{STOx} + \text{Ex} + \text{Hx}_A$$

$$\text{STOx-Gr} = \text{STOx} + \text{Ex} + \text{Hx}_G$$

STOx = Indexwert Ersteinstufung Standortwasserhaushalt Landwirtschaft

Ex = Korrekturwert für Einstrahlung

Hx_A = Korrekturwert für Hangzugwasser, Acker

Hx_G = Korrekturwert für Hangzugwasser, Grünland

STOx-A = Indexwert Endeinstufung Standortwasserhaushalt Acker

STOx-Gr = Indexwert Endeinstufung Standortwasserhaushalt Grünland

Die Endeinstufung zeigt eine einheitliche und vergleichbare Kartendarstellung der Dürreempfindlichkeit auf der Basis des Standortwasserhaushaltes landwirtschaftlich genutzter Flächen ermöglicht. Eine konkrete Aussage für Einzelflächen ist aufgrund des Maßstabes nicht bzw. nur sehr eingeschränkt möglich.

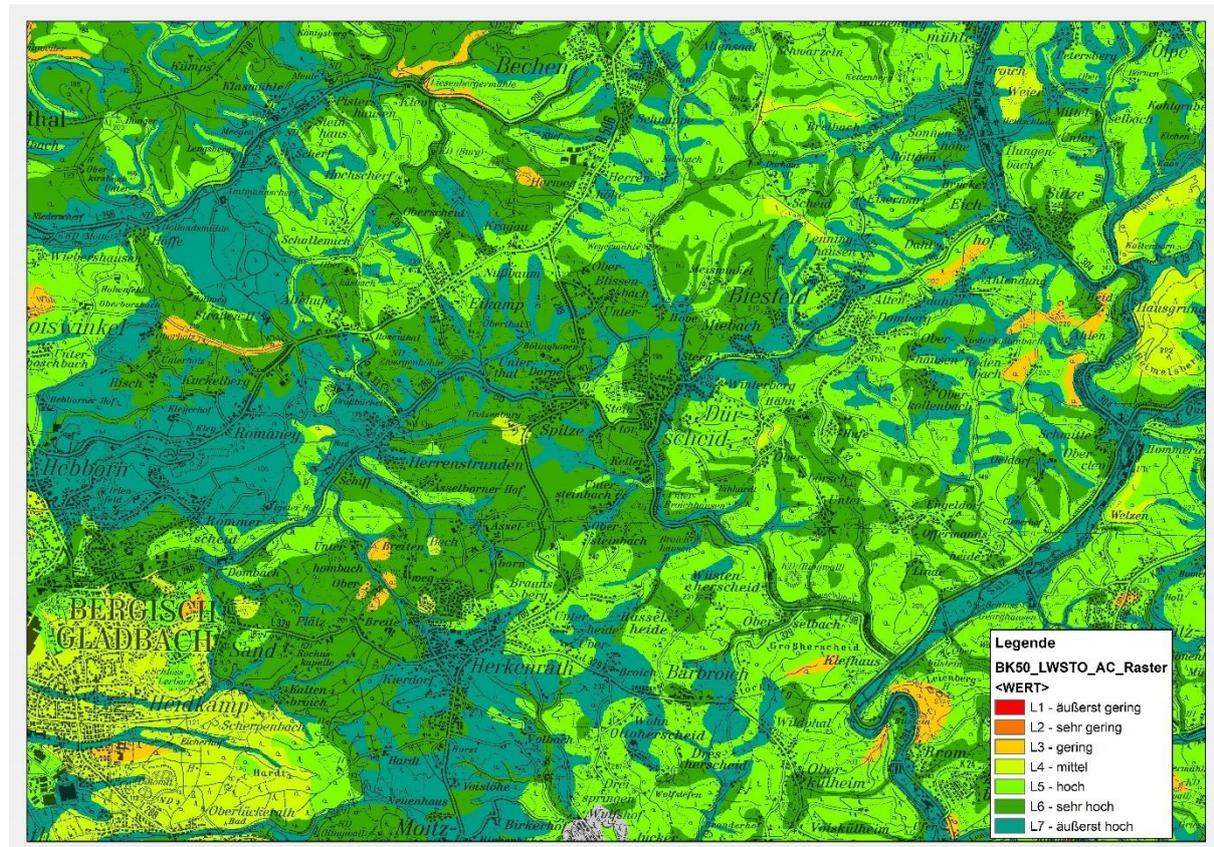


Abb. 20: Standortwasserhaushalt Ersteinstufung Acker

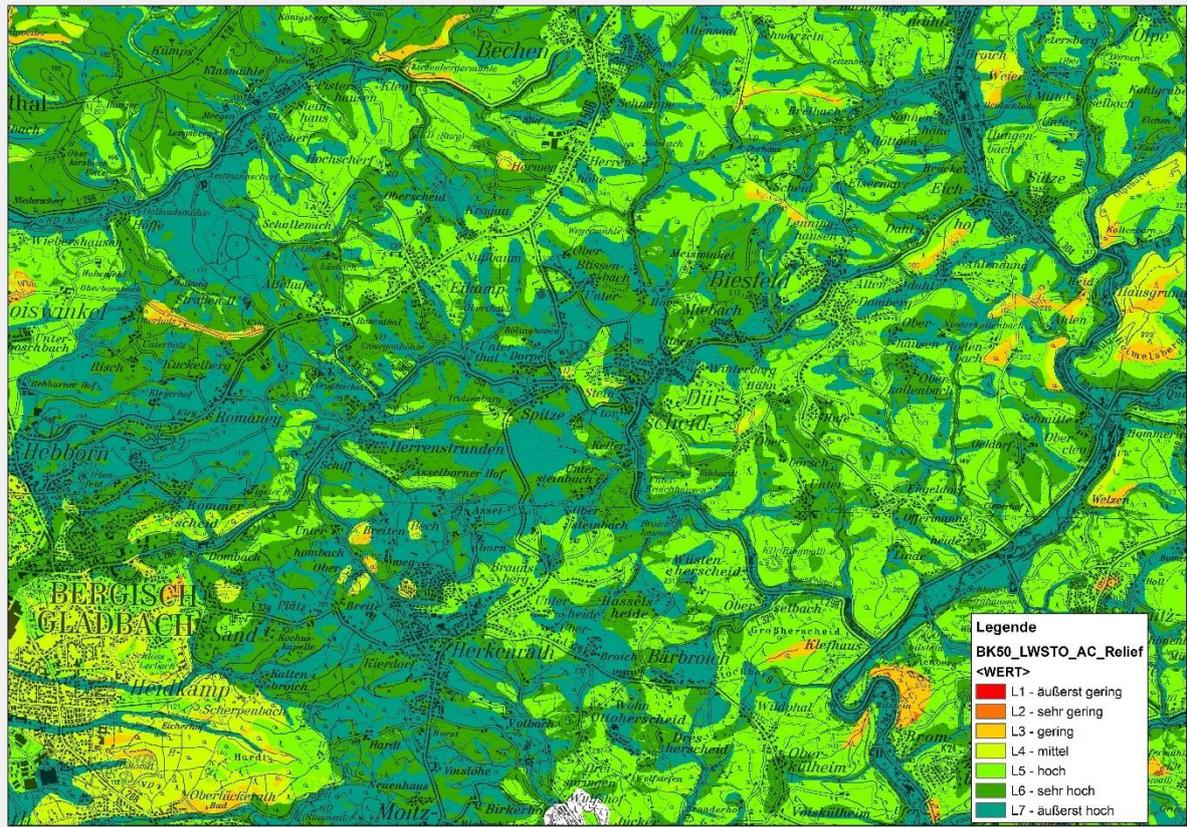


Abb. 21: Standortwasserhaushalt Einstufung Acker mit Reliefkorrektur

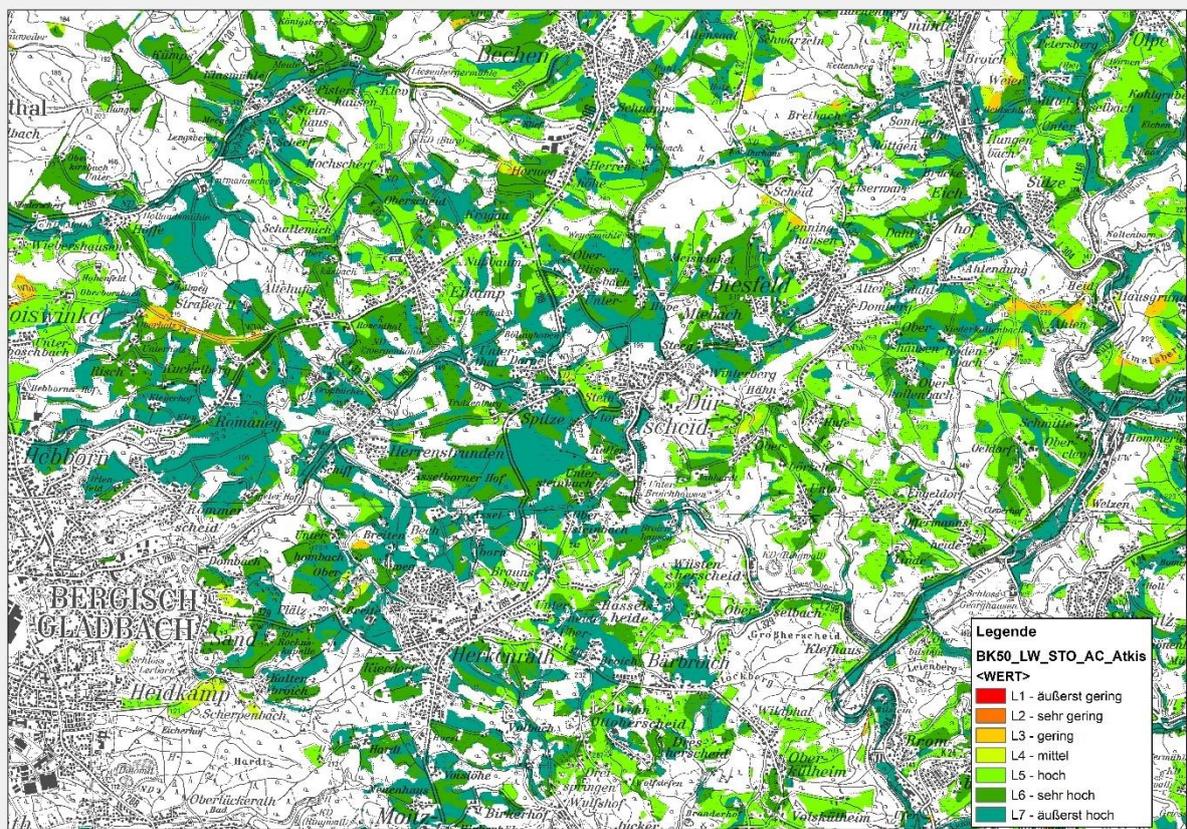


Abb. 22: Standortwasserhaushalt Einstufung Acker mit Reliefkorrektur, ATKIS Landwirtschaft

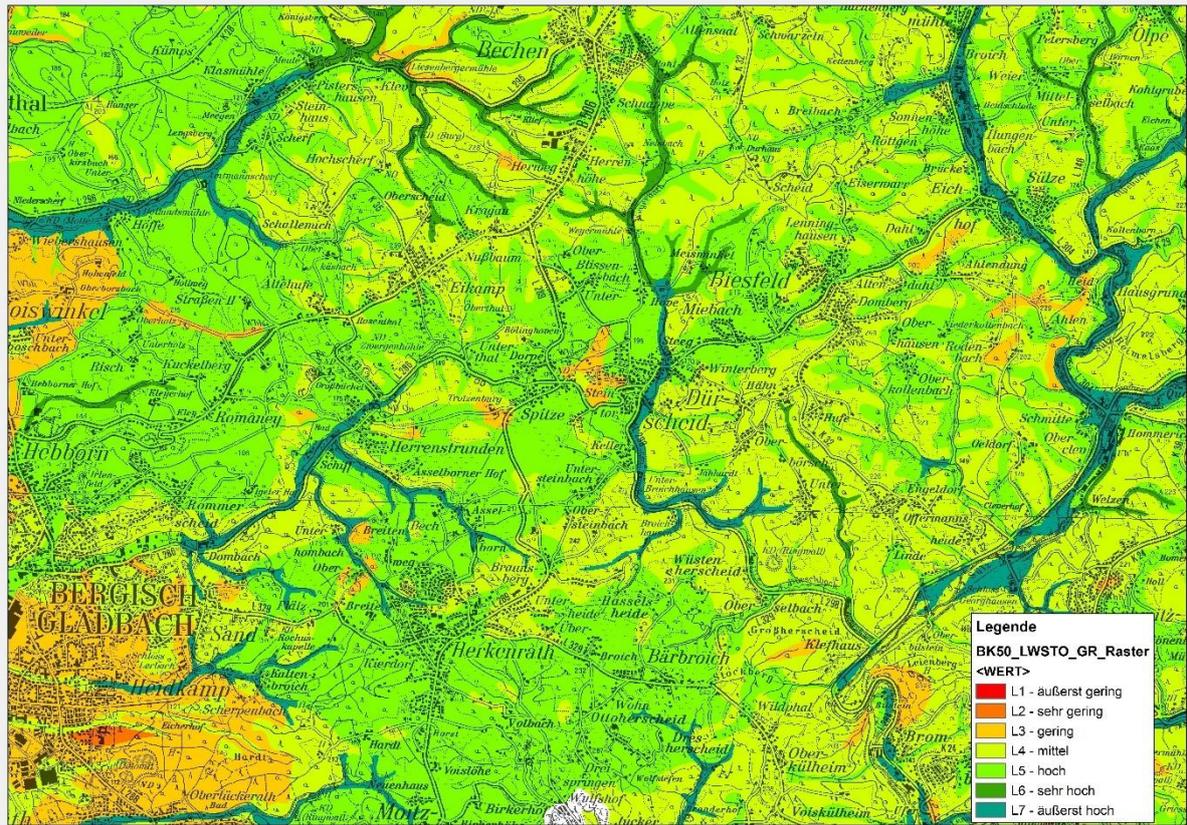


Abb. 23: Standortwasserhaushalt Ersteinstufung Grünland

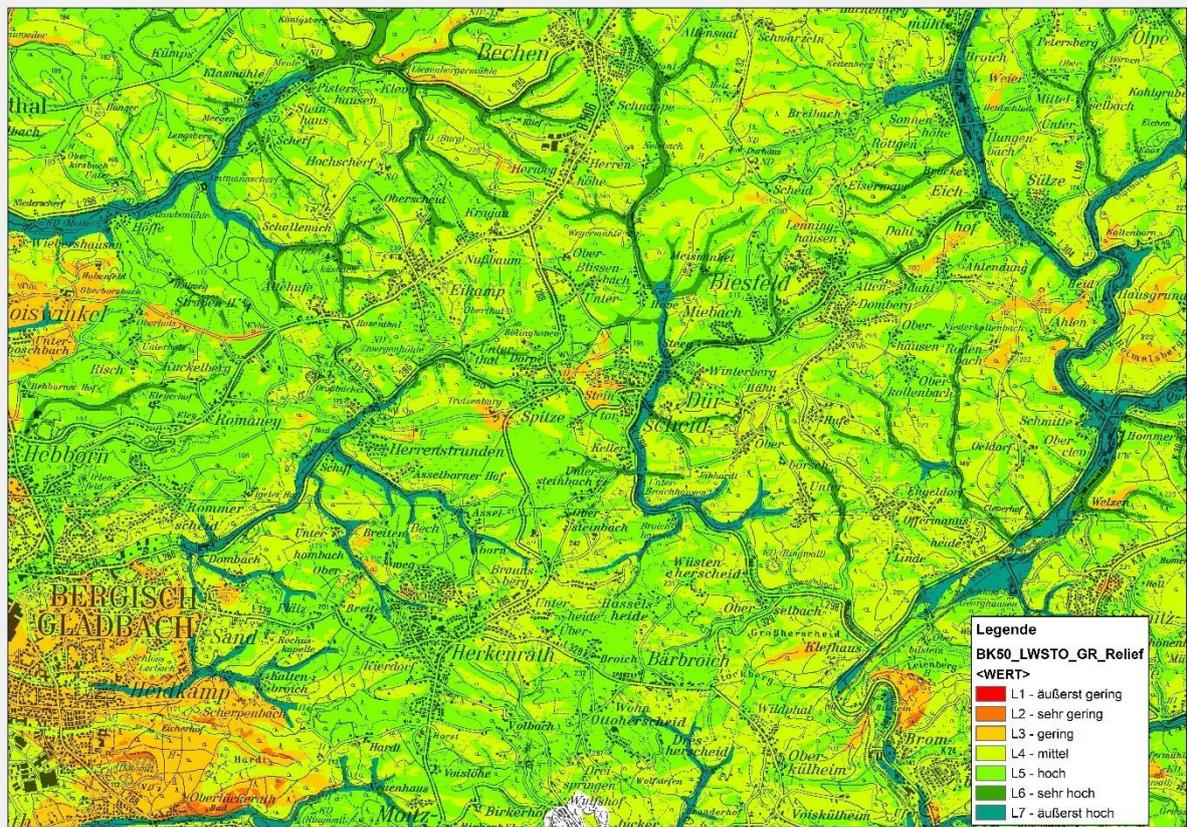


Abb. 24: Standortwasserhaushalt Einstufung Grünland mit Reliefkorrektur

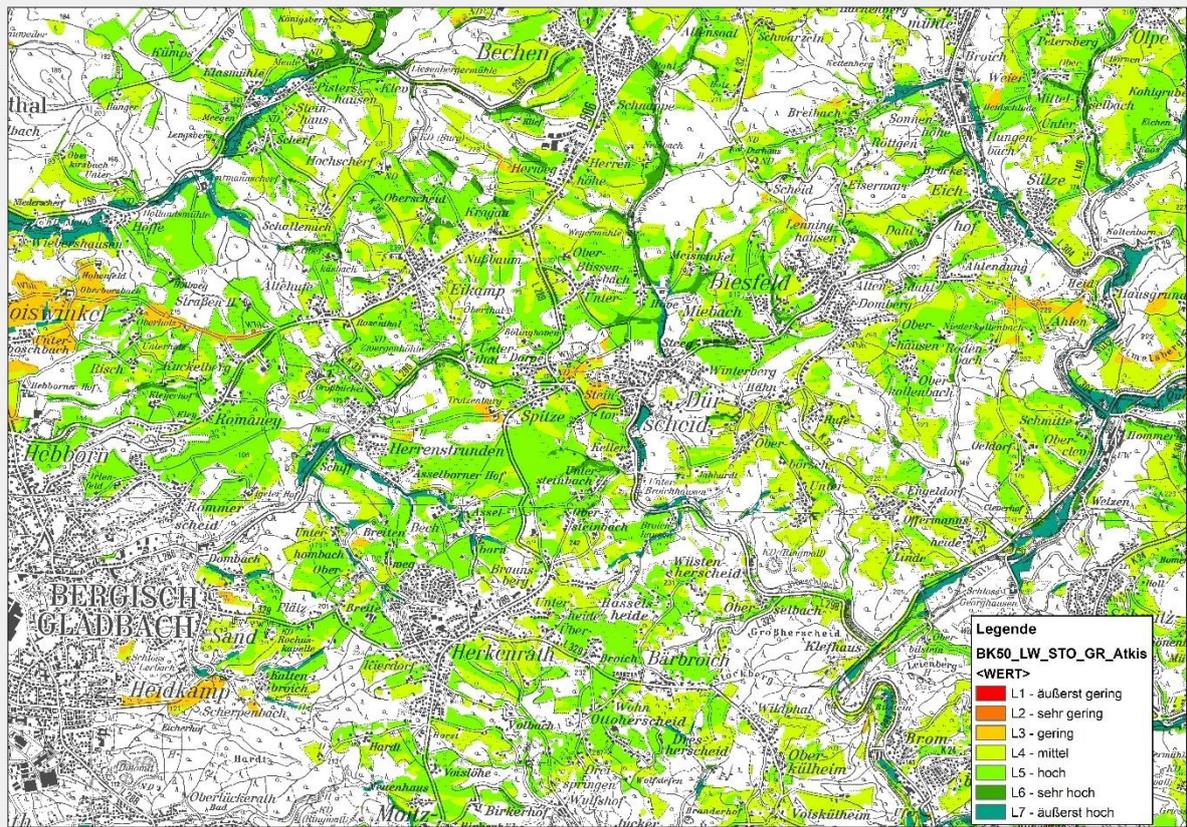


Abb. 25: Standortwasserhaushalt Einstufung Grünland mit Reliefkorrektur, ATKIS Landwirtschaft

3.2.4 Nutzung der Karten „Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung“

Um eine sachgerechte Interpretation der Karten zu erleichtern, werden sie in ihrer Darstellung mit ergänzenden Layern versehen. Im Layer Staunässe wird durch eine graue Punkt-Signatur gekennzeichnet, welche Bereiche durch schwach oder mäßige und welche durch starke oder sehr starke Staunässe geprägt sind. Die Information ob eine Fläche durch Staunässe beeinflusst ist, kann nützliche Informationen bei einer Bewertung von Flächen mit gleicher Einstufung des Standortwasserhaushaltes liefern. In der Methodik selbst ist bisher nur die starke und sehr starke Staunässe über die nFK berücksichtigt (s. Kap. 3.1).

Im Layer Grundwasser wird durch blaue Punkt- oder Liniensignaturen gekennzeichnet, welche Bereiche mehr oder weniger stark durch Grundwasser geprägt sind. Das zusätzliche Wasserangebot durch Grundwasser ist in der Berechnung des Speichervermögens für Bodenwasser berücksichtigt (s. Kap. 3.1). Dennoch kann diese Zusatzinformation wichtige Hinweise geben auf die Variabilität und Witterungsabhängigkeit des Wasserangebots im Unterschied zu Standorten, deren Böden allein das über die nFK gespeicherte Wasser den Pflanzen zur Verfügung stellen.

Beispiele für die Kartendarstellung zeigen die Abbildungen 26 und 27.

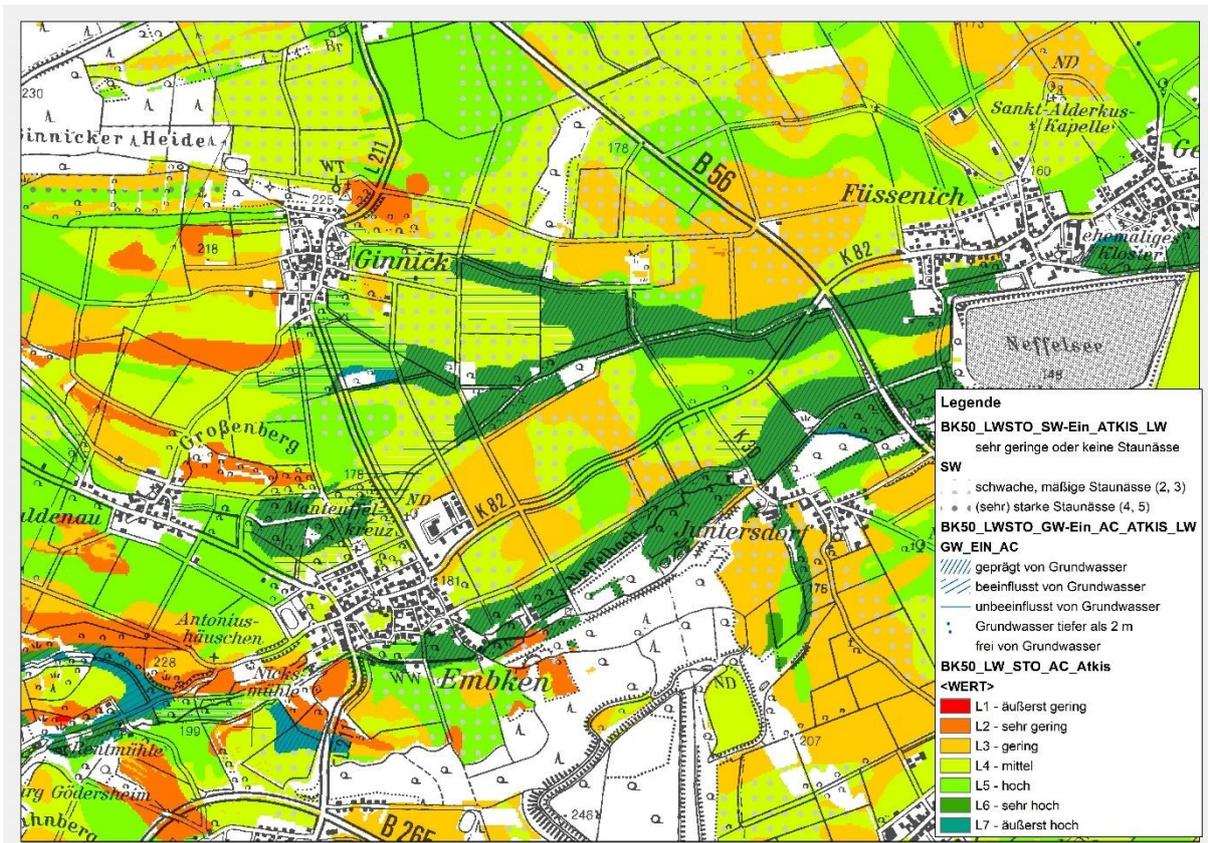


Abb. 26: Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung: Einstufung Acker, mit Signaturen zu Grund- und Stauwassereinfluss

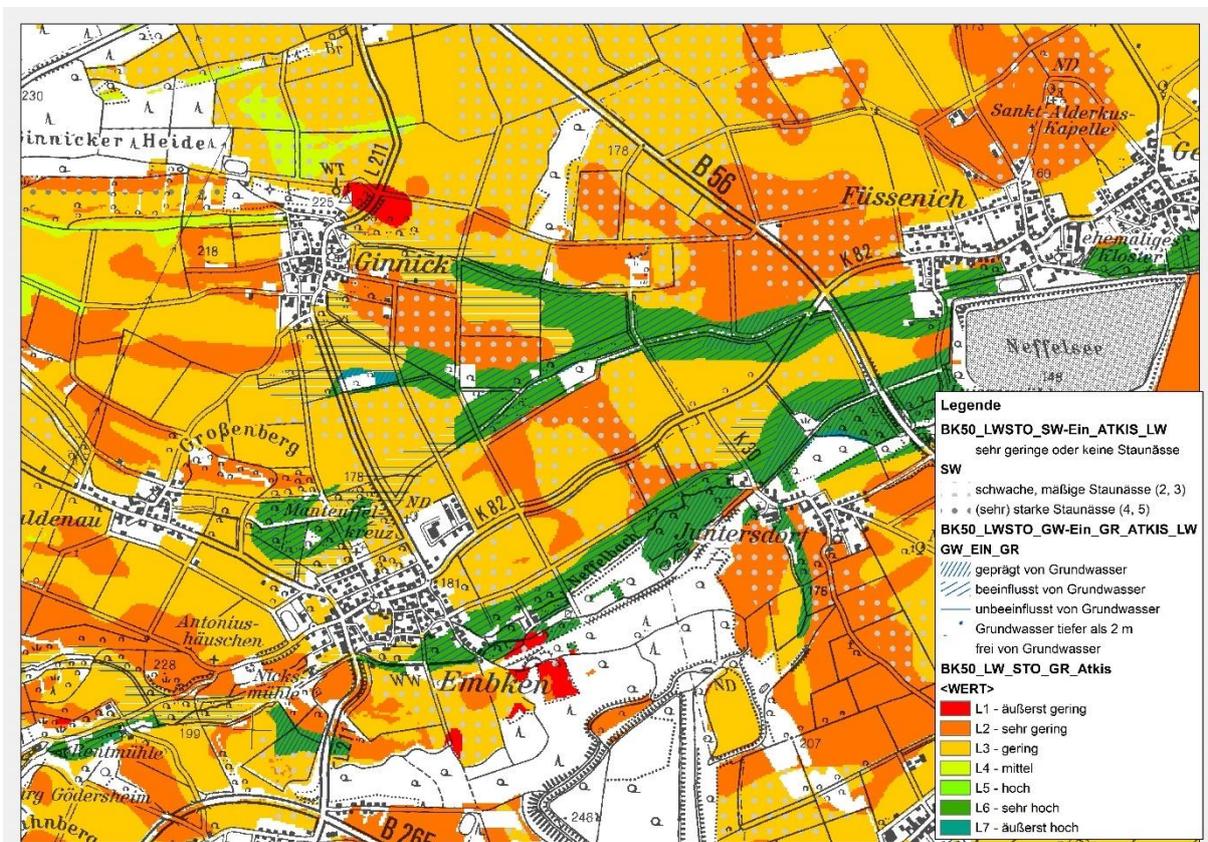


Abb. 27: Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung: Einstufung Grünland, mit Signaturen zu Grund- und Stauwassereinfluss

3.3 Dürre-Empfindlichkeit für die landwirtschaftliche Nutzung

Je nachdem wie lange Niederschläge ausbleiben oder wie lange eine Hitzeperiode andauert, können letztlich auf jedem Standort Trockenheitsprobleme auftreten. Je besser allerdings die Wasserversorgung eines Standortes ist, desto besser kann die Vegetation meteorologische Dürren überstehen.

Daher wird die Dürre-Empfindlichkeit aus der Karte „Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung“ abgeleitet und die Klassen der Standortkarte neu gruppiert und gewichtet in Stufen der Dürre-Empfindlichkeit umgesetzt. Die Stufen der Dürre-Empfindlichkeit werden bei der Berechnung durch die Indexpunkte der Standortkarte abgegrenzt (Tabelle 6).

Es wird eine 5-stufige Klassifizierung gewählt. Diese fasst die niedrigsten Klassen der Wasserversorgung als sehr hoch und hoch empfindlich zusammen; durch die Wahl der Begriffe gibt es keine Klasse „sehr gering“, und die Klasse „mittel“ wird gespreizt. Die Stufeneinteilung ist an das Vorgehen der forstlichen Dürreempfindlichkeitskarte angelehnt.

Tabelle 6: Definition der Stufen der Dürre-Empfindlichkeit auf Basis der Indexwerte der Karte „Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung“. Zum Vergleich die Wasserversorgung von Böden bei KWBv = 0 und ohne Reliefeinfluss

Stufe	Indexpunkte Spanne	Wasserversorgung [mm] bei KWBv 0 mm
sehr hoch 204 – 0 - 0	<2	0 – 33,5 mm
hoch 255 – 85 - 0	2 – 3	> 33,5 – 46 mm
mittel bis hoch 255 – 170 - 0	3 – 4	> 46 – 68,5 mm
gering bis mittel 255 – 255 - 0	4 – 5	> 68,5 – 91 mm
gering 163 – 255 - 115	> 5	> 91 mm

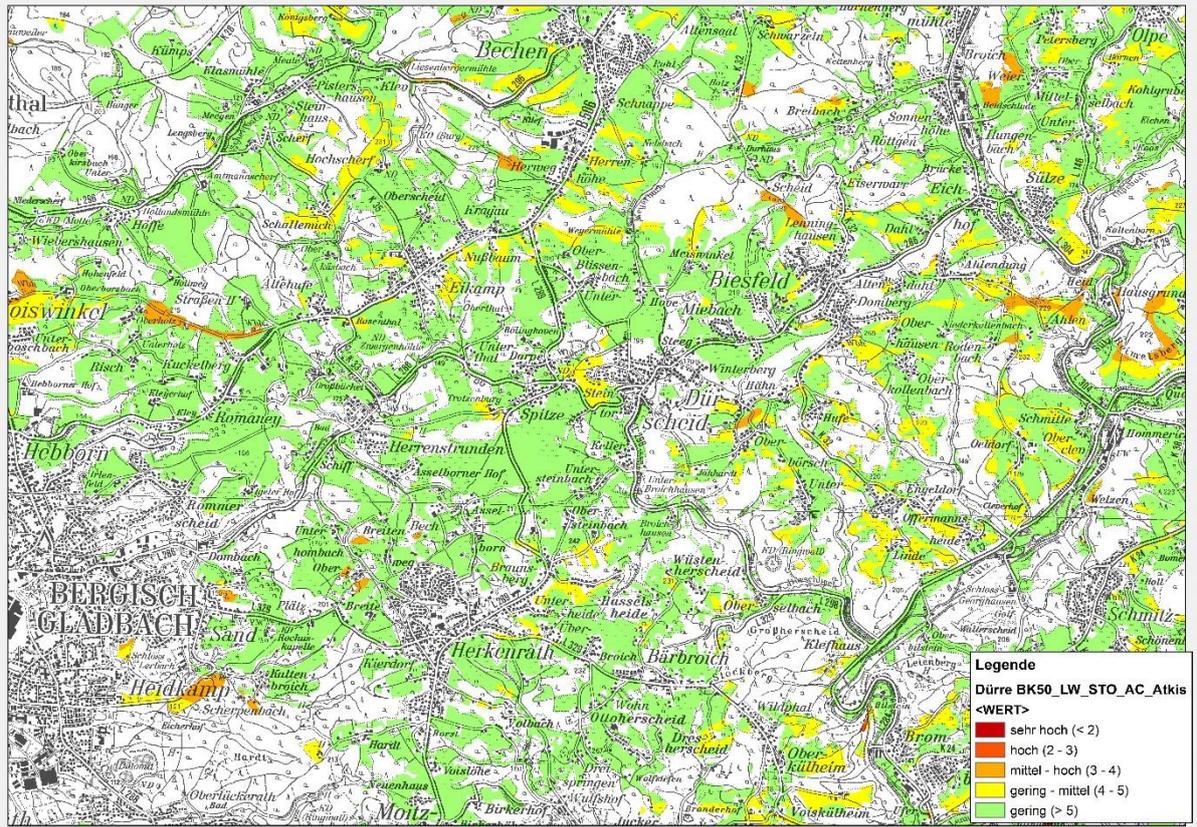


Abb. 28: Dürre-Empfindlichkeit Landwirtschaft, Ackerernutzung

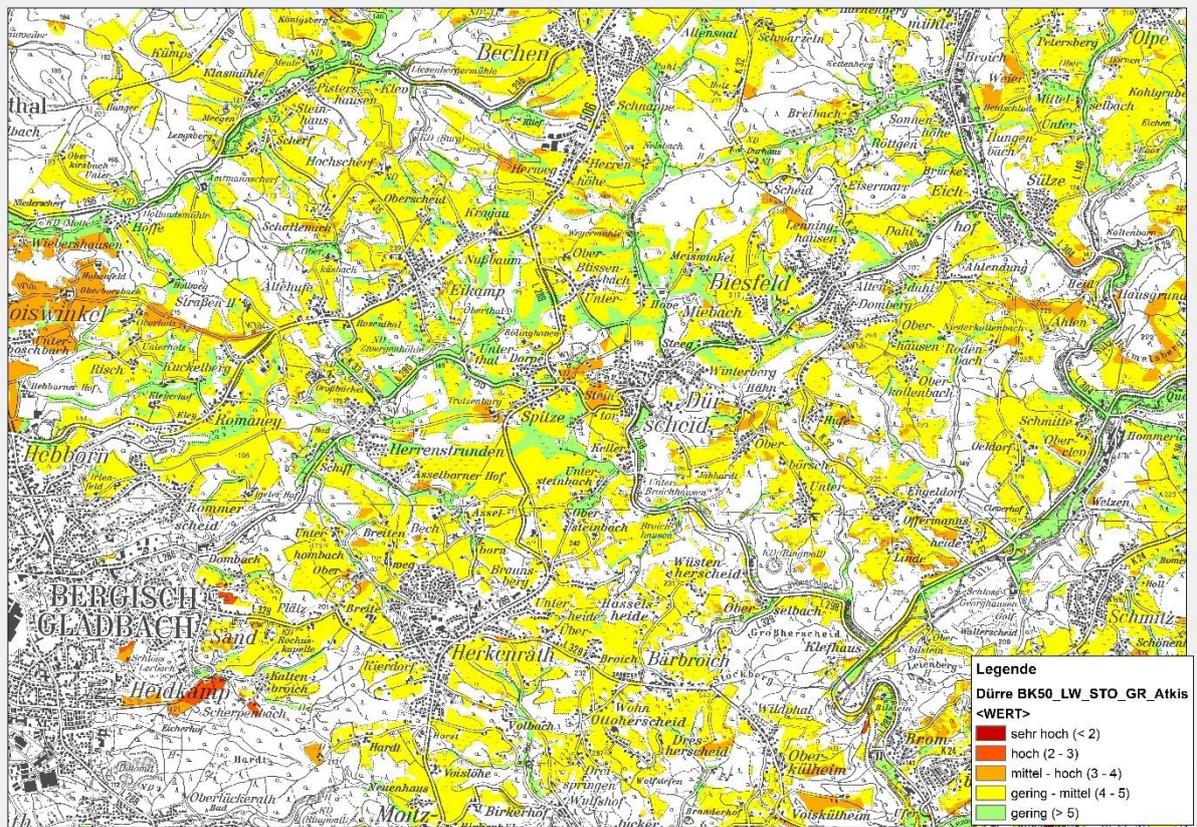


Abb. 29: Dürre-Empfindlichkeit Landwirtschaft, Grünlandnutzung

4 Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Methodik ist es möglich eine landesweit einheitliche und vergleichbare Kartendarstellung des Boden- und des Standortwasserhaushaltes landwirtschaftlich genutzter Flächen zu erstellen. Die wesentliche Informationsgrundlage ist die Bodenkarte von NRW 1 : 50.000 (BK50) sowie Klima- und Reliefdaten unterschiedlichen Maßstabes. Aufgrund der Maßstäbe der verwendeten Daten sind die Auswertungen als Übersichtskarten zu verstehen und für eine konkrete Bewertung einer Einzelfläche ungeeignet, da kleinräumige Unterschiede nicht erfasst werden können.

Die maßgeblichen Größen für die Berechnung des Bodenwasserhaushaltes sind die Bodenart, Grund- und Stauwasser sowie die Durchwurzelungstiefe an einem Standort. In Abhängigkeit von der Bodenart ergeben sich unterschiedliche Durchwurzelungstiefen an einem Standort und somit des erschlossenen Bodenraumes. Eine kultur- /pflanzenspezifische Durchwurzelungstiefe kann nicht direkt berücksichtigt werden. Die Abhängigkeit wird stark vereinfacht über die Nutzungsszenarien „Acker“ und „Grünland“ nach KA5 berücksichtigt. Das Szenario „Grünland“ spiegelt hier Pflanzen mit geringer Durchwurzelungstiefe (z.B. verschiedene Gräser) wider. Eine mittlere Durchwurzelungstiefe (die meisten Ackerkulturen) wird durch die Nutzung „Acker“ abgedeckt. Eine kulturspezifische Aussage ist nicht intendiert. Ein Nutzer muss je nach Fragestellung das geeignete Szenario auswählen.

Für standortkundliche Fragestellungen müssen neben dem Bodenwasserhaushalt die zusätzlichen Faktoren Klima und Relief berücksichtigt werden. Die Vorgehensweise zur Einbeziehung dieser Faktoren orientiert sich an der Methode der Forstlichen Standortskarte. Durch diese Verknüpfung kann die Übersichtskarte „Standortwasserhaushalt für die landwirtschaftliche Nutzung“ erstellt werden. Die Informationen zu möglichem Grund- und Stauwassereinfluss sind – soweit möglich in der Berechnung des Bodenwasserhaushalts berücksichtigt. Sie werden in der Karte zusätzlich gesondert gekennzeichnet, um die Besonderheiten eines zusätzlichen Wasserangebots aus diesen Quellen zu kennzeichnen, welches zur Gesamteinstufung des Standortes beigetragen hat.

Die Karte der „Dürre-Empfindlichkeit landwirtschaftlich genutzter Standorte“ zeigt die Empfindlichkeit eines Standortes gegenüber meteorologischer Dürren und damit dessen Abhängigkeit von regelmäßig zugeführtem Niederschlagswasser. Die Einstufung der Dürreempfindlichkeit landwirtschaftlicher Nutzflächen basiert auf einer Klassifizierung der für den Standortwasserhaushalt berechneten Werte.

Die vorliegende Auswertung ergänzt die bereits zur Verfügung stehenden Standorts- und Dürreempfindlichkeitskarten für forstlich genutzte Flächen. Somit liegen NRW-weite Kartenwerke für die Einstufung von Standorten unter verschiedenen Aspekten für forstlich und landwirtschaftlich genutzte Gebiete mit ähnlicher, aber nutzungsangepasster Methodik vor.

5 Literatur

- (1) <https://de.wikipedia.org/wiki/Standort> (abgerufen 18.5.2021)
 - (2) [https://de.wikipedia.org/wiki/Standort_\(Ökologie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Standort_(Ökologie)) (abgerufen 18.5.2021)
 - (3) <https://de.wikipedia.org/wiki/Dürre> (abgerufen 18.5.2021)
 - (4) <https://de.wikipedia.org/wiki/Risiko> (abgerufen 18.5.2021)
 - (5) <https://www.klimaatlas.nrw.de/karte-klimaatlas>
 - (6) <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Func-tions/glossar.html?nn=103346&lv2=102868&lv3=102890> (abgerufen 19.5.2021)
 - (7) <https://www.eskp.de/klimawandel/duerre-beeinträchtigt-heimische-landwirtschaft-935102/> (abgerufen 27.5.2021)
 - (8) <https://www.wms.nrw.de/gd/bk050?>
- 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).
- 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.; 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.
- HELLER, K. (2012): Einfluss periglazialer Deckschichten auf die oberflächennahen Fließwege am Hang - eine Prozessstudie im Osterzgebirge, Sachsen. – Diss. TU Dresden; 221 S.; Dresden.
- KÖTHE, R. (2017): Aufbereitung des DGM10 von Nordrhein-Westfalen und Ableitung morphometrischer Reliefparameter - Kurzdokumentation. – 14 S.; Göttingen (Ing.-Büro Scilands). – [unveröff.]
- LANUV NRW (2018): <http://www.klimaatlas.nrw.de/Beobachtungsdaten-Artikel> (abgerufen am 17.7.2018)
- 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.
- 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.