

Dürrierisikokarten als Instrument für ein lokales Dürrierisikomanagement in der Kulturlandschaft am Fallbeispiel des Landkreises Cuxhaven

Alexander Strom (Berlin), Jenny Kröcher (Müncheberg), Philipp Wolke, Stephan Hannappel (Berlin), Christian Fokuhl (Cuxhaven)

Zusammenfassung

Der Umgang mit den Folgen des Klimawandels in der Kulturlandschaft erfordert spezifische Instrumente für Akteure aus Land- und Forstwirtschaft sowie Naturschutz, für die Verwaltung und die interessierte Öffentlichkeit. Der Landkreis Cuxhaven führt deshalb einen Vulnerabilitätskartendienst ein, der Informationen über die Auswirkungen von Extremereignissen bündelt. Dafür wurde eine GIS-gestützte Modellierung der Gefahren und Risiken durch Trockenheit und Dürre in räumlich hoher Auflösung von $100 \times 100 \text{ m}^2$ unter Berücksichtigung der Bodenfeuchten und des Grundwasserflurabstands durchgeführt, womit die Grundlage für ein lokales Dürrierisikomanagement in der Kulturlandschaft geschaffen wurde. Aus der Dürregefährdung und den exponierten Schutzgütern wurden in Abhängigkeit der Landnutzung und der Empfindlichkeit der Biotoptypen gegenüber Wasserstandsabsenkungen entsprechende Dürrierisikokarten abgeleitet, analog zu den bereits bekannten Hochwasserrisikokarten. Die Dürrierisikokarten verdeutlichen, welche Gebiete und Flurstücke in besonderem Maß von Dürre betroffen sind und stellen damit ein wichtiges Instrument für das lokale Flächenmanagement dar. Mit Hilfe eines interaktiven QGIS-Plugins können die Modellergebnisse z.B. für Überwachungszwecke aktualisiert und visualisiert werden. Die neu entwickelten Instrumente tragen zur Zielerreichung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, der Nationalen Wasserstrategie und der Nationalen Moorschutzstrategie bei. Der vorliegende Fachbeitrag verdeutlicht den Nutzen solcher Instrumente für das Dürrierisikomanagement und regt die Diskussion über die Notwendigkeit und den Nutzen von Dürrierisikokarten zur Anpassung an den Klimawandel an.

Schlagwörter: Klimaanpassung, Dürre, Dürrierisikokarten, Dürrierisikomanagement, Norddeutsches Tiefland, Niedersachsen, Cuxhaven

DOI: 10.3243/kwe2024.06.003

1 Einleitung

Die Folgen des Klimawandels mit häufigeren und intensiveren Dürreereignissen stellen den Landkreis Cuxhaven vor neue Herausforderungen. Bundesweite [1] und regionale Studien

für Niedersachsen [2, 3, 4] prognostizieren häufigere und länger andauernde Trocken- und Dürrephasen in Sommermonaten. Die Dürren der Jahre 2018-2020 sind bereits als Anzeichen

einer klimawandelbedingten [5, 6] Intensivierung der Sommertrockenheit in Nordeuropa anzusehen und zeigen die Auswirkungen auf Vegetation, Boden, oberirdische Gewässer und das Grundwasser. Langfristig ist in Niedersachsen zwar in Bezug auf den Jahresdurchschnitt der Bodenfeuchten nur mit geringfügigen Veränderungen zu rechnen, die sich aber durch einen stetig abnehmenden Charakter auszeichnen [7]. Die Entwicklung der Niedrigwassersituation zeichnet sich nicht eindeutig ab. In Teilen Niedersachsens ist in naher Zukunft eine Entspannung der Situation zu erwarten, während in ferner Zukunft mit einer Verschärfung gerechnet werden muss [3]. Die Grundwasserstände erreichten zwischen 2018 und 2020 vielerorts Tiefststände [8], die sich in einigen Grundwassermessstellen noch bis zum Ende des Jahres 2021 fortsetzten [9] und womöglich noch andauern.

Bestehende Werkzeuge, z. B. das European Drought Observatory (EDO) [10, 11] und der Dürreatlas [12] des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, das den Dürremonitor des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung [13, 14] nutzt, bieten einen europaweiten bzw. bundesweiten Überblick zur Dürresituation. Mit Auflösungen von $5 \times 5 \text{ km}^2$ bzw. $4 \times 4 \text{ km}^2$ sind sie jedoch zu grob für Detailaussagen auf Flurebene. Darüber hinaus findet der kapillare Aufstieg in das Grundwasser keine Berücksichtigung, was die Bewertung der Situation grundwasserbeeinflusster Böden erschwert [15, 16]. Für ein Dürreerisikomanagement auf lokaler Ebene ist daher eine höhere Auflösung und die Einbeziehung der Grundwasserverhältnisse notwendig.

Der sich derzeit in Aufbau befindliche Vulnerabilitätskartendienst des Landkreises Cuxhaven bündelt lokale Informationen zu Extremereignissen. Dafür wurde eine GIS-gestützte Modellierung der Gefahren und Risiken durch Trockenheit und Dürre in einer Auflösung von $100 \times 100 \text{ m}^2$ unter Berücksichtigung der Bodenfeuchten und Grundwasserflurabstände durchgeführt. Das Modell und das Vorgehen zur Ermittlung der Dürregefährdungsparameter sind ausführlich in [16] und [17] beschrieben. In diesem Fachbeitrag liegt der Fokus auf der Entwicklung von Dürreerisikokarten und eines interaktiven QGIS-Plugins als Instrumente für die fachliche Praxis, Betroffene und Entscheidungsträger.

2 Untersuchungsgebiet

Der Landkreis Cuxhaven liegt im Norden Niedersachsens zwischen der Elbe- und Wesermündung (Abbildung 1) und besitzt eine Fläche von rund 2057 km^2 . Seine Kulturlandschaft besteht aus Geest- und Marschgebieten sowie zahlreichen Hoch- und Niedermoorstandorten [18]. Es dominiert die landwirtschaftliche Flächennutzung, überwiegend mit Grünlandbewirtschaftung [19]. Der durchschnittliche Jahresniederschlag liegt an der DWD-Station Cuxhaven bei ca. 828 mm/a [20].

Auf den Geestflächen (Gelb- bis Brauntöne in Abbildung 1) sind sandige Böden mit nutzbaren Feldkapazitäten der effektiven Wurzelzone (nFK_{We}) von $50\text{--}140 \text{ mm}$ vorzufinden, teilweise mit lehmigen Anteilen, die vermehrt im Süden des Landkreises auftreten. Die Torfe der Hochmoore weisen ein wesentlich höheres Wasserspeichervermögen mit einer nFK_{We} von teilweise mehr als 300 mm auf. In den Marschgebieten und Niederungen (Grün- und Blautöne in Abbildung 1) befinden sich überwiegend feinkörnige Sedimente mit nFK_{We} -Werten von meist $140\text{--}200 \text{ mm}$. Ein geringes Wasserspeichervermögen besitzen

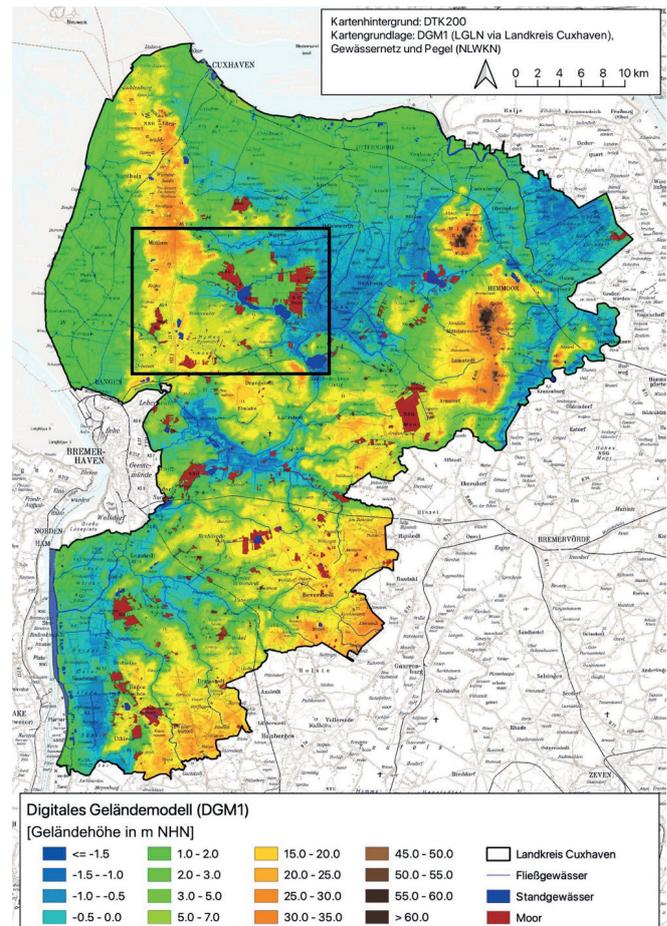


Abb. 1: Übersicht über den Landkreis Cuxhaven mit Geländehöhen von -2 bis 74 m NHN sowie seinen Hoch- und Niedermooren. Der schwarz markierte Bereich kennzeichnet das nachfolgend verwendete Beispielgebiet für die Dürreerisikokarten.

die tiefliegenden Sietländer der Marschen mit nFK_{We} von $50\text{--}90 \text{ mm}$ aufgrund des geringen Flurabstands und entsprechend geringen effektiven Durchwurzelungstiefen [21, 22].

Die Flurabstände liegen auf den Geestflächen bei mehr als 10 m . Eine Grundwasseranbindung der effektiven Wurzelzone ist daher nicht gegeben und wird erst an den Geesträndern erreicht. Auf den Hochmoorflächen und der Hochmarsch liegen die Flurabstände meist bei weniger als 3 m , während sie in den tiefliegenden Sietländern bei weniger als 2 m liegen. Ein Grundwasseranschluss ist dort meist vorhanden [16, 17]. Zur Ermöglichung einer Flächenbewirtschaftung werden vor allem die Marschgebiete mit Hilfe von Drainagen und Gräben entwässert.

3 Methodik

3.1 Ansätze für die Begrifflichkeiten von Gefährdung und Risiko im Zusammenhang mit Dürre

Im Hochwasserrisikomanagement existieren zweckmäßige Analogien für die Begrifflichkeiten der Dürregefährdung und des Dürreerisikos. Zur Umsetzung der „Richtlinie 2007/60/EG über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken“ (HWRM-RL) [25] werden von den zuständigen Behörden Hochwassergefahren- und risikokarten erstellt. Für die Hoch-



Abb. 2: Schema zur Ermittlung des Dürrierisikos in der Kulturlandschaft

wassergefahrenkarten werden in Abhängigkeit des Wiederkehrintervalls hydraulische Modellierungen durchgeführt und überflutete Flächen mit den entsprechenden Wassertiefen ausgewiesen. Diese dienen als Grundlage für die Hochwasserrisikokarten.

Das Risiko leitet sich im Allgemeinen aus einer Gefährdung und der Exposition eines Schutzgutes ab. Nach § 73 Abs. 1 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) [26] ist Hochwasserrisiko „die Kombination der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Hochwasserereignisses mit den möglichen nachteiligen Hochwasserfolgen für die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe, wirtschaftliche Tätigkeiten und erhebliche Sachwerte.“ Die potenziell überschwemmten Flächen aus der Hochwassergefahrenkarten werden dabei mit Landnutzungsdaten verschnitten, um die Risikogebiete auszuweisen.

Das Vorgehen bei der Erstellung von Gefahren- und Risikokarten für Hochwasser ist auf die Problemstellung von Trockenheit und Dürre übertragbar. Das Dürrierisiko kombiniert die Ergebnisse aus der Dürregefährdung mit Daten zu betroffenen Schutzgütern. In den Dürrierisikokarten werden daher Landnutzungsdaten und Daten zu empfindlichen Biotoptypen gegenüber Wasserstandsabsenkungen mit Gefährdungsparametern verschnitten, die im nachfolgenden Kapitel erläutert werden.

3.2 Ermittlung des Dürrierisikos

Das Dürrierisikomanagement baut methodisch auf dem Schema in Abbildung 2 auf. Im Untersuchungsgebiet wird der Grundwassereinfluss der Böden anhand neu erstellter Grundwasserflurabstandskarten und der Bodenverhältnisse untersucht. Daraus wird die Anbindung an das Grundwasser für eine Notversorgung der Vegetation nach [23] bestimmt. Bei einer Anbindung der effektiven Wurzelzone an das Grundwasser besitzt die Vegetation neben dem versickernden Niederschlag eine zusätzliche Wasserquelle, die die Notwasserversorgung der Vegetation deckt. Böden ohne Grundwasseranbindung sind hingegen ausschließlich auf infiltriertes Niederschlagswasser angewiesen. Deshalb erfolgt methodisch eine räumliche Trennung

zwischen Böden mit und ohne Grundwasseranbindung auf Basis von Flurabstandskarten für mittlere Grundwasserstände [16, 17].

Für Böden ohne Grundwassereinfluss wird eine Bodenfeuchtemodellierung durchgeführt und daraus je nach Unterschreitungswahrscheinlichkeit des aktuellen Bodenfeuchtewertes die fünfstufige Trockenheits- bzw. Dürrestufe in Anlehnung an den U.S. Drought Monitor [24] und den UFZ-Dürremonitor [13, 14] abgeleitet:

- ≤ 30–20: Ungewöhnliche Trockenheit
- ≤ 20–10: Moderate Dürre
- ≤ 10–5: Schwere Dürre
- ≤ 5–2: Extreme Dürre
- ≤ 2: Außergewöhnliche Dürre

Die Methodik ist im Detail in [16] und [17] beschrieben. Aus der Häufigkeit der Dürrestufen wird letztendlich für jedes Jahr die Dürredauer abgeleitet. Für Böden mit Anbindung an das Grundwasser wird die dürrebedingte Abkopplung der Grundwasseroberfläche von der effektiven Wurzelzone aus dem Unterschied zwischen mittlerem und niedrigem Grundwasserstand abgeleitet. In [16] wurden folgende Gefährdungsparameter für die darauf aufbauenden Risikokarten als geeignet identifiziert:

- Böden ohne Grundwassereinfluss: maximale Dürredauer innerhalb eines Kalenderjahres im modellierten Zeitraum,
- Böden mit Grundwasseranbindung: Abkopplung der effektiven Wurzelzone bei niedrigem Grundwasser.

4 Dürrierisikokarten

4.1 Dürrierisikokarte für betroffene Landnutzungsgruppen

In Abbildung 3 ist ein Detailausschnitt der landkreisweit erstellten Dürrierisikokarte mit betroffenen Landnutzungsgruppen

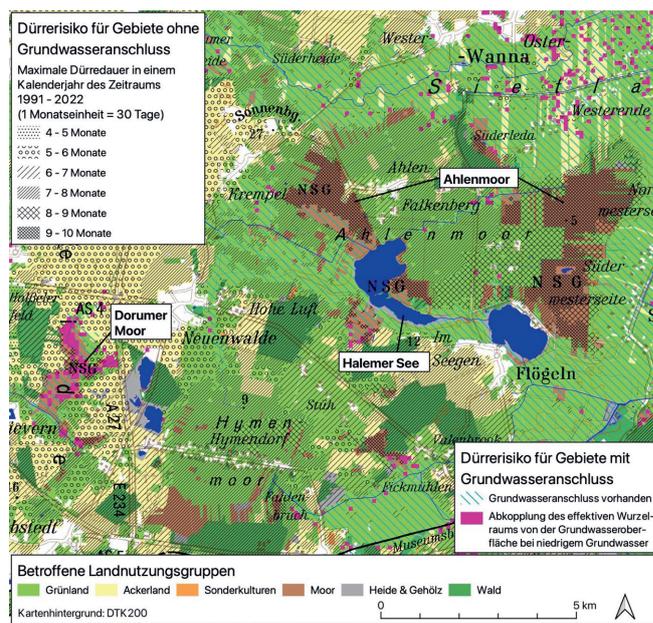


Abb. 3: Detailausschnitt des Dürrierisikos für betroffene Landnutzungsgruppen

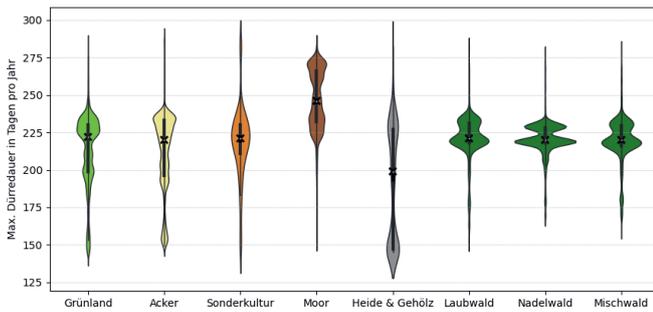


Abb. 4: Statistische Verteilungen der maximalen Dürredauer auf Böden ohne Grundwasseranbindung gegliedert in die Landnutzungsgruppen. Die Mediane sind mit einem Kreuz und weißen Punkt gekennzeichnet. Es bestehen Unterschiede in den Stichprobengrößen. Den größten Flächenanteil hat Grünland mit ca. 424 km². Den geringsten Flächenanteil besitzen Sonderkulturen mit ca. 3 km².

pen dargestellt. Im Bereich des Ahlenmoors sind vor allem die Moorbereiche mit einer langen maximalen Dürredauer von neun bis zehn Monaten besonders gefährdet. Die umliegenden Grünlandflächen nördlich des Halemer Sees sowie auch die Acker- und Waldflächen südlich davon weisen mit sieben bis acht Monaten maximaler Dürredauer ebenfalls eine hohe Gefährdung auf. Darüber hinaus ist im Nordosten des Kartenausschnittes im südlichen Teil des Sietlands zu erwarten, dass auf Teilflächen mit Acker- oder Grünlandnutzung eine Abkopplung der effektiven Wurzelzone von der Grundwasseroberfläche unter Niedrigwasserverhältnissen stattfindet, womit die Notwasserversorgung der Vegetation dort nicht mehr gewährleistet wäre. Im Dorumer Moor ist ebenfalls eine Abkopplung des Grundwassers für große zusammenhängende Flächen unter Dürre zu erwarten.

In Abbildung 4 ist die statistische Verteilung der maximalen Dürredauern der Einheitsrasterzellen im gesamten Landkreis bezogen auf die Landnutzungsgruppen dargestellt. Die Mediane der maximalen Dürredauern liegen bei den meisten Landnutzungsgruppen mit Ausnahme der Moore sowie Heide und Gehölz bei ca. 220 Tagen, was etwa sieben Monaten entspricht. Die Moore weisen die längsten Dürredauern mit ca. 245 Tagen

(ca. acht Monate) auf. Der Grund dafür ist die lange Dauer der Speicherfüllung von Torfen mit sehr hohem Wasserspeichervermögen nach extremen Dürren, weshalb der Dürrezustand auf Moorflächen wesentlich länger anhält [16]. In der Verteilung zeichnet sich ein bimodaler Charakter ab. Eine geringere Dauer von ca. 235 Tagen gilt für die Moorflächen mit geringer nutzbarer Feldkapazität aufgrund geringer Torfmächtigkeiten. Die längere Dauer von ca. 270 Tagen gilt für Mooregebiete mit mächtigeren Torfschichten und entsprechend hohem Wasserspeichervermögen.

Die maximale Dürredauer bei Heide und Gehölz weist ebenfalls eine bimodale Verteilung auf. Die Entfernung zwischen den Verteilungsspitzen ist mit je 140 und 230 Tagen sehr weit. Der Wert von ca. 140 Tagen maximaler Dürredauer spiegelt die Ergebnisse der Heideflächen im Nordwesten des Landkreises wider, während der Wert von 230 Tagen auf Gehölzflächen zurückzuführen ist, die im gesamten Gebiet verteilt sind. Es zeichnen sich auch Unterschiede in den Verteilungsmustern innerhalb der übrigen Landnutzungsgruppen mit charakteristischen bimodalen Verteilungen ab, die sich durch Unterschiede in den Bodenarten und den Niederschlagsmustern in Abhängigkeit der Topographie und Küstennähe erklären lassen.

4.2 Dürreerisikokarte für empfindliche Biotoptypen gegenüber Wasserstandsabsenkungen

Aus dem Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen [27] und deren Einstufung [28] lässt sich die Grundwasserabhängigkeit und Empfindlichkeit gegenüber Wasserstandsabsenkungen von Biotoptypen ableiten (Tabelle 1). Die daraus gewonnenen Informationen, die als Expositionen im Zusammenhang mit einem Dürreerisiko abstrahiert werden können, bilden neben der Landnutzung eine zusätzliche Risikoperspektive zur Verschneidung mit der Dürregefährdung.

In Abbildung 5 ist ein Detailausschnitt aus der Dürreerisikokarte mit empfindlichen Biotoptypen gegenüber Wasserstandsabsenkungen dargestellt. Die Biotoptypen mit mittlerer und höherer Empfindlichkeit sind je nach Empfindlichkeitsstufe gelb, grün oder blau markiert, während wasserempfindliche Biotoptypen mit geringerer Empfindlichkeitsstufe ausgeblendet sind. In diesen Bereichen sind gleichzeitig auch die Gefähr-

Symbol	Erläuterung	Gruppierung für Dürreerisiko
+++	sehr hohe Empfindlichkeit, in der Regel grundwasserabhängig	Sehr hoch (grundwasserabhängig)
++h	sehr hohe Empfindlichkeit; Hochmoore mit eigenem ombrogenen Wasserkörper	Sehr hoch (Hochmoor)
++	hohe Empfindlichkeit; überwiegend grundwasser-, tw. überflutungs-/stauwasserabhängig	Hoch
+	mittlere Empfindlichkeit, grundwasser- oder stauwasser- abhängig	Mittel
(+)	überwiegend geringe o. keine Empfindlichkeit; mittlere Empfindlichkeit bei feuchten Ausprägungen	Mittel
-	geringe oder keine Empfindlichkeit	nicht berücksichtigt
/	je nach Ausprägung Schwankung zwischen dem oberen und dem unteren angegebenen Wert	Berücksichtigung des oberen Wertes
G	Binnengewässer: sehr hohe Empfindlichkeit gegen Trockenlegung und Grundwasserabsenkung	nicht berücksichtigt
.	keine Einstufung	nicht berücksichtigt

Tabelle 1: Einstufung der Biotoptypen nach ihrer Abhängigkeit gegenüber Wasserstandsabsenkungen (verändert nach [29], via [28])

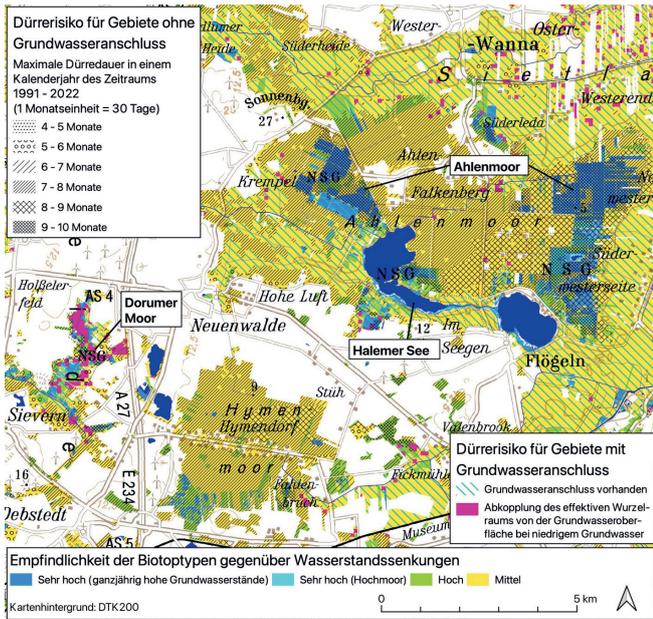


Abb. 5: Beispielhafter Ausschnitt der Dürrierisikokarte für wasserempfindliche Biotypen

dungsparameter (Dürredauer und Grundwasserabkopplung) für eine bessere Übersicht ausgeblendet.

Eine mittlere Empfindlichkeit gegenüber Wasserstandsabsenkungen ist weit verbreitet und stellt vor allem die großräumigen Niederungsbereiche dar. Hohe und sehr hohe Empfindlichkeiten sind in den Moor- und Senkenbereichen, d.h. im Ahlenmoor sowie im Dorumer Moor, vorzufinden. Diese besonders sensiblen Bereiche entsprechen den Lokalitäten mit hohen Torfmächtigkeiten und entsprechend hohem Wasseraufnahmevermögen. Sie sind von besonders langen Dürredauern von neun bis zehn Monaten betroffen (z. B. östlicher Teil des Ahlenmoors). Im Dorumer Moor sind ebenfalls Biotypen mit sehr hoher Empfindlichkeit gegenüber Wasserstandsabsenkungen vertreten. Sie benötigen ganzjährig einen hohen Grundwasserstand und unterliegen deshalb einem besonders hohen Dürreisiko aufgrund der Abkopplung vom Grundwasser unter Niedrigwasserhältnissen. Die identifizierten Risikobereiche im Dorumer Moor konzentrieren sich auf den nördlichen und zentralen Teil des Moors und sind genauer zu beobachten.

5 Entwicklung eines interaktiven QGIS-Plugins

Das Bodenfeuchtemodell wurde in ein QGIS-Plugin [30] mit Bedienungsoberfläche übersetzt. Das Kernelement ist die flexible Aktualisierung der Modellergebnisse, um die aktuellen Zustände der Umweltkompartimente Boden und Wasser zu quantifizieren. Die Modellausgabe umfasst die relative Bodenfeuchte und Dürrestufe im siebentägigen Intervall, die Dürredauer je Kalenderjahr sowie die maximale Dürredauer im modellierten Zeitraum. Für die Bedienung des Plugins sind keine Programmierkenntnisse notwendig.

Die Bodenfeuchte und die Dürrestufe werden für Böden ohne Anbindung an das Grundwasser täglich für 100.579 Rasterzellen à 100 x 100 m² ab 1. Januar 1991 berechnet. Zur Auswertung und Visualisierung der Ergebnisse werden im QGIS-Plugin zahlreiche Möglichkeiten angeboten (Abbildung 6, links). So kann für eine ausgewählte Rasterzelle die Zeitreihe

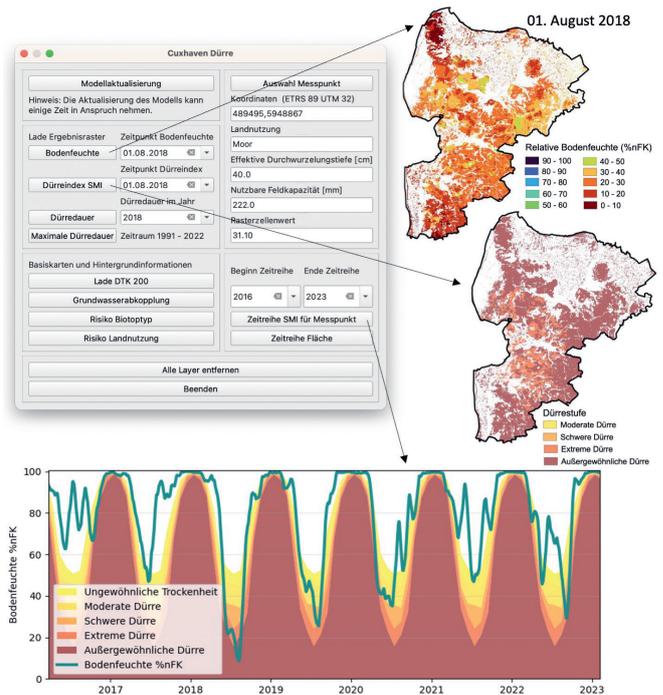


Abb. 6: Interaktives QGIS-Plugin für das Dürrierisikomanagement mit Auswertungs- und Visualisierungsmöglichkeiten

der Bodenfeuchte dargestellt werden (Abbildung 6, unten). Aus der Kennzeichnung der jahreszeit- und bodenfeuchteabhängigen Dürrestufe im Hintergrund geht gleichzeitig indirekt die Dürrestufe zu jedem Zeitpunkt hervor. Der Visualisierungsstil der Zeitreihe ist an den des UFZ-Dürremonitors angelehnt [13, 14]. Zur Einordnung der Zeitreihe können für die ausgewählte Rasterzelle Hintergrundinformationen zur Landnutzung, zur nutzbaren Feldkapazität und der effektiven Durchwurzelungstiefe abgefragt werden.

Zudem werden flächenhafte Darstellungen für einzelne Zeitpunkte ab 1991 angeboten: z. B. die landkreisweite Bodenfeuchteverteilung und die Dürrestufe (Abbildung 6, rechts). Darüber hinaus können die Dürrierisikokarten dargestellt werden, sodass der Zustand von Risikobereichen überwacht werden kann.

6 Fazit

Im Rahmen der Entwicklung des Vulnerabilitätskartendienstes für den Landkreis Cuxhaven wurden erfolgreich neue Instrumente mit dem Ziel eines lokalen Dürrierisikomanagements auf Flurebene unter Berücksichtigung der Bodenfeuchten und der Grundwasserflurabstände entwickelt. Die Werkzeuge umfassen Dürrierisikokarten in räumlich hoher Auflösung von 100 x 100 m² und ein interaktives QGIS-Plugin zur Auswertung und Visualisierung der Modelldaten. Die Methodik ist auf Naturräume mit vernachlässigbarer Abflussbildung direkt übertragbar. Bei erheblichem Oberflächenabfluss ist gegebenenfalls eine Anpassung des infiltrierten Niederschlags mit Hilfe eines Abflussbildungsmodells erforderlich.

Das Dürreisiko wurde durch die Verschneidung der Dürrefähigkeit mit betroffenen Landnutzungsgruppen und empfindlichen Biotypen gegenüber Wasserstandsabsenkungen in dieser Form und Auflösung erstmalig für einen Landkreis in Deutschland erfasst. Die maximalen Dürredauern in einem Ka-

lenderjahr liegen für die meisten Landnutzungsgruppen bei ca. sieben Monaten, wobei Heidestandorte mit sandigem Substrat (fünf Monate) und Moorflächen mit hohen Torfmächtigkeiten (acht bis neun Monate) die Ausnahmen bilden. Die Gefährdung von Moorflächen gegenüber extremer Dürre ist damit vergleichsweise stark erhöht. Die Ergebnisse korrelieren mit der Verteilung des Dürreerisikos für Biotoptypen mit sehr hoher Empfindlichkeit gegenüber Wasserstandsabsenkungen, da es sich dabei meist um Moorflächen handelt. Mit Hilfe der neu erstellten Dürreerisikokarten können Risikobereiche in der Kulturlandschaft in Hinblick auf Dürre in Abhängigkeit der Landnutzung und der Empfindlichkeit der Biotoptypen gegenüber Wasserstandsabsenkungen identifiziert werden.

Die Dürreerisikokarten weisen Synergien mit der EG-WRRRL [31] auf. Die EG-WRRRL führt in ihrer Zielbeschreibung an, dass ein „Beitrag zur Minderung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren“ zum Schutz der Gewässer erreicht werden soll. Der Anhang VI Teil B beinhaltet dafür z. B. „Maßnahmen zur Begrenzung der Nachfrage, unter anderem Förderung einer angepassten landwirtschaftlichen Produktion wie z. B. Anbau von Früchten mit niedrigem Wasserbedarf in Dürregebieten“. Diese können von der Verwaltung in die Maßnahmenprogramme als ergänzende Maßnahmen integriert werden.

Die hier entwickelten Instrumente tragen zur Zielerreichung nationaler Umweltstrategien bei. So werden die Ziele der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) [32] direkt umgesetzt. Dazu zählt u. a. die Verbesserung der Wissensbasis, die Bereitstellung von Entscheidungsgrundlagen für Akteure sowie die Schaffung einer Grundlage für die Unterstützung der Bewusstseinsbildung in Fachkreisen und der breiten Öffentlichkeit. Im Rahmen der Klimaanpassung kommt der Kommunikation über Auswirkungen von Dürren also eine entscheidende Rolle zu. Die hier erarbeiteten Ergebnisse sowie das entwickelte QGIS-Plugin liefern die Grundlage für den Vulnerabilitätskartendienst, der von Behörden, von Akteuren aus Landwirtschaft und Naturschutz, vom Fachpublikum sowie der Öffentlichkeit genutzt werden kann. Im Falle von Dürre kann das QGIS-Tool das Maßnahmenmanagement durch aktuelle Modelldaten unterstützen, um Gegenmaßnahmen bei Trockenstress gezielter umzusetzen. Es fungiert außerdem als Schnittstelle zur Klimaanpassung im sozio-kulturellen Bereich durch Bildung und Bewusstseinsbildung bei Akteuren der Wasserwirtschaft und Landbewirtschaftung sowie in der Bevölkerung. Die Kommunikationsmöglichkeiten von Gefahren, die von Dürre ausgehen, werden durch die herausgearbeiteten Ergebnisse und das QGIS-Plugin erheblich erweitert.

Die Ergebnisse der Dürreerisikoanalyse harmonisieren auch mit den Aufgaben und Zielen der Nationalen Moorschutzstrategie [33] sowie der Nationalen Wasserstrategie [34], insbesondere mit dem Ziel der Herstellung eines naturnahen Wasserhaushalts zur Vorbeugung vor Trockenperioden und Dürren. Mit der Verabschiedung der Nationalen Moorschutzstrategie wurden u. a. der Erhalt aller naturnahen Moorflächen sowie die Wiedervernässung ungenutzter Moorflächen in den Vordergrund gerückt. Diese setzen ein ausreichendes Wasserdargebot mit möglichst geringen Schwankungen voraus, das durch integriertes Wassermanagement auf Grundlage einer stärkeren Wasserrückhaltung erzielt werden soll. Im Landkreis Cuxhaven werden bereits zahlreiche Wiedervernässungsprojekte auf Hoch- und Niedermoorflächen durchgeführt. Die vorliegende

Studie kann in diesem Zusammenhang in Zukunft als Informationsgrundlage zum Grundwasserflurabstand, zur Grundwasseranbindung sowie als Werkzeug für eine Flächenpriorisierung genutzt werden. Die Nationale Moorschutzstrategie weist deutliche Überschneidungen mit der Nationalen Wasserstrategie auf. Auch außerhalb von Moorgebieten ist ein naturnaher Landschaftswasserhaushalt, der durch einen stärkeren Wasserrückhalt in der Landschaft erreicht werden kann, von hoher Relevanz. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie können in einer möglichen Flächenkulisse für Wasserrückhaltmaßnahmen im Rahmen von Wassermengenmanagementkonzepten berücksichtigt werden. Moorflächen sind dabei zu priorisieren, da sie besonders von extremen Dürren betroffen sind. Die niedersächsische „Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von Vorhaben zur strategischen Neuausrichtung des Wassermengenmanagements und des klimafolgenorientierten Ausbaus von Infrastrukturen der Wasserversorgung und -nutzung“ [35] stellt dafür aktuell ein sehr effektives Förderinstrument auf Landesebene dar.

Literatur

- [1] Thober, S.; Marx, A.; Boeing, F. (2018): *Auswirkungen der globalen Erwärmung auf hydrologische und agrarische Dürren und Hochwasser in Deutschland, Ergebnisse aus dem Projekt HOKLIM: Hochaufgelöste Klimaindikatoren bei einer Erderwärmung von 1.5 Grad*, hrsg. v. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Leipzig.
- [2] MUEBK (2019): *Klimawirkungsstudie Niedersachsen – Wissenschaftlicher Hintergrundbericht*, hrsg. v. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Hannover.
- [3] NLWKN (2019): *Globaler Klimawandel – Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland – Gesamtbericht des Projektes KliBiW – Themenbereich Niedrigwasser*, hrsg. v. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, NLWKN-Schriftenreihe Grundwasser, Bd. 42, Norden.
- [4] Scheihing, K. (2019): *Klimawandel in Niedersachsen und mögliche Folgen für die Grundwasserbewirtschaftung: ein Review*, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 63, 85–97, https://doi.org/10.5675/HyWa_2019.2_2
- [5] Mann, M. E.; Rahmstorf, S.; Kornhuber, K.; Steinman, B. A.; Miller, S.K.; Petri, S.; Coumou, D. (2018): *Projected changes in persistent extreme summer weather events: The role of quasi-resonant amplification*, Science Advances 4(10), <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat3272>
- [6] WWA (2018): *Heatwave in northern Europe – summer 2018*, World Weather Attribution, <https://www.worldweatherattribution.org/attribution-of-the-2018-heat-in-northern-europe/> (zuletzt aufgerufen am 31.08.2023)
- [7] NLWKN (2021): *Globaler Klimawandel – Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland – Abschlussbericht des Projektes KliBiW Phase 6 – Vertiefende Hochwasseranalysen*, hrsg. v. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, NLWKN-Schriftenreihe Oberirdische Gewässer, Bd. 45, Norden.
- [8] NLWKN (2020): *Grundwasserbericht Niedersachsen – Sonderausgabe zur Grundwasserstandssituation in den Trockenjahren 2018 und 2019*, hrsg. v. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, NLWKN-Schriftenreihe Grundwasser, Bd. 41, Norden.
- [9] NLWKN (2022): *Grundwasserbericht Niedersachsen – Grundwasserbericht Niedersachsen – Sonderausgabe zur Grundwasserstandsentwicklung im Jahr 2021*, hrsg. v. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, NLWKN-Schriftenreihe Grundwasser, Bd. 54, Norden.
- [10] Europäische Kommission (2023): *European Drought Observatory (EDO)*, Europäische Kommission, <https://edo.jrc.ec.europa.eu/>

- edov2/php/index.php?id=1111 (zuletzt aufgerufen am 31.08.2023).
- [11] Cammalleri, C.; Arias-Muñoz, C.; Barbosa, P.; de Jager, A.; Magni, D.; Masante, D.; Mazzeschi, M.; McCormick, N.; Naumann, G.; Spinoni, J.; Vogt, J. (2021): *A revision of the Combined Drought Indicator (CDI) used in the European Drought Observatory (EDO)*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 21(2), 481-495, <https://doi.org/10.5194/nhess-21-481-2021>
- [12] BKG (2023): *Dürreatlas*, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, <https://tigs.bkg.bund.de/duerreatlas/> (zuletzt aufgerufen am 31.08.2023).
- [13] Marx, A.; Samaniego, L.; Kumar, R.; Thober, S.; Mai, J.; Zink, M. (2016): *Der Dürremonitor – Aktuelle Information zur Bodenfeuchte in Deutschland*, Konferenzbeitrag zum Tag der Hydrologie am 17./18. März 2016 in Koblenz.
- [14] Zink, M.; Samaniego, L.; Kumar, R.; Thober, S.; Mai, J.; Schäfer, D.; Marx, A. (2016): *The German drought monitor*, Environ. Res. Lett. 11, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074002>
- [15] Kröcher, J.; Strom, A.; Hannappel, S. (2023): *Wirkungsbetrachtung einer grundwasserangepassten Entwässerungsinfrastruktur in einem landwirtschaftlich geprägten Tieflandeinzugsgebiet in Nordwestdeutschland*, Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie 28, 135-146, <https://doi.org/10.1007/s00767-023-00544-7>
- [16] Strom, A.; Kröcher, J.; Wolke, P.; Hannappel, S.; Fokuhl, C. (in Review): *Hochaufgelöste Modellierung der Gefahren durch Dürre am Fallbeispiel des Landkreises Cuxhaven im Norddeutschen Tiefland*, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (HyWa).
- [17] HYDOR (2023): *Vulnerabilitätskartendienst – Modellierung der Gefahren durch Trockenheit und Dürre im Landkreis Cuxhaven*, Abschlussbericht der HYDOR Consult GmbH (unveröffentlicht).
- [18] LK Cuxhaven (2000): *Landschaftsrahmenplan für den Landkreis Cuxhaven – Endfassung 2000*, hrsg. v. Landkreis Cuxhaven.
- [19] LGLN (2015): *Digitale Landschaftsmodelle – DLM-ATKIS*, Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen, http://www.lgn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=11079&article_id=128722&psmand=35 (zuletzt aufgerufen am 23.08.2023).
- [20] DWD (2023): *Historische tägliche Stationsbeobachtungen (Temperatur, Druck, Niederschlag, Sonnenscheindauer, etc.) für Deutschland Version v23.3* (Station Cuxhaven), Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- [21] LBEG (2017): *BK 50 – Bodenkarte von Niedersachsen 1 : 50.000*, Kartenserver des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS®. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/> (zuletzt aufgerufen am 25.08.2023).
- [22] LBEG (2007): *GK 50 – Geologische Karte 1:50.000*, Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS®, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/> (zuletzt aufgerufen am 25.08.2023).
- [23] Bug, J.; Heumann, S.; Müller, U.; Waldeck, A. (2020): *Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS)*, GeoBerichte 19, hrsg. v. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- [24] Svoboda, M.; LeComte, D.; Hayes, M.; Heim, R.; Gleason, K.; Angel, J.; Rippey, B.; Tinker, R.; Palecki, M.; Stooksbury, D.; Miskus, D.; Stephens, S. (2002): *The drought monitor*. Bulletin of the American Meteorological Society, 83 (8), S. 1181-1190, online verfügbar unter: https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/83/8/1520-0477-83_8_1181.xml
- [25] HWRM-RL (2007): *Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken*.
- [26] WHG (2023): *Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585)*, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 5) geändert worden ist.
- [27] Drachenfels, O. v. (2023): *Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen unter besonderer Berücksichtigung der gesetzlich geschützten Biotope sowie der Lebensraumtypen von Anhang I der FFH-Richtlinie*, Stand März 2021 (mit Korrekturen und Änderungen Stand 2023), hrsg. v. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Hannover.
- [28] Drachenfels, O. v. (2019): *Einstufungen der Biotoptypen in Niedersachsen – Regenerationsfähigkeit, Wertstufen, Grundwasserabhängigkeit, Nährstoffempfindlichkeit, Gefährdung*. In: Inform. d. Naturschutz Niedersachs. 1/2012 (32) Nr. 1, 1-60, hrsg. v. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), 2. korrigierte Auflage, Hannover.
- [29] Rasper, M. (2004): *Hinweise zur Berücksichtigung von Naturschutz und Landschaftspflege bei Grundwasserentnahmen*. Inform. d. Naturschutz Niedersachs. 24 (4), 199–230, Hildesheim.
- [30] QGIS Development Team (2023): *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. Online verfügbar unter <http://qgis.osgeo.org>
- [31] EG-WRRL (2000): *Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik*.
- [32] Bundesregierung (2008): *Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel*, vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen.
- [33] BMUV (2022): *Nationale Moorschutzstrategie*, hrsg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 19. Oktober 2022.
- [34] BMUV (2023): *Nationale Wasserstrategie*, hrsg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 15. März 2023.
- [35] *Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von Vorhaben zur strategischen Neuausrichtung des Wassermengenmanagements und des klimafolgenorientierten Ausbaus von Infrastrukturen der Wasserversorgung und -nutzung (FörderRL Klimafolgenanpassung Wasserwirtschaft)*, RdErl. d. MU v. 2. 2. 2022, Nds. MBl. S. 492.

Autorin und Autoren

Alexander Strom, M.Sc.
Freiberuflicher Hydrogeologe
Berlin

E-Mail: a.strom@posteo.de

Jenny Kröcher, M.Sc.
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.
Eberswalder Straße 84
15374 Müncheberg

E-Mail: jenny.kroecher@zalf.de

Dr. Stephan Hannappel
Philipp Wolke, M.Sc.
HYDOR Consult GmbH
Am Borsigturm 31
13507 Berlin

E-Mail: hannappel@hydor.de
wolke@hydor.de

Christian Fokuhl
Landkreis Cuxhaven
Einrichtung 06 – GIS-Service
Vincent-Lübeck-Straße 2
27470 Cuxhaven

E-Mail: c.fokuhl@landkreis-cuxhaven.de

