Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie

Geofakten 46.4

Klima

Bodenwasservorrat im Klimawandel

Widmer, T., Bug, J. & Engel, N.

Oktober 2025

Die Geofakten 46 sind als aktualisierbares Sammelwerk konzipiert. Es setzt sich zusammen aus dem Grundlagenteil Geofakt 46, der im Überblick die Auswirkungen des Klimawandels auf die Böden in Niedersachsen beschreibt und Zusammenhänge zwischen den Böden und dem Klima aufzeigt sowie aus weiteren Teilen der Reihe Geofakten 46.x, „… im Klimawandel“, die fortlaufend erarbeitet werden. Die Erarbeitung erfolgt in Kooperation des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) mit dem Niedersächsischen Kompetenzzentrum Klimawandel (NIKO) des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (MU).

Klimawandel, Bodenwasser, Bodenwasservorrat.

1. Einleitung

Eine der bedeutendsten Funktionen, die Böden im Landschaftshaushalt erfüllen, ist die Speicherung und Bereitstellung von Wasser für die Vegetation. Pflanzen können in Phasen mit ausbleibendem Niederschlag ihren Wasserbedarf zur Aufrechterhaltung ihrer vitalen Funktionen aus dem Bodenwasservorrat decken (KBU 2016).

Durch den Klimawandel steigt die Wahrscheinlichkeit von höheren Temperaturen und dadurch erhöhter Verdunstung sowie ausbleibenden Niederschlägen in der Vegetationsperiode an (ENGEL et al. 2024). Dementsprechend wächst die Bedeutung der Böden als Wasserspeicher. Der Klimawandel kann aber auch dazu führen, dass die Böden häufiger über einen längeren Zeitraum von Trockenheit betroffen sind. Dadurch läuft z. B. die Saat im Frühjahr nicht auf oder es kommt im Verlauf der Vegetationsperiode zu Trockenstress für die Pflanzen und damit zu Ertrags- und Zuwachsverlusten in Land- und Forstwirtschaft. Teilweise müssen die Kulturen zusätzlich bewässert werden, um Ernteverluste zu vermeiden. Somit steigt der Bedarf an Zusatzwasser in der Landwirtschaft (BUG & HARDERS 2024).

Um die Auswirkungen des Klimawandels auf die Entwicklung des Wassergehaltes der Böden in Niedersachsen erfassen und bewerten zu können, werden die mittleren Bodenwasservorräte der Jahre 1961 bis 2020 mit Hilfe des Bodenwasserhaushaltsmodells BOWAB (ENGEL et al. 2012) landesweit berechnet und die Ergebnisse in diesem Geofakt vorgestellt. Die Modellierung für die Zukunft ist im Vergleich zu den anderen Veröffentlichungen der Reihe Geofakten 46 nicht erfolgt, da die Berechnungen aufgrund der Komplexität des Modells und des enormen Datenumfangs des Klimaprojektionsmodell-Ensembles landesweit nicht möglich waren. Die Ergebnisse für die Jahre 1961 bis 2020 werden für die Flächen der Bodenkarte 1 : 50.000 (BK50) von Niedersachsen dargestellt.

2. Methodik zur Bestimmung des mittleren Bodenwasservorrats in der Vegetationsperiode im Zeitraum 1961 bis 2020

Der mittlere Bodenwasservorrat in der Vegetationsperiode beschreibt die gemittelte Bodenfeuchte für den Zeitraum April bis September für die Jahre 1961 bis 2020 in Niedersachsen. Für jedes einzelne Jahr wird der Mittelwert der Bodenfeuchte für die Vegetationsperiode berechnet, welcher wiederum zu dekadischen oder dreißigjährigen Perioden aggregiert wird.

Zur Bestimmung des mittleren Bodenwasservorrats wird der Wassergehalt für drei Schichten für jeden Tag, beginnend am 01.01.1961 bis einschließlich zum 31.12.2020, mit dem Modell BOWAB berechnet. Die einzelnen Werte werden für das Jahr und für die Vegetationsperiode (April bis September) des Jahres gemittelt. Die Fokussierung auf die Vegetationsperiode erfolgt, um die Bedeutung der Verfügbarkeit des Wassers im Boden für das Pflanzenwachstum hervorzuheben. Für die Auswertung zum Bodenwasservorrat wurde das Tiefenintervall von 0–60 cm, die sogenannte Hauptwurzelzone, gewählt.

Aus den Ergebnissen für die einzelnen Jahre wurden Mittelwerte für Dekaden und dreißigjährige Zeiträume berechnet und im NIBIS®-Kartenserver

veröffentlicht. Dort stehen darüber hinaus Ergebnisse für ausgewählte Einzeljahre (*2018*, 2019 und 2020) zur Verfügung.

2.1 Grundlagen des Bodenwasserhaushalts

Das Bodenwasser spielt eine entscheidende Rolle bei verschiedenen Prozessen im Ökosystem und ist insbesondere für das Pflanzenwachstum von großer Bedeutung. Das Wasser im Boden wird in den Porenräumen zwischen den einzelnen Bodenpartikeln und -aggregaten als Adsorptions- und Kapillarwasser gebunden. Die Stärke der Bindungskräfte entscheidet darüber, ob das Wasser pflanzenverfügbar und damit Teil des Bodenwasservorrates ist. Die Wurzeln der Pflanzen können nur auf einen Teil des im Boden gebundenen Wassers zugreifen, die nutzbare Feldkapazität (nFK). Diese entspricht der Wassermenge, die im Boden durch Bindungskräfte gegen die Schwerkraft gehalten wird und für die die Saugspannung der Pflanzen ausreicht, um es aus dem Boden aufzunehmen.

Wasser in feinen Poren wird so stark gebunden, dass Pflanzen es nicht aufnehmen können. Wasser in weiteren Poren bewegt sich als Sickerwasser in tiefere Bodenschichten.

Der Bodenwasserspeicher wird durch die verschiedenen Niederschlagsformen wie Regen, Schnee, Hagel oder Graupel in den Boden gespeist. Aufgrund von Kapillarkräften kann Wasser außerdem entgegen der Schwerkraft aus dem Grundwasser in Richtung der Bodenoberfläche aufsteigen und damit zur Auffüllung des Bodenwasservorrats beitragen.

Pflanzen nehmen Wasser über die Wurzeln aus dem Boden auf und verdunsten es über die Spaltöffnungen (Transpiration). Über die Bodenoberfläche wird ebenfalls Wasser verdunstet (Evaporation). Die Evapotranspiration wird eingeschränkt, wenn der Bodenwasservorrat größtenteils ausgeschöpft ist. Im Jahresverlauf schwankt die Menge des verdunstenden Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur, der Windgeschwindigkeit, dem Sättigungsdefizit der Luft, der Globalstrahlung und der Landnutzung bzw. der Anbaukultur auf der Fläche.

Der Kennwert des mittleren Bodenwasservorrats wird in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK) angegeben und besitzt daher somit einen ökologischen Bezug, d. h. Standorte und Zeiträume mit Wassermangel bzw. -überschuss können charakterisiert werden.

2.2 Das Modell BOWAB

Für die Berechnung der Bodenwasservorräte wird der Kennwert W (Wassergehalt des Bodens in mm) auf täglicher Basis mittels des am LBEG entwickelten Modells zur Bodenwasserhaushaltsbilanzierung BOWAB (ENGEL et al. 2012) bestimmt. Das Modell ist integriert in das MethodenManagement-System (MeMaS®) des LBEG und wird bei ENGEL et al. (2012) ausführlich beschrieben.

In BOWAB wird der Bodenkörper in Schichten aufgeteilt. Eine Bodenschicht fungiert in dem System als Speicher für Wasser, dem sowohl Wasser entnommen als auch hinzugefügt werden kann. Somit stehen die angrenzenden Bodenschichten, auch als Zellen bezeichnet, durch versickerndes und kapillar aufsteigendes Wasser miteinander in Verbindung. Es gibt in der genutzten Modellumsetzung drei horizontal gelagerte Schichten mit den Tiefenstufen 0–30 cm, 30–60 cm und 60–90 cm. Wieviel Wasser pro Schicht gespeichert werden und wie weit das Wasser kapillar aufsteigen kann, hängt von der Bodenart, dem Skelettgehalt und der Dichte des Bodens ab. Zudem hat der Humusgehalt Einfluss auf die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens. Als sich täglich verändernde Eingangsgrößen gehen Niederschlag und bei Grundwasseranschluss der kapillare Aufstieg in das System ein. Sickerwasser und Verdunstung sind die variablen Ausgangsgrößen, über die das Wasser das System verlässt (Abb. 1). Jede Schicht im Modell ist so konzipiert, dass sie das durch Niederschlag, Sickerwasser und kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser zugeführte Wasser speichert. Erreicht der aktuelle Wassergehalt das Maximum der Speicherkapazität, also die Feldkapazität (FK) der Schicht, wird das überschüssige Wasser als Sickerwasser (SWR) in die darunterliegende Schicht verlagert. Handelt es sich dabei um die unterste Schicht, verlässt das Wasser das System und trägt zur Grundwasserneubildung (ERTL et al. 2019) bei.

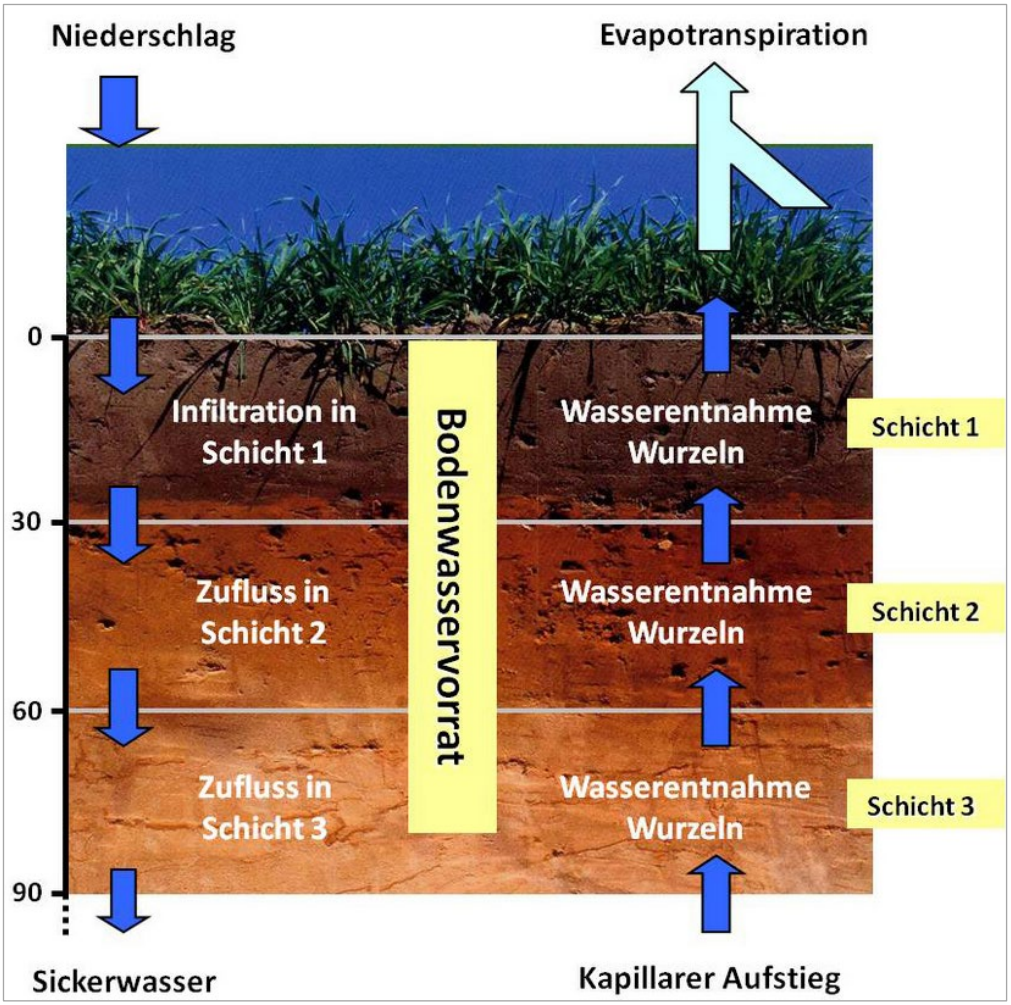

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Bodenwasserhaushaltsmodells BOWAB (ENGEL et al. 2012).

Eine Entleerung der Speicher erfolgt durch Sickerwasser sowie durch Wasserentnahme über die Pflanzenwurzeln und Evaporation. Die Evapotranspiration wird im Modell für die drei Schichten in Abhängigkeit von der Landnutzung bzw. der angebauten Kultur, den Bodeneigenschaften und der Vegetationsentwicklung unterschiedlich gewichtet (siehe Gl. 3 und 4.). Innerhalb des Modells wirken verschiedene Mechanismen, welche die vegetationsspezifischen und saisonalen Effekte im Bodenwasserhaushalt abbilden. Beispielsweise sind kulturspezifische und dem Verlauf der Vegetationsentwicklung angepasste Ausschöpfungstiefen der Pflanzenwurzeln im Boden oder auch eine verringerte Verdunstung der Pflanzen bei abnehmender Bodenfeuchte implementiert.

Die Bildung von Oberflächenabfluss wird im Modell bislang nicht berücksichtigt.

2.3 Modellumsetzung

Der aktuelle Wassergehalt des Bodens W errechnet sich mit Hilfe der beiden folgenden Formeln. Es wird zwischen der obersten Schicht (Schicht 1: x=1, Gl. 1) und den darunterliegenden Schichten (Schicht 2 und 3: x=2 bzw. x=3, Gl. 2) unterschieden (vgl. ENGEL et al. 2012).

$$W_{n,x=1} = W_{n-1,x} + P_{korr,n-1} - ET_{a,n-1,x} - SR_{n-1,x} + KR_{n-1,x+1} \qquad \text{Gl. 1}$$

$$W_{n,x=2\ oder\ 3} = W_{n-1,x} + SR_{n-1,x-1} - ET_{a,n-1,x} - SR_{n-1,x} + KR_{n-1,x+1} \qquad \text{Gl. 2}$$

W: aktueller Wassergehalt [mm],
P_{korr}: Niederschlag, korrigiert [mm],
KR: Kapillarer Aufstieg [mm],
ET_a: aktuelle Evapotranspiration [mm],
SR: Sickerwasserrate [mm],
n: Tageszählung,
x: Schichtenzählung.

Die aktuelle Evapotranspiration ET_a wird über mehrere Berechnungsschritte aus der potenziellen Evapotranspiration ET_0 (FAO-Grasreferenzverdunstung; ALLEN et al. 1998) abgeleitet (siehe auch ENGEL et al. 2012). Dabei muss der Einfluss der Anbaukultur bzw. der Landnutzung auf die Verdunstung mittels nutzungsspezifischer Bestandeskoeffizienten (k_c-Faktor) berücksichtigt werden. Diese liegen für verschiedene Vegetationsformen und Anbaufrüchte in monatlicher Auflösung tabelliert vor (z. B. BUG et al. 2020). Da bei der Berechnung des mittleren potenziellen Bodenwasservorrats nicht nach einzelnen Feldfrüchten, sondern nach Landnutzungsformen differenziert wird, werden für die verschiedenen Nutzungen entsprechende (Landnutzungs-)k_c-Faktoren verwendet (siehe Tab. 1). Dabei dienen die im GeoBericht 36 (ERTL et al. 2019, S.11, Tab. 2) aufgeführten Werte als Referenz. Für die Werte der Landnutzung Sonstige Nutzung werden die nutzungsspezifischen Bestandeskoeffizienten von Grünland im Jahresverlauf angenommen.

Tabelle 1: Nutzungsspezifische Bestandeskoeffizienten (k_c) für verschiedene Landnutzungen im Jahresverlauf.

Landnutzung	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Acker	0,733	0,733	0,744	0,947	1,188	1,181	1,185	1,151	0,974	0,853	0,775	0,733
Grünland	0,804	0,927	1,014	1,014	1,059	1,056	1,038	0,999	0,977	0,965	0,989	0,927
Laubwald	1,003	1,003	1,053	1,179	1,114	1,227	1,241	1,241	1,241	1,139	1,082	1,003
Nadelwald	1,335	1,335	1,335	1,335	1,307	1,321	1,335	1,335	1,335	1,335	1,335	1,335
Sonstige Nutzung	0,804	0,927	1,014	1,014	1,059	1,056	1,038	0,999	0,977	0,965	0,989	0,927

Das Produkt aus ET_0 und k_c ergibt die vegetationsabhängige maximale Evapotranspiration ET_{max}. Diese beschreibt die maximal mögliche von der Vegetation abhängige Verdunstung bei optimaler Nährstoff- und Wasserversorgung. Um den Wasserentzug durch die aktuelle Evapotranspiraion ET_a aus den verschiedenen Schichten zu berechnen (Gl. 3 und 4), werden schichtabhängig zwei unterschiedliche Formeln verwendet. Für die ET_a der obersten Schicht kommt das Verfahren nach WENDLING (DVWK 1996, S. 51) zum Einsatz. Dadurch wird die sogenannte Interzeptionsverdunstung berücksichtigt, d. h. die Verdunstung des Niederschlags, welche unabhängig von der Bodenfeuchte stattfindet. Erst nach der Subtraktion wird dieser Wert mit dem Disse-Faktor R_{DISSE} multipliziert, anschließend vom korrigierten Niederschlag P_{korr} abgezogen und das Ergebnis mit dem schicht- und kulturabhängigen Ausschöpfungsfaktor multipliziert. Für die zweite und dritte Schicht wird der Niederschlag nicht einbezogen. Die vegetationsabhängige Evapotranspiration wird mit dem Disse-Faktor R_{DISSE} und dem Ausschöpfungsfaktor multipliziert (siehe auch ENGEL et al. 2012).

Schicht 1 (0–30 cm):

$$ET_a = (P_{korr} - (P_{korr} - ET_{max}) * R_{DISSE}) * Ausschöpfungsfaktor \quad \text{Gl. 3}$$

Schicht 2 und 3 (30–60 cm; 60–90 cm):

$$ET_a = (ET_{max} * R_{DISSE}) * Ausschöpfungsfaktor \quad \text{Gl. 4}$$

ET_a: aktuelle Evapotranspiration [mm],
ET_{max}: vegetationsabhängige maximale Evapotranspiration [mm],
P_{korr}: Niederschlag, korrigiert [mm],
R_{Disse}: Reduktionsfaktor aufgrund von geringer Bodenfeuchte [–].

Der Reduktionsfaktor nach DISSE (R_{Disse}; DISSE 1995) beschreibt die Verringerung der Verdunstung der Pflanzen bei geringen Bodenfeuchten. Da bei geringen Bodenfeuchten das restliche Bodenwasser stärker gebunden ist, wird die Aufnahme des Wassers durch die Pflanzen erschwert. Daher reduziert sich die vegetationsabhängige Evapotranspiration. Der Reduktionsfaktor nimmt Werte zwischen Null und Eins an.

Im Laufe der Vegetationsperiode wachsen die Wurzeln von einjährigen Pflanzen in die Tiefe. Somit erweitert sich der Raum, dem Wasser entnommen werden kann. Dieser Prozess wird im Modell über den Ausschöpfungsfaktor berücksichtigt (vgl. ENGEL et al. 2012). Durch diesen erfolgt eine Aufteilung der Verdunstung auf die verschiedenen Schichten. Mit zunehmender Tiefe nimmt die Ausschöpfung immer weiter ab. Für die Auswertungen zum mittleren Bodenwasservorrat werden Landnutzungskategorien mit entsprechenden monatlichen Ausschöpfungsfaktoren verwendet. Im Jahresverlauf ändert sich für die Landnutzung Acker die Ausschöpfung der drei Schichten, wobei in den Sommermonaten Juni, Juli und August die dritte Schicht

mit ausgeschöpft wird (Tab. 2). Die effektive Durchwurzelungstiefe We gibt dabei die maximale Anzahl der möglichen auszuschöpfenden Schichten vor. Die We ist abhängig von der Bodenart und der Lagerungsdichte (BUG et al. 2020).

Tabelle 2: Monatliche Ausschöpfungsfaktoren für die Landnutzungen Acker und Grünland.

Landnutzung	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Acker 0 – 30 cm	1	1	1	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	1	1	1
Acker 30 – 60 cm	0	0	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0	0	0
Acker 60 – 90 cm	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0
Grünland 0 – 30 cm	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Grünland 30 – 60 cm	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Grünland 60 – 90 cm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Wenn der Wassergehalt W einer Schicht größer als die FK ist, entsteht nach BOWAB Sickerwasser. Die Sickerwassermenge SR [mm/d] entspricht der Differenz aus der FK und dem Wassergehalt der jeweiligen Schicht. Um präferentiellen Fluss im Boden zu berücksichtigen, kann Sickerwasser zusätzlich in Aufsättigungsphasen auftreten, auch wenn der Wassergehalt kleiner als die FK ist. Dabei gilt jedoch, dass die aktuelle Bodenfeuchte größer als 60 % nFK sein muss. Die maximale Sickerwassermenge ist abhängig von der Bodenart, der Schichttiefe und ist auf eine definierte Menge limitiert. Die gesamte Sickerwassermenge, die der darunterliegenden Schicht zugeführt wird, ergibt sich durch Addition der beiden Sickerwasseranteile (vgl. ENGEL et al. 2012).

Weist ein Standort Grundwassereinfluss auf, muss für die Berechnung des aktuellen Wassergehaltes der kapillare Aufstieg KR [mm/d], also der Aufstieg von Grundwasser in den durchwurzelten Boden, berücksichtigt werden. Dieser ist abhängig vom Abstand der betrachteten Schicht zum Grundwasserstand, der Bodenart und dem aktuellen Bodenwassergehalt.

Zuerst wird ermittelt, in welcher Schicht ein Wasserdefizit vorherrscht und anschließend, wie weit das Grundwasser von dieser Schicht entfernt ist. Zur Bestimmung des aktuellen Grundwasserflurabstandes werden die Werte MHGW und MNGW aus der BK50 genutzt. Mittels Interpolation wird der Grundwasserflurabstand flächenspezifisch für jeden Monat abgeleitet. Die Berechnung des realen kapillaren Aufstiegs KR_{real} (Gl. 5) erfolgt mittels der Verknüpfungsregel 6.1.13 aus dem GeoBericht 19 (BUG et al. 2020). KR_{real} kann nur Werte kleiner oder gleich dem Betrag der Differenz aus W und FK, also der Höhe des Wassermangels, annehmen und wird zu dem Wassergehalt der untersten Schicht mit Wassermangel hinzuaddiert.

$$KR_{real} \leq |W - FK| \qquad \text{Gl. 5}$$

3. Datengrundlage und Klassifikation der Ergebnisse

Die für die Berechnung der Bodenwasservorräte benötigten bodenkundlichen Standorteigenschaften wie Bodenart, Grobboden- und Humusgehalt werden der Bodenkarte von Niedersachsen 1 : 50.000 (BK50) entnommen. Daraus werden die Parameter Feldkapazität (FK), nutzbare Feldkapazität (nFK), Luftkapazität (LK) und Trockenrohdichte (TRD) mittels der im GeoBericht 19 (BUG et al. 2020) beschriebenen Methoden abgeleitet. Als Landnutzungsformen werden die in der BK50 hinterlegten Klassifizierungen Acker, Grünland, Laubwald, Nadelwald und Sonstige Nutzung verwendet. Diese entstammen einem durch eine Generalisierung des ATKIS® Basis-DLM25 (Digitales Landschaftsmodell 1 : 25.000, Stand 2015) entstandenen Landnutzungsmodell, das Ergebnis der Nutzungsdifferenzierung der Bodenkarte von Niedersachsen 1 : 50.000 (BK50) ist. Detailliert beschrieben finden sich die Erläuterungen dazu im GeoBericht 40 (GEHRT et al. 2021, S. 196).

Der Niederschlag P_{korr} wurde vom DWD zur Verfügung gestellt. Die Daten basieren auf dem korrigierten REGNIE-Produkt (Stand 25.05.2021). Dabei

handelt es sich um regionalisierte Niederschlagsdaten, welche die Niederschlagshöhen als Tagessumme als Rasterdatensätze mit einer Auflösung von 1 x 1 km beinhalten (RAUTHE et al. 2013). Die Daten zur potenziellen Verdunstung (ET_0) werden ebenfalls vom DWD bezogen. Auch diese liegen im 1x1-km-Raster vor. Die ET_0 wird mit dem Standard-Verfahren nach FAO zur Ermittlung der Grasreferenzverdunstung berechnet und beschreibt die mittels Penman-Monteith-Formel errechnete Wassermenge, die Evapotranspiration einer mit 12 cm hohem Gras bewachsenen, ständig ausreichend feuchten Fläche (ALLEN et al. 1998).

Die Berechnung des Bodenwasservorrats erfolgt für den gesamten Zeitraum (01.01.1961 bis 31.12.2020) auf täglicher Basis. Die Tageswerte werden anschließend zu unterschiedlichen Betrachtungszeiträumen (30jährige Mittel, Einzeljahre) aggregiert. Zur Bewertung der Ergebnisse erfolgt eine Klassifizierung (s. Abb. 2). Der Fokus in diesem Geofakt liegt dabei auf der Wasserversorgung der Pflanzen. Des Weiteren werden die Befahrbarkeit und Bearbeitbarkeit der Böden berücksichtigt.

Sehr feuchte Bedingungen herrschen bei Werten größer als 90 % nFK, was zu einer Einschränkung der Befahrbarkeit und der Bearbeitbarkeit der Böden führen kann. Zudem kann es unter diesen Bedingungen auch zu Sauerstoffmangel im Boden und damit zu Einschränkungen von Nährstoffumsetzungsprozessen kommen. Bei 70 bis 90 % nFK ist eine gute Wasserversorgung für die Pflanzen gewährleistet. Bei Werten von 70 bis 50 % nFK ist die Versorgung ausreichend, und bei Werten kleiner 50 bis 30 % nFK vermindern die Pflanzen die Verdunstung, da nicht genügend Wasser im Boden zur Verfügung steht. Wassergehalte unter 30 % nFK führen zu Trockenstress der Vegetation. Liegen die %-nFK-Werte in der Vegetationsperiode für einen längeren Zeitraum unter 50 bis 30 % nFK, kommt es in der Land- und Forstwirtschaft zu Ertrags- bzw. Zuwachsverlusten. Abbildung 2 zeigt die für die Einordnung im NIBIS®-Kartenserver und in diesem Geofakt genutzte Legende. Diese wird ebenfalls für den *Niedersächsischen Bodenfeuchteinformationsdienst (NIBOFID)* verwendet.

Werte in % nFk	Bedeutung	
≥ 120	Übersättigung – Befahrbarkeit eingeschränkt, ggf. Sauerstoffmangel bei tonreichen Böden oder Grundwasser im Hauptwurzelraum vorhanden	
100 – 120		
90 – 100	Sehr feucht – ggf. Befahrbarkeit eingeschränkt	
80 – 90	Gute Wasserversorgung	
70 – 80		
60 – 70	Ausreichende Wasserversorgung	
50 – 60		
40 – 50	Verminderung der Verdunstung	
30 – 40		
20 – 30	Trockenstress – eingeschränkte Verdunstung	
10 – 20		
0 – 10	Extremer Trockenstress – stark eingeschränkte Verdunstung	

Abbildung 2: Klassifikation der mittleren Bodenwasservorräte und aktuellen Bodenfeuchte hinsichtlich von Einschränkungen der Befahrbarkeit und des Pflanzenwachstums. Die Farben in der rechten Spalte entsprechen der Legende der im Kartenserver veröffentlichten Auswertungskarten zum Bodenwasservorrat.

4. Bodenwasservorrat im Klimawandel – Ergebnisse der Auswertungen

Der Wasserhaushalt der Böden von Niedersachsen zeigt in den Jahren 1961 bis 2020 eine große Variabilität. In feuchten Jahren, wie z. B. im Jahr 1965 mit einer klimatischen Wasserbilanz von +76 mm in der Vegetationsperiode, sind landesweit sehr hohe mittlere Bodenvorräte (86,9 % nFK im Landesschnitt) zu beobachten. Trockene Jahre, wie z. B. 2018 mit einer klimatischen Wasserbilanz von -425 mm in der Vegetationsperiode, führen zu deutlich geringeren mittleren Bodenwasservorräten (41,5 % nFK). Die folgenden Auswertungen zeigen die Bandbreite der Veränderungen und die Tendenz der letzten 60 Jahre für Niedersachsen.

4.1 Regionale Unterschiede des Bodenwasservorrats in der Vegetationsperiode von 1991 bis 2020

Einen regionalen Überblick über den mittleren Bodenwasservorrat für den Zeitraum 1991 bis 2020 zeigt Abbildung 3. Die Karte stellt den mittleren Bodenwasservorrat in der Vegetationsperiode für diesen Zeitraum und die Bodenregionen (BR) Niedersachsens dar. Die Werte des mittleren Bodenwasservorrats variieren innerhalb Niedersachsens von 30 bis größer 120 % nFK. Diese große Variabilität ist auf die unterschiedlichen standörtlichen Bedingungen zurückzuführen. Die Vielfalt reicht von meerwasserbeeinflussten Wattböden über grundwasserbeeinflusste Marschböden an der Küste hin zu Sandböden in der Geest und Lössböden im Bergvorland bis zu wenig entwickelten Böden wie Rankern in den montanen Gebieten des Mittelgebirges Harz (GEHRT et al. 2021).

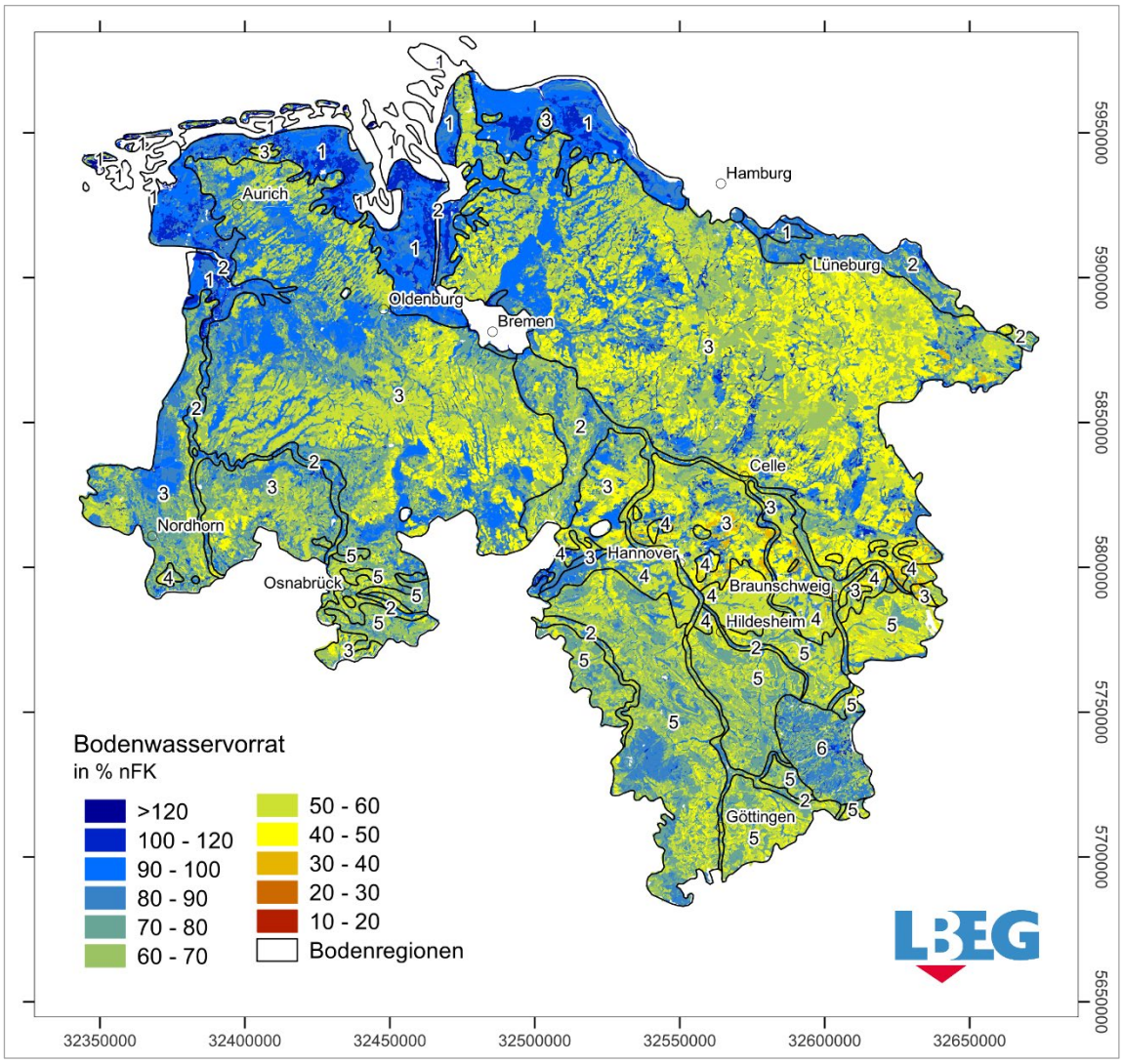

Abbildung 3: Mittlerer Bodenwasservorrat in der Vegetationsperiode von 1991–2020 für Niedersachsen mit den Bodenregionen (BR) Küstenholozän (1), Flusslandschaften (2), Geest (3), Bergvorland (4), Bergland (5) und Mittelgebirge (Harz) (6).

Die höchsten Werte des mittleren Bodenwasservorrats in der Vegetationsperiode finden sich im Norden von Niedersachsen, in der BR Küstenholozän. Fast 50 % der Flächen weisen hier einen mittleren Bodenwasservorrat von 90 bis 100 % nFK auf. Dies lässt sich zum einen auf das feucht-maritime Klima an der Küste und zum anderen auf die schluff- und tonreichen Marsch- und Wattböden mit hoher Wasserspeicherfähigkeit zurückführen. Ein ganzjährig hoher Grundwasserstand begünstigt zudem an vielen Standorten kapillaren Aufstieg, so dass die Böden auch im Sommer i. d. R. wenig austrocknen.

In der BR Flusslandschaften weisen die Böden aufgrund der schluff- und tonreichen Sedimente eine hohe Wasserspeicherfähigkeit auf. Zudem ist ein Großteil der Böden in dieser BR grundwasserbeeinflusst. Daher haben fast die Hälfte der Flächen in dieser Bodenregion für den Zeitraum 1991 bis 2020 eine gute Wasserversorgung mit Werten von 70 bis 90 % nFK.

In der BR Geest, der größten Bodenregion, reicht die Spannweite der mittleren Bodenwasservorräte von ca. 30 % nFK im Osten bis hin zu >100 % nFK im Nordwesten. In der BR sind verschiedene Böden mit unterschiedlichen Ausgangssubstraten wie z. B. Geschiebelehm, Geschiebedecksanden oder Sandlöss verbreitet, die eine Ursache für die große Variabilität der mittleren Bodenwasservorräte sind. Auch Moorböden mit sehr hohen Wasserspeicherfähigkeiten sind in der Geest vorhanden. Zudem ist der klimatische Gradient innerhalb dieser BR sehr groß. Dies kann auch in der Karte des Bodenwasservorrates (Abb. 3) nachvollzogen werden. Während im Nordwesten höhere Bodenwasservorräte durch den stärkeren maritimen Einfluss vorherrschen, zeigen sich deutlich trockenere Verhältnisse bei den grundwasserfernen Sandböden im Osten der BR Geest.

Im Vergleich zu den anderen BR ist in der BR Bergvorland der Anteil der Böden (ca. 25 %) mit einem niedrigeren mittleren Bodenwasservorrat (30 bis 50 % nFK) relativ hoch. Dies ist auf einen vergleichsweise hohen Flächenanteil an Böden mit einer geringen Mächtigkeit im Zusammenspiel mit vergleichsweise trockeneren Klimaverhältnissen im Südosten des Landes zurückzuführen. Ansonsten ist die BR Bergvorland von Lössböden mit hoher Wasserspeicherfähigkeit geprägt, so dass die Böden im Mittel im Untersuchungszeitraum ausreichend mit Wasser versorgt sind.

In der BR Bergland weisen etwas mehr als die Hälfte der Flächen im 30jährigen Mittel mit einem Bodenwasservorrat von 50 bis 70 % nFK eine ausreichende Wasserversorgung auf. In der Karte (Abb. 3) ist deutlich der Einfluss der Höhenzüge wie beispielsweise des Sollings erkennbar. Da im Bereich der Höhenzüge mehr Niederschlag fällt und die Temperaturen niedriger sind als im Umland, ist die Verdunstung geringer, und der Bodenwasservorrat wird weniger ausgeschöpft als in den BR Flusslandschaften, Geest und Bergvorland. Zudem sind in der Bodenregion an den Unterhängen und in den Tälern Lössböden mit hohen Wasserspeicherkapazitäten und zum Teil Grundwasseranschluss verbreitet, was zu im Mittel gut mit Wasser versorgten Böden führt.

Die höchsten Niederschläge von 1225 mm pro Jahr bzw. 578 mm in der Vegetationsperiode im Mittel von 1991 bis 2020 fallen in der BR Mittelgebirge (Harz) (NIKO 2023). Hier verdunstet durch die vergleichsweise geringen Temperaturen (NIKO 2023) zudem weniger Wasser als in den anderen BR, so dass insgesamt höhere Bodenfeuchten anzutreffen sind. Die Böden im Harz sind teilweise geringmächtig und können daher in der Summe nicht so viel Wasser speichern, wie die teilweise tiefgründigen Böden der anderen BR. Im Mittel weisen jedoch mehr als 50 % der Flächen eine gute Wasserversorgung im Untersuchungszeitraum, also Werte >70 % nFK auf.

4.2 Zeitliche Veränderungen des mittleren Bodenwasservorrats (1961–2020)

Während Abbildung 3 die hohe räumliche Variabilität des mittleren Bodenwasservorrates im Zeitraum 1991 bis 2020 in Niedersachsen zeigt, beschreibt Tabelle 3 die zeitliche Variabilität, differenziert nach Bodenregionen. Um Extremjahre in der Betrachtung nicht zu hoch zu werten, sondern langjährige Tendenzen aufzuzeigen, werden Mittelwerte für 30jährige Zeiträume ab 1961 betrachtet. Es werden vier dekadisch versetzte 30jährige Mittelwerte in die Betrachtung einbezogen. Für Niedersachsen zeigt sich, dass der mittlere Bodenwasservorrat von 75 % nFK im Zeitraum 1961 bis 1990 um 6 Prozentpunkte auf im Mittel 69 % nFk im Zeitraum 1991 bis 2020 abgenommen hat. Das bedeutet, dass infolge des Klimawandels nicht nur die Temperaturen in den letzten Jahren nachweislich angestiegen sind, sondern auch, dass die Böden in Niedersachsen in der Vegetationsperiode merklich trockener geworden sind. Dieser negative Trend lässt sich in allen Bodenregionen nachvollziehen, wobei die Veränderung in der BR Küstenholozän deutlich geringer

ausfällt als in den BR Bergvorland und Bergland. Hier beträgt die mittlere Abnahme sogar 9 Prozentpunkte.

Tabelle 3: Mittlerer Bodenwasservorrat in der Vegetationsperiode, differenziert nach Bodenregionen in den Zeiträumen 1961–1990, 1971–2000, 1981–2010, und 1991–2020 in Niedersachsen. Die Änderung des Bodenwasservorrats in % nFK im Vergleich zur Referenzperiode 1961–1990 ist in Klammern angegeben.

Bodenregion	**Mittlerer potenzieller Bodenwasservorrat [%nFK]**			
	1961–1990	**1971–2000**	**1981–2010**	**1991–2020**
Küstenholozän	96	95 (-1)	95 (-1)	95 (-1)
Flusslandschaften	82	79 (-3)	80 (-2)	77 (-5)
Geest	73	70 (-3)	70 (-3)	68 (-5)
Bergvorland	70	66 (-4)	65 (-5)	61 (-9)
Bergland	73	69 (-4)	68 (-5)	64 (-9)
Mittelgebirge (Harz)	82	79 (-3)	80 (-2)	76 (-6)
Niedersachsen gesamt	**75**	**72 (-3)**	**72 (-3)**	**69 (-6)**

Die zu beobachtenden Veränderungen sind dabei nicht linear und nicht kontinuierlich. Die Daten zeigen, dass die Abnahme der mittleren Bodenwasservorräte zwischen den Perioden 1961–1990 und 1971–2000 deutlich stärker ausfällt (landesweit -3 Prozentpunkte), als zwischen den Perioden 1971–2000 und 1981–2010, die ähnliche mittlere Bodenwasservorräte aufweisen. In der Periode 1991–2020 ist dann nochmal eine Entwicklung zu trockeneren Böden zu erkennen, was vornehmlich auf die sehr trockenen Dekade 2011–2020 zurückzuführen ist.

Sowohl die generelle (wenn auch von Schwankungen geprägte) Abnahme der Bodenwasservorräte als auch die verstärkte Abnahme in der letzten Dekade zeigen sich auch, wenn die Mittelwerte des Bodenwasservorrates für Niedersachsen für Einzeljahre betrachtet werden. In Abbildung 4 ist die Abweichung des Bodenwasservorrats der einzelnen Jahre zum Mittelwert des Referenzzeitraumes 1961–1990 in der Vegetationsperiode dargestellt. Grüne Balken zeigen einen im Vergleich zum Mittel der Periode 1961–1990 höheren und gelbe Balken einen im Vergleich zur Periode 1961–1990 geringeren Bodenwasservorrat.

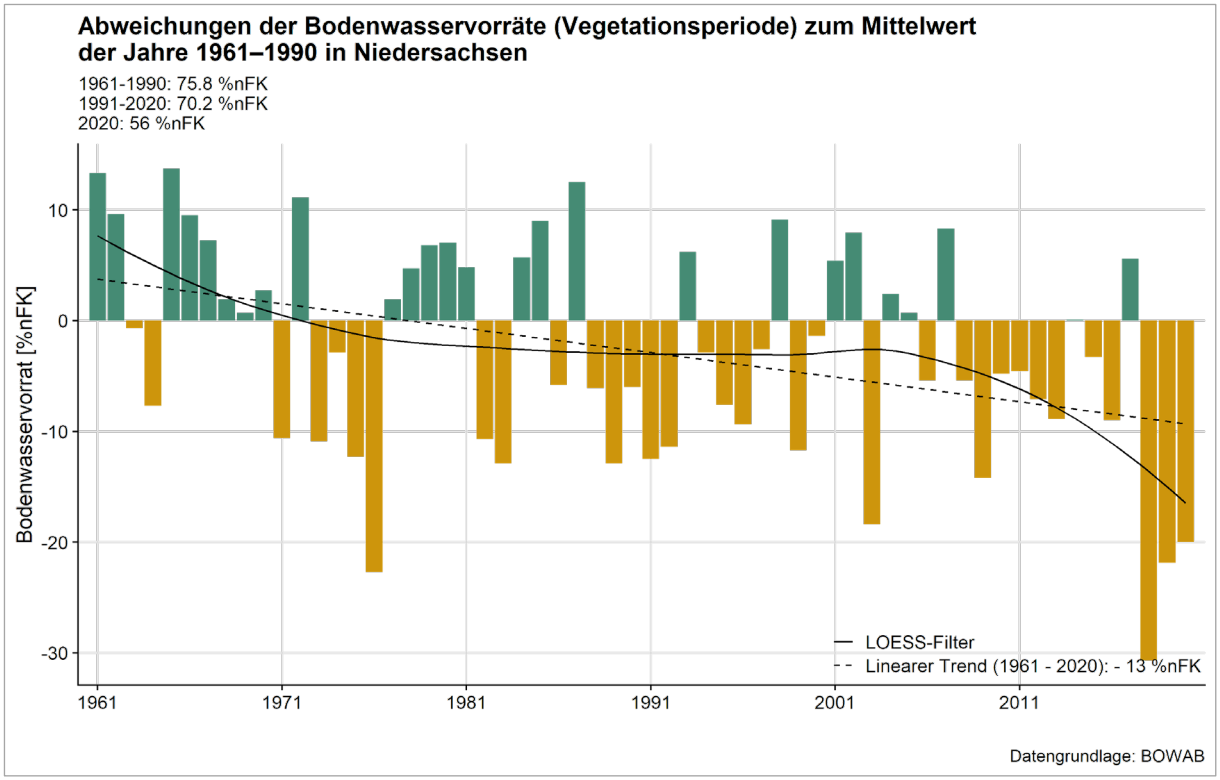

Abbildung 4: Abweichung des Bodenwasservorrats in der Vegetationsperiode für die Einzeljahre von 1961–2020 vom Mittelwert (1991–2020) in Niedersachsen.

Zusätzlich sind der lineare Trend und der LOESS-Trend (Verfahren zur Trendberechnung mit Glättung mittels einer lokal gewichteten Regression, das die Variabilität nicht linearer Verläufe realistischer abbildet als die lineare Trendanalyse (DWD 2025)) dargestellt, welche die Abnahme verdeutlichen.

Auswertungen im Klimafolgenmonitoringbericht für Niedersachen zeigen, dass sich der jährliche Niederschlag im Zeitraum 1991–2020 im Mittel um ca. 3 % im Vergleich zu 1961–1990 erhöht hat (NIKO 2023), sich aber die saisonale Verteilung verändert. Die Frühjahrsniederschläge nehmen ab, wohingegen die Herbst- und Winterniederschläge zunehmen. Die Sommerniederschläge ändern sich kaum, die Jahresmitteltemperatur nimmt zu (NIKO 2023). Das heißt, in der Vegetationsperiode fällt bei steigenden Temperaturen weniger Niederschlag. In der Folge werden die Bodenwasservorräte stärker ausgeschöpft. Trotz der im Mittel zunehmenden Winterniederschläge werden die Bodenwasservorräte nicht in allen Wintern wieder aufgefüllt. Dies kann die negativen Auswirkungen auf die Bodenwasservorräte verstärken.

4.3 Trocken- und Feuchtejahre

Bei ökologischen Fragestellungen spielen Mittelwerte für 30jährige Zeitreihen in einigen Fällen nur eine untergeordnete Rolle. Wichtiger ist die Betrachtung von Einzeljahren mit extremen Ausschlägen, da diese Bedeutung für das Fortbestehen von sensiblen Biotopen haben können. Daher stellt Tabelle 4 die jeweils im Niedersachsenmittel zehn trockensten und zehn feuchtesten Jahre im Betrachtungszeitraum 1961–2020 dar.

Heraus sticht das Jahr 2018, das mit einem mittleren Bodenwasservorrat in der Vegetationsperiode von nur 45,1 % nFK das Jahr mit den mit Abstand geringsten Bodenwasservorräten ist. Etwa 67 % der Flächen in Niedersachsen wiesen in diesem Jahr einen Wert <50 %nFK in der Vegetationsperiode auf und damit eine eingeschränkte Wasserversorgung.

Tabelle 4: Die zehn trockensten und feuchtesten Jahre in Bezug auf den mittleren Bodenwasservorrat in der Vegetationsperiode im Zeitraum 1961–2020 in Niedersachsen.

Trockenjahre (Vegetationsperiode)		Feuchtejahre (Vegetationsperiode)	
Jahr	**Mittlerer potenzieller Bodenwasservorrat [% nFK]**	**Jahr**	**Mittlerer potenzieller Bodenwasservorrat [% nFK]**
2018	45,1	1965	89,5
1976	53,1	1961	89,1
2019	53,9	1987	88,3
2020	55,8	1972	86,9
2003	57,4	1962	85,4
2009	61,6	1966	85,3
1983	62,9	1998	84,9
1989	62,9	1985	84,8
1991	63,3	2007	84,1
1975	63,5	2002	83,7

Auffällig ist, dass fünf von zehn der trockensten Jahre in Bezug auf den Bodenwasservorrat in der Vegetationsperiode in den 2000er Jahren liegen. Dies macht deutlich, dass sich das Klima in den letzten Jahrzehnten bereits deutlich verändert hat.

Im Gegensatz dazu fallen über die Hälfte der zehn Jahre mit dem höchsten Bodenwasservorrat im Zeitraum 1961–2020 in die 30jährige Periode 1961–1990. Dieser Zeitraum ist im Vergleich zur Periode 1991–2020 geprägt durch niedrigere Temperaturen (-1,2°C) in der Vegetationsperiode (NIKO 2023), was wiederum eine geringere Verdunstung zur Folge hat. Dies begünstigt höhere Bodenwasservorräte.

In Tabelle 4 ist jeweils der Mittelwert für ganz Niedersachsen für die einzelnen Jahre dargestellt. Regional stellen sich die Bodenwasservorräte jedoch unterschiedlich dar. Abbildung 5 stellt die Jahre mit den im Mittel höchsten (1965) und im Mittel geringsten (2018) Bodenwasservorräten in der Vegetationsperiode im Zeitraum 1961–2020 dar. Im NIBIS®-Kartenserver sind darüber hinaus für jede Fläche die Top 10 der feuchtesten und trockensten Jahre für jede Fläche abrufbar.

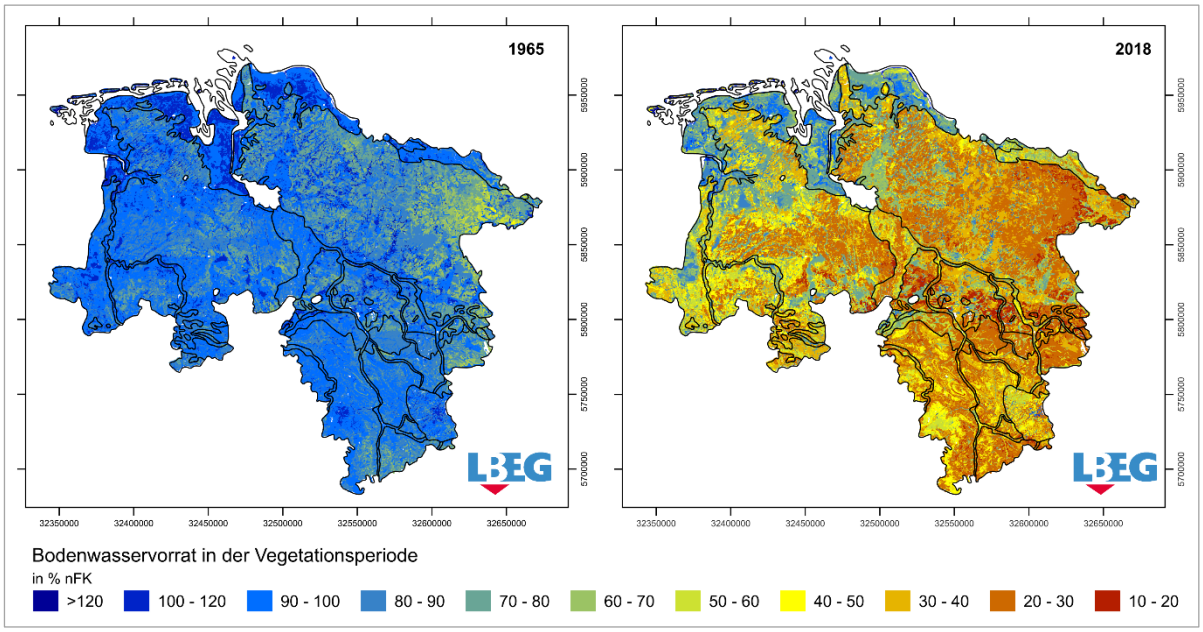

Abbildung 5: Mittlerer Bodenwasservorrat in der Vegetationsperiode in den Jahren 1965 und 2018.

1965 war das Jahr im betrachteten Zeitraum 1961–2020, welches den höchsten mittleren Bodenwasservorrat im Mittel (89,5 % nFK) für ganz Niedersachsen aufweist. In der BR Küstenholozän weisen dabei große Flächen Werte von 100–120 % nFK auf, während im Osten vereinzelt Jahresmittelwerte um 40–50 % nFK auftraten. Die Spanne reicht also von einer geringen Wasserversorgung bis hin zu einer Übersättigung des Bodens.

Die Vegetationsperiode des Jahres 1965 ist geprägt von im Vergleich zur Periode 1961–1990 durchschnittlich niedrigeren Temperaturen (-0,9°C) und höheren Niederschlägen von +113 mm. Die klimatische Wasserbilanz, welche die Differenz aus dem Niederschlag und der potenziellen Grasreferenzverdunstung nach FAO (DWD) darstellt, lag um +164 mm höher als im Mittel in der Referenzperiode 1961–1990 (NIKO 2024). Es stand somit deutlich mehr Wasser als in der Vegetationsperiode anderer Jahre zur Auffüllung der Bodenwasservorräte zur Verfügung.

2018 war das Jahr im betrachteten Zeitraum 1961–2020, welches den geringsten mittleren Bodenwasservorrat in der Vegetationsperiode (45,1 % nFK) für ganz Niedersachsen aufweist. Jedoch sind die verschiedenen Regionen in Niedersachsen davon unterschiedlich stark betroffen.

Beispielsweise wiesen einige Bereiche an der Küste hohe Bodenwasservorräte von im Mittel 90–100 % nFK auf, wohingegen in Zentral- und Ostniedersachsen mit mittleren Bodenwasservorräten von 10–20 % nFK die Pflanzen langfristig Trockenstress ausgesetzt waren. Begründet liegt dies zum einen in überwiegend sehr geringen Niederschlägen in der Vegetationsperiode, die -175 mm niedriger ausfielen als im Mittel der Referenzperiode 1961–1990. Zum anderen war die Temperatur im Durchschnitt in der Vegetationsperiode um +3,2°C höher als im Mittel der Referenzperiode 1961–1990. Die klimatische Wasserbilanz lag 2018 in der Vegetationsperiode -337 mm unter dem Mittel der Referenzperiode 1961–1990. Die Niederschläge in der Vegetationsperiode reichten also bei weitem nicht aus, um den Verdunstungsanspruch zu decken (NIKO 2024).

Dies führte zu einer teilweise sehr starken Ausschöpfung der Bodenwasservorräte, auch in tieferen Bodenschichten (vgl. ENGEL et al. 2024).

Mit Ausnahme der Marschböden an der Küste, Moorböden und Böden mit Grundwasseranschluss wie beispielsweise Gleye in Talsandniederungen der Geest (Bereiche mit 50 bis 120 % nFK) war ein Großteil der Böden in Niedersachsen von einer Mangelversorgung mit Wasser im Boden betroffen. Aufgrund von steigender Ausschöpfung konnten selbst schluff- und tonreiche Böden im Landesinneren mit sehr guten Wasserspeicherfähigkeiten den Mangel an Wasser nicht ausgleichen.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Auswertungen zu den Bodenwasservorräten für die Zeitreihe 1961 bis 2020 mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell BOWAB zeigen die Auswirkungen des Klimawandels auf die Böden in Niedersachsen. Dafür wurde BOWAB angepasst und erstmals für langfristige und flächendeckende Auswertungen für ganz Niedersachsen genutzt.

Anhand der Auswertungen werden die räumlichen Unterschiede der Bodenwasservorräte in der Vegetationsperiode in Niedersachsen sowie ihre zeitliche Entwicklung zwischen 1961 und 2020 unter dem Einfluss des Klimawandels deutlich. Aufgrund der standörtlichen und klimatischen Vielfalt Niedersachsens variieren die Bodenwasservorräte zwischen den verschiedenen Bodenregionen und Jahren. Gleichzeitig lässt sich ein eindeutiger und sich in den letzten Jahren verstärkender Trend zu abnehmenden Bodenwasservorräten in der Vegetationsperiode beobachten, der aber räumlich unterschiedlich stark ausfällt. Zusätzlich wurden einzelne Extremjahre wie das Jahr 2018 mit extrem geringen Bodenwasservorräten betrachtet, die starke Auswirkungen auf die Vegetation und die Erträge in der Landwirtschaft hatten (SAUER & KECKL 2019). Im Gegensatz zu den anderen Geofakten dieser Reihe (GF46.x) wurde keine Auswertung mit Klimaprojektionsdaten durchgeführt, da die Berechnungen aufgrund der Komplexität des Modells und der Klimaprojektionsdaten landesweit nicht möglich waren.

Bezugnehmend auf die zukünftigen klimatischen Verhältnisse mit prognostizierten weiter steigenden Temperaturen und prognostizierter abnehmender klimatischer Wasserbilanz (vgl. NIKO 2024 und ENGEL et al. 2024) ist aber davon auszugehen, dass sich der Trend zu abnehmenden Bodenwasservorräten in der Vegetationsperiode fortsetzen wird. Ziel ist es deshalb, die Berechnungen auch mit Klimaprojektionsdaten durchzuführen und die Bodenwasservorräte für die Zukunft (Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts) zu modellieren und damit Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Bodenwasservorrats in der Vegetationsperiode für Niedersachsen treffen zu können.

Gleichzeitig ist aufgrund der steigenden Herbst- und Winterniederschläge davon auszugehen, dass die Böden häufiger und ggf. früher im Jahr gesättigt oder übersättigt sind. Dies hat Auswirkungen auf die Retentionsleistung der Böden (BUG et al. 2022) sowie ihre Befahrbarkeit und Verdichtungsempfindlichkeit. Auswertungen zum Bodenwasservorrat sind auch für diese Fragestellungen eine wichtige Bewertungsgrundlage.

Eine Weiterentwicklung der hier vorgestellten Methodik in Hinblick auf diese Fragestellungen durch Verwendung tagesaktueller Daten erfolgte bereits.

Im *Niedersächsischen Bodenfeuchteinformationsdienst NIBOFID* werden auf der Grundlage der BK50 und von tagesaktuellen Wetterdaten die Bodenwasservorräte für alle Flächen der BK50 jeweils für den vorherigen Tag ermittelt und im Kartenserver dargestellt.

Im Kartenbild ist die Bodenfeuchte für den Boden von 0–60 cm Tiefe dargestellt, der dem Hauptwurzelraum bei den meisten Böden und Nutzungsformen entspricht. Die Ergebnisse werden in Hinblick auf die Wasserversorgung der Pflanzen und die Befahrbarkeit klassifiziert dargestellt.

Literatur

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D. & SMITH, M. (1998): Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. – FAO Irrigation and Drainage Paper **56**, 300 S., Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations; Rome.

BUG, J., SCHARUN, C., HARDERS, D. & STADTMANN, R. (2022): Der Wasserhaushalt der Böden in Niedersachsen - Neue methodische Ansätze zur bodenfunktionalen Bewertung. – Geofakten **36**: 17 S., 7 Abb., 5 Tab.; Hannover (LBEG); *DOI 10.48476 /geofakt_36_1_2022*.

BUG, J. & HARDERS, D. (2024): Potenzieller mittlerer Zusatzwasserbedarf im Klimawandel. – Geofakten **46.1**: 12 S., 7 Abb., 2 Tab.; Hannover (LBEG).

BUG, J., HEUMANN, S., MÜLLER, U. & WALDECK, A. (2020): Auswertungsmethoden im Bodenschutz - Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). – GeoBerichte **19**: 9. Aufl., 383 S., 36 Abb., 384 Tab.; Hannover (LBEG); *DOI 10.48476/geober_19 _2020*.

DISSE, M. (1995): Modellierung der Verdunstung und der Grundwasserneubildung in ebenen Einzugsgebieten. – Mitt. Inst. Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe **53**: 180 S.; Karlsruhe.

DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST: Klimatische Wasserbilanz. – *https://www.dwd.de/DE/leistungen/wasserbilanzq/wasserbilanzq.html*, eingesehen am 31.03.2025.

DWD – DEUTSCHER WETTERDIENST (2025): Intensivierung der Temperaturentwicklung in Deutschland als Folge des Klimawandels. Warum der Deutsche Wetterdienst seine Kommunikation erweitert. – *https://www.dwd.de/DE/presse/pressekonferenzen /DE/2025/PK_2025_04_01/langfassung_loess-filter.pdf?__blob=publicationFile&v=2*.

DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. – DVWK-Merkblätter **238**: 135 S.; Hamburg (Parey).

ENGEL, N., MÜLLER, U. & SCHÄFER, W. (2012): BOWAB - Ein Mehrschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell. – GeoBerichte **20**: 85–98, 4 Abb., 4 Tab.; Hannover (LBEG); *DOI 10.48476/geober_20_2012*.

ENGEL, N., BUG, J., STADTMANN, R. & HARDERS, D. (2024): Auswirkungen des Klimawandels auf Böden in Niedersachsen. – Geofakten **46**: 27 S., 12 Abb., 4 Tab.; Hannover (LBEG); *DOI 10.48476/ geofakt_46_1_2024*.

ERTL, G., BUG, J., ELBRACHT, J., ENGEL, N. & HERRMANN, F. (2019): Grundwasserneubildung von Niedersachsen und Bremen. Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA18. – GeoBerichte **36**: 54 S., 20 Abb., 9 Tab.; Hannover (LBEG); *DOI 10.48476/geober_36_2019*.

GEHRT, E., BENNE, I., EVERTSBUSCH, S., KRÜGER, K. & LANGNER, S. (2021): Erläuterung zur BK 50 von Niedersachsen. – GeoBerichte **40**: 282 S., 125 Abb., 100 Tab.; Hannover (LBEG); *DOI 10.48476/geober_40_2021*.

KOMMISSION BODENSCHUTZ BEIM UMWELTBUNDESAMT (KBU) (Hrsg.) (2016): Böden als Wasserspeicher - Erhöhung und Sicherung der Infiltrationsleistung von Böden als ein Beitrag des Bodenschutzes zum vorbeugenden Hochwasserschutz. – *https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/kbu_erhohung_und_sicherung_der_infiltr_ationsleistung_von_boden_juli_2016.pdf*.

NIKO (2024): Klimadaten Niedersachsen. – *https://niko-klima.de/klimawissen/*, eingesehen am 24.03.2025.

NIKO (2023): Klimafolgenmonitoringbericht für Niedersachsen 2023. – *https://niko-klima.de/wp-content/uploads/2024/01/Klimafolgenmonitoringbericht-fuer-Niedersachsen-2023.pdf*, eingesehen am 24.03.2025.

RAUTHE, M., STEINER, H., RIEDIGER, U., MAZURKIEWICZ, A. & GRATZKI, A. (2013): A Central European precipitation climatology - Part I: Generation and validation of a high-resolution gridded daily data set (HYRAS). – Meteorologische Zeitschrift **22** (3): 235–256; *DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0436*.

SAUER, S. & KECKL, G. (2019): Das Jahr in Zahlen: Landwirtschaft 2018. – Statistische Monatshefte Niedersachsen **3**/2019; *https://www.statistik.niedersachsen.de/download/142374*.

Impressum

Die Geofakten werden vom Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) herausgegeben und erscheinen unregelmäßig bei Bedarf.

Die bisher erschienenen Geofakten können unter https://www.lbeg.niedersachsen.de abgerufen werden.

© LBEG Hannover 2025

Version: 05.11.2025

Titelabbildung: Warming Stripes für Niedersachsen in Anlehnung an Ed Hawkins. – Datengrundlage: DWD Climate Data Center (CDC): Jährliche Gebietsmittel der Lufttemperatur (Jahresmittel) in °C (2 m Höhe), Version v19.3, abgerufen am 24.02.2022.

Autorenschaft

- Toni Widmer, Tel.: 0511/ 643-3872
  mail: Toni.Widmer@lbeg.niedersachsen.de
- Dr. Jan Bug, Tel.: 0511/ 643-3876
  mail: Jan.Bug@lbeg.niedersachsen.de
- Nicole Engel, Tel.: 0511/643-3597
  mail: nicole.engel@lbeg.niedersachsen.de

Landesamt für Bergbau,
Energie und Geologie
Stilleweg 2, 30655 Hannover
Internet: https://www.lbeg.niedersachsen.de