

Klimafolgenmonitoringbericht für Niedersachsen 2023



VORWORT DES MINISTERS

Liebe Leserinnen und Leser,

die Klimakrise ist längst angekommen in Niedersachsen. Der weltweit heißeste Juli aller Zeiten, Hitzewellen, Dürre aber auch regionale Starkregenkatastrophen lassen uns das immer häufiger spüren. Dieser Herausforderung müssen wir uns als Gemeinschaft stellen.

Der erste, nun erschienene Klimafolgenmonitoringbericht für Niedersachsen bietet eine wichtige Grundlage und unterstreicht die Dringlichkeit, die Klimaziele des Pariser Weltklimaabkommens einzuhalten und gravierende Kippunkte zu vermeiden. Der Bericht zeigt die Auswirkungen der Klimakrise anhand von 30 verschiedenen Indikatoren aus den Bereichen Meteorologie, Gesundheit, Wasser und Land. Und er zeigt, welche Region in Niedersachsen wie betroffen ist und mit welchen Auswirkungen sie zu kämpfen hat.



Schon in den letzten Jahren musste sich Niedersachsen intensiv mit den Auswirkungen der Erderhitzung auseinandersetzen. Das Jahr 2018 mit dem historischen Dürresommer und den Ernteaussfällen sowie leerlaufenden Talsperren im Harz oder der Hitzemonat Juli 2019, der dieses Jahr sogar getoppt wurde, sind nur einige Beispiele. Der Bericht für 2023 zeigt: Es ist grundsätzlich deutlich wärmer geworden in Niedersachsen, im Schnitt schon über 1,7 Grad. Damit verbunden sinken die Grundwasserstände und -neubildungsraten – mit negativen Folgen für die öffentliche Trinkwasserversorgung sowie die Land- und Forstwirtschaft. Die Schäden treffen nicht nur unsere Umgebung, sondern können die Bürger:innen Niedersachsens auch gesundheitlich durch Hitze belasten und unsere Touristik und Wirtschaft erheblich schwächen.

Das alles bestätigt: Wir brauchen regional differenzierte Anpassungsstrategien an den schnellen Temperaturanstieg, um die Resilienz unserer Ökosysteme zu stärken und die Bewohner:innen Niedersachsens vor Belastungen und Schäden zu bewahren. Das bedeutet nicht nur höhere Deiche gegen den Meeresspiegelanstieg, sondern auch Veränderungen in den Städten und Gemeinden. Der Klimafolgenmonitoringbericht bietet eine aktuelle Basis, um die Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels fortzuschreiben, die zuletzt im Jahr 2021 veröffentlicht wurde.

Klar ist auch, dass der Bericht kein Anlass ist, die Köpfe hängen zu lassen. Wir werden den Klimaschutz in Niedersachsen weiter stärken und konsequent vorantreiben. Das haben wir zuletzt mit der Nachschärfung des Niedersächsischen Klimagesetzes bewiesen: Wir wollen schon 2040 statt 2045 klimaneutral sein. Und wir fokussieren den Ausbau von Windkraft- und PV-Anlagen und von der grünen Wasserstoff-Infrastruktur neu – kurzum: Wir zünden den Turbo beim Ausbau der klimafreundlichen und erneuerbaren Energien. Klimaschutz ist eine Verantwortung, die wir für jetzige und für kommende Generationen haben. Deshalb müssen wir den negativen Auswirkungen der Klimakrise nicht nur begegnen, sondern sie so gut abmildern wie wir können.

Der vorliegende Bericht wurde koordiniert vom Niedersächsischen Kompetenzzentrum Klimawandel, kurz NIKO. Mein Dank gilt den Mitarbeiterinnen im NIKO und allen weiteren Institutionen, die an dem Bericht beteiligt waren.

Ich hoffe, die Lektüre liefert Ihnen neue Erkenntnisse und neues Wissen – und regt Sie vielleicht zum Nachdenken an, wie wir alle unser Klima noch besser schützen können.

Ihr Christian Meyer

Niedersächsischer Minister für Umwelt, Energie und Klimaschutz

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT DES MINISTERS	1
EINLEITUNG.....	3
DIE FÜNF KLIMAREGIONEN IN NIEDERSACHSEN	7
DAS KLIMA IN NIEDERSACHSEN: METEOROLOGISCHE INDIKATOREN	11
3.1 Jahresmitteltemperatur	15
3.2 Mitteltemperatur der vier Jahreszeiten	17
3.3 Sommertage.....	20
3.4 Hitzetage	22
3.5 Tropennächte.....	24
3.6 Frosttage	26
3.7 Eistage	28
3.8 Jahresniederschlagssumme	31
3.9 Mittlere Niederschlagssummen der vier Jahreszeiten	34
3.10 Starkregentage	37
3.11 Trockenperiode.....	40
3.12 Schneetage.....	42
GESUNDHEIT	45
4.1 EU-Badegewässer (Cyanobakterien, Vibrionen)	48
4.2 Mortalitätssurveillance.....	52
4.3 Inzidenz vektorübertragener Infektionen	53
WASSER	55
5.1 Grundwasserstand.....	59
5.2 Grundwasserneubildung	62

5.3 Hochwassertage	65
5.4 Niedrigwassertage	68
5.5 Mittlere Abflusshöhe.....	71
5.5 Wassertemperaturen in Seen.....	75
5.6 Meeresspiegel	79
5.7 Sturmfluten	81
5.8 Entwicklung des Wattenmeeres.....	83
5.9 Entwässerungsbedarf der Küstenniederungen	85
LAND	87
6.1 Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden	91
6.2 Regenerosivität	94
6.3 Beginn der Apfelblüte	97
6.4 Tage mit Waldbrandgefährdungstufe 4 oder 5.....	100
6.5 Durchfeuchtung der Böden auf Waldflächen	102
ZUSAMMENFASSUNG.....	103
AUSBLICK.....	103
KOMPETENZ IN NIEDERSACHSEN ZU DEN FOLGEN DES KLIMAWANDELS UND KONTAKTMÖGLICHKEITEN	103
QUELLENVERZEICHNIS	103
IMPRESSUM	103

1.

EINLEITUNG





EINLEITUNG

Der *Klimafolgenmonitoringbericht für Niedersachsen 2023* stellt gebündelt das Wissen niedersächsischer Fachbehörden und wissenschaftlicher Einrichtungen zu den beobachteten Auswirkungen des Klimawandels in Niedersachsen dar. Die vorliegende Veröffentlichung zeigt allen Interessierten, dass der Klimawandel in Niedersachsen bereits heute meteorologisch messbar ist und welche Folgen das bereits für verschiedene Handlungsfelder hat. Damit ist diese Veröffentlichung eine wichtige Grundlage, um den Klimawandel in Niedersachsen zu verstehen und klimapolitische Entscheidungen zu treffen.

Wie und auf welche Regionen der Klimawandel in Niedersachsen wirkt, zeigt der Bericht für 30 Indikatoren auf. Diese sind in die Themen Meteorologie, Gesundheit, Wasser und Land gruppiert und werden kurz und übersichtlich dargestellt. Hierbei werden vor allem State-Indikatoren (beschreiben aktuelle Zustände; z. B. Indikator Temperatur) und Impact-Indikatoren (beschreiben hervorgerufene Auswirkungen; z. B. Auswirkungen auf den Meeresspiegel) betrachtet. Diese basieren auf dem DPSIR-Modell, welches ein Modell zur Beschreibung von Umweltbelastungen- und Maßnahmen darstellt (DPSIR ist die Abkürzung für *Driving forces, Pressures, States, Impacts and Responses*). Response-Indikatoren (beschreiben die Reaktionen von Mensch und Natur auf diese Veränderungen) werden in diesem Bericht nicht aufgeführt. In den *Indikatorenkennblättern zum Klimafolgenmonitoringbericht für Niedersachsen 2023* werden die Indikatoren und deren Messung bzw. Berechnung detaillierter dargestellt. Dieser Teil richtet sich in erster Linie an Leser:innen, welche die genaue wissenschaftliche Herleitung und Messung der Indikatoren nachvollziehen möchten.

Die hier aufgeführten Indikatoren stellen eine Auswahl dar, welche sich auf den verfügbaren Daten begründet, die zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieses Berichtes vorlagen. Während die State-Indikatoren bereits einen guten Überblick über die klimatischen Entwicklungen geben, fehlen bei den Impact-Indikatoren, welche die Folgen dieser Entwicklungen unter verschiedenen Gesichtspunkten beschreiben, noch eine Reihe von Handlungsfeldern. So fehlen in diesem Bericht die Handlungsfelder Katastrophenschutz, Fischerei, Biologische Vielfalt, Bauwesen, Energiewirtschaft, Verkehr, Industrie und Gewerbe, Tourismus, Finanzwirtschaft sowie Raumordnung/Regional- und Bauleitplanung, welche allesamt im Kontext der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) betrachtet werden. Daneben fehlen auch in einigen der in diesem Bericht aufgeführten Handlungsfeldern noch weitere Impact-Indikatoren. Beispiele hierfür sind „Belastung mit Ambrosiapollen“ im Cluster Gesundheit, „Hagelschäden in der Landwirtschaft“ oder „Grünlanderhaltung“ oder „Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten“ im Cluster Land. Auch sind in diesem Bericht keine Response-Indikatoren aufgeführt, die beschreiben, in welchem Ausmaß Politik und Gesellschaft in den

jeweiligen Handlungsfeldern auf die dargestellten Veränderungen reagieren. Diese sind jedoch besonders wichtig, um die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen zu unterstützen und zu beurteilen. All dies konnte in diesem Bericht nicht abgehandelt werden, da langjährige Zeitreihendaten fehlten oder die Ressourcen zur Aufbereitung nicht vorhanden waren.

Der Bericht profitiert von der vielfältigen Kompetenz der niedersächsischen Landesbehörden bzw. Institutionen sowie Forschungsprojekten und deren Mitwirken an dem Bericht. Eine Vorstellung aller Beteiligten und deren Kompetenz im Bereich Klimawandel und Klimafolgen findet sich ebenfalls im Bericht.

Des Weiteren ist der Klimafolgenmonitoringbericht eine zentrale Grundlage für die Weiterentwicklung der *Niedersächsischen Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels*, welche alle fünf Jahre fortgeschrieben wird. Zu dieser ist die Landesregierung durch das Niedersächsische Klimagesetz (NKlimaG) verpflichtet. Das Niedersächsische Kompetenzzentrum Klimawandel (NIKO) hat, basierend auf der *Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels* aus dem Jahr 2012, die *Niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels* (2021) erstmals erarbeitet und schreibt diese 2026 fort. Somit ist der *Klimafolgenmonitoringbericht für Niedersachsen 2023* die Basis zur Erarbeitung von Anpassungsstrategien im Land Niedersachsen.

Diese Publikation fasst vielfältiges Wissen im Bereich Klimawandel und Klimafolgen des Landes für die breite Öffentlichkeit zusammen, ergänzt bestehende Publikation und liefert die Grundlage für eine erfolgreiche Klimafolgenanpassung im Land Niedersachsen.

2.

DIE FÜNF
KLIMAREGIONEN IN
NIEDERSACHSEN





DIE FÜNF KLIMAREGIONEN IN NIEDERSACHSEN

Für die Klimawirkungsstudie Niedersachsen wurde Niedersachsen in fünf Regionen unterteilt. Die genaue Abgrenzung beruht zum einen auf den naturräumlichen Einheiten Niedersachsens, zum anderen auf der Unterteilung von Klimastationsregionen des Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG). Durch diese Kombination wurden fünf Regionen herausgearbeitet, die im Hinblick auf die geographischen und klimatischen Gegebenheiten jeweils verhältnismäßig homogene Einheiten bilden. Diese umfassen die Küstenregion, das westliche bzw. östliche Flachland, das Berg- und Hügelland sowie den Harz (Abbildung 1).

Die Region der Küste im Norden umfasst die vorgelagerten Inseln, weite Teile des Watts und der Marschen sowie die nördlichsten Ausläufer der Geest. Die Region des westlichen Flachlandes umfasst weite Teile der Geest, die eine vom Eis (der Eiszeiten) sowie seinen Schmelzwässern geschaffene Altmoränenlandschaft darstellt. Sie erstreckt sich bis zu den Lössböden des Bergvorlandes im Süden und erreicht Höhen bis etwa 70 m ü. NHN (Normalhöhennull; Höhe über dem Meeresspiegel), an einzelnen Erhebungen auch über 100 m ü. NHN. Das östliche Flachland reicht im Norden von der Lüneburger Heide bis an die Lössböden im Süden. Gekennzeichnet ist diese Region durch Äcker, Wälder und die typischen Heideflächen. Besonders sind die zusätzlich durch Plaggenwirtschaft über Jahrhunderte hinweg entstandenen mächtigen Auftragsböden mit erhöhten Gehalten an Humus. Südlich des Mittellandkanals geht die niedersächsische Geest in die Lössböden über. Wegen der hohen Bodenfruchtbarkeit ist diese Bergvorlandzone von der natürlichen Waldvegetation fast völlig befreit und unterliegt einer intensiven ackerbaulichen Nutzung. Die Region des Berg- und Hügellandes im Südosten bzw. Süden bildet die Schwelle zum Mittelgebirge. Es handelt sich um eine kleinräumig gekammerte, waldreiche Landschaft mit häufigen Hanglagen und Höhenstufen bis etwa 500 m ü. NHN. Der Harz hebt sich als höchstes Mittelgebirge Norddeutschlands in klimatischer und geologischer Hinsicht deutlich von den benachbarten Naturräumen ab. Der niedersächsische Teil des Harzes ist durch relativ niedrige Temperaturen, geringe jahreszeitliche Temperaturschwankungen sowie durch hohen Regen und Schneereichtum gekennzeichnet.



Abbildung 1: Klimaregionen in Niedersachsen.

Für diese Veröffentlichung werden einige der Indikatoren sowohl für die gesamte Landesfläche Niedersachsens, als auch für die fünf Klimaregionen getrennt dargestellt. Dadurch wird die naturräumliche Vielfalt Niedersachsens berücksichtigt und regional stärker differenzierte Informationen bereitgestellt.

3.

DAS KLIMA IN
NIEDERSACHSEN:
METEOROLOGISCHE
INDIKATOREN





INDIKATOREN IN DER ÜBERSICHT



Cluster Temperatur

Jahresmitteltemperatur

Mittlere Temperaturen der vier Jahreszeiten

Sommertage

Hitzetage

Tropennächte

Frosttage

Eistage



Cluster Niederschlag

Jahresniederschlagssumme

Mittlere Niederschlagssummen der vier Jahreszeiten

Trockenperioden

Schneetage



TEMPERATUR





3.1 Jahresmitteltemperatur

Die Änderung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre hat zur Folge, dass sich der Strahlungshaushalt auf der Erde ändert. Als Folge ändert sich die Temperatur. Sie dient daher als wichtige Größe zur Beschreibung der menschengemachten Klimaveränderung.

Tabelle 1: Die 10 Jahre mit der höchsten Jahresmitteltemperatur (1881 bis 2021). Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

Jahr	Temperatur
2020	10,9 °C
2014	10,8 °C
2018	10,7 °C
2019	10,7 °C
2007	10,4 °C
2000	10,3 °C
1999	10,2 °C
1990	10,1 °C
2006	10,1 °C
2015	10,1 °C

Im Folgenden wird die mittlere Lufttemperatur in 2 m Höhe (Aufenthaltsort des Menschen) betrachtet. In dicht bebauten innerstädtischen Gebieten sind in der Regel höhere Temperaturen anzutreffen als im Umland (Zhou et al. 2013).

Das wärmste Jahr für Niedersachsen ist bisher das Jahr 2020 mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,9 °C. Insgesamt sind in Niedersachsen acht der zehn wärmsten Jahre seit 1881 im 21. Jahrhundert aufgetreten (Tabelle 1). Die letzte Dekade (2011-2020) war zugleich die wärmste seit Beginn der Aufzeichnungen. Diese Häufung von

Rekordjahren seit Mitte der 80er Jahre ist nur durch die menschengemachte Klimaveränderung erklärbar, Zufälle oder natürliche Ursachen sind dafür nicht verantwortlich (DKK et al. 2022).

- Die Jahresmitteltemperatur ist in den letzten Jahrzehnten gestiegen. In allen Regionen Niedersachsens stieg sie um mind. 1°C.
- Vor allem seit Mitte der 80er Jahre ist ein deutlicher Anstieg erkennbar.

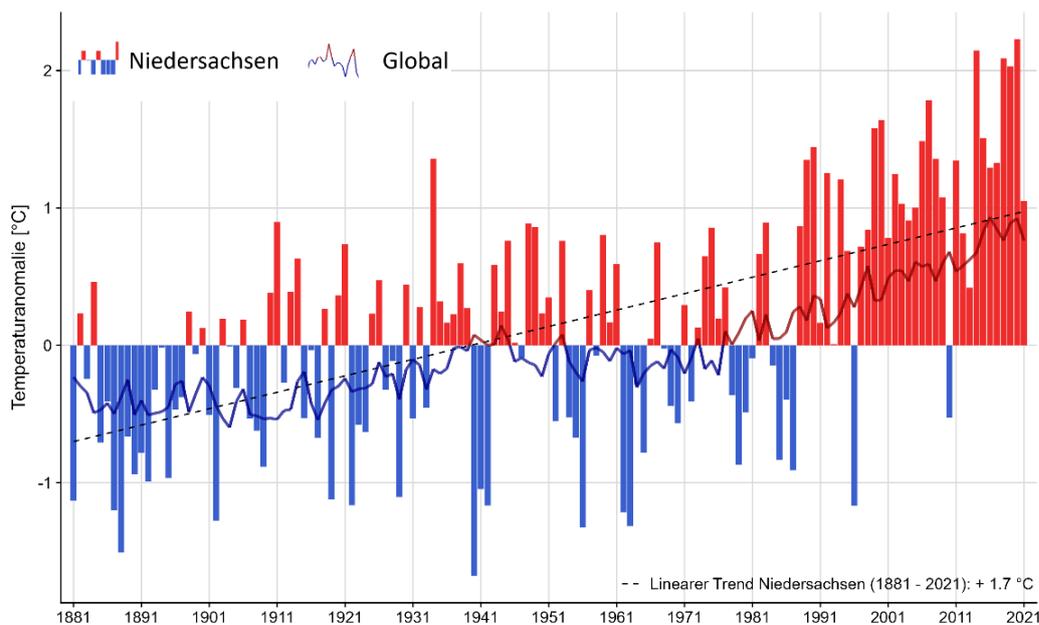


Abbildung 2: Temperaturanomalie der Einzeljahre in Niedersachsen (Balken) und global (Linie) bezogen auf den Zeitraum 1961-1990. Rote Balken und Linien kennzeichnen, dass das Jahr wärmer war als im Mittel 1961-1990, blaue Balken und Linien, dass es kälter war. Die gestrichelte Linie stellt den linearen Trend für Niedersachsen dar (DWD Climate Data Center, Met Office Hadley Centre).

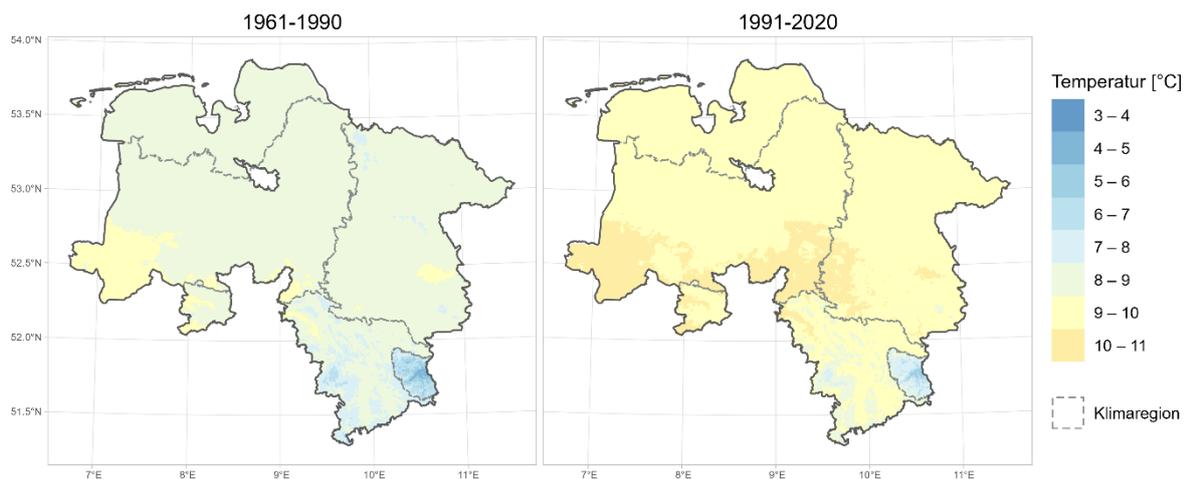


Abbildung 3: Jahresmitteltemperatur 1961-1990 (links) und 1991-2020 (rechts) für Niedersachsen mit Angabe der Klimaregionen (grau gestrichelt). Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

Des Weiteren steigt die Erwärmung in Niedersachsen deutlich stärker an als im globalen Mittel. Hier ist ein Trend (1881-2021) von $+1,2\text{ °C}$ zu verzeichnen, während der Trend für Niedersachsen eine Zunahme von $+1,7\text{ °C}$ aufzeigt (Abbildung 2). Die Jahresmitteltemperatur 1961-1990 lag im Mittel für Niedersachsen noch bei $8,6\text{ °C}$, im Zeitraum 1991-2020 bereits bei $9,7\text{ °C}$ (Tabelle 2). Dieser Temperaturanstieg hat sich nicht gleichmäßig vollzogen, sondern es gab auch immer mal wieder kältere Jahre (Abbildung 2). Grund sind Schwankungen im Klimasystem (eine sich ändernde Witterung von Jahr zu Jahr).

Regional sind aufgrund der Orographie Niedersachsens deutliche Unterschiede erkennbar (Abbildung 3). Im Süden liegen lokal aufgrund der Höhenzüge im Berg- und Hügelland und im Harz niedrigere Temperaturen vor. So betrug im Harz im Zeitraum 1961-1990 die Jahresmitteltemperatur etwa $6,4\text{ °C}$, während sie im Flachland und an der Küste zwischen $8,6\text{ °C}$ bis $8,8\text{ °C}$ lag. Die Zunahme der Jahresmitteltemperatur von 1961-1990 zu 1991-2020 ist in allen Regionen Niedersachsens festzustellen (Tabelle 2) und liegt bei etwa ein Grad Celsius.

Tabelle 2: Jahresmitteltemperatur 1961-1990 und deren Veränderung zu 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 für Niedersachsen und die Klimaregionen Niedersachsens. Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Küste	$8,7\text{ °C}$	$+0,3\text{ °C}$	$+0,7\text{ °C}$	$+1,1\text{ °C}$
Östl. Flachland	$8,6\text{ °C}$	$+0,4\text{ °C}$	$+0,7\text{ °C}$	$+1,1\text{ °C}$
Westl. Flachland	$8,8\text{ °C}$	$+0,4\text{ °C}$	$+0,7\text{ °C}$	$+1,1\text{ °C}$
Berg- und Hügelland	$8,4\text{ °C}$	$+0,3\text{ °C}$	$+0,6\text{ °C}$	$+1,0\text{ °C}$
Harz	$6,4\text{ °C}$	$+0,3\text{ °C}$	$+0,6\text{ °C}$	$+1,1\text{ °C}$
Niedersachsen	$8,6\text{ °C}$	$+0,4\text{ °C}$	$+0,7\text{ °C}$	$+1,1\text{ °C}$



3.2 Mitteltemperatur der vier Jahreszeiten

Als Folge der Änderung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre durch den Menschen ändert sich nicht nur die mittlere Jahrestemperatur, sondern auch die Temperatur der einzelnen Monate und entsprechend die der Jahreszeiten. In Niedersachsen sind die Jahreszeiten durch bekannte Phänomene in der Natur wie Schnee oder Blattverfärbung gekennzeichnet. Diese Vorgänge werden vor allem durch die Temperatur beeinflusst.

Im Folgenden werden die mittlere Lufttemperatur in 2 m Höhe (Aufenthaltsort des Menschen) und die meteorologischen Jahreszeiten betrachtet. In dicht bebauten innerstädtischen Gebieten sind in der Regel höhere Temperaturen anzutreffen als im Umland. Im Sommer können die Temperaturunterschiede zwischen Innenstadt und Umland (in Abhängigkeit von Ort und Bevölkerungszahl) bis zu 6 °C betragen (Zhou et al. 2013).

Der „Rekordsommer“ 2003 hatte ganz Europa fest im Griff und ist auch in Niedersachsen der wärmste gemessene Sommer seit Beginn der Wetteraufzeichnungen gewesen (Tabelle 3). Der DWD meldete hierzu, dass in Deutschland teilweise Verhältnisse wie am südlichen Mittelmeer herrschten (DWD 2022f). Niemals wurde bisher in Niedersachsen eine höhere mittlere Sommertemperatur (+3,0 °C über dem Mittel 1961-1990) gemessen. Auswirkungen waren u. a. eine erhöhte Sterblichkeit sowie bei der gleichzeitig herrschenden Trockenheit erhebliche Schäden an Pflanzen und Ernteeinbußen (DWD 2004). Der Winter 2007 war der wärmste in Niedersachsen seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Das Mittel 1961-1990 wurde 2007 um 4,2 °C übertroffen. Anhaltende Südwest- und Westwetterlagen verhinderten, dass kalte Luftmassen nach Mitteleuropa strömen konnten (DWD 2022g). Auffällig ist, dass auch hier die wärmsten Sommer und Winter vor allem im 21. Jahrhundert auftreten. So liegen fünf der zehn wärmsten Sommer und sechs der zehn wärmsten Winter im 21. Jahrhundert.

- Die mittleren Temperaturen der Jahreszeiten sind in den letzten Jahrzehnten in allen Regionen angestiegen.
- Die geringste Änderung ist im Herbst zu verzeichnen.
- Der wärmste Sommer war 2003 und der wärmste Winter 2007.

Tabelle 3: Die 10 Jahre mit den höchsten mittleren Sommer- und Wintertemperaturen (1881 bis 2022). Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

Jahr	Temperatur Sommer	Jahr	Temperatur Winter
2003	19,2 °C	2007	5,4 °C
2018	19,1 °C	2020	5,3 °C
2019	19,0 °C	1990	4,8 °C
2022	18,7 °C	1975	4,7 °C
1992	18,4 °C	2016	4,4 °C
1947	18,3 °C	2022	4,4 °C
2006	18,3 °C	1989	4,3 °C
1983	18,1 °C	2014	4,3 °C
1994	18,1 °C	1998	4,2 °C
1997	18,1 °C	2008	4,2 °C

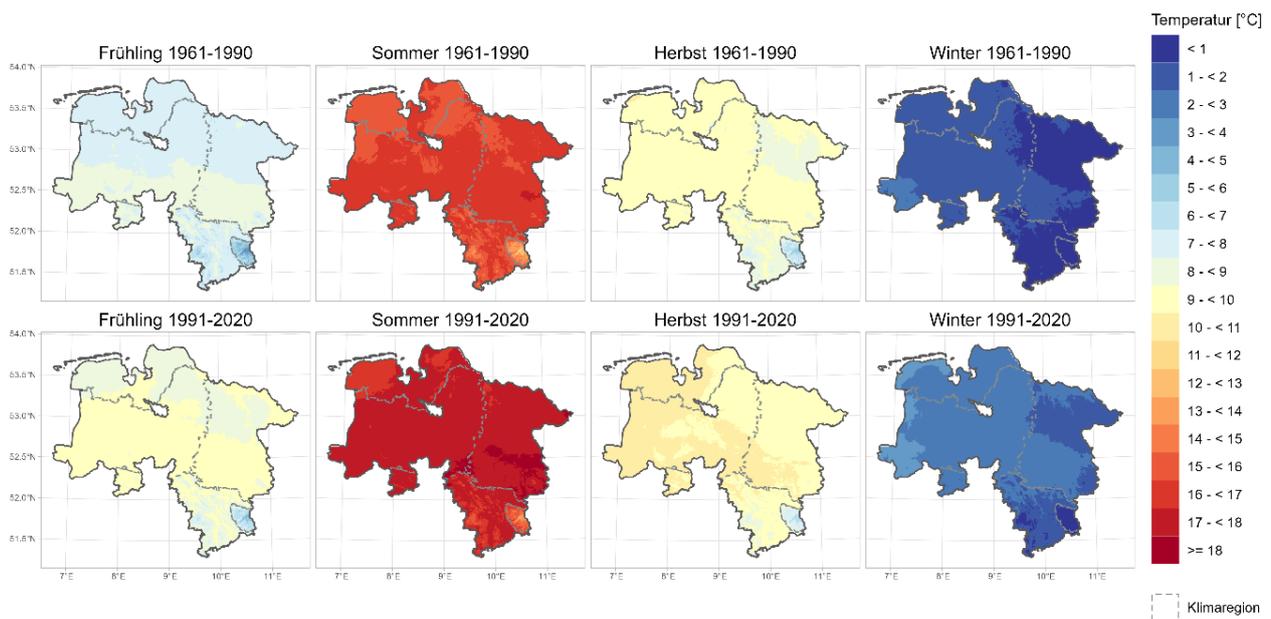


Abbildung 4: Mittlere Temperaturen für die verschiedenen Jahreszeiten 1961-1990 (oben) und 1991-2020 (unten) für Niedersachsen mit Angabe der Klimaregionen (grau gestrichelt). Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

Für Niedersachsen zeigt sich ein deutlicher Anstieg der mittleren Temperatur für alle Jahreszeiten (Abbildung 4), wobei sich regional aufgrund der Orographie Niedersachsens deutliche Unterschiede erkennen machen. Die Veränderung von 1991-2020 zu 1961-1990 ist in den verschiedenen Jahreszeiten mit $+1,2\text{ °C}$ ähnlich ausgeprägt, mit Ausnahme des Herbstes, hier fällt sie mit $+0,6\text{ °C}$ geringer aus (Tabelle 4). Im Süden liegen lokal aufgrund der Höhenzüge im Berg- und Hügelland und im Harz in allen Jahreszeiten niedrigere Temperaturen vor. So betrug im Harz im Zeitraum 1961-1990 die mittlere Wintertemperatur etwa $-1,2\text{ °C}$, während sie im westlichen Flachland und an der Küste bei $+1,5\text{ °C}$ lag. Im Harz hat die mittlere Temperatur im Winter so weit zugenommen, dass sie im Zeitraum 1991-2020 nur noch knapp unter dem Gefrierpunkt liegt. Bei einer so geringen Durchschnittstemperatur ist dieser Anstieg besonders bedeutend. Dies ist vor allem unter dem Gesichtspunkt des Wintertourismus hervorzuheben. In allen Jahreszeiten und Regionen steigt die Temperatur ähnlich dem Niedersachsenmittel und auch hier sind die geringsten Änderungen jeweils im Herbst festzustellen.

Tabelle 4: Mittlere Temperaturen für die verschiedenen Jahreszeiten 1961-1990 und die Veränderung der saisonalen Temperatur 1991-2020 zu 1961-1990 für Niedersachsen und die Klimaregionen Niedersachsens. Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

	Änderung zu 1961-1990							
	1961-1990				1991-2020			
	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Küste	7,6 °C	15,9 °C	9,6 °C	1,5 °C	+1,3 °C	+1,2 °C	+0,7 °C	+1,3 °C
Östl. Flachland	8,0 °C	16,5 °C	9,2 °C	0,9 °C	+1,2 °C	+1,2 °C	+0,6 °C	+1,2 °C
Westl. Flachland	8,5 °C	16,3 °C	9,5 °C	1,5 °C	+1,4 °C	+1,2 °C	+0,6 °C	+1,2 °C
Berg- und Hügelland	7,7 °C	16,0 °C	9,0 °C	0,7 °C	+1,2 °C	+1,2 °C	+0,5 °C	+1,1 °C
Harz	5,5 °C	14,1 °C	7,1 °C	-1,2 °C	+1,3 °C	+1,3 °C	+0,6 °C	+1,1 °C
Niedersachsen	7,9 °C	16,2 °C	9,3 °C	1,2 °C	+1,2 °C	+1,2 °C	+0,6 °C	+1,2 °C



3.3 Sommertage

Im Sommer bewegen sich viele Menschen gerne im Freiraum, um das warme Wetter und die Sonnenstrahlen zu genießen. Während in der Vergangenheit Viele im Sommer Richtung Süden in den Badeurlaub fahren, bleiben viele Familien heute in der nahen Umgebung oder reisen an die Nord- und/oder Ostsee. Das wird zunehmend attraktiver, da es bei uns immer wärmer wird. Die Auswertungen von langjährigen Mitteln ermöglichen einen Blick auf die bisher eingetretenen Veränderungen. Gleichzeitig bedeuten wärmere Temperaturen eine höhere Verdunstung der Vegetation, daher zehren warme Sommer verstärkt an den natürlichen Wasserreserven.

Die Anzahl an Sommertagen ergänzen die Aussagen zur Güte eines Sommers, welche hauptsächlich durch die Hitzetage bestimmt wird. Wird an einem Tag eine Höchsttemperatur von mindestens 25 °C gemessen, wird dieser als Sommertag bezeichnet (DWD 2022d).

Die höchste Anzahl an Sommertagen seit 1951 wurde bisher im Jahr 2018 erreicht. Hier gab es im Mittel für Niedersachsen knapp 71 Sommertage aufgrund einer stabilen Hochdruckwetterlage über Nordeuropa (s. auch Indikator Hitzetage). Jahre mit einer geringen Anzahl an Sommertagen liegen zumeist vor den 90er Jahren. Seitdem ist ein deutlicher Anstieg erkennbar (Abbildung 5). Im Trend zeigt sich im Zeitraum 1951-2021 ein Anstieg von etwa 20 Sommertagen.

- Die Anzahl der Sommertage hat im Niedersachsenmittel um die Hälfte zugenommen.
- Im Harz sind im Verhältnis die deutlichsten Veränderungen festzustellen. Hier nahmen die Sommertage um mehr als zwei Drittel zu.

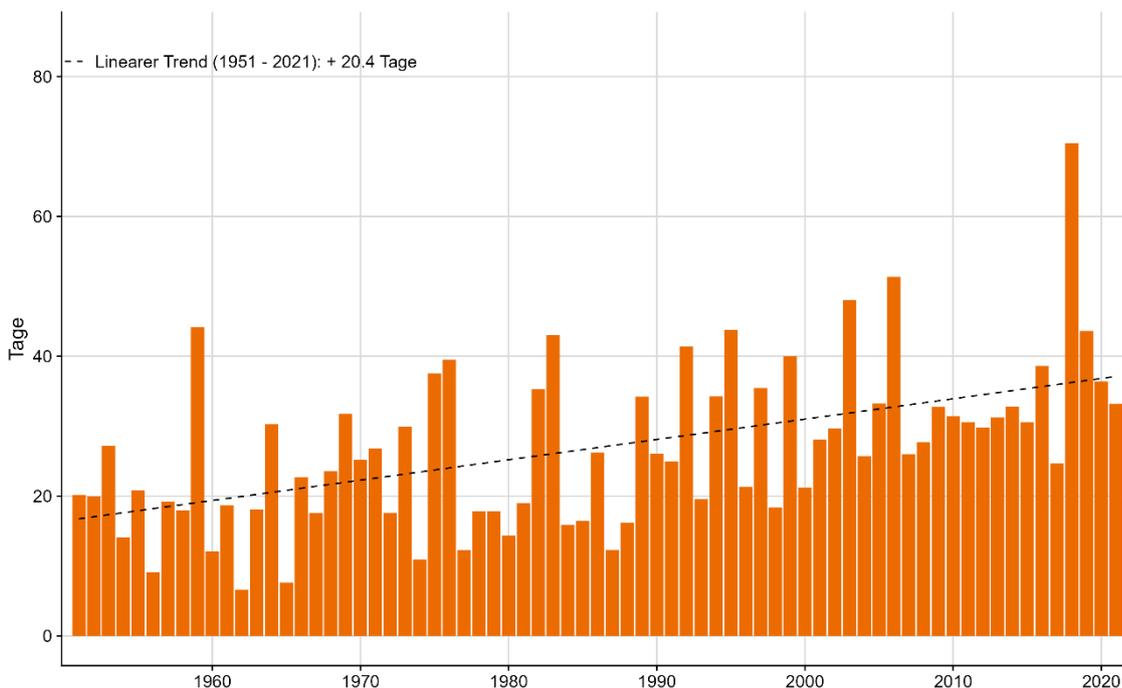


Abbildung 5: Mittlere jährliche Anzahl von Sommertagen ab 1951 bis 2021 für Niedersachsen. Die lineare Trendlinie (schwarz gestrichelt) zeigt eine deutliche Zunahme der Anzahl von Sommertagen. Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

Für das gesamte Bundesland zeigt sich eine deutliche Zunahme der Anzahl von Sommertagen. So lag die Anzahl der Sommertage 1961-1990 im Mittel für Niedersachsen noch bei 22 Tagen, im Zeitraum 1991-2020 bereits bei 33 Tagen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Mittlere Anzahl von Sommertagen 1961-1990 und deren Veränderung zu 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 für Niedersachsen und die Klimaregionen Niedersachsens. Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Küste	16 Tage	+2 Tage	+5 Tage	+8 Tage
Östl. Flachland	26 Tage	+3 Tage	+7 Tage	+12 Tage
Westl. Flachland	22 Tage	+4 Tage	+8 Tage	+12 Tage
Berg- und Hügelland	24 Tage	+3 Tage	+7 Tage	+11 Tage
Harz	13 Tage	+2 Tage	+5 Tage	+9 Tage
Niedersachsen	22 Tage	+4 Tage	+7 Tage	+11 Tage

Regional sind aufgrund der Orographie Niedersachsens und der Nähe zum Meer deutliche Unterschiede erkennbar (Abbildung 6). An der Küste mit 16 und im Harz mit 13 Sommertagen lagen im Zeitraum 1961-1990 deutlich weniger Sommertage vor als im Östlichen Flachland mit 26 Sommertagen. Deutliche Anstiege sind in allen Regionen feststellbar. Im Vergleich zu 1961-1990 liegen die Sommertage im Östlichen Flachland 12 Tage höher. Das entspricht einen Anstieg um etwa die Hälfte. Im Harz ist ein Anstieg um mehr als zwei Drittel (+9 Sommertage) festzustellen. Hier werden nun Werte erreicht, die 1961-1990 bisher nur im Westlichen Flachland auftraten.

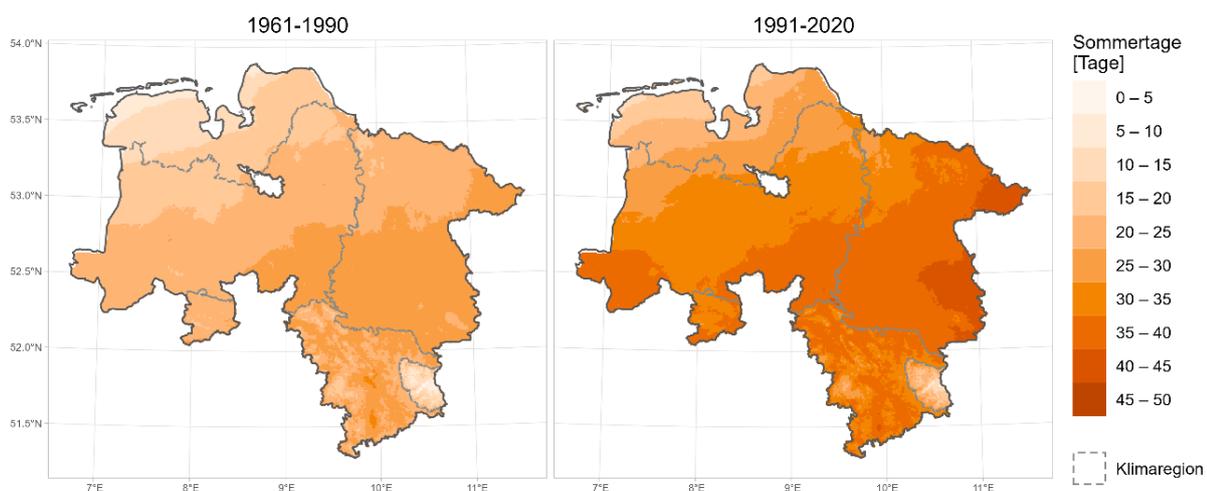


Abbildung 6: Mittlere Anzahl von Sommertage 1961-1990 (links) und 1991-2020 (rechts) für Niedersachsen mit Angabe der Klimaregionen (grau gestrichelt). Datengrundlage: DWD Climate Data Center.



3.4 Hitzetage

Bei hoher Wärmebelastung können die Sommermonate zu einer wahren Belastungsprobe für Mensch und Natur werden. Tritt bei Hitze auch noch Trockenheit auf, verschärft sich die Situation. Vor allem in den Jahren 2018, 2019 und 2020 war dies in Niedersachsen besonders spür- und sichtbar.

Tabelle 6: Die 10 Jahre mit der höchsten Anzahl an Hitzetagen (1951 bis 2021). Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

Jahr	Hitzetage
2018	19 Tage
1994	16 Tage
2019	15 Tage
2003	14 Tage
2006	13 Tage
1995	12 Tage
2010	10 Tage
2020	10 Tage
2015	9 Tage
1975	9 Tage

Temperaturkenntage, wie die Hitzetage (auch ‚Heiße Tage‘ genannt), können herangezogen werden, um eine mögliche Veränderung der Wärmebelastung durch Klimaveränderungen darzustellen. Wird an einem Tag eine Höchsttemperatur von mindestens 30 °C gemessen, wird dieser als Hitzetag bezeichnet (DWD 2018a). Mit der Anzahl der Hitzetage können Aussagen zur Güte eines Sommers getroffen werden (DWD 2022b).

Die höchste Anzahl an Hitzetagen seit 1951 wurde bisher im Jahr 2018 erreicht (Tabelle 6). Hier gab es im Mittel für Niedersachsen knapp 19 Hitzetage. Aufgrund einer stabilen Wetterlage über Nordeuropa erlebte Deutschland bis Ende Juli 2018 eine außergewöhnlich lange Phase mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen, die in eine extreme Hitzeperiode überging und mit einer ausgeprägten Trockenheit verbunden war (DWD 2018b). Vor allem in Städten wurden höhere Werte erreicht. So konnten am Institut für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover 2018 sogar 32 Hitzetage festgestellt werden. Hervorzuheben ist, dass die Anzahl von Hitzetagen aufgrund von z. B. Bebauung sehr stark räumlich variieren kann. Dies zeigen auch die Ergebnisse für verschiedene Stationen in und um Hannover (Abbildung 7). Hier wurden 2018 an anderen Orten in Hannover im Vergleich zu Herrenhausen weniger Hitzetage erreicht. So gab es in Langenhagen, welches im Umland von Hannover liegt, 22 Hitzetage. Die anderen, städtisch geprägten Orte erreichten eine höhere Anzahl. So gab es am Weidendamm 27 Hitzetage.

- Die Anzahl der Hitzetage hat sich erhöht. Im Niedersachsensmittel hat sich die Anzahl an Hitzetagen mehr als verdoppelt.
- Im Harz nahmen die Hitzetage um 3 Tage und im Östlichen Flachland um 5 Tage zu.

Aufgrund einer stabilen Wetterlage über Nordeuropa erlebte Deutschland bis Ende Juli 2018 eine außergewöhnlich lange Phase mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen, die in eine extreme Hitzeperiode überging und mit einer ausgeprägten Trockenheit verbunden war (DWD 2018b). Vor allem in Städten wurden höhere Werte erreicht. So konnten am Institut für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover 2018 sogar 32 Hitzetage festgestellt werden. Hervorzuheben ist, dass die Anzahl von Hitzetagen aufgrund von z. B. Bebauung sehr stark räumlich variieren kann. Dies zeigen auch die Ergebnisse für verschiedene Stationen in und um Hannover (Abbildung 7). Hier wurden 2018 an anderen Orten in Hannover im Vergleich zu Herrenhausen weniger Hitzetage erreicht. So gab es in Langenhagen, welches im Umland von Hannover liegt, 22 Hitzetage. Die anderen, städtisch geprägten Orte erreichten eine höhere Anzahl. So gab es am Weidendamm 27 Hitzetage.

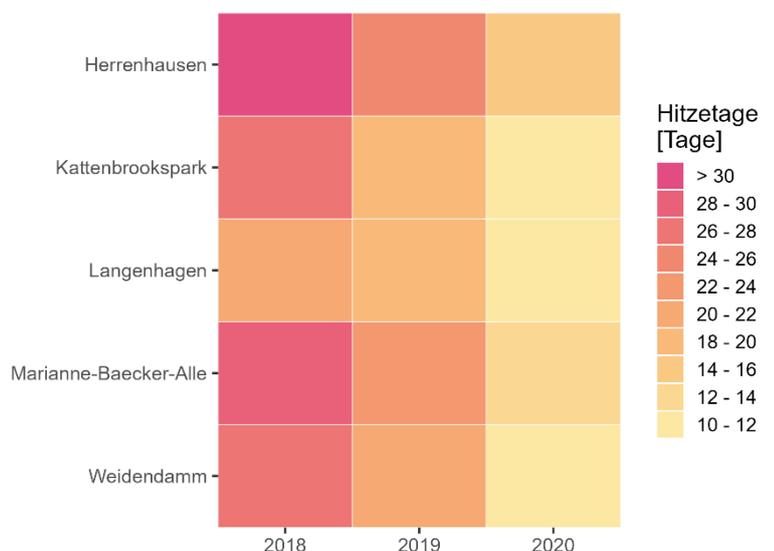


Abbildung 7: Anzahl Hitzetage für verschiedene Orte in und um Hannover für die Jahre 2018, 2019 und 2020. Datengrundlage: IMUK Stationsdaten und DWD.

Diese Unterschiede zeigen sich, weniger deutlich, auch in den Jahren 2019 und 2020 (DWD 2022h).

Für das gesamte Bundesland zeigt sich eine deutliche Zunahme der Anzahl an Hitzetagen. So lag die jährliche Anzahl der Hitzetage 1961-1990 im Mittel für Niedersachsen noch bei drei Tagen, im Zeitraum 1991-2020 bereits bei sieben Tagen (Tabelle 7).

Tabelle 7: Mittlere Anzahl von Hitzetagen 1961-1990 und deren Veränderung zu 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 für Niedersachsen und die Klimaregionen Niedersachsens. Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Küste	2 Tage	+1 Tag	+2 Tage	+2 Tage
Östl. Flachland	4 Tage	+1 Tag	+3 Tage	+5 Tage
Westl. Flachland	3 Tage	+2 Tage	+3 Tage	+4 Tage
Berg- und Hügelland	4 Tage	+1 Tag	+2 Tage	+4 Tage
Harz	1 Tag	+1 Tag	+2 Tage	+3 Tage
Niedersachsen	3 Tage	+2 Tage	+3 Tage	+4 Tage

Regional sind aufgrund der Orographie Niedersachsens und der Nähe zum Meer deutliche Unterschiede erkennbar. So lag im Harz im Zeitraum 1961-1990 im Mittel ein Hitzetag vor, während im Flachland drei bis vier Hitzetage auftraten. Die Zunahme der Hitzetage von 1961-1990 zu 1991-2020 ist in allen Regionen Niedersachsens deutlich erkennbar (Abbildung 8). So stieg die Anzahl der Hitzetage 1991-2020 im östlichen Flachland um etwa fünf Tage an. Im Harz ist ein Anstieg um das Dreifache festzustellen. Hier werden nun Werte erreicht, die 1961-1990 bisher nur im Östlichen Flachland oder im Berg- und Hügelland auftraten.

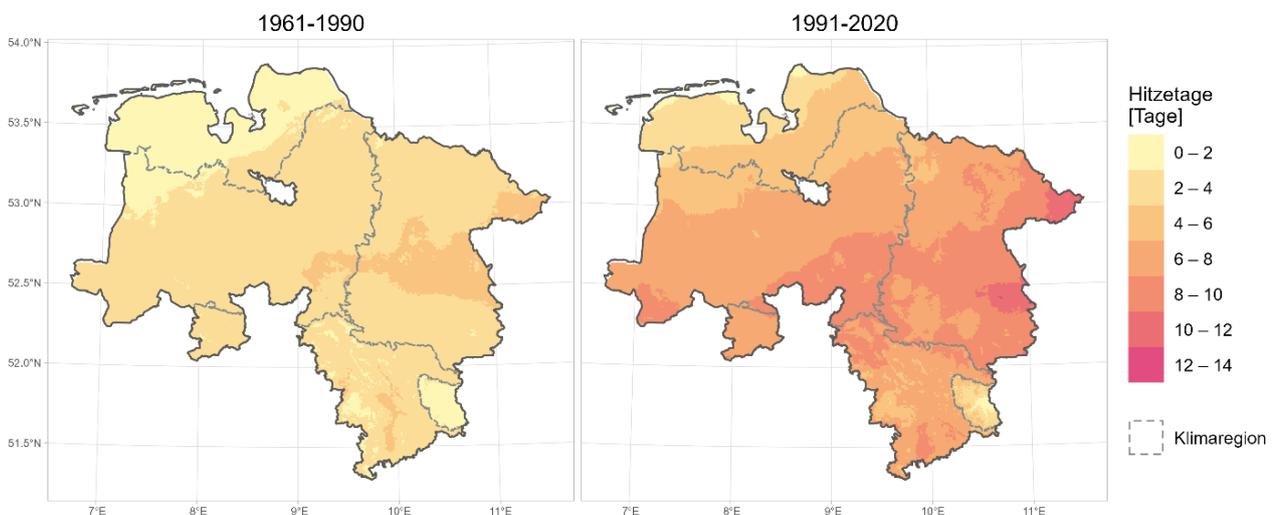


Abbildung 8: Mittlere Anzahl von Hitzetagen 1961-1990 (links) und 1991-2020 (rechts) für Niedersachsen mit Angabe der Klimaregionen (grau gestrichelt). Datengrundlage: DWD Climate Data Center.



3.5 Tropennächte

Tropennächte können uns den Schlaf rauben oder unsere Schlafqualität verringern. Damit fehlt die nächtliche Erholung. Insbesondere in Kombination mit Hitzetagen stellen sie daher eine große Belastung und Gefahr für die menschliche Gesundheit dar. Als Folge steigt das Risiko für gesundheitliche Effekte am nachfolgenden Tag (Krug & Mücke 2018).

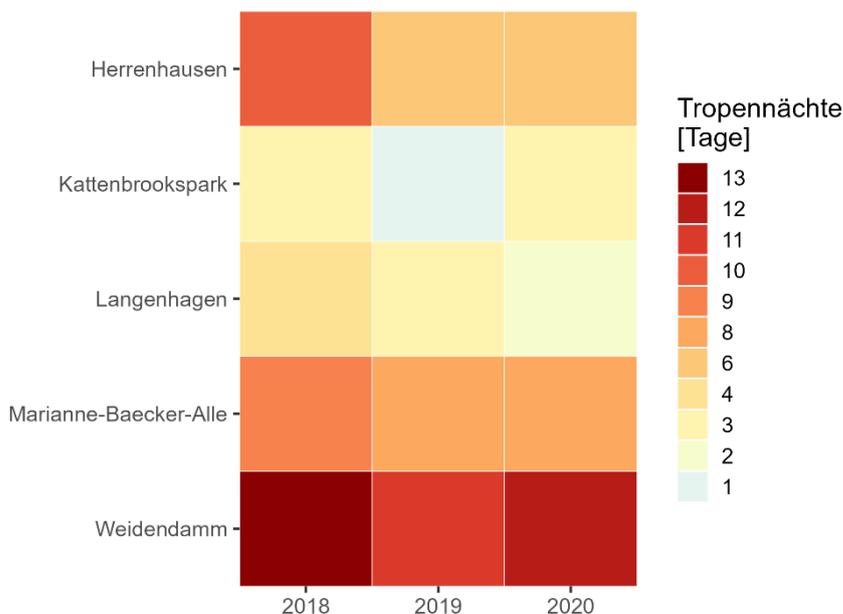
Tabelle 8: Die 3 Jahre mit der höchsten Anzahl an Tropennächten in Niedersachsen (1951 bis 2021). Datengrundlage: DWD.

Jahr	Tropennächte
1994	1,9 Nächte
2018	1,2 Nächte
2010	1,1 Nächte

Temperaturkentage, wie die Tropennächte, können herangezogen werden, um eine mögliche Veränderung der Wärmebelastung durch Klimaveränderungen darzustellen. Eine Tropennacht wird dadurch definiert, dass die Lufttemperatur in der Nacht (von 18 bis 6 Uhr UTC (Mitteleuropäische Zeit)) oder die Tagesminimumtemperatur

20 °C nicht unterschreitet. Tropennächte treten in Norddeutschland nur äußerst selten auf und werden vor allem in Städten beobachtet (DWD 2022e).

Die höchste Anzahl an Tropennächten seit 1951 wurde bisher im Jahr 1994, gefolgt von 2018, erreicht. Hier gab es im Mittel für ganz Niedersachsen knapp zwei Tropennächte (Tabelle 8). Im Jahr 2018 wurden durch die stabile Wetterlage über Nordeuropa überdurchschnittlich hohe Temperaturen sowohl am Tag als auch in der Nacht erreicht. Nach Schätzungen führte diese Hitzeperiode zu fast 9 000 hitzebedingten Sterbefällen in Deutschland. Das Hitzejahr 1994 hatte 10 000 Fälle zur Folge (Winklmayr et al. 2022).



Deutlich höher liegen die nächtlichen Temperaturen in den Städten. In Hannover gab es im Jahr 2018, je nach lokalen Gegebenheiten, deutlich mehr Tropennächte (Abbildung 9). Je nach Bebauung kann dies sehr stark räumlich variieren. Im Umland von Hannover, an der Station Langenhagen, gab es 2018 vier Tropennächte. Die anderen, städtisch geprägten Orte, erreichten eine höhere Anzahl. So gab es am Weidendamm 13 und in Herrenhausen zehn Tro-

Abbildung 9: Anzahl Tropennächte für verschiedene Orte in und um Hannover für die Jahre 2018, 2019 und 2020. Datengrundlage: IMUK Stationsdaten und DWD.

- Die Anzahl der Tropennächte hat in Niedersachsen zugenommen.
- Tropennächte spielen vor allem in Städten eine Rolle und können hier räumlich deutlich variieren.

pennächte. Diese Unterschiede zeigen sich auch in den Folgejahren 2019 und 2020.

In Niedersachsen sind Tropennächte ein relativ seltenes Ereignis (ausgenommen in Städten). Im 30-jährigen Zeitraum 1961-1990 gab es im Mittel für Niedersachsen insgesamt etwa drei Tropennächte. Im Zeitraum 1991-2020 traten hingegen bereits neun Tropennächte auf. Der räumliche Vergleich zeigt, dass in einigen Bereichen Niedersachsens die Tropennächte besonders stark zugenommen haben (Abbildung 10). Erkennbar ist dies vor allem im Bereich der Küste. Die Nähe zum Wasser, das als Wärmespeicher agiert, spielt eine Rolle. So wurden in den Jahren 1994, 1997, 2018 und 2020 an der Station Cuxhaven besonders viele Tropennächte beobachtet, was vermutlich mit hohen Temperaturen der Nordsee zusammenhängt (Friedrich 2022). Auch im Trend des Zeitraums 1951-2021 werden die höchsten Zunahmen an der Küste erreicht (+0,7 Tropennächte). Im Harz und im Berg- und Hügelland werden die geringsten Zunahmen erreicht (+0,2 bis + 0,3 Tropennächte).

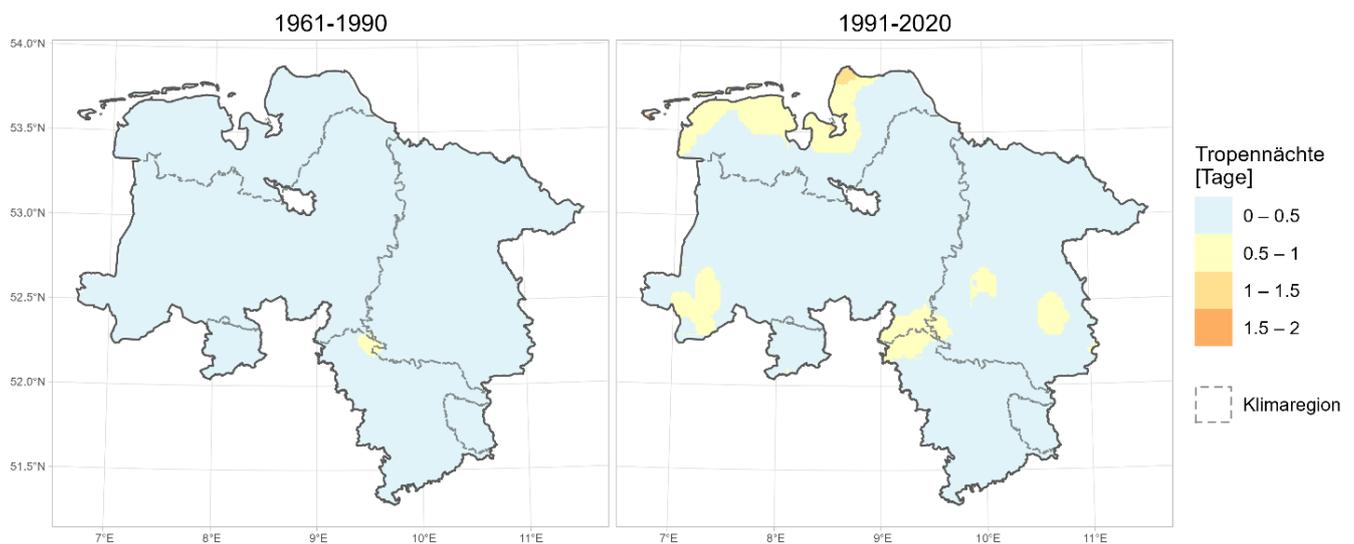


Abbildung 10: Mittlere Anzahl von Tropennächten 1961-1990 (links) und 1991-2020 (rechts) für Niedersachsen mit Angabe der Klimaregionen (grau gestrichelt). Datengrundlage: DWD.



3.6 Frosttage

„Wann wird’s mal wieder richtig Sommer – ein Sommer wie er früher einmal war?“. Diese Liedzeile stammt aus einem Lied von Rudi Carell aus den 70er Jahren. Inzwischen könnte auch der „Sommer“ durch „Winter“ ersetzt werden. Viele Menschen können bereits in ihrer eigenen Lebenszeit feststellen, dass sich die Winter verändern. Die Auswertungen von langjährigen Mitteln ermöglichen einen Blick auf die bisher eingetretenen Auswirkungen des Klimawandels.

Temperaturkentage, wie die Anzahl an Frosttagen, dienen als Leitgröße zur Beschreibung des Klimawandels. Die Anzahl der Frosttage ergänzt die Aussagen zur Strenge eines Winters, welche hauptsächlich durch die Anzahl der Eistage bestimmt wird. Dabei stellt ein Frosttag einen Tag dar, an dem das Minimum der Lufttemperatur unterhalb des Gefrierpunktes (unter 0 °C) liegt (DWD 2022i). Frosttage treten nicht nur im Winter auf, sondern auch im Frühling und Herbst.

Der Winter 1963 war bisher mit Abstand der kälteste Winter des 20. und 21. Jahrhunderts, sowohl für Niedersachsen als auch für die gesamte Bundesrepublik (DWD 2007). Hier lag die Anzahl der Frosttage bei etwa 103 Tagen. Damit landet dieser Winter aber nur auf Platz fünf der Jahre mit der höchsten Anzahl an Frosttagen. Die meisten Tage lagen 1996 mit 109 Tagen vor. Der Winter 1996 war gekennzeichnet durch eine besonders lange Frostperiode, die aber kaum neue Extreme aufwies. Verantwortlich hierfür war ein relativ stabiles Hochdruckgebiet über Nord- und Osteuropa, das Kaltluft herantransportierte (DWD 2007). Der fehlende Schnee führte zu einem tiefen Eindringen des Frostes in den Erdboden (DWD 1996). Unter den zehn Jahren mit der höchsten Anzahl Frosttage liegt bisher lediglich ein Jahr aus dem 21. Jahrhundert (2010). Das Jahr mit der geringsten Anzahl Frosttagen war das Jahr 2020 mit 34 Frosttagen.

- Die Anzahl der Frosttage hat sich verringert. Im Niedersachsenmittel ist die Anzahl an Frosttagen um etwa 15% zurückgegangen.
- Im Harz nahmen die Frosttage um 10 Tage ab. Die deutlichste Abnahme ist an der Küste festzustellen.

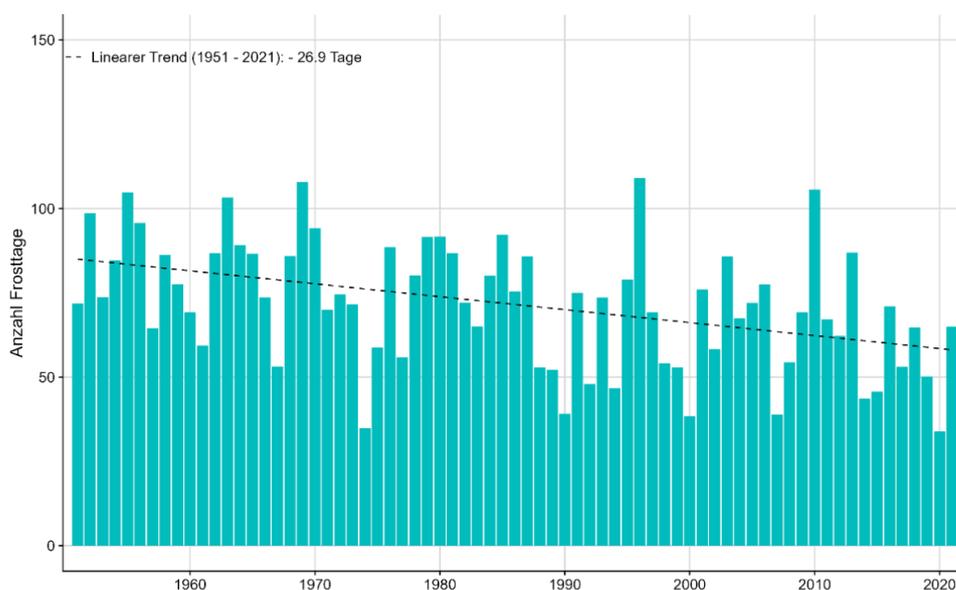


Abbildung 11: Mittlere jährliche Anzahl von Frosttagen ab 1951 bis 2021 für Niedersachsen. Die lineare Trendlinie (schwarz gestrichelt) zeigt eine deutliche Abnahme der Anzahl von Frosttagen. Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

Für das gesamte Bundesland zeigt sich eine deutliche Abnahme der Anzahl an Frosttagen (Abbildung 11). So lag die Anzahl der Eistage 1961-1990 im Mittel für Niedersachsen noch bei 75 Tagen, im Zeitraum 1991-2020 nur bei 64 Tagen (Tabelle 9). Die meisten Frosttage sind erwartungsgemäß im Harz sowie auch auf den Höhen des Berg- und Hügellandes anzutreffen (Abbildung 12). Aufgrund des Einflusses der Küste ist die Anzahl an Frosttage im Nordwesten geringer als im Osten Niedersachsens.

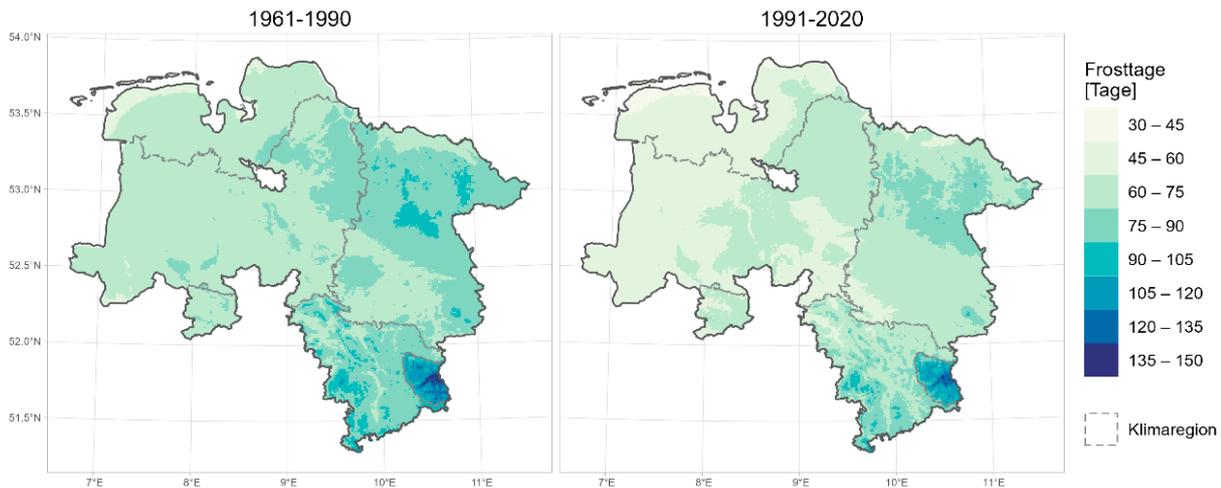


Abbildung 12: Mittlere Anzahl von Frosttagen 1961-1990 (links) und 1991-2020 (rechts) für Niedersachsen mit Angabe der Klimaregionen (grau gestrichelt). Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

Die Änderungen der Frosttage aufgrund des Klimawandels sind in allen Regionen sichtbar. Während die Änderungen der Frosttage in den Zeiträumen von 1961-1990 zu 1971-2000 und zu 1981-2010 noch vergleichsweise ähnlich sind, nehmen die Frosttage im aktuellsten Zeitraum 1991-2020 sehr viel deutlicher ab. Im Harz und im Berg- und Hügelland nahmen die Frosttage um zehn bzw. acht Tage ab (Tabelle 9). An der Küste und im Flachland liegt die Abnahme der Frosttage bei 11-13 Tagen. Gleichzeitig ist vor allem an der Küste die deutlichste Veränderung (Abnahme um 20 %) festzustellen.

Tabelle 9: Mittlere Anzahl von Frosttagen 1961-1990 und deren Veränderung zu 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 für Niedersachsen und die Klimaregionen Niedersachsens. Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Küste	66 Tage	-7 Tage	-7 Tage	-13 Tage
Östl. Flachland	81 Tage	-6 Tage	-7 Tage	-11 Tage
Westl. Flachland	71 Tage	-7 Tage	-7 Tage	-11 Tage
Berg- und Hügelland	81 Tage	-5 Tage	-5 Tage	-8 Tage
Harz	115 Tage	-3 Tage	-5 Tage	-10 Tage
Niedersachsen	75 Tage	-6 Tage	-7 Tage	-11 Tage



3.7 Eistage

Für ältere Generationen ist der Klimawandel in Niedersachsen deutlich spürbar. Dies zeigt sich, wenn sie von schneereichen und kalten Wintern in ihrer Kindheit erzählen – sie können die Veränderungen in ihrer Lebenszeit direkt wahrnehmen. Diese Beobachtungen werden von Messwerten des Deutschen Wetterdienstes bestätigt. Die Auswertungen von langjährigen Mitteln ermöglichen einen Blick auf die bisher eingetretenen Auswirkungen des Klimawandels.

Tabelle 10: Die 10 Jahre mit der höchsten Anzahl an Eistagen (ab 1951 bis 2021).
Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

Jahr	Eistage
1963	61 Tage
2010	54 Tage
1996	46 Tage
1969	41 Tage
1985	40 Tage
1956	36 Tage
1986	34 Tage
1970	34 Tage
1987	33 Tage
1979	32 Tage

Der Winter 1963 war bisher mit Abstand der kälteste Winter des 20. und 21. Jahrhunderts sowohl für Niedersachsen als auch für die gesamte Bundesrepublik. Gleichzeitig war dieser noch besonders lang und schneereich (DWD 1964). Er wird daher auch als „Jahrhundertwinter“ oder „Eiswinter“ bezeichnet (DWD 1964, Küstenmuseum Juist 2022). Hier gab es im Mittel für Niedersachsen knapp 61 Eistage (Tabelle 10). Große Teile des Landes waren mit Schnee bedeckt (DWD 1964). So waren einige Inseln eingeschlossen, sodass die Inselversorgung durch Reedereischiffe für ca. zwei Monate eingestellt wurde. Stattdessen wurden die Inseln per Luft durch die Bundeswehr versorgt (Küstenmuseum Juist 2022, Reederei Baltrum 2019, Riepe 2013). Unter den 10 Jahren mit der höchsten Anzahl an Eistagen liegt bisher lediglich ein Jahr aus dem 21. Jahrhundert (2010). Das Jahr mit der geringsten Anzahl Eistagen mit einem Eistag war das Jahr 2020.

Für das gesamte Bundesland zeigt sich eine deutliche Abnahme der Anzahl von Eistagen. So lag die Anzahl der Eistage 1961-1990 im Mittel für Niedersachsen noch bei 21 Tagen, im Zeitraum 1991-2020 nur bei 14 Tagen (Tabelle 11). Die meisten Eistage sind erwartungsgemäß im Harz sowie auch auf den Höhen des Berg- und Hügellandes anzutreffen (Abbildung 13). Aufgrund des Einflusses der Küste ist die Anzahl an Eistagen im Nordwesten geringer als im Osten Niedersachsens.

- Die Anzahl der Eistage hat sich verringert. Im Niedersachsenmittel ist die Anzahl an Eistagen um etwa ein Drittel zurückgegangen.
- Im Harz nahmen die Eistage um 8 Tage ab. Die deutlichste Abnahme ist an der Küste festzustellen.

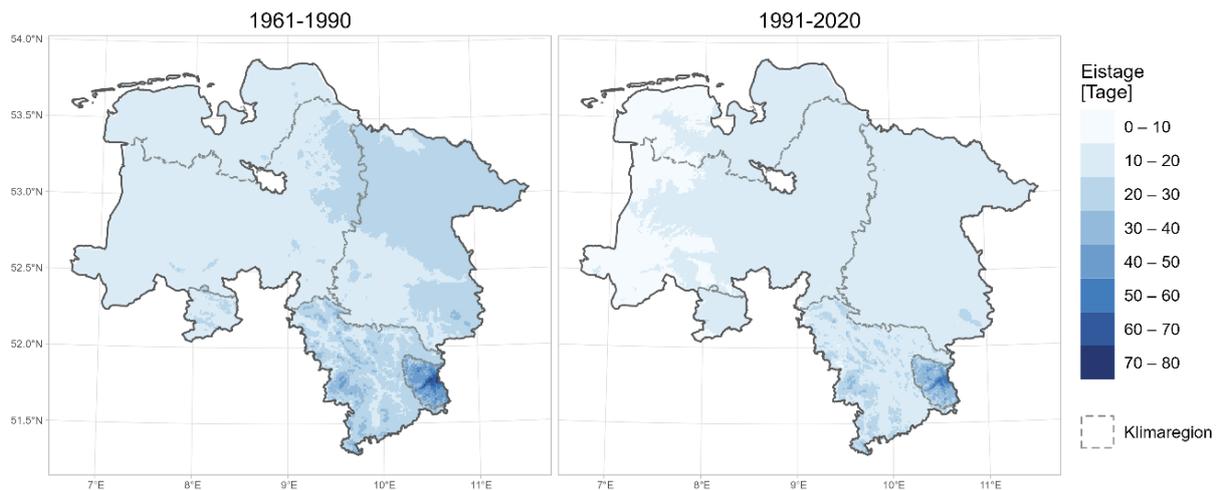


Abbildung 13: Mittlere Anzahl von Eistagen 1961-1990 (links) und 1991-2020 (rechts) für Niedersachsen mit Angabe der Klimaregionen (grau gestrichelt). Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

Die Änderungen der Eistage aufgrund des Klimawandels sind in allen Regionen sichtbar. Im Harz und im Berg- und Hügelland nahmen die Eistage um acht bzw. sieben Tage ab (Tabelle 11). Auch an der Küste und im Flachland liegt die Abnahme der Eistage bei sechs bis sieben Tagen. Gleichzeitig ist vor allem an der Küste die deutlichste Veränderung festzustellen. Die Eistage nehmen hier zwar auch um sieben Tage ab, im Vergleich zu 1961-1990 ist dies eine Abnahme um mehr als ein Drittel der bisher aufgetretenen Eistage.

Tabelle 11: Mittlere Anzahl von Eistagen 1961-1990 und deren Veränderung zu 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 für Niedersachsen und die Klimaregionen Niedersachsens. Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Küste	18 Tage	-4 Tage	-4 Tage	-7 Tage
Östl. Flachland	22 Tage	-4 Tage	-4 Tage	-7 Tage
Westl. Flachland	18 Tage	-4 Tage	-4 Tage	-6 Tage
Berg- und Hügelland	24 Tage	-5 Tage	-4 Tage	-7 Tage
Harz	43 Tage	-5 Tage	-4 Tage	-8 Tage
Niedersachsen	21 Tage	-5 Tage	-4 Tage	-7 Tage



NIEDERSCHLAG





3.8 Jahresniederschlagssumme

Wasser ist die Lebensgrundlage für Mensch und Natur. Es befindet sich im ständigen Kreislauf von der Atmosphäre zum Erdboden, Grundwasser, Flüsse und/oder Ozeane und wieder zurück. Für die Wasserversorgung von Pflanzen und als Wasserrückhalt in der Fläche spielt die Niederschlagsmenge im Bodenwasserhaushalt eine wichtige Rolle. Aber auch für die Grundwasserneubildung ist die Niederschlagsmenge eine maßgebliche Größe. Daher liegt die Jahresniederschlagssumme vor allem bei den Themen Trinkwasserversorgung, Landwirtschaft und Industrie im Fokus.

Tabelle 12: Die 10 niederschlagsärmsten (links) und niederschlagsreichsten (rechts) Jahre für Niedersachsen. Ausgewertet wurden die letzten 140 Jahre. Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

- Die Summe der Jahresniederschläge hat sich in Niedersachsen geringfügig erhöht.
- Während 1971-2000 der niederschlagsärmste Zeitraum war, ist 1981-2010 der niederschlagsreichste Zeitraum.

Niederschlagsärmste Jahre		Niederschlagsreichste Jahre	
Jahr	Niederschlag	Jahr	Niederschlag
1959	404 mm	2002	1007 mm
2018	511 mm	2007	1005 mm
1929	538 mm	1998	1003 mm
1887	539 mm	1961	939 mm
1911	539 mm	1981	936 mm
1971	553 mm	1993	925 mm
1934	566 mm	2001	921 mm
1976	574 mm	1994	915 mm
1921	575 mm	1966	898 mm
1964	581 mm	1926	895 mm

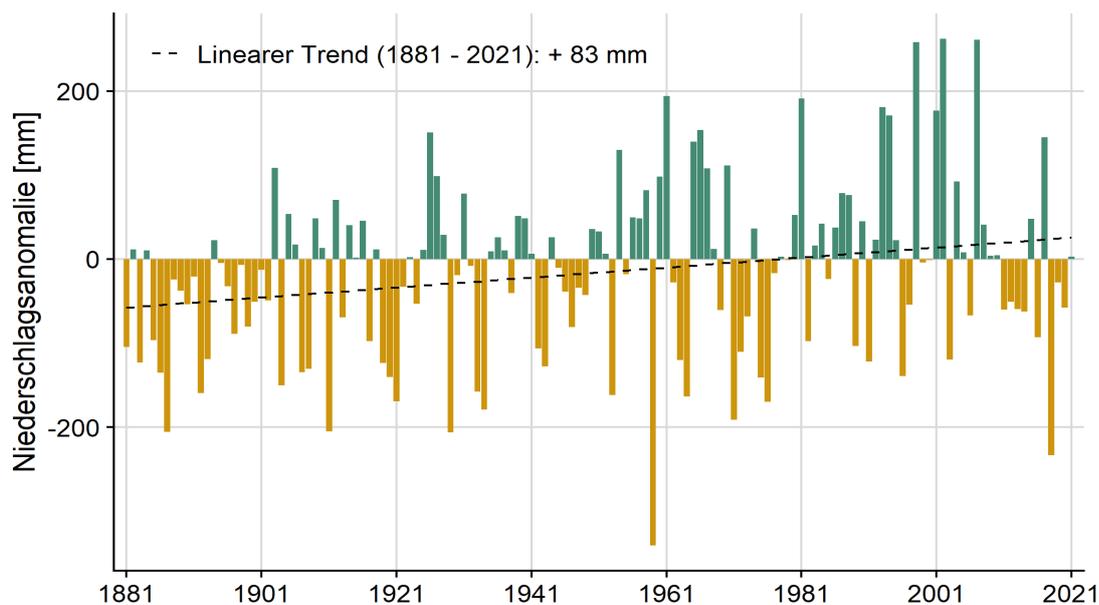


Abbildung 14: Jährliche Niederschlagsanomalie zu 1961-1990 von 1881 bis 2021 für Niedersachsen. Grüne Balken kennzeichnen ein Jahr mit mehr Niederschlag als 1961-1990 und gelbe Balken Jahre mit weniger Niederschlag als 1961-1990. Die gestrichelte schwarze Linie zeigt den linearen Trend. Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

Das Dürre-Jahr 2018 ist mit 511 mm das zweit-niederschlagsärmste Jahr, das in Niedersachsen gemessen wurde (Tabelle 12). Nicht nur Niedersachsen war betroffen. In der gesamten Bundesrepublik trat eine extreme Trockenheit von Februar bis November auf (DWD 2018c). Die Niederschlagssumme hat sich von 1881 bis 2021 linear um 83 mm erhöht (Abbildung 14). Hervorzuheben ist, dass die Niederschlagsmenge von Jahr zu Jahr deutlich schwankt. So hat der DWD im Jahr 1959 für Niedersachsen im Mittel 404 mm gemessen, im Jahr 2002 das 2,5-fache von 1007 mm.

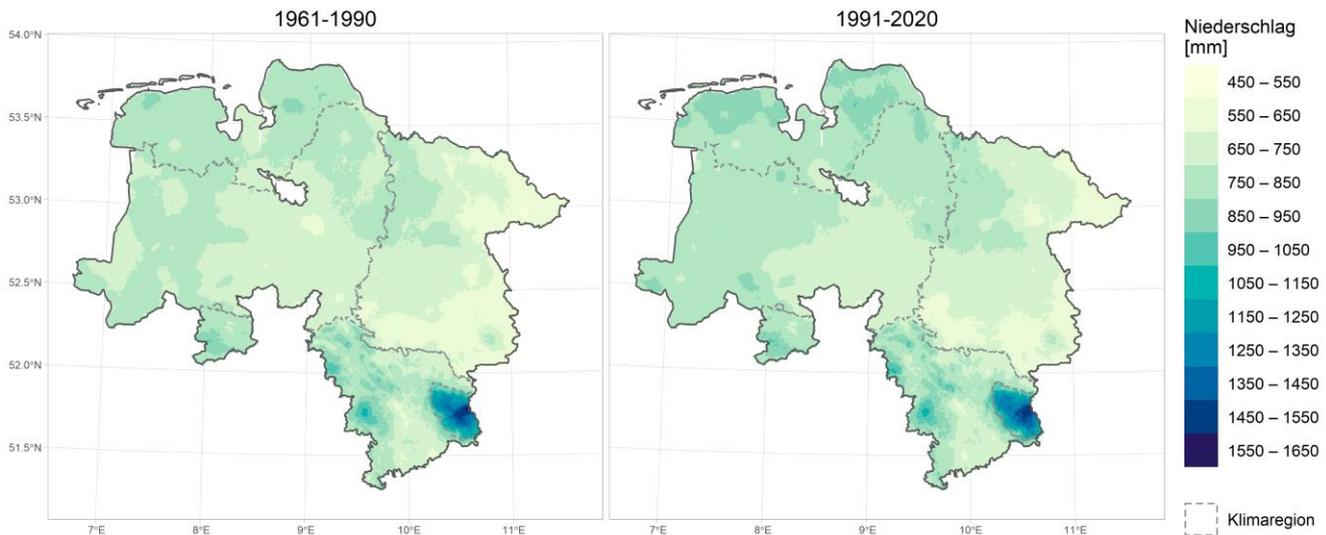


Abbildung 15: Niederschlagssumme 1961-1990 (links) und 1991-2020 (rechts) für Niedersachsen mit Angabe der Klimaregionen (grau gestrichelt). Datengrundlage: HYRAS-DE-PRE.

In Niedersachsen liegt die Niederschlagsmenge für 1961-1990 bei etwa 750 mm, wobei es hier aufgrund der Orographie deutliche regionale Unterschiede gibt (Abbildung 15). Während der Harz im Zeitraum 1961-1990 mit 1200 mm die niederschlagsreichste Region Niedersachsens ist, fällt im östlichen Flachland, Niedersachsens niederschlagsärmste Region, gerademal die Hälfte dessen. In der Auswertung der 30-jährigen Zeiträume zeigt sich ebenfalls ein Anstieg von 1961-1990 zu 1991-2020 um 21 mm (+3 %) (Tabelle 13). Diese Zunahme fand allerdings nicht gleichmäßig statt. Während sich die Niederschlagsmenge zu 1971-2000 kaum veränderte, ist der niederschlagsreichste Zeitraum 1981-2010. Die prozentual höchste Zunahme 1991-2020 im Verhältnis 1961-1990 ist im westlichen Flachland zu beobachten (+5 %) und die geringste Änderung ist an der Küste und im östlichen Flachland gemessen worden (jeweils +1 %).

Tabelle 13: Die mittlere Niederschlagssumme in 1961-1990 und die Veränderung dessen in 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 zu 1961-1990 für die Klimaregionen Niedersachsens und Niedersachsen. Die Änderung ist angegeben in mm und in Klammern in Prozent. Datengrundlage: HYRAS-DE-PRE.

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Küste	788 mm	+1 mm (0 %)	+47 mm (+6 %)	+7 mm (+1 %)
Östl. Flachland	674 mm	+1 mm (0 %)	+78 mm (+12 %)	+17 mm (+3 %)
Westl. Flachland	739 mm	+3 mm (0 %)	+47 mm (+6 %)	+37 mm (+5 %)
Berg- und Hügel- land	792 mm	-11 mm (-1 %)	+29 mm (+4 %)	+15 mm (+2 %)
Harz	1200 mm	+3 mm (0 %)	+43 mm (+4 %)	+25 mm (+2 %)
Niedersachsen	744 mm	-2 mm (0 %)	+41 mm (+6 %)	+21 mm (+3 %)



3.9 Mittlere Niederschlagssummen der vier Jahreszeiten

Die Verteilung der Niederschlagssumme innerhalb der Jahreszeiten ist von großer Bedeutung für den Menschen und die Natur. Denn das Niederschlagswasser wird für diverse Prozesse zu unterschiedlichen Jahreszeiten benötigt. So ruht die Vegetation im Winter und benötigt deutlich weniger Wasser für die Photosynthese. Daher kann der Niederschlag die Grundwasserspeicher zu dieser Zeit besonders effektiv wieder füllen. Im Sommer dagegen benötigen die Pflanzen das meiste Wasser. Fehlender Niederschlag im Sommer führt somit auch schneller zu Trockenheit, weil die Bodenfeuchte durch die hohen Temperaturen schneller verdunstet und von der Vegetation stärker aufgenommen wird. Zusätzlich kann es hinzukommen, dass Landwirtinnen und Landwirte ihre Flächen beregnen müssen, falls der Bedarf durch den Sommerniederschlag für die Vegetation nicht gedeckt wird. Dieses Wasser wird oft aus dem Grundwasser entnommen. Allerdings ist je nach Region das Wasser knapp bemessen. Gleichzeitig kann auch zu viel Niederschlag in allen Jahreszeiten Schaden verursachen, indem es zum Beispiel zu Hochwasser kommt. Außerdem kann zu viel Niederschlag in den Wachstumsphasen der Feldfrüchte durch Staunässe landwirtschaftlichen Erzeugnissen schaden.

- 1991-2020 gab es im Vergleich zu 1961-1990 besonders im Frühling weniger und im Winter mehr Niederschlag.
- Die letzten 10 Jahre (2012-2021) waren außergewöhnlich trocken. Die Monatsniederschläge liegen in 9 Monaten unterhalb des Mittels von 1991-2020.

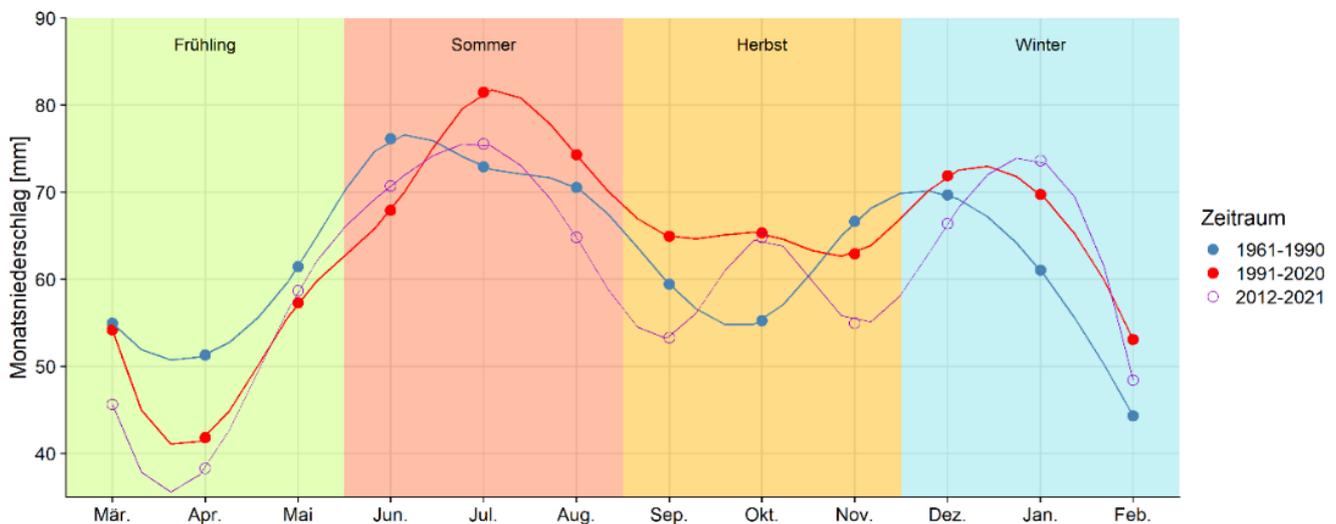


Abbildung 16: Vergleich des mittleren monatlichen Niederschlags in Niedersachsen für die Zeiträume 1961-1990, 1991-2020 und 2012-2021 (aktueller 10-jähriger Zeitraum). Datengrundlage: HYRAS-DE-PRE.

Der Niederschlag verteilt sich in Niedersachsen in zwei Phasen mit hohem Niederschlag (Sommer und Winter), die getrennt sind von zwei Phasen mit niedrigem Niederschlag (Frühling und Herbst). Der Sommer ist die niederschlagsreichste und der Frühling ist die niederschlagsärmste Jahreszeit. Der Klimawandel beeinflusst diese saisonale Niederschlagsverteilung (Abbildung 16). So gab es im Zeitraum 1991-2020 in den Monaten März bis Juni und im November weniger Niederschlag als im Zeitraum 1961-1990. Im Juli bis Oktober und im Dezember bis Januar gab es hingegen mehr Niederschlag. Die Frühlingsmonate sind somit einheitlich niederschlagsärmer und die Wintermonate einheitlich niederschlagsreicher geworden. Dem gegenüber steht der

Niederschlag der letzten zehn Jahre (2012-2021). Der Monatsniederschlag der letzten zehn Jahre ist im Vergleich zu 1991-2020 in allen Monaten außer Januar, Mai und Juni unterdurchschnittlich. Somit ist Niedersachsen in den letzten zehn Jahren im Vergleich zum aktuellen Klima-Vergleichszeitraum 1991-2020 deutlich niederschlagsärmer.

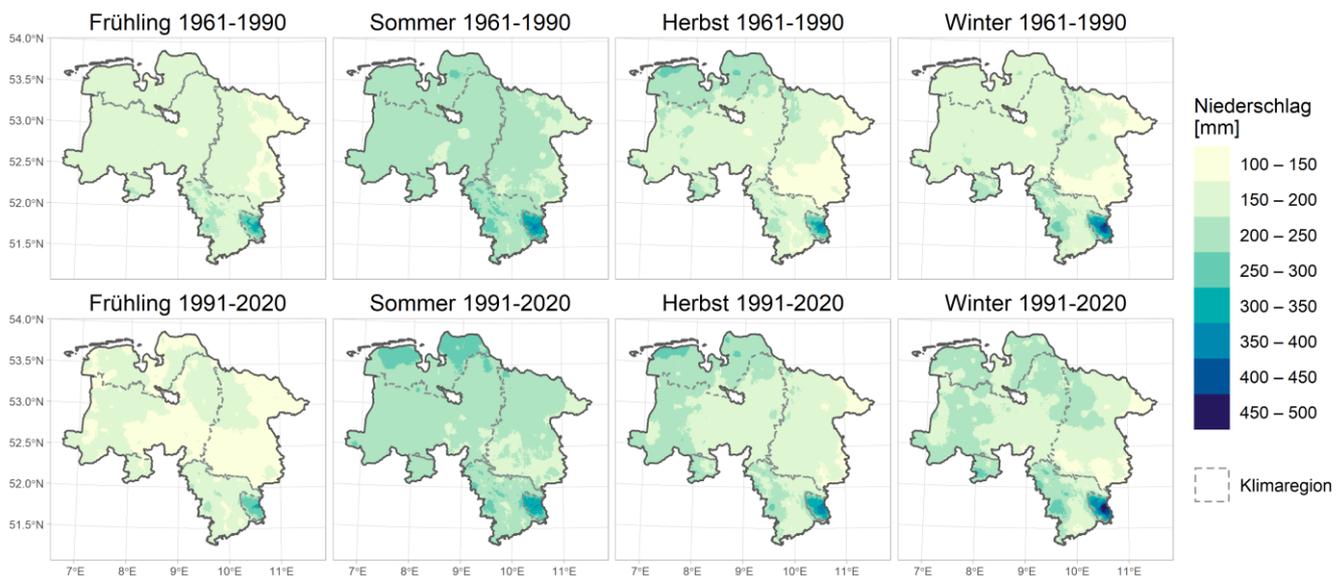


Abbildung 17: Saisonale Niederschlagssumme 1961-1990 (oben) und 1991-2020 (unten) für Niedersachsen mit Angabe der Klimaregionen (grau gestrichelt). Datengrundlage: HYRAS-DE-PRE.

In allen Jahreszeiten ist das östliche Flachland am niederschlagsärmsten, der Harz am niederschlagsreichsten (Abbildung 17). Sowohl saisonal als auch regional hat sich die Verteilung des Niederschlags von 1961-1990 zu 1991-2020 geändert. So nimmt im Sommer der Niederschlag stärker in Richtung Küste zu und Richtung Süden ab. Dagegen zeigen sich in den anderen Jahreszeiten einheitlichere positive bzw. negative Trends: Im Frühling ist der Niederschlag in allen Klimaregionen zurückgegangen, besonders im Berg- und Hügelland. Dagegen nahm der Niederschlag im Herbst und Winter zu. Im Herbst profitiert im Besonderen der Süden Niedersachsens von mehr Niederschlag, im Winter die Küste und das westliche Flachland (Tabelle 14).

Tabelle 14: Die mittlere saisonale Niederschlagssumme 1961-1990 und die Veränderung dessen in 1991-2020 zu 1961-1990 für Niedersachsen und Niedersachsens Klimaregionen. Die Werte sind für Frühling, Sommer, Herbst und Winter aufgeführt. Die Werte für 1961-1990 sind in mm und die Änderungen in Prozent (%) angegeben. Datengrundlage: HYRAS-DEPRE.

	Änderung zu 1961-1990							
	1961-1990				1991-2020			
	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Küste	163 mm	228 mm	221 mm	176 mm	-8 %	+7 %	+2 %	+15 %
Östl. Flachland	155 mm	207 mm	155 mm	158 mm	-7 %	+0 %	+8 %	+7 %
Westl. Flachland	166 mm	217 mm	182 mm	175 mm	-9 %	+3 %	+6 %	+12 %
Berg- und Hügelland	188 mm	230 mm	179 mm	196 mm	-10 %	-2 %	+10 %	+7 %
Harz	274 mm	320 mm	278 mm	328 mm	-7 %	-5 %	+11 %	+7 %
Niedersachsen	168 mm	220 mm	181 mm	176 mm	-9 %	+2 %	+7 %	+11 %



3.10 Starkregentage

Starkregentage sind Tage mit besonders viel Niederschlag. Diese Tage sind von besonderer Bedeutung, da es an diesen Tagen zu Hochwasserlagen kommen kann. Dies bedeutet eine Gefahr für die Infrastruktur, für den Wohnraum und nicht zuletzt für Leib und Leben, wie zum Beispiel bei dem Juli-Hochwasser im südlichen Niedersachsen 2017 (Anhalt et al. 2021). Auch für die Ökosysteme und die menschliche Daseinsvorsorge kann eine Zunahme der Starkregentage negative Effekte haben. Dies trifft zu, sobald eine Zunahme der Starkregentage mit einer Abnahme des Niederschlags einhergeht. D. h., dass der Niederschlag nicht mehr verteilt über mehrere Tage fällt, sondern seltener und heftiger. Dies kann dazu führen, dass weniger Niederschlag versickert und damit weniger Wasser für Natur und Mensch im Boden und Grundwasser zur Verfügung steht.

- Die Anzahl der Starkregentage hat sich von 1961-1990 zu 1991-2020 im Mittel um 16 % erhöht.
- Der aktuellste 10-jährige Zeitraum (2012-2021) ist der Zeitraum mit den geringsten Starkregentagen.

Von 1951 bis 2021 haben in Niedersachsen die Anzahl der Tage, an denen mehr als 10 und 20 mm Niederschlag fiel, leicht zugenommen und die Tage mit mehr als 30 mm sind unverändert geblieben (Abbildung 18). Am stärksten ist die Zunahme bei Niederschlägen ≥ 10 mm (+ 1 Tag), wobei dieser Trend durch die letzten Jahre mit sehr geringen Starkregenereignissen abgeflacht ist. Starkregenereignisse sind neben den großräumigen advektiven Niederschlagsereignissen meist konvektiv. Das heißt, dass der Niederschlag kleinräumig, kurz und intensiv fällt. Dieser ist oft nur mit Radar-Messungen zu erfassen und das Niederschlagsmessnetz des DWD kann diesen verfehlen. Radar-Messungen gibt es erst seit weniger als 30 Jahren, somit können keine

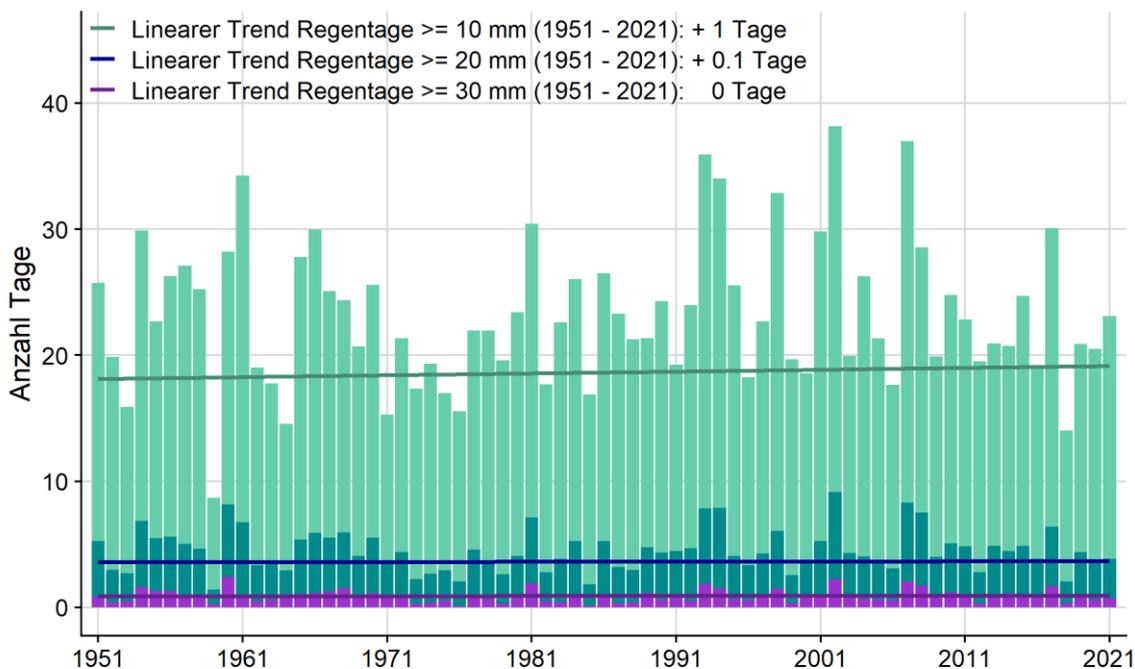


Abbildung 18: Mittlere jährliche Anzahl von Tagen mit Regenereignissen $\geq 10/20/30$ mm in grün/blau/lila für ganz Niedersachsen. Die linearen Trendlinien für alle 3 Parameter zeigen von 1951-2021 schwache bis keine Trends. Datengrundlage: DWD Climate Data Center (Rasterdaten).

Klimaaussagen anhand der Radardaten getroffen werden. Die in die Fläche interpolierten Stationsdaten (Rasterdaten des DWD Climate Data Center) sind daher nur begrenzt aussagekräftig.

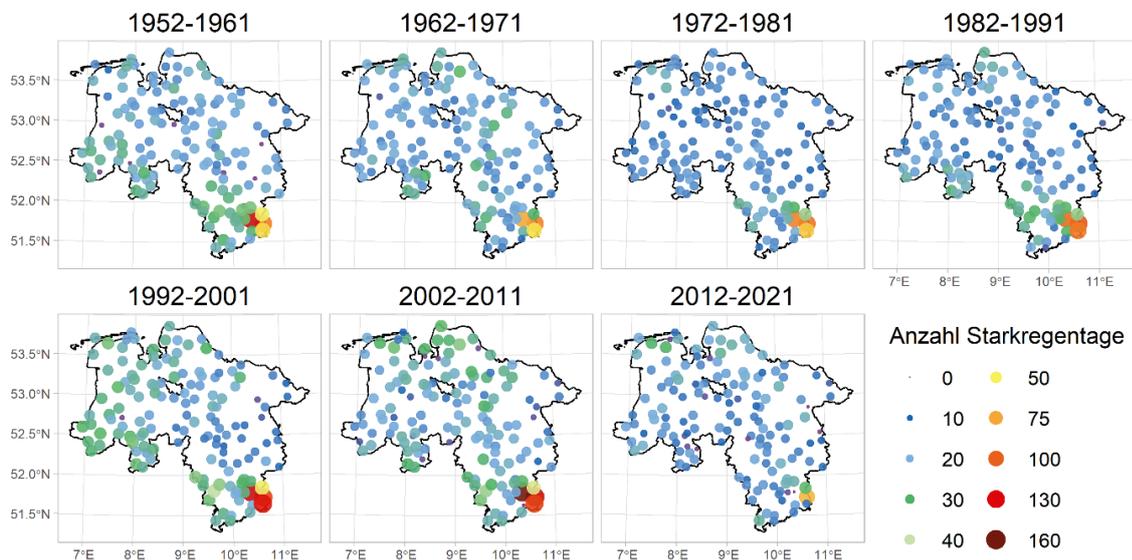


Abbildung 19: Mittlere Anzahl von Tagen mit Regenereignissen ≥ 20 mm gezeigt an Niederschlagsstationen, die im Zeitraum 1952 bis 2021 Messwerte bereitstellen. Ausgewertet sind die Messwerte für 10-jährige Zeiträume. Datengrundlage: DWD Climate Data Center (Stationsdaten).

Der Harz ist die Klimaregion in Niedersachsen, in der die Niederschlagsstationen die meisten Starkregentage messen. Mit großem Abstand folgen dann Stationen im Berg- und Hügelland, im Osten und im Norden des Landes (Abbildung 19). Im Zeitraum 1981-2010 wurden die meisten Starkregentage gemessen, 1961-1990 die wenigsten. Der Zeitraum 1991-2020 hat die zweithöchsten Starkregentage aufzuweisen. Es finden sich in diesem Zeitraum die meisten Starkregentage an der Küste, dem östlichen und westlichen Flachland, nur im Harz wurden noch nie so wenig Starkregentage gemessen (Tabelle 15).

Tabelle 15: Mittlere Anzahl von Starkregentagen (≥ 20 mm) 1961-1990 und deren Veränderung zu 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 für Niedersachsen und die Klimaregionen Niedersachsens. Die Änderungen sind angegeben in Tagen und in Prozent (%). Datengrundlage: DWD Climate Data Center (Rasterdaten).

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Küste	3,3 Tage	+0,1 Tage (+3 %)	+0,7 Tage (+21 %)	+0,8 Tage (+24 %)
Östl. Flachland	2,9 Tage	-0,2 Tage (-7 %)	+0,3 Tage (+ 10 %)	+0,4 Tage (+13 %)
Westl. Flachland	3,0 Tage	+0 Tage (+ 0 %)	+0,6 Tage (+20 %)	+0,6 Tage (+20 %)
Berg- und Hügelland	4,0 Tage	+0,2 Tage (+5 %)	+0,8 Tage (+20 %)	+0,4 Tage (+10 %)
Harz	9,9 Tage	+0,2 Tage (+2 %)	+1,1 Tage (+11 %)	-0,4 Tage (-4 %)
Niedersachsen	3,3 Tage	+0 Tage (+0 %)	+0,5 Tage (+15 %)	+0,5 Tage (+15 %)



3.11 Trockenperiode

Besonders relevant sind Trockenperioden, wenn niederschlagsarme und heiße Sommer zusammenfallen, weil dann zum einen Niederschlag fehlt und gleichzeitig mehr Wasser von den Pflanzen benötigt wird. Demnach waren 2018, gefolgt von 2022, 2003 und 2019 die trockensten Jahre seit der Wetteraufzeichnung (Abbildung 20). Eine Gefahr von Trockenperioden ist zum Beispiel, dass Flüsse, die zu großen Teilen den Niederschlag einer Landfläche sammeln und in die Meere abführen, bei fehlendem Sommerniederschlag in heißen Sommern trockenfallen können. So lag auch der Weserpegelstand nach drei heißen und niederschlagsarmen Sommern im Jahr 2020 bei nur noch 62 cm, dem niedrigsten Wert seit Beginn der Aufzeichnung.

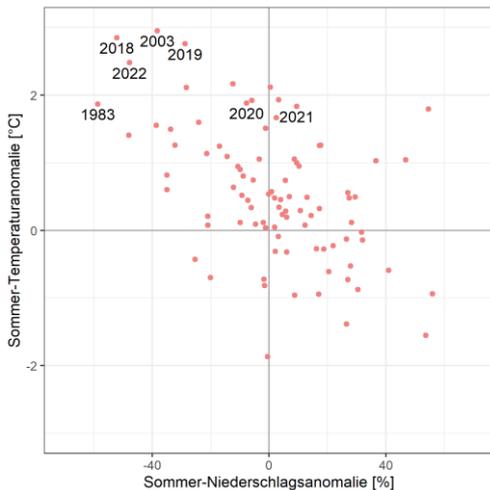


Abbildung 20: Niederschlags- und Temperaturanomalie zu 1961-1990 mit Angabe der letzten und einiger außergewöhnlicher Jahre. Datengrundlage: HYRAS-DE-PRE und DWD Climate Data Center.

Ein Trockentag ist ein Tag, an dem es weniger als 1 mm regnet. In Niedersachsen gibt es seit 1951 im linearen Trend 4,6 mehr Trockentage im Sommer. Die Dauer der Tage, in denen diese Tage aufeinanderfolgend auftreten, hat sich zusätzlich um fast zwei Tage verlängert (Abbildung 21). Insgesamt hat das Auftreten von Trockentagen und Trockenperioden eine große Heterogenität. Das Jahr 2022 war mit 71,9 Tagen das Jahr mit den vierthäufigsten Trockentagen, der Rekordsommer 2018 hatte mit 72,6 Tagen die zweithäufigsten Trockentage in Niedersachsen seit Beginn der Wetteraufzeichnungen und nur 1983 hatte mit 75,4 Tagen mehr Trockentage. Der Sommer mit der längsten Trockenperiode war 1995 mit landesweit 22,7 Tagen. Dagegen liegt der Wert für 2018 bei 16,5 Tage.

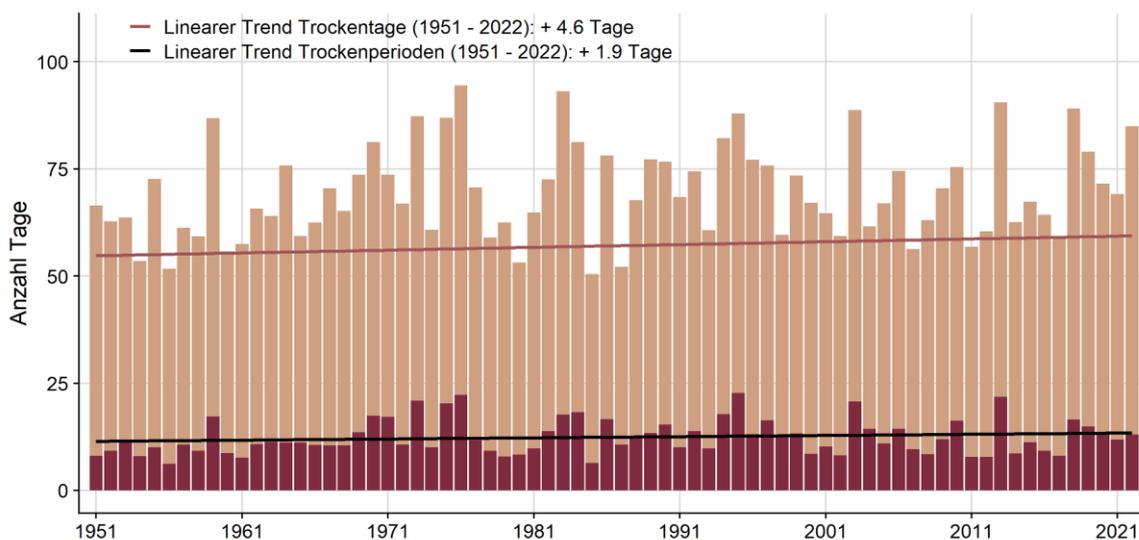


Abbildung 21: Mittlere Anzahl (hellbraun) und Dauer (dunkelbraun) von Trockentagen im Sommer in Niedersachsen ausgewertet für den Zeitraum 1951 bis 2021 im landesweiten Mittel. Ebenfalls sind die Trendlinien der Anzahl und Dauer der Trockenperioden im Sommer visualisiert und die Zunahme in Tagen ausgewertet. Datengrundlage: HYRAS-DE-PRE.

- Sowohl die Anzahl als auch die Dauer der Trockentage im Sommer hat in Niedersachsen zugenommen.
- 2018 gehört zu den wärmsten und niederschlagsärmsten Jahren, gefolgt von 2003 und 2019.

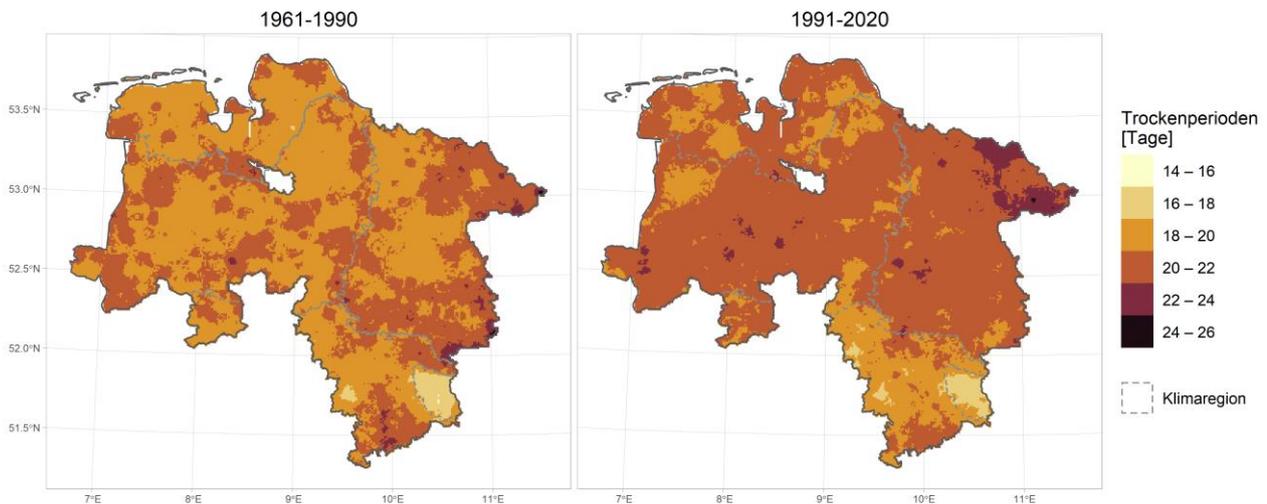


Abbildung 22: Mittlere Dauer von Trockenperioden in Tagen für 1961-1990 (links) und 1991-2020 (rechts) für Niedersachsen mit Angabe der Klimaregionen (grau gestrichelt). Datengrundlage: HYRAS-DE-PRE.

Die Anzahl und Dauer der Trockentage verteilen sich in Niedersachsen sehr unterschiedlich. So gibt es die meisten Trockentage im Osten und die geringsten in Harz, wobei die Dauer von Trockentagen im Landkreis-Lüchow-Dannenberg am höchsten ist (Abbildung 22). Innerhalb der Klimaregionen hat das östliche Flachland mit über 20 Tagen die längsten Trockenperioden und der Harz mit 17,5 die geringsten. In 1971-2000 und 1991-2020 stieg die Dauer von Trockentagen in den Klimaregionen Küste, östliches und westliches Flachland (Tabelle 16). In den südlichen Klimaregionen zeigt sich im Mittel keine Veränderung zu 1961-1990. Der Zeitraum 1981-2010 hatte im Vergleich zu 1961-1990 eine sehr durchschnittliche Dauer von Trockentagen.

Tabelle 16: Mittlere Dauer von Trockenperioden 1961-1990 und deren Veränderung zu 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 für Niedersachsen und die Klimaregionen Niedersachsens. Die Änderungen sind angegeben in Tagen und in Prozent (%). Datengrundlage: HYRAS-DE-PRE.

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Küste	19,7 Tage	+0,7 Tage (+4 %)	-0,1 Tage (-1 %)	+0,6 Tage (+3 %)
Östl. Flachland	20,3 Tage	+0,7 Tage (+3 %)	+0,1 Tage (+1 %)	+0,8 Tage (+4 %)
Westl. Flachland	19,9 Tage	+0,4 Tage (+2 %)	+0,1 Tage (+1 %)	+0,8 Tage (+4 %)
Berg- und Hügel- land	19,8 Tage	+0 Tage (+0 %)	-0,9 Tage (-5 %)	-0,2 Tage (-1 %)
Harz	17,5 Tage	+0 Tage (+0 %)	-0,2 Tage (-1 %)	+0 Tage (0 %)
Niedersachsen	19,9 Tage	+0,5 Tage (+3 %)	-0,1 Tage (-1 %)	+0,6 Tage (+3 %)



3.12 Schneetage

Schnee ist sowohl für den Menschen als auch für die Natur von Bedeutung. Vor allem für den Harz als winterliches Tourismusziel sind die Schneetage wichtig. Zusätzlich versickert schmelzender Schnee langsam und führt so zu mehr Grundwasserneubildung als Regen. Dennoch kann zu viel Schnee auch zu Schäden an Gebäuden und der Infrastruktur führen. So kam es zu einer Schneekatastrophe in 1978/79. Eisige Temperaturen und feuchte Atlantikluft führten dazu, dass der Norden Niedersachsens zur Jahreswende und darauf folgend im Februar im Schnee versinkt. Beide Ereignisse brachten 70-90 cm Neuschnee. Es kam zu Stromausfällen, Straßen waren vielerorts unpassierbar, der Bahnverkehr brach ein und es starben bundesweit 17 Menschen. Das letzte stärkere Schneeereignis fand im Februar 2021 statt mit 35-55 cm Neuschnee.

Ungeachtet der Extremereignisse nehmen Schneetage niedersachsenweit ab. Der aktuellste 10-jährige Zeitraum 2012-2021 weist die geringsten Schneetage auf (Abbildung 23). Ursache hierfür ist der allgemein geringe Niederschlag in Kombination mit höheren Wintertemperaturen. Demgegenüber wurden im Zeitraum 1972-1981 die höchste Anzahl an Schneetagen gemessen. Maßgeblich ist hierfür die genannte Schneekatastrophe 1978/79, die innerhalb dieses Zeitraums liegt. Die höchste Anzahl an Schneetagen wurde in allen 10-jährigen Zeiträumen im Harz gemessen. Ein Rückgang des Schnees im Harz führt zur vermehrten Verwendung von Schneekanonen um den Skitourismus zu erhalten. In den 10-jährigen Zeiträumen 1952-1961 und 1962-1971 lieferten nur wenige Niederschlagsmessstationen Daten zu Schneehöhen und können damit nur begrenzt ausgewertet werden.

- Im Vergleich zu 1961-1990 sind die Schneetage in Niedersachsen zurückgegangen. Am stärksten an der Küste und im westl. Flachland.
- Der 10-jährige Zeitraum 1972-1981 hat die höchste Anzahl an Schneetagen und der Zeitraum 2012-2021 die geringste.

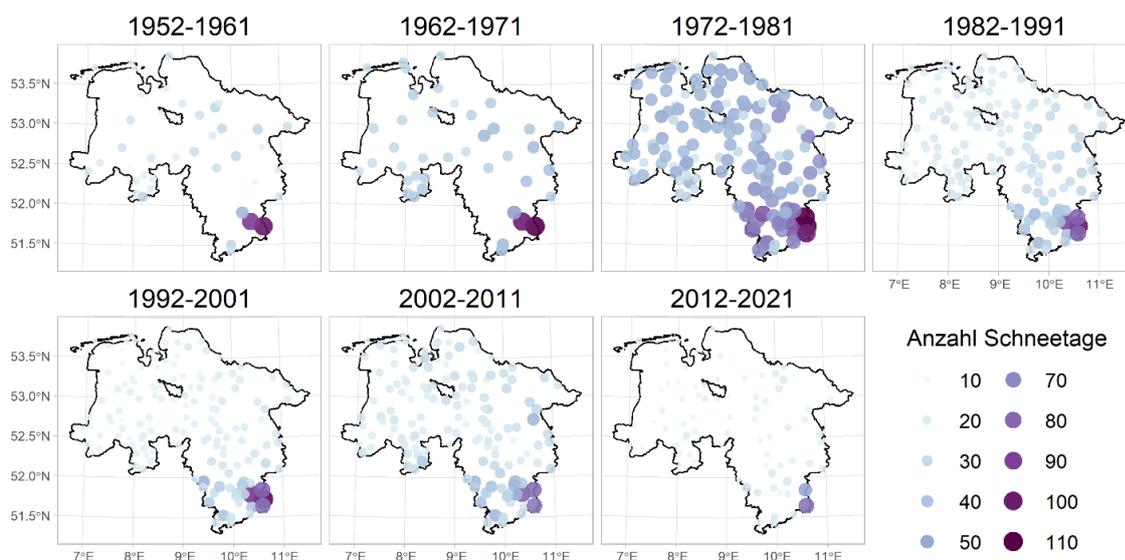


Abbildung 23: Mittlere Anzahl an Schneetagen in Niedersachsen ausgewertet für 10-jährige Zeiträume von 1952 bis 2021. Mit der Zeit gab es eine Zunahme an Messstationen. Besonders hervorgehoben ist der Zeitraum 1972-1981 in der die Schneekatastrophe 1978/79 liegt und 2012-2021, welche der niederschlagsärmste Zeitraum ist. Datengrundlage: DWD Climate Data Center (Stationsdaten).

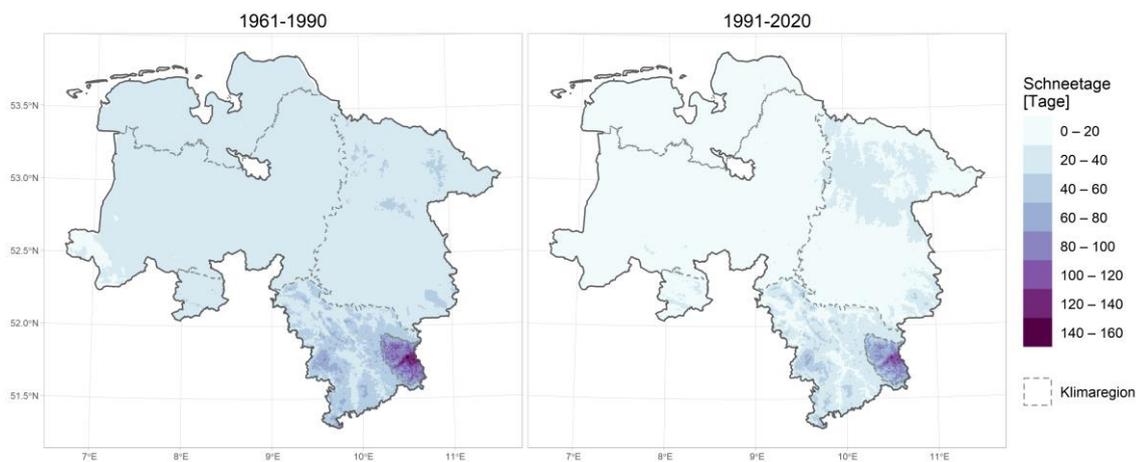


Abbildung 24: Mittlere Anzahl von Schneetagen 1961-1990 (links) und 1981-2010 (rechts) für Niedersachsen mit Angabe der Klimaregionen (grau gestrichelt). Datengrundlage: DWD Climate Data Center (Rasterdaten).

Die Schneetage nehmen innerhalb Niedersachsens Richtung Norden und Westen ab und nehmen Richtung Süden zu, wobei der Harz die höchste Anzahl an Schneetagen aufweist (Abbildung 24). Die Schneetage hängen somit stark mit dem orographischen Niederschlag zusammen, da in hügeligen/bergigen Gebieten auf der zum Wind geneigten Seite mehr Niederschlag fällt. Die Schneetage gehen in ganz Niedersachsen seit 1961-1990 zurück (1971-2000 um 23 %, 1981-2010 um 25 %, 1991-2020 um 43 %), jedoch innerhalb der Klimaregionen unterschiedlich stark (Tabelle 17). Die höchste Abnahme gab es an der Küste (1971-2000 31 %, 1981-2010 31 %, 1991-2020 49 %) und die geringste im Harz (1971-2000 um 9 %, 1981-2010 um 9 %, 1991-2020 um 21 %).

Tabelle 17: Veränderung der mittleren Anzahl von Schneetagen 1961-1990 und deren Veränderung zu 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 für Niedersachsen und die Klimaregionen Niedersachsens. Die Änderungen sind angegeben in Tagen und in Prozent (%). Datengrundlage: DWD Climate Data Center.

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Küste	25,3 Tage	-7,8 Tage (-31 %)	-8,0 Tage (-32 %)	-12,5 Tage (-49 %)
Östl. Flachland	34,1 Tage	-8,4 Tage (-25 %)	-8,8 Tage (-26 %)	-15,2 Tage (-45 %)
Westl. Flachland	26,4 Tage	-6,9 Tage (-26 %)	-7,8 Tage (-30 %)	-12,6 Tage (-48 %)
Berg- und Hügelland	42,9 Tage	-6,2 Tage (-15 %)	-7,9 Tage (-18 %)	-15,8 Tage (-37 %)
Harz	93,8 Tage	-8,0 Tage (-9 %)	-8,2 Tage (-9 %)	-19,8 Tage (-21 %)
Niedersachsen	32,1 Tage	-7,4 Tage (-23 %)	-8,1 Tage (-25 %)	-13,9 Tage (-43 %)

4.

GESUNDHEIT





INDIKATOREN IN DER ÜBERSICHT



Cluster Gesundheit

EU-Badegewässer

Mortalitätssurveillance

Inzidenz vektorübertragender Infektionen



4.1 EU-Badegewässer (Cyanobakterien, Vibrionen)

Cyanobakterien (Blaualgen)

Massenvermehrungen von Cyanobakterien (Abbildung 25) treten vor allem in nährstoffreichen Gewässern bei hoher, langandauernder Sonneneinstrahlung und hohen Temperaturen auf. Bei durch den Klimawandel wärmer und länger werdenden Sommern ist daher mit einer häufigeren Massenvermehrung von Cyanobakterien zu rechnen.

Cyanobakterien produzieren verschiedene giftige Stoffe, sogenannte Leber- und Neurotoxine. Diese Toxine können bei Badegästen z. B. zu Übelkeit, Erbrechen, Durchfällen, Bindehautentzündungen und Atemwegserkrankungen führen. Auch Haut- und Schleimhautreizungen sowie allergische Reaktionen können durch Zellbestandteile der Cyanobakterien ausgelöst werden.



Abbildung 25: Cyanobakterienblüte an einer Badestelle (Bildrechte NLGA).

EU-Badegewässer werden gemäß der niedersächsischen Badegewässerrichtlinie von den Gesundheitsämtern mindestens alle vier Wochen zur Probenahme für mikrobiologisch-hygienische Parameter aufgesucht. Dabei werden die Gewässer auch optisch auf die Massenentwicklung von Cyanobakterien geprüft. Beim Vorkommen von Cyanobakterien wird die Überwachung intensiviert und ggfls. die Cyanobakterien-Arten bestimmt, um abzuschätzen, ob es sich um toxinbildende Arten handelt. Wenn dies der Fall ist, wird eine Warnung ausgesprochen oder ggfls. Badeverbote verhängt.

In der Abbildung 26 sind die in Niedersachsen ausgesprochenen Badeverbote und Warnungen wegen der Massenvermehrung von Cyanobakterien in EU-Badegewässern, sowie die Anzahl der betroffenen Badegewässer dargestellt.

Die Abbildung deutet an, dass es seit 2010 zu einem Anstieg der Cyanobakterienblüten gekommen ist. Allerdings ist hier mit einem starken Meldeeffekt der Gesundheitsämter zu rechnen, da die Überwachung auf Cyanobakterien mit den Jahren eine größere Aufmerksamkeit bekommen hat. So wurde z. B. im Jahr 2015 die Empfehlung des Umweltbundesamtes „Empfehlung zum Schutz von Badenden vor Cyanobakterien-Toxinen“ veröffentlicht, in der ein für die Gesundheitsämter hilfreiches Überwachungsschema dargestellt ist und auch insgesamt nochmal für das Thema sensibilisiert wurde.

Anzahl Badeverbote und Warnungen wg. Cyanobakterien-Blüten

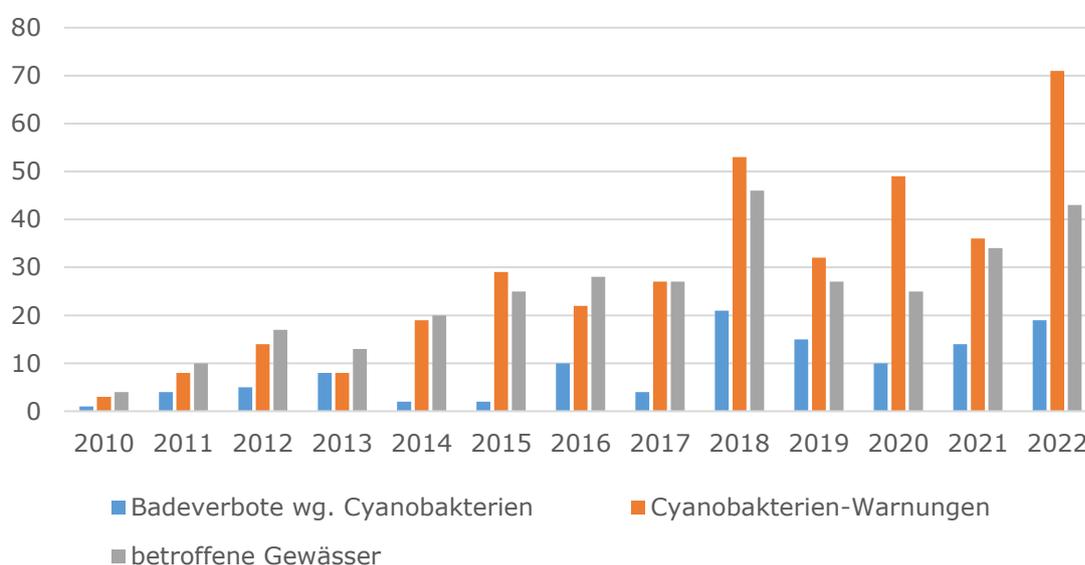


Abbildung 26: Anzahl der von den Gesundheitsämtern in Niedersachsen ausgesprochenen Badeverbote und Warnungen wegen der Massenvermehrung von Cyanobakterien in EU-Badegewässern.

Aus den Daten kann also nicht direkt eine Zunahme der Massenvermehrung von Cyanobakterien in den EU- Badegewässern abgeleitet werden.

Auffällig ist jedoch, dass in den sehr heißen, trockenen und langen Sommern 2018 und 2022 signifikant mehr Gewässer betroffen waren und auch im Vergleich zu den anderen Jahren eine erhöhte Anzahl von Meldungen und Badeverboten ausgesprochen wurde. Das bestätigt die Annahme, dass es durch den Klimawandel bedingten heißer und länger werdenden Sommern zu vermehrten Cyanobakterienblüten kommen kann.

Vibrio vulnificus

Vibrio vulnificus gehört zu einer Gruppe von Bakterien, den Vibrionen, die natürlicherweise in Brackwasser und Meerwasser vorkommen. Bei hohen Wassertemperaturen ($> 20\text{ °C}$) kann sich die Konzentration dieser Vibrionen in Meerwasser deutlich erhöhen.

Erkrankungen durch *Vibrio vulnificus* sind in Deutschland zwar selten, zeichnen sich jedoch durch einen sehr ernsthaften Verlauf in Form von schweren Wundinfektionen und Blutvergiftungen (Sepsis) aus. Besonders gefährdet sind Menschen mit chronischen Vorerkrankungen und offenen Wunden. Infektionen kommen in Deutschland hauptsächlich an der Ostsee vor. Setzt man die aktuellen Fallzahlen zur Zahl der Besucher:innen an der gesamten Ostsee ins Verhältnis, so wird deutlich, dass diese Erkrankungen sehr seltene Ereignisse sind.

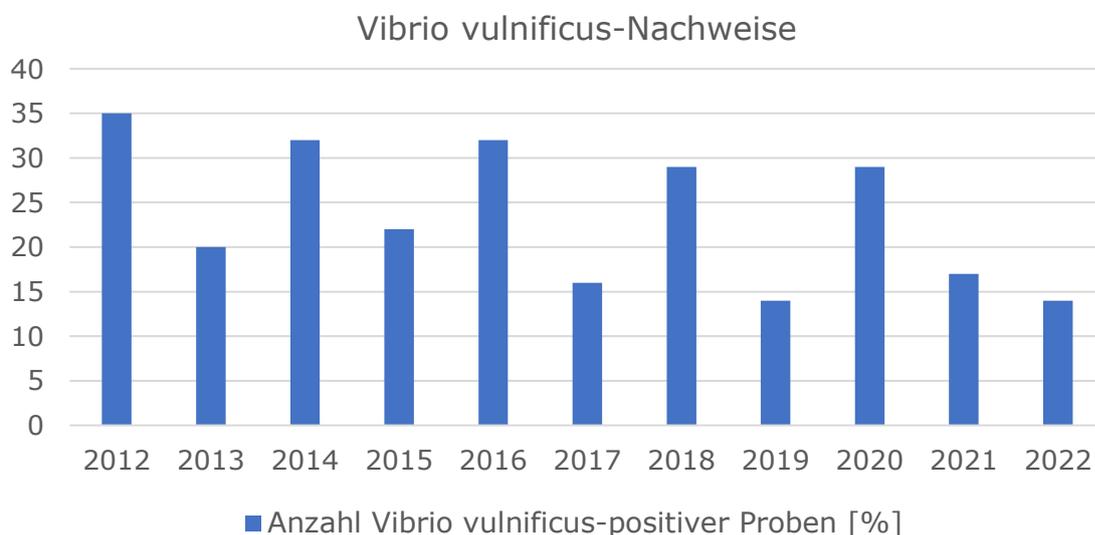


Abbildung 27: Anteil der Proben, in denen *Vibrio vulnificus* nachgewiesen wurde.

Vibrionen können auch in Nordseegewässern vorkommen. Nachweise gibt es vor allem im Bereich der großen Flussmündungen von Ems, Weser und Elbe. Die Infektionswahrscheinlichkeit an der Nordsee ist allerdings wesentlich geringer als in der Ostsee, da *Vibrio vulnificus* in der Nordsee nicht sehr häufig und wenn, dann in geringeren Konzentrationen vorkommt. Dies liegt zum einen am höheren Salzgehalt der Nordsee und zum anderen an den vielen großflächigen Gewässerbereichen mit geringem Wasseraustausch an der Ostseeküste (z. B. Boddengewässer und Haffe). In den letzten 10 Jahren wurden keine *Vibrio*-Infektionen mit Ursprung in Niedersachsen gemeldet. Dies bestätigt, dass die Infektionswahrscheinlichkeit in Niedersachsen als sehr gering einzustufen ist.

Das NLGA führt am Standort Aurich seit mehr als zehn Jahren ein Monitoring an der Nordseeküste durch, das sich überwiegend auf Bereiche mit Süßwassereinfluss, also die Flussmündungsgebiete konzentriert, die eine höhere Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Vibrionen aufweisen. In den letzten

zehn Jahren konnte kein Anstieg der *Vibrio vulnificus*-positiven Proben an den ausgewählten Probenahmestellen beobachtet werden (Abbildung 27).



4.2 Mortalitätssurveillance

Unter Mortalitätssurveillance wird die systematische kontinuierliche Überwachung der Sterbefälle verstanden. Sie ist kein direkter Indikator für den Klimawandel. Dennoch kann die zeitliche Analyse der Sterbefälle Hinweise über Veränderungen der Auswirkungen von Klimaereignissen, insbesondere Hitzeperioden, geben. Durch den Klimawandel wird mit einer Zunahme dieser Ereignisse und damit von an sich vermeidbaren hitzebedingten Sterbefällen gerechnet.

Perioden andauernder Hitze oder aber extreme Hitzeereignisse haben Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen und wurden weltweit bereits als bedeutendes Gesundheitsrisiko identifiziert. Insbesondere Personen mit chronischen Herz-Kreislauf- oder Atemwegserkrankungen, aber auch ältere und gebrechliche Personen sind gefährdet. Es kommt zu körperlichen Beschwerden und Einschränkungen durch den wärmebedingten Flüssigkeitsverlust bis hin zum Tod. Der Zusammenhang zwischen Hitzeereignissen und einer Übersterblichkeit konnte in der Rückschau z. B. für die Sommer 2018 und 2019 aufgezeigt werden.

Auf Europäischer Ebene wird bereits seit 2009 eine Mortalitätssurveillance koordiniert. Die für Deutschland dort einfließenden Daten sind aktuell allerdings lediglich eine Teilerhebung aus einzelnen Bundesländern. Mithilfe epidemiologischer Verfahren wird die erwartete Anzahl von Sterbefällen als sog. „Baseline“ ermittelt und mit der aktuellen Anzahl der übermittelten Sterbefälle verglichen.

- Extreme Hitzeereignisse können zu einem Anstieg der Sterbefälle in den Sommermonaten führen.
- Eine bundeseinheitliche Mortalitätssurveillance für die Bundesländer ist in Vorbereitung.

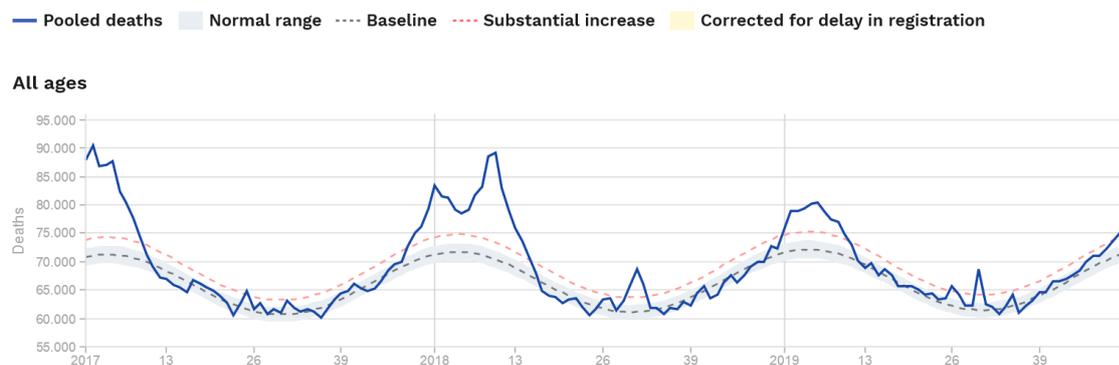


Abbildung 28: Gepoolte wöchentliche Anzahl der Sterbefälle in den an EuroMOMO teilnehmenden Ländern und Regionen 2017-2019 über alle Altersgruppen hinweg. Quelle: EuroMOMO.

Zukünftig wird eine Surveillance der Sterbefälle auch für Niedersachsen möglich sein. Das am 13.02.2020 verkündete Masernschutzgesetz sieht unter Artikel 1 Nr. 7 mit Änderung von § 13 Abs. 6 Infektionsschutzgesetz (IfSG) eine Mitteilungspflicht von Standesämtern an die zuständigen Landesbehörden im Rahmen einer Mortalitätssurveillance vor. Die Software für die bundeseinheit-

liche Datenverwaltung befindet sich derzeit in der Erprobungsphase. Eine tiefergehende Beschreibung und Ergebnisdarstellung ist an dieser Stelle daher noch nicht möglich.



4.3 Inzidenz vektorübertragener Infektionen

- Verschiedene Krankheitserreger verbreiten sich über sogenannte Vektoren. Vektoren sind lebende Organismen, die Krankheitserreger von einem infizierten Tier oder Menschen auf andere Menschen (oder Tiere) übertragen. Wichtige Vektoren sind Mücken, Zecken und Nagetiere.
- Es kann zwischen autochthonen (vor Ort erworbenen) und allochthonen (importierten) vektorübertragenen Infektionen unterschieden werden. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel sind vor allem die vor Ort erworbenen Infektionen von Interesse. Diese sind wiederum entweder bundesweit verbreitet oder treten nur in bestimmten geografischen Regionen auf.
- Aktivität, Lebenszyklus, Überwinterungen und Ausbreitung von Vektoren und Wirtstieren werden von den klimatischen Gegebenheiten vor Ort beeinflusst, sodass der Klimawandel einen allgemeinen Anstieg autochthoner, vektorübertragener Infektionen begünstigen könnte bzw. bislang nur lokal begrenzt auftretende Erreger perspektivisch auch in anderen Regionen Deutschlands vorkommen könnten. Darüber hinaus könnten aber auch Erreger, die bislang nur aus dem Ausland importiert wurden, zukünftig endemisch werden.
- Folgende vektorübertragene Infektionserreger kommen derzeit endemisch in Deutschland vor, führen in Niedersachsen zu einer nennenswerten Zahl von Meldefällen und unterliegen der Meldepflicht gemäß Infektionsschutzgesetz:
 - o die Erreger der durch Zecken übertragenen Frühsommermeningoenzephalitis (FSME),



Abbildung 29: Meldeinzidenz der durch Zecken übertragenen FSME in Niedersachsen. Datengrundlage: NLGA.

- o durch Nagetiere übertragene Hantaviren,

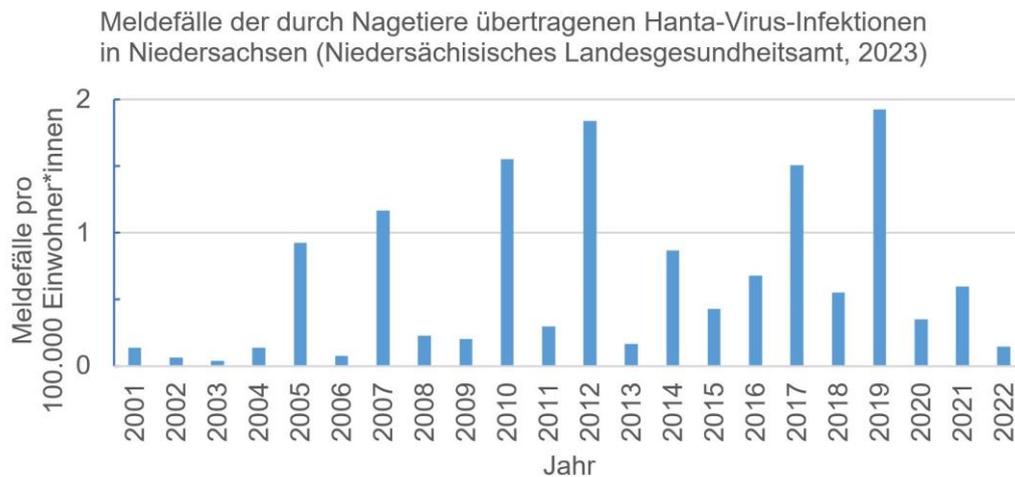


Abbildung 30: Meldeinzidenz der durch Nagetiere übertragenen Hanta-Virus-Infektionen in Niedersachsen. Datengrundlage: NLGA.

- o sowie die Erreger der durch Nage-, Wild- oder Nutztiere übertragenen Leptospirose.



Abbildung 31: Meldeinzidenz der durch Nage-, Wild- und Nutztiere übertragenen Leptospirose in Niedersachsen. Datengrundlage: NLGA.

- Neben diesen endemisch vorkommenden, vektorübertragenen Infektionserregern, unterliegen u. a. auch folgende vektorübertragene Erreger der Meldepflicht: West-Nil-, Dengue- und Chikungunyavirus sowie die Erreger der Malaria. Hiervon sind in Niedersachsen allerdings bisher ausschließlich im Ausland erworbene und somit allochthone Infektionen gemeldet worden, die nach der Rückkehr zu bzw. Einreise nach Deutschland nachgewiesen wurden. Somit geben diese Meldungen bisher keine Hinweise auf autochthone Infektionen und ein einheimisches Vorkommen dieser Infektionserreger. Daher ergibt sich bislang auch kein Bezug dieser Meldungen zur klimatischen Situation in Niedersachsen bzw. Deutschland, so dass auf deren Darstellung verzichtet wird.

5.

WASSER





INDIKATOREN IN DER ÜBERSICHT



Cluster Wasser

Handlungsfeld Wasserwirtschaft

Grundwasserstand
Grundwasserneubildung
Hochwassertage
Niedrigwassertage (NWT)
Mittlere Abflusshöhe
Wassertemperaturen in Seen

Handlungsfeld Küstenschutz

Meeresspiegel
Sturmfluten
Entwicklung des Wattenmeeres
Entwässerungsbedarf der Küstenniederungen



WASSERWIRTSCHAFT





5.1 Grundwasserstand

Der Indikator Grundwasserstand stellt für jedes hydrologische Jahr (November-Oktober) die Anzahl der Grundwasserhochstandsmonate (= Monate mit einer Überschreitung des mittleren höchsten Grundwasserstands) bzw. der Grundwasserdürremonate (= Monate, in denen der Grundwasserstand unterhalb des mittleren niedrigsten Grundwasserstands liegt) dar. Ergänzend werden extreme Grundwasserhochstands- und Grundwasserdürremonate ausgewiesen. Der Grundwasserstand ergibt sich dynamisch aus dem Wasserzufluss über die Grundwasserneubildung (abhängig von Niederschlag und Verdunstung), dem Abfluss in die Oberflächengewässer (abhängig vom Grundwasserstand selbst) und den Entnahmen in einem Gebiet. Abhängig von Witterung und Klima schwanken die Grundwasserstände saisonal und über mehrjährige Zeiträume. Veränderungen der Grundwasserstände sind somit ein Indikator für Veränderungen im Landschaftswasserhaushalt, die sich unter anderem als Folge des Klimawandels ergeben.

Veränderungen der Grundwasserstände haben eine direkte Auswirkung auf grundwasserabhängige Ökosysteme. Im Sommer stellt das Grundwasser den Hauptanteil am Abfluss von Oberflächengewässern und stützt hier den Abfluss auch in Trockenphasen. Feuchtgebiete (Feuchtwiesen, Bruchwälder, Moore, etc.) sind auf den Kontakt zum Grundwasser angewiesen. Durch eine Absenkung des Grundwassers außerhalb der langjährigen Schwankungsbreiten können Schäden an den Ökosystemen entstehen. Auch Weiden, Äcker und Waldflächen können einen Teil ihres Wasserhaushalts bei geringen Flurabständen aus dem Grundwasser decken. Darüber hinaus sind Grundwasserstandsveränderungen ein Indikator für Veränderungen des Wasserhaushalts einerseits und des anthropogenen Nutzungsdrucks andererseits. Über längere Zeiträume fallende Grundwasserstände deuten darauf hin, dass die grundwasserbürtigen Abflüsse sowie die Entnahmen nicht mehr ausreichend durch die Neubildung ausgeglichen werden, sei es durch einen Mangel an Neubildung oder zu hohe Entnahmen.

In Niedersachsen wird Trinkwasser überwiegend aus Grundwasser gewonnen. In manchen Regionen besteht ein hoher Bedarf für Feldberegnung, der in der Zukunft aufgrund steigender Temperaturen und damit einhergehender Verdunstung massiv ansteigen wird. Weitere Faktoren (wie z. B. Entwässerung, Landnutzungsänderungen, Versiegelung) tragen ebenfalls zu Veränderungen im Landschaftswasserhaushalt und damit der Grundwasserstände bei. Längere und häufigere Trockenphasen führen dabei zu wiederholten Belastungen des Grundwassers und können Nutzungskonflikte befeuern. Auch im Hinblick auf die mittel- bis langfristige wasserwirtschaftliche Planung ist Konfliktpotential vorhanden.

- In den 1980er Jahren lagen die Grundwasserstände auf einem höheren Niveau als im Durchschnitt des Referenzzeitraums 1991-2020.
- Seit den 2010er Jahren zeigt sich eine Tendenz zu trockeneren Verhältnissen und niedrigeren Grundwasserständen.
- Die Dürrejahre 2018 und 2019 führen zu einem deutlichen Absinken der Grundwasserstände. Durchschnittliche Verhältnisse sind 2021 noch nicht wieder erreicht.

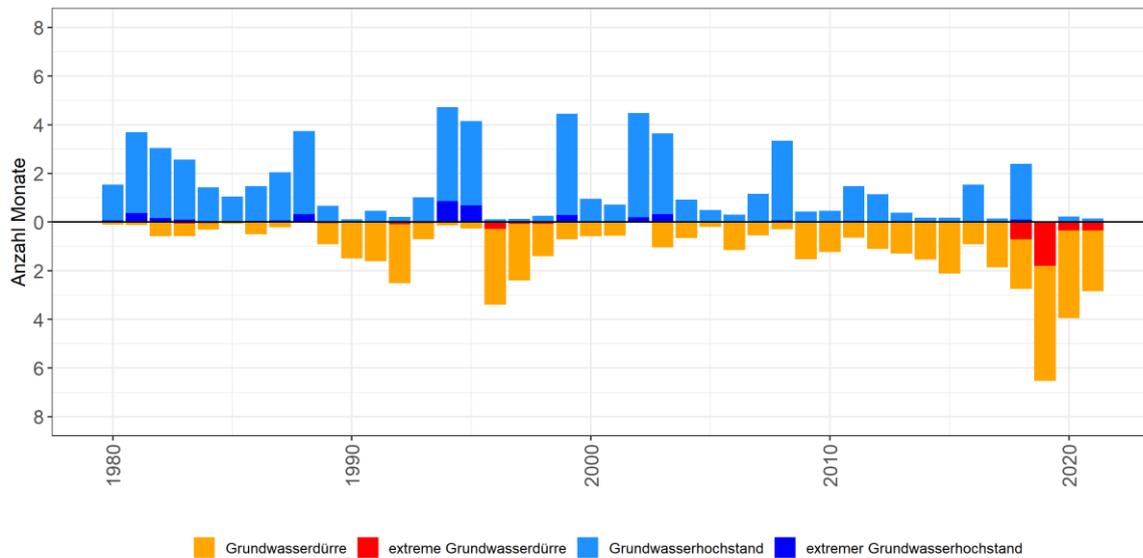


Abbildung 32: Anzahl der Grundwasserdürremonate (orange) und Grundwasserhochstandsmonate (blau).

Die Auswertungen zeigen die Veränderung der Grundwasserstände in den letzten 40 Jahren. In den 1980er Jahren wurden jährlich 1-4 Grundwasserhochstandsmonate erreicht, Grundwasserdürremonate traten praktisch nicht auf. Zwei Trockenphasen mit Grundwasserdürren Anfang und Ende der 90er Jahre wurden durch deutliche Grundwasserhochstandsphasen Mitte der 90er Jahre und in den 2000er Jahren ausgeglichen. Ab 2009 traten kaum noch Jahre mit mehr als zwei Grundwasserhochstandsmonaten auf. Dafür wurden bis 2017 regelmäßig 1-2 Grundwasserdürremonate erreicht. Das extreme Dürrejahr 2018 hat zwar infolge der hohen Grundwasserstände im Frühjahr 2018 „nur“ drei Grundwasserdürremonate, zeigt aber erstmals eine extreme Grundwasserdürresituation. Im folgenden Dürrejahr 2019 wurden im Schnitt > 6 Grundwasserdürremonate erreicht, davon zwei extreme Grundwasserdürremonate. 2020 bis 2021 zeigt sich eine geringfügige Abschwächung der Grundwasserdürresituation, ein niedriges Grundwasserstands-niveau bleibt jedoch insgesamt erhalten.

Vergleichbare Entwicklungen zeigen sich in den einzelnen Klimaregionen Niedersachsens. Insbesondere in der letzten Dekade zeigt sich eine deutliche Absenkung der Grundwasserstände anhand der Zunahme der Grundwasserdürremonate bzw. der Abnahme der Grundwasserhochstandsmonate.

Tabelle 18: Entwicklung der Grundwasserhochstandssituation (unten) bzw. der Grundwasserdürresituation (oben) in den Klimaregionen über die Dekaden ab 1980.

Durchschnittliche Anzahl Grundwasserdürremonate pro Jahr über die Dekade	Anzahl Messstellen	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2019
Küste	29	0.6	1.4	0.5	1.9
Östl. Flachland	35	0.3	1.4	0.8	1.7
Westl. Flachland	83	0.3	1.6	0.6	2.1
Berg- und Hügelland	14	0.2	1.0	0.7	2
Harz	0	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Niedersachsen	161	0.3	1.5	0.7	2

Durchschnittliche Anzahl Grundwasserhochstandsmonate pro Jahr über die Dekade	Anzahl Messstellen	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2010-2019
Küste	29	1.8	1.4	1.5	0.9
Östl. Flachland	35	1.7	1.3	1.7	1.2
Westl. Flachland	83	2.6	1.8	1.7	0.6
Berg- und Hügelland	14	1.1	1.1	1.5	0.8
Harz	0	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Niedersachsen	161	2.1	1.6	1.6	0.8

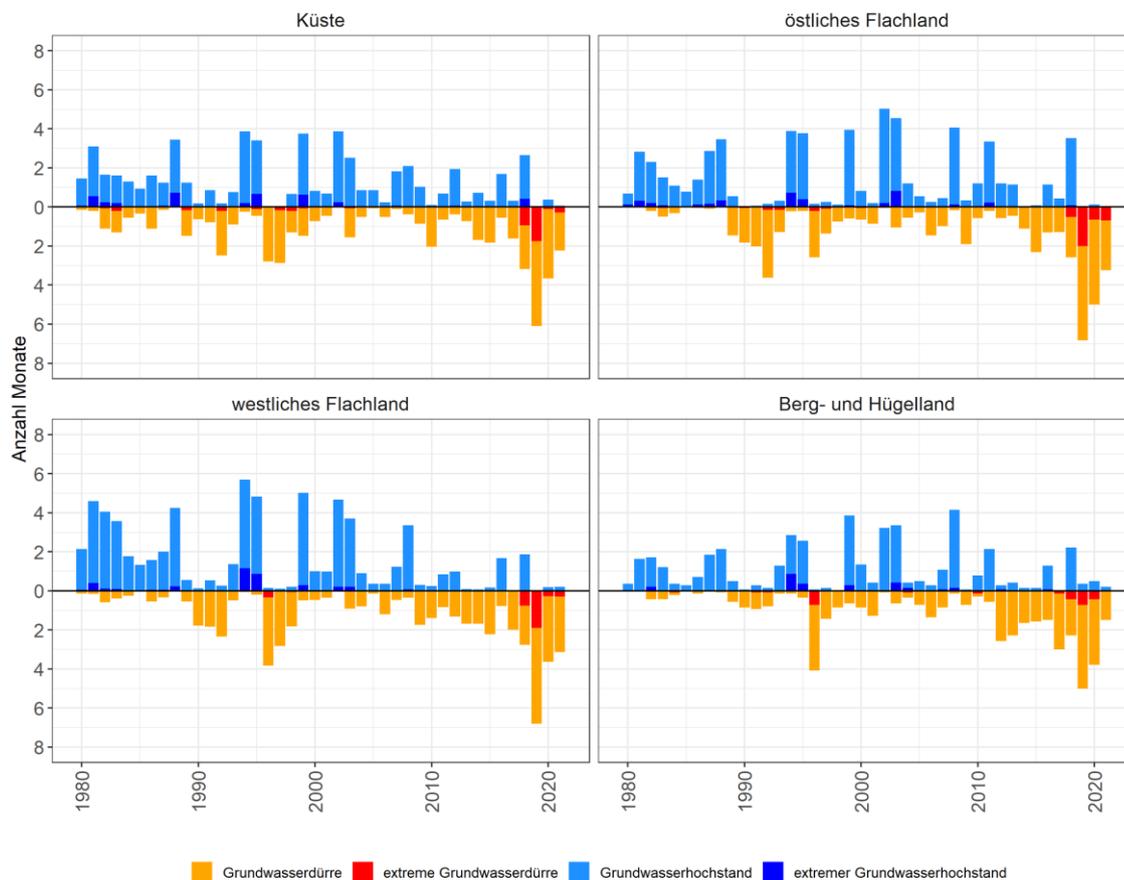


Abbildung 33: Anzahl der Grundwasserdürremonate (orange) und Grundwasserhochstandsmonate (blau) für die 4 Klimaregionen in Niedersachsen (Klimaregion Harz: keine Messstellen).



5.2 Grundwasserneubildung

Grundwasserneubildung bezeichnet den unterirdisch ablaufenden Vorgang, der zur Auffüllung der Grundwasserreserven führt. Da in Niedersachsen der Großteil des Trinkwassers aus dem Grundwasser gewonnen wird, Industrie und Gewerbe vielfach auf Wasser in ausreichender Qualität und Quantität angewiesen sind und in steigendem Maß in der Landwirtschaft Feldberegnung notwendig ist, hat Grundwasserneubildung sowohl für den Menschen als auch für die Natur eine große Bedeutung und steht im Licht wachsender Aufmerksamkeit. Die Grundwasserneubildung findet maßgeblich in den Herbst- und Wintermonaten durch Versickerung des Niederschlags statt. Dann nimmt die Vegetation weniger Wasser auf. In den Frühjahrs- und Sommermonaten benötigt die Vegetation viel Wasser, was zu hohen Verlusten in Form von Verdunstung führt. Dabei spielen viele Faktoren wie zum Beispiel Bodeneigenschaften und Lufttemperatur zusammen. Grundwasser bildet sich zum Teil auch durch Versickerung von Oberflächenwasser, was jedoch nicht landesweit quantifiziert werden kann. Die in diesem Beitrag dargestellten Werte zeigen die flächenhafte Grundwasserneubildung aus Niederschlag berechnet mit dem Modell mGROWA.

- In der Auswertung der 30-jährigen Zeiträume zeigt sich kaum eine Änderung von 1961-1990 zu 1991-2020 (-1%).
- Die Grundwasserneubildung war durchgängig von 2011 bis 2020 geringer als das langjährige Mittel 1961-1990

Die Grundwasserneubildungshöhe hat sich von 1961 bis 2020 linear um 35 mm verringert (Abbildung 34). Gleichzeitig weisen die Zeiträume 1961-1990 und 1991-2020 mit 138 mm und 136 mm kaum einen Unterschied auf: Anhand der Auswertung von 30-jährigen Zeiträumen fand keine signifikante Änderung der Grundwasserneubildung durch den Klimawandel statt. Wie passt das zusammen? Bei der Betrachtung der Einzeljahre zeigt sich, dass im niedersachsenweiten Durchschnitt von 2011 bis 2020 ausschließlich Werte unter dem 30-jährigem Mittel von 1961-1990 ermittelt wurden. Jedoch hatte die erste Hälfte des Zeitraums 1991-2020 überwiegend eine überdurchschnittliche Grundwasserneubildung. Somit sind die letzten zehn Jahre des

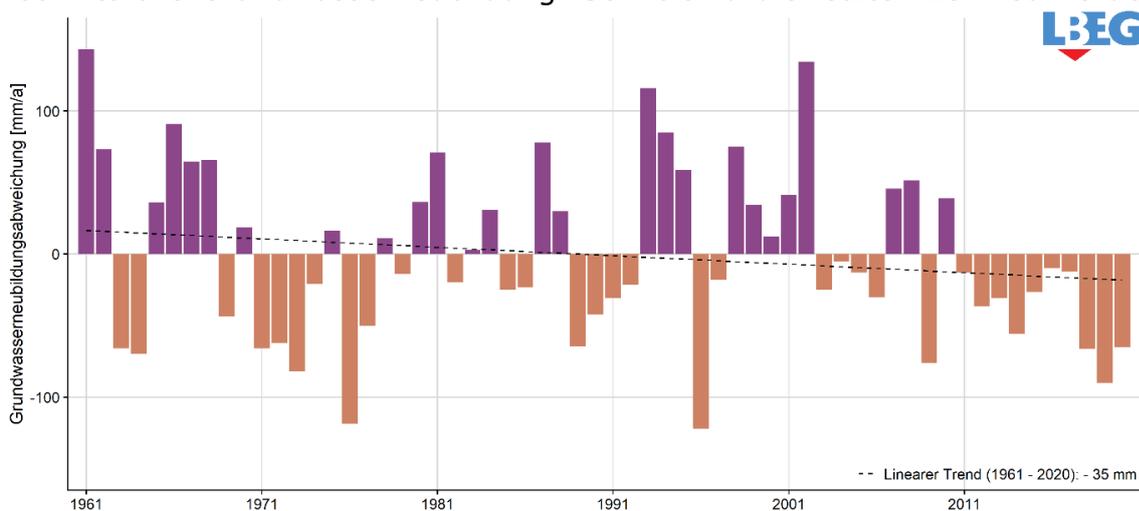


Abbildung 34: Jährliche Abweichung der Grundwasserneubildungshöhe gegenüber dem Mittel 1961-1990 von 1961-2020 für Niedersachsen. Lila Balken kennzeichnen ein Jahr mit mehr Grundwasserneubildung als 1961-1990 und braune Balken Jahre mit weniger Grundwasserneubildung als 1961-1990. Die gestrichelte schwarze Linie zeigt den linearen Trend. Datengrundlage: mGROWA22 (LBEG).

Auswertungszeitraums unterdurchschnittlich, allerdings nicht lange und stark genug, um statistisch durch eine Klimaänderung verursacht zu sein. In einigen Regionen hat das niederschlagsreiche Jahr 2017 auch zu einer Unterbrechung dieses Trends geführt. Dennoch ist das im Landesmittel betrachtet die längste Periode seit 1961 mit unterdurchschnittlicher Grundwasserneubildung. Das kann sich auf die Grundwasserstände und damit auf die Grundwasserressource auswirken.

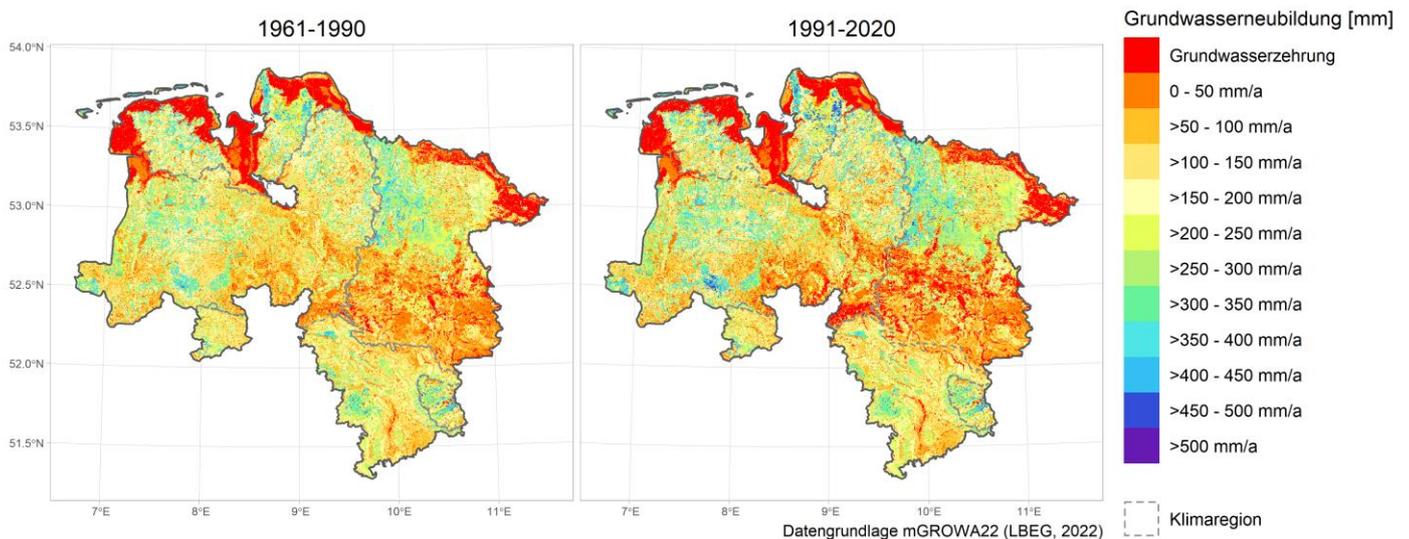


Abbildung 35: Mittlere Grundwasserneubildungshöhe in 1961-1990 (links) und 1991-2020 (rechts) für Niedersachsen mit Angabe der Klimaregionen (grau gestrichelt). Datengrundlage: mGROWA22 (LBEG).

Da viele Faktoren die Grundwasserneubildung beeinflussen, zeigen sich deutliche regionale Unterschiede (Abbildung 35). Während der Harz im Zeitraum 1961-1990 mit 226 mm/a die neubildungsreichste Region Niedersachsens ist, zeigen das östliche Flachland mit 120 mm/a und die Küste mit 107 mm/a deutlich geringere Werte (Tabelle 19). Dafür sind vor allem die im Harz deutlich höheren und im östlichen Flachland geringeren Niederschlagsmengen verantwortlich. An der Küste spielt anthropogene Entwässerung eine entscheidende Rolle, da hier große Mengen versickerndes Wasser drainiert und dann in die Elbe und in die Nordsee abgepumpt werden, um die Kulturlandschaft zu erhalten. In der Auswertung der 30-jährigen Zeiträume zeichnen sich für alle Zeiträume nur geringe Änderungen und kein eindeutiger Trend ab: Während sich die Grundwasserneubildung zu 1971-2000 leicht verringerte, ist der niederschlagsreichste Zeitraum 1981-2010 auch der mit der höchsten Grundwasserneubildung (+9 %). Die prozentual höchste Zunahme 1991-2020 im Verhältnis zu 1961-1990 ist im Harz zu beobachten (+2 %) und die stärkste Abnahme ist im Berg- und Hügelland zu verzeichnen (-4 %).

Tabelle 19: Mittlere Grundwasserneubildungshöhe 1961-1990 in mm und deren Veränderung zu 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 für Niedersachsen und die Klimaregionen Niedersachsens. In Klammern ist die Änderung in Prozent aufgeführt. Datengrundlage: mGROWA22 (LBEG).

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Küste	107 mm	-8 mm (-8 %)	+6 mm (+5 %)	-2 mm (-2 %)
Östl. Flachland	120 mm	-8 mm (-7 %)	+10 mm (+9 %)	-2 mm (-1 %)
Westl. Flachland	152 mm	-1 mm (-1 %)	+16 mm (+11 %)	-1 mm (0 %)
Berg- und Hügelland	160 mm	-1 mm (-1 %)	+15 mm (+10 %)	-6 mm (-4 %)
Harz	226 mm	+2 mm (+1 %)	+24 mm (+11 %)	+4 mm (+2 %)
Niedersachsen	138 mm	-4 mm (-3 %)	+13 mm (+9 %)	-2 mm (-1 %)



5.3 Hochwassertage

Hochwasserereignisse entstehen häufig, wenn große Regenmengen fallen, die nicht oder nur zum Teil im Boden versickern können. Das Wasser fließt dann verstärkt an der Oberfläche dem nächstgelegenen Vorfluter zu. Dadurch steigen die Wasserstände im Gewässerbett relativ schnell an, bis der Fluss schließlich über die Ufer tritt. Begünstigt wird die Entstehung von solchen Überschwemmungen einerseits durch Niederschläge mit hoher Intensität und/oder langer Dauer. Andererseits können auch die Verhältnisse im Einzugsgebiet von Fließgewässern



Abbildung 36: Große Überschwemmungen bei Hochwasserereignissen können Menschen gefährden und erhebliche Schäden an Sachgütern verursachen (Bildrechte: NLWKN).

das Versickern des Regens vermindern. Hierbei spielt z. B. die Versiegelung von Flächen eine Rolle, die Neigung des Geländes (steile Täler), die Landnutzungsform (Landwirtschaft, Wald, etc.), die Vorfeuchte im Gebiet oder gefrorene Böden im Winter bzw. Frühjahr. Zu beachten ist zudem die Speicherung von Niederschlag als Schnee, welcher durch Schmelzprozesse (z. B. im Frühjahr) ebenfalls Hochwasser verursachen oder diese zusätzlich verstärken kann. Im Zuge des Klimawandels wird mit einer Zunahme extremer Regenereignisse gerechnet mit entsprechenden Folgen für die Hochwasserverhältnisse.

Als eine charakterisierende Größe für die Hochwasserverhältnisse in Niedersachsen wird stellvertretend die Anzahl der Hochwassertage (HWT) betrachtet. HWT beschreiben Tage, an denen der Abfluss in einem Fließgewässer größer ausfällt als ein bestimmter Schwellenwert. Diese Schwelle wird durch den langjährigen mittleren Hochwasserabfluss (MHQ von 1961-1990) definiert, welcher sich als Mittelwert aus den jeweils maximalen Abflussscheiteln (HQ) der einzelnen Wasserhaushaltsjahre (November bis Oktober) berechnet. Damit beschreibt dieser Indikator eine ausgeprägte Hochwassersituation.

Hochwasser sind ein natürliches Phänomen. Die Tiere und Pflanzen im Wirkungsbereich von Flüssen haben sich an die zeitweisen Überschwemmungen angepasst. Der Mensch versucht durch technische Maßnahmen (z. B. Deiche) und vorsorgende Maßnahmen (z. B. Überschwemmungsgebiete) das Risiko von Schäden an Infrastrukturen sowie die Gefährdung von Personen zu mindern. Eine Verschärfung der Hochwasserverhältnisse kann negative Effekte sowohl auf die Natur als auch auf verschiedene anthropogene Handlungsfelder haben. Längere bzw. häufigere Überflutungen können sowohl die natürliche Vegetation als auch landwirtschaftliche Feldfrüchte schädigen. Gleichzei-

- Seit den 1960er Jahren kam es in Niedersachsen zu einer Abnahme der Hochwassertage, vor allem im Winter.
- Schwerpunkte bilden dabei die östlichen bzw. zentralen Landesteile.

tig kann je nach Jahreszeit eine erhöhte Erosion bzw. Sedimentation auf Flächen erfolgen und z. B. im Agrarsektor Ertragseinbußen mit sich bringen. In Siedlungsbereichen werden bei steigenden Überflutungen die Bausubstanz von Gebäuden sowie die Verkehrsinfrastruktur stärker geschädigt. Im Bereich von Industrie und Gewerbe können Produktionsausfälle oder gar die Schädigung von Maschinen und Waren die Folge von Hochwasserereignissen sein. Im schlimmsten Fall besteht sogar eine Gefahr für Menschenleben.

Tabelle 20: Die 10 Jahre mit der durchschnittlich höchsten Anzahl an Hochwassertagen (zwischen 1961 und 2017) an Gewässern in Niedersachsen.

Jahr	Hochwassertage
1961	16 Tage
1994	15 Tage
1966	13 Tage
2002	12 Tage
1962	11 Tage
1981	11 Tage
1968	10 Tage
1987	9 Tage
1998	8 Tage
1965	8 Tage

die Folge von Hochwasserereignissen sein. Im schlimmsten Fall besteht sogar eine Gefahr für Menschenleben.

Grundlage der Analysen bildeten Tageswert-Zeitreihen von 63 ausgewählten Pegeln an niedersächsischen Fließgewässern im Zeitraum von 1961 bis 2017, deren Abflüsse möglichst wenig anthropogen beeinflusst werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass es im gesamten Betrachtungszeitraum einen stetigen Wechsel zwischen Phasen mit mehr HWT im Jahr und solchen mit deutlich weniger HWT gegeben hat. Auch wenn sich die Anzahl an Tagen mit Hochwasser in „nassen“ Jahren nur relativ wenig verändert hat, so haben die Phasen aufeinanderfolgender Jahre mit wenigen HWT seit Ende der 1980er

Hochwasser in „nassen“ Jahren nur relativ wenig verändert hat, so haben die Phasen aufeinanderfolgender Jahre mit wenigen HWT seit Ende der 1980er

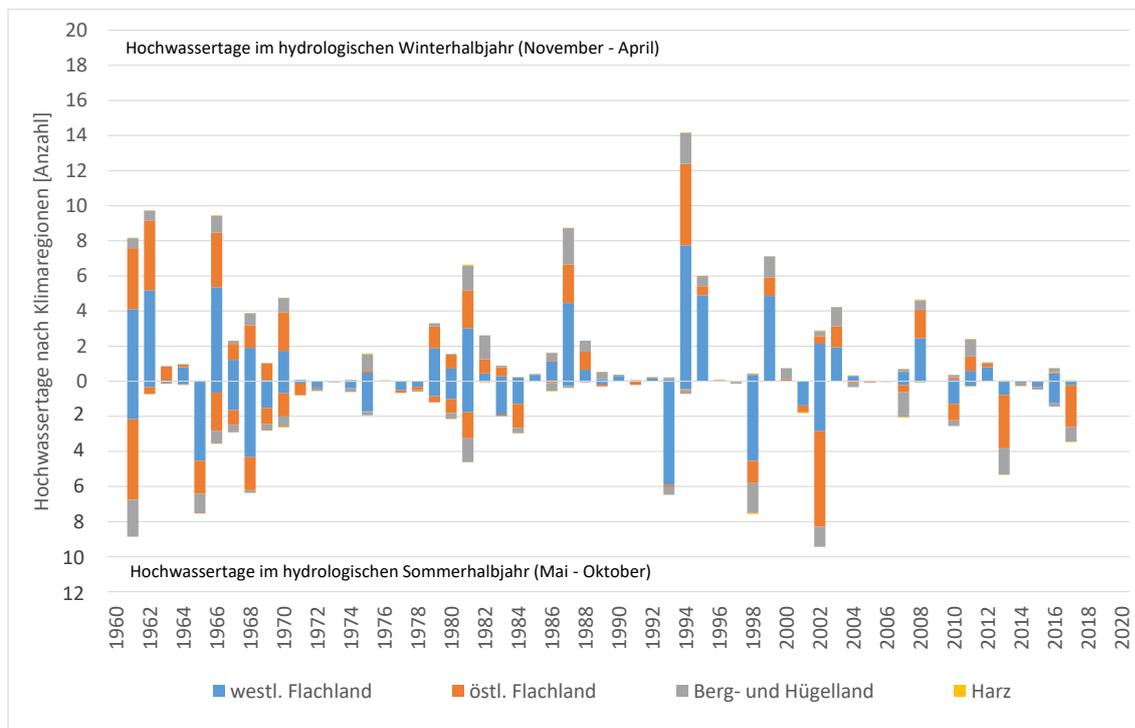


Abbildung 37: Zeitliche Entwicklung der Hochwassertage in Niedersachsen gemittelt über alle betrachteten Pegel und unterteilt nach Klimaregionen.

Jahre etwas zugenommen. Dementsprechend zeigt sich in Niedersachsen sowohl im Sommerhalbjahr als auch im Winterhalbjahr ein leicht abnehmender Trend, wobei dieser im Winter etwas stärker ausgeprägt erscheint. Regionale Schwerpunkte der Abnahmen liegen vor allem im östlichen Flachland (entlang von Aller und Oker), zum Teil aber auch im westlichen Flachland sowie im Berg- und Hügelland. Zunahmen bzgl. der Hochwassertage sind nur an vereinzelten Pegeln mit häufig mittleren bis kleinen (Teil-)Einzugsgebieten ($\leq 200 \text{ km}^2$) zu erkennen. Diese Beobachtungen belegen bislang noch keinen wesentlichen Einfluss des Klimawandels im Hinblick auf eine perspektivisch zu erwartende Steigerung der Tage mit Hochwasser.

Tabelle 21: Mittlere Veränderung der Summe von Hochwassertagen zu 1961-1990 für verschiedene Zeiträume und Regionen Niedersachsens im Winterhalbjahr November bis April (alle Werte pro Region flächengewichtet und gerundet).

	Anzahl Pegel	Σ EZG* [km ²]	1961-1990	Änderung zu 1961-1990		
				1971-2000	1981-2010	1988-2017
Küste	---	---	---	---	---	---
Östl. Flachland	15	7007	70	-26 (-37 %)	-23 (-33 %)	-36 (-51 %)
Westl. Flachland	22	8231	86	-7 (-8 %)	+3 (+3 %)	-16 (-19 %)
Berg- und Hügelland	21	3772	46	-3 (-7 %)	+4 (+9 %)	-12 (-26 %)
Harz	5	160	32	+1 (+3 %)	+5 (+16 %)	+3 (+9 %)

* Summe der Teileinzugsgebiete (jeweils abzgl. stromauf gelegener Pegel)

Tabelle 22: Mittlere Veränderung der Summe von Hochwassertagen zu 1961-1990 für verschiedene Zeiträume und Regionen Niedersachsens im Sommerhalbjahr Mai bis Oktober (alle Werte pro Region flächengewichtet und gerundet).

	Anzahl Pegel	Σ EZG* [km ²]	1961-1990	Änderung zu 1961-1990		
				1971-2000	1981-2010	1988-2017
Küste	---	---	---	---	---	---
Östl. Flachland	15	7007	54	-34 (-63 %)	-19 (-35 %)	-12 (-22 %)
Westl. Flachland	22	8231	66	-13 (-20 %)	-12 (-18 %)	-17 (-26 %)
Berg- und Hügelland	21	3772	29	-7 (-24 %)	-1 (-3 %)	-1 (-3 %)
Harz	5	160	27	-7 (-26 %)	-2 (-7 %)	-1 (-4 %)

* Summe der Teileinzugsgebiete (jeweils abzgl. stromauf gelegener Pegel)



5.4 Niedrigwassertage

Niedrigwasserabflüsse in Fließgewässern werden vorrangig durch Zuflüsse aus dem Grundwasser gespeist. Hierbei spielen neben der Beschaffenheit des Geländes sowie des Untergrundes auch klimatische Einflüsse eine wichtige Rolle. Von besonderer Bedeutung sind die Niederschlagsverhältnisse und die (temperaturbedingte) Verdunstung. Im Zuge des Klimawandels ist in Niedersachsen mit einer deutlichen Zunahme der Temperaturen zu rechnen sowie mit einer tendenziellen Verschiebung der Niederschläge in den Winter.



Abbildung 38: Niedrigwasser kann viele Nutzungen in und an Fließgewässern beeinträchtigen wie hier an der Aller 2018 (Bildrechte NLWKN).

Dadurch kann sich die Niedrigwassersituation vor allem im Sommer zunehmend verschärfen.

Als eine charakterisierende Größe für die Niedrigwasserverhältnisse wird stellvertretend die Anzahl der Niedrigwassertage (NWT) je Pegel betrachtet. NWT beschreiben die Tage, an denen der Abfluss in einem Fließgewässer geringer ausfällt als ein bestimmter Schwellenwert. Dieser wird durch den langjährigen mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ von 1961-1990) definiert, welcher sich als Mittelwert aus den jeweils niedrigsten Abflüssen (NQ) der einzelnen Wasserhaushaltsjahre (April bis März) berechnet. Damit beschreibt dieser Indikator eine besonders ausgeprägte Niedrigwassersituation.

Veränderte Niedrigwasserverhältnisse können Auswirkungen auf verschiedene Bereiche der Fließgewässer bzw. der Wasserwirtschaft haben und auch andere Handlungsfelder betreffen. So sinken bei niedrigen Wasserständen die Fließgeschwindigkeiten im Gewässer. Dies kann zu einer verstärkten Ablagerung der im Wasser transportierten Feststoffe (z. B. Kies und Sand) führen, wodurch wiederum verschiedene Lebensräume von Wasserorganismen sowie ggf. die Schiffbarkeit der Gewässer beeinflusst wird. Gleichzeitig erwärmt sich ein Fließgewässer stärker, wenn es weniger Wasser führt. Dies hat zur Folge, dass einerseits die Sauerstoffkonzentration sinkt und so die im Wasser lebenden Organismen gefährdet werden. Andererseits können auch die Wasserentnahmen für Kühlzwecke (Kraftwerke, Industrie) bei hohen Wassertemperaturen und/oder

Tabelle 23: Die 10 Jahre mit der durchschnittlich höchsten Anzahl an Niedrigwassertagen (zwischen 1961 und 2017) an Gewässern in Niedersachsen.

Jahr	Niedrigwassertage
1976	115 Tage
1992	94 Tage
1996	88 Tage
1977	74 Tage
2015	73 Tage
1973	73 Tage
1991	70 Tage
1964	68 Tage
2012	67 Tage
1990	64 Tage

- Seit den 1960er Jahren kam es in Niedersachsen zu einer Zunahme der Tage mit Niedrigwasser, vor allem im Sommer.
- Schwerpunkte bilden dabei die östlichen bzw. südöstlichen Landesteile.

geringer Wasserführung eingeschränkt werden. Niedrigwasser bedeutet auch, dass Einleitungen von Kläranlagen oder solche durch die Landwirtschaft weniger verdünnt werden und es zu einer erhöhten Schad- bzw. Nährstoffkonzentration im Wasser kommt. Das verschlechtert die Wasserqualität und kann ebenso zu einer Gefährdung der Wasserorganismen führen und darüber hinaus die Trinkwassergewinnung beeinflussen. Zu guter Letzt bedeutet Niedrigwasser auch verringerte Wasserstände, die zu Einschränkungen im Schiffsverkehr führen können.

Grundlage der Analysen bildeten Zeitreihen mit Tagesmittelwerten von 61 ausgewählten Pegeln an niedersächsischen Fließgewässern im Zeitraum von 1961 bis 2017, deren Abflüsse vergleichsweise wenig anthropogen beeinflusst werden, was jedoch im Kontext von Niedrigwasser häufig nur schwer auszuschließen ist. Demnach variierte bis Ende der 1980er Jahre die Anzahl der NWT von Jahr zu Jahr relativ stark. Seitdem liegt die Anzahl der NWT pro Jahr jedoch auf einem verhältnismäßig hohen Niveau bei nur vereinzelt Jahren mit wenigen NWT (vgl. auch Tabelle 23). Dies deutet auch auf eine Verlängerung der Dauer von Niedrigwasserphasen hin. Niedersachsenweit haben die NWT im Betrachtungszeitraum vor allem im Sommerhalbjahr deutlich zugenommen, aber auch im Winterhalbjahr gab es entsprechende Entwicklungen in abgeschwächter Form. Regional konzentrieren sich die Zunahmen auf die östliche Landeshälfte entlang von Aller, Leine und Oker sowie ihren Zuflüssen. In den westlichen Landesteilen sind die Tendenzen uneinheitlicher und weisen u. a. an der Vechte, Hase, Hunte und Großen Aue regional auf eine Abnahme der NWT hin.

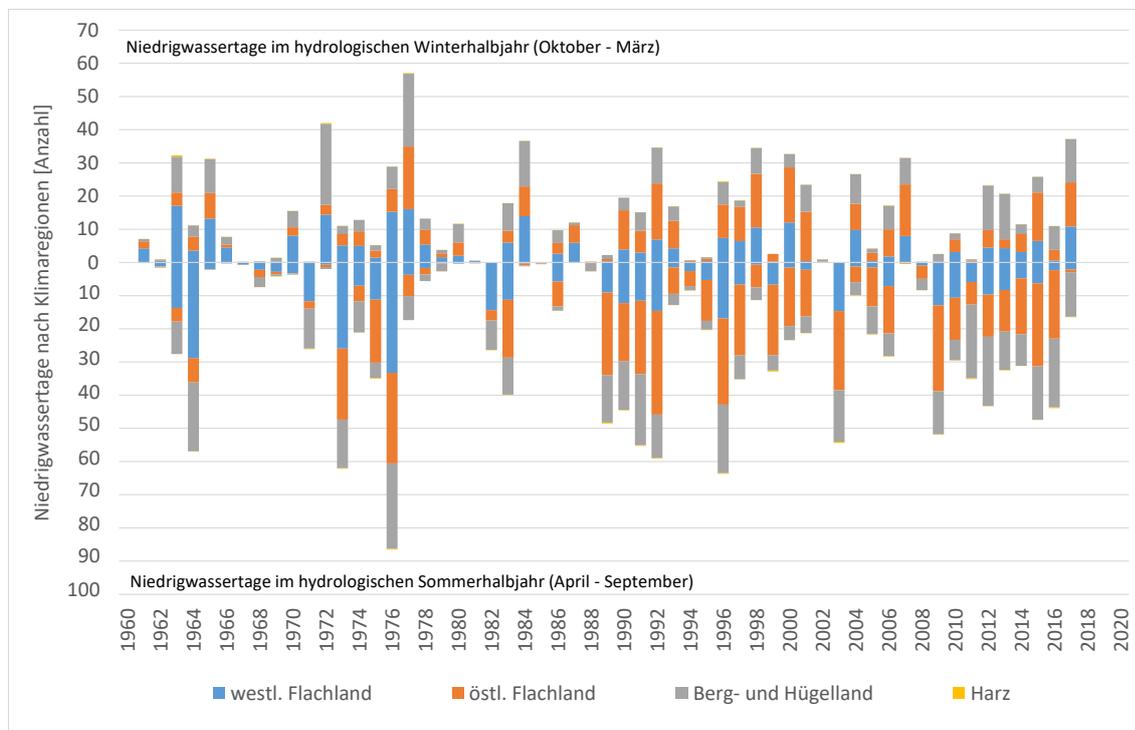


Abbildung 39: Zeitliche Entwicklung der Niedrigwassertage in Niedersachsen gemittelt über alle betrachteten Pegel.

Tabelle 24: Mittlere Veränderung der Anzahl von Niedrigwassertagen (im Jahr) zu 1961-1990 für verschiedene Zeiträume und Regionen Niedersachsens im Winterhalbjahr Oktober bis März (alle Werte pro Region flächengewichtet und gerundet).

	Anzahl Pegel	Σ EZG* [km ²]	Änderung zu 1961-1990			
			1961-1990	1971-2000	1981-2010	1988-2017
Küste	---	---	---	---	---	---
Östl. Flachland	12	6308	10	+6 (+60 %)	+7 (+70 %)	+9 (+90 %)
Westl. Flachland	19	6758	14	-1 (-7 %)	-4 (-29 %)	-4 (-29 %)
Berg- und Hügelland	20	4761	17	+1 (+6 %)	-3 (-18 %)	0 (0 %)
Harz	3	74	10	-2 (-20 %)	-4 (-40 %)	-2 (-20 %)

* Summe der Teileinzugsgebiete (jeweils abzgl. stromauf gelegener Pegel)

Tabelle 25: Mittlere Veränderung der Anzahl von Niedrigwassertagen (im Jahr) zu 1961-1990 für verschiedene Zeiträume und Regionen Niedersachsens im Sommerhalbjahr April bis September (alle Werte pro Region flächengewichtet und gerundet).

	Anzahl Pegel	Σ EZG* [km ²]	Änderung zu 1961-1990			
			1961-1990	1971-2000	1981-2010	1988-2017
Küste	---	---	---	---	---	---
Östl. Flachland	14	6608	17	+15 (+88 %)	+18 (+106 %)	+24 (+141 %)
Westl. Flachland	20	7343	18	+1 (+6 %)	-3 (-17 %)	-2 (-11 %)
Berg- und Hügelland	24	5319	20	+6 (+30 %)	+4 (+20 %)	+15 (+75 %)
Harz	3	74	16	+9 (+56 %)	+12 (+75 %)	+18 (+113 %)

* Summe der Teileinzugsgebiete (jeweils abzgl. stromauf gelegener Pegel)



5.5 Mittlere Abflusshöhe

Die mittleren Abflussverhältnisse können als Indikator für das allgemeine Wasserdargebot gesehen werden, welches für Bewirtschaftungszwecke und Nutzungen generell zur Verfügung steht. Die Abflüsse der Fließgewässer werden im Flachland im Wesentlichen von den Niederschlagsmengen und deren



Abbildung 40: Mittlere Abflussverhältnisse, wie hier an der Harle in Ostfriesland, geben einen Eindruck der allgemeinen Wasserverfügbarkeit (Bildrechte: NLWKN).

jahreszeitlicher Verteilung geprägt. Man spricht hierbei von einem pluvialen Abflussregime. Weitere Einflussfaktoren sind die Verdunstung und ggf. Schneeschmelzen (v. a. im Bereich des Harzes) sowie das vorherrschende Relief und die Böden (bzw. deren Nutzung) im Einzugsgebiet. Somit sind die resultierenden Abflüsse im Winter und Frühjahr zumeist größer, während sie im Sommer eher geringer ausfallen. Durch die im Zuge des Klimawandels zu erwartende Zunahme der Niederschläge im Winter bei gleichzeitig

- Seit den 1960er Jahren kam es in Niedersachsen zu einer Reduzierung der mittleren Abflüsse, vor allem im Sommer.
- Schwerpunkte bilden dabei die östlichen bzw. südöstlichen Landesteile.

ganzjähriger Zunahme der Temperatur ist tendenziell auch mit einer Verschiebung der entsprechenden mittleren Abflussmengen in den Winter zu rechnen.

Als eine charakterisierende Größe für die allgemeinen Abflussverhältnisse wird der Mittelwasserabfluss (MQ) betrachtet. Setzt man diesen in Relation zum jeweils zugehörigen Einzugsgebiet eines Pegels sowie zu einer bestimmten Zeitspanne, spricht man von der sog. Abflusshöhe. Diese wird häufig in Litern pro Quadratmeter bzw. in Millimetern ausgedrückt und kann damit im

Tabelle 26: Die 10 Jahre mit der durchschnittlich höchsten Abflusshöhe (links) und niedrigsten Abflusshöhen (rechts) bei MQ (zwischen 1961 und 2017) an Gewässern in Niedersachsen.

Höchste Abflusshöhen		Niedrigste Abflusshöhen	
Jahr	Abflusshöhe	Jahr	Abflusshöhe
1961	431 mm	1996	150 mm
1994	427 mm	1976	181 mm
1966	424 mm	1977	186 mm
1981	395 mm	1973	191 mm
1967	384 mm	1964	192 mm
2002	382 mm	1972	192 mm
1962	382 mm	2014	199 mm
1987	376 mm	1963	207 mm
1995	366 mm	2009	208 mm
1999	351 mm	1991	208 mm

direkten Zusammenhang mit den Niederschlagshöhen gesehen werden. Die Betrachtungen an dieser Stelle erfolgen für Wasserhaushaltsjahre (November bis Oktober).

Veränderungen der mittleren Abflussverhältnisse (auch im Kontext des Klimawandels) weisen auf Veränderungen im allgemeinen Wasserhaushalt hin und können Auswirkungen auf verschiedene Bereiche der Bewirtschaftung und Nutzung von Fließgewässern haben. Dies betrifft vor allem die verfügbaren Wassermengen für die industrielle Kühl- und Brauchwassernutzung, die landwirtschaftliche Bewässerung sowie die Energiegewinnung durch Wasserkraft. Auch die Versorgung mit Trinkwasser kann betroffen sein, wenn dieses durch Uferfiltrat, d. h. Brunnen in unmittelbarer Nähe von Flüssen oder Seen gewonnen wird. Daneben kann es auch zu Beeinträchtigungen der Gewässerökologie kommen, wenn sich durch sinkende Abflüsse und damit Wasserstände die Lebensbedingungen für Wasserorganismen nachteilig verändern, z. B. in Form von abnehmender Strömungsgeschwindigkeit, zunehmender Sedimentation oder steigenden Wassertemperaturen. Von besonderer Bedeutung sind die mittleren Abflussverhältnisse auch als Ausgangssituation bei der Entstehung von Hochwasser im Flussbett.

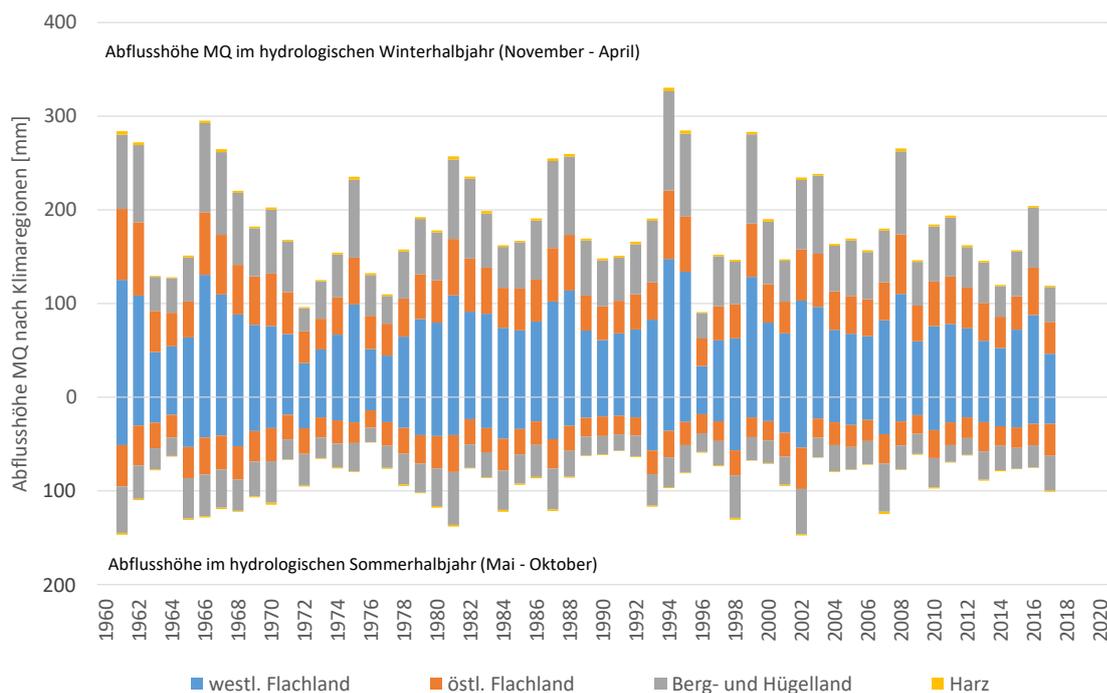


Abbildung 41: Zeitliche Entwicklung der mittleren Abflusshöhe in Niedersachsen gemittelt über alle betrachteten Pegel und unterteilt nach Klimaregionen.

Grundlage der Analysen bildeten Tageswert-Zeitreihen von 62 ausgewählten Pegeln an niedersächsischen Fließgewässern im Zeitraum von 1961 bis 2017, deren Abflüsse vergleichsweise wenig anthropogen beeinflusst werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass es in der Vergangenheit immer wieder einen Wechsel zwischen „nassen“ Jahren mit größeren mittleren Abflusshöhen und

eher „trockeneren“ Jahren mit niedrigeren Abflusshöhen gegeben hat. Insgesamt hat die mittlere Abflusshöhe jedoch sowohl im Winterhalbjahr als auch im Sommerhalbjahr über die letzten Jahrzehnte in Niedersachsen abgenommen, wobei die Rückgänge im Sommer deutlicher ausgefallen sind. Von dem Rückgang sind im Sommerhalbjahr alle betrachteten Regionen und fast alle Pegel betroffen, mit leichten Schwerpunkten im östlichen Flachland. Auffällig sind hierbei die abnehmenden Abflusshöhen vor allem im letzten Zeitabschnitt (1988-2017), selbst ohne Berücksichtigung der Trockenjahre 2018-2020 und 2022. Im Winterhalbjahr sind die Rückgänge der Abflusshöhen etwas moderater, wobei im Harz an den Pegeln oberhalb der Talsperren von Oker und Söse sogar leichte Zunahmen verzeichnet werden konnten. Das Gleiche gilt für einzelne Gewässerabschnitte im westlichen Flachland. Diese Entwicklungen lassen den Schluss zu, dass sich Klimawandel bedingte Veränderungen (steigende Temperaturen/Verdunstung, jahreszeitliche Verschiebung der Niederschläge) in den Abflussverhältnissen in Niedersachsen bereits bemerkbar machen.

Tabelle 27: Mittlere Veränderung der mittleren Abflusshöhe [mm] zu 1961-1990 für verschiedene Zeiträume und Regionen Niedersachsens im Winterhalbjahr November bis April (alle Werte pro Region flächengewichtet und gerundet).

	Anzahl Pegel	Σ EZG* [km ²]	Änderung zu 1961-1990			
			1961-1990	1971-2000	1981-2010	1988-2017
Küste	---	---	---	---	---	---
Östl. Flachland	14	6608	141	-10 (-7 %)	-5 (-4 %)	-12 (-9 %)
Westl. Flachland	21	7481	210	-4 (-2 %)	+10 (+5 %)	-1 (-0 %)
Berg- und Hügelland	24	5319	222	-3 (-1 %)	+13 (+6 %)	-6 (-3 %)
Harz	3	74	560	+32 (+6 %)	+50 (+9 %)	+18 (+3 %)

* Summe der Teileinzugsgebiete (jeweils abzgl. stromauf gelegener Pegel)

Tabelle 28: Mittlere Veränderung der mittleren Abflusshöhe [mm] zu 1961-1990 für verschiedene Zeiträume und Regionen Niedersachsens im Sommerhalbjahr Mai bis Oktober (alle Werte pro Region flächengewichtet und gerundet).

	Anzahl Pegel	Σ EZG* [km ²]	Änderung zu 1961-1990			
			1961- 1990	1971- 2000	1981- 2010	1988- 2017
Küste	---	---	---	---	---	---
Östl. Flachland	14	6608	86	-11 (-13 %)	+10 (+12 %)	-13 (-15 %)
Westl. Flachland	21	7481	86	-7 (-8 %)	-4 (-5 %)	-8 (-9 %)
Berg- und Hü- gelland	24	5319	120	-13 (-11 %)	-9 (-8 %)	-20 (-17 %)
Harz	3	74	296	-32 (-11 %)	-24 (-8 %)	-52 (-18 %)

* Summe der Teileinzugsgebiete (jeweils abzgl. stromauf gelegener Pegel)



5.5 Wassertemperaturen in Seen

Die Wassertemperatur beeinflusst physikalische, biologische und chemische Prozesse in stehenden Gewässern. Die Wassertemperatur wiederum wird direkt von der Lufttemperatur beeinflusst, weshalb von unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels auf die Wassertemperatur und somit dem Ökosystem See auszugehen ist.

Ein Anstieg der Wassertemperatur bewirkt beispielsweise erhöhte Rücklösungsprozesse aus dem Sediment, was zu Nährstoff- und Salzanstieg im Wasser führt. Die Löslichkeit von Sauerstoff ist bei höheren Temperaturen verringert. Steigende Temperaturen bewirken eine Erhöhung der Geschwindigkeit physiologischer Prozesse und wirken sich somit indirekt auf die Saisonalität der Lebensgemeinschaften sowie längerfristig auch auf die Artenzusammensetzung aus. Massenentwicklungen von mikroskopischen Algen und insbesondere potentiell toxischer Cyanobakterien treten häufiger auf. Arten, die an geringere Temperaturen angepasst sind, werden verdrängt und invasive wärmeliebende Arten können sich zunehmend etablieren. Dies alles hat Auswirkungen auf die Ökosystemfunktionen sowie die Nutzbarkeit für Naturschutz, Tourismus, Fischerei und Wasserwirtschaft.

Für den Klimaindikator Wassertemperatur liegen vom Steinhuder Meer und vom Dümmer, den beiden größten Seen in Niedersachsen, Langzeitmessungen vor, die in Hinblick auf Veränderungen analysiert werden können. Das Steinhuder Meer hat eine Fläche von 2.910 ha und eine mittlere Tiefe von 1,35 m, der Dümmer ist 1.350 ha groß und im Mittel 1,1 m tief. Beide Seen sind extreme Flachseen, deren großes Oberflächen-Volumenverhältnis zu einem intensiven Energieaustausch mit der Umgebung führt. Bei hohen Lufttemperaturen und starker Sonneneinstrahlung heizen sich Flachseen relativ schnell auf und werden somit besonders stark durch den Klimawandel beeinflusst.

Für das Steinhuder Meer liegen an der Messstelle Seemitte Einzelmessungen der Wassertemperatur ab 1964 vor, die bis 1990 allerdings zum Teil sehr lückig sind und erst ab 1996 monatlich mit sechs bis acht Einzelmessung pro Jahr vorliegen. Insgesamt eignen die Daten sich deshalb nur bedingt für eine Auswertung. Über den gesamten Zeitraum betrachtet steigt die mittlere saisonale Wassertemperatur im Steinhuder Meer an, betrachtet man aber nur die engmaschigeren Daten ab 1996 ergibt sich kein signifikanter Anstieg (Abbildung 42). Im Dümmer an der Messstelle Olgahafen werden seit 1993 monatliche Messungen durchgeführt. Die saisonalen Mittelwerte der Wassertemperatur von März bis Oktober zeigen einen signifikanten Anstieg bis 2021 (Abbildung 43). Zu beachten ist jedoch, dass das Steinhuder Meer abweichend zum Dümmer zu über 60 % über das Grundwasser gespeist wird. Dessen Einfluss auf die saisonale Variabilität der Seewassertemperatur ist jedoch unklar.

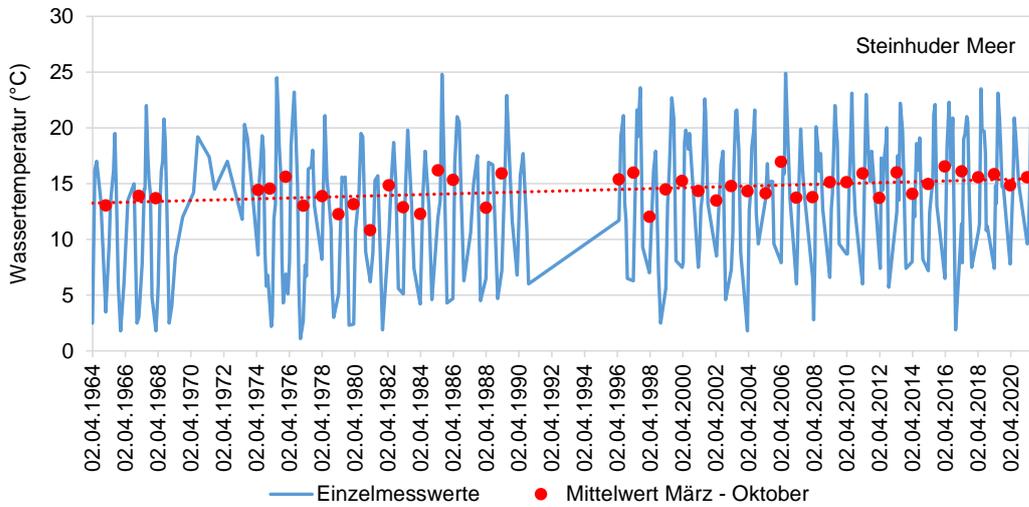


Abbildung 42: Einzelmesswerte und Mittelwerte der Wassertemperatur von März bis Oktober (n = 4 bis 8) für das Steinhuder Meer von 1964 bis 2021.

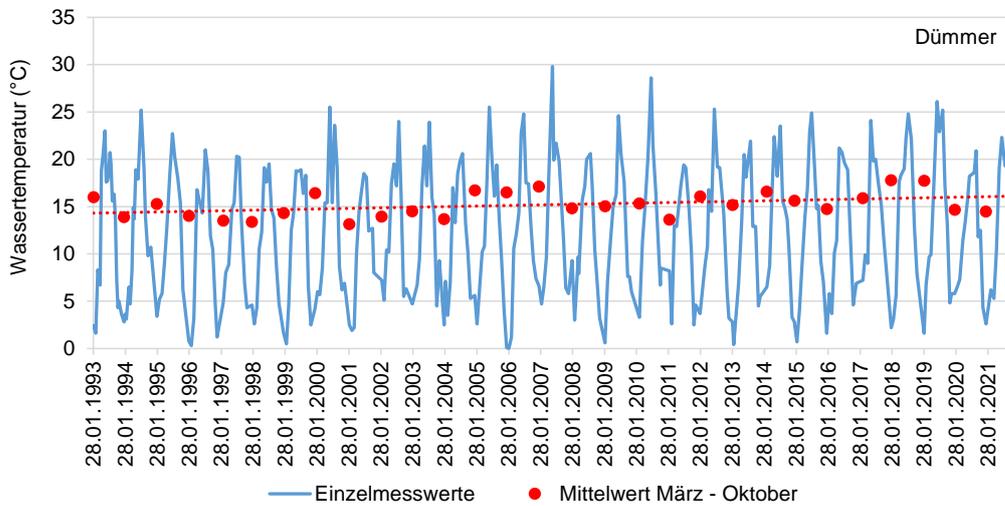


Abbildung 43: Einzelmesswerte und Mittelwerte der Wassertemperatur von März bis Oktober (n = 10 bis 19) für den Dümmer 1993 bis 2021.

In beiden Seen werden seit 2017 kontinuierliche Daten durch automatische Messbojen erhoben. Dabei werden viertelstündlich von März/April bis Oktober neben der Wassertemperatur in ca. 0,5 m Tiefe auch die Vor-Ort-Parameter Sauerstoff-Konzentration und -sättigung, pH-Wert, Leitfähigkeit, Chlorophyll-a- und Phycocyanin-Konzentration gemessen. Diese engmaschiger erhobenen Daten werden zukünftig noch präzisere Auswertungen ermöglichen. So ist es möglich, die maximalen Wassertemperaturen exakter zu ermitteln (Tabelle 29) als dies durch zweiwöchentliche oder monatliche Probenahmen möglich ist.

Tabelle 29: Maximale Wassertemperaturen in den Jahren 2017 bis 2021 gemessen durch automatische Messbojen in Steinhuder Meer und Dümmer.

See	Datum	Uhrzeit	Wassertemperatur (°C)
Dümmer	21.06.2017	16:45	26
Dümmer	02.08.2018	16:00	32
Dümmer	25.07.2019	15:30	31
Dümmer	08.08.2020	15:00	30
Dümmer	18.06.2021	15:00	30
Steinhuder Meer	21.07.2017	15:15	27
Steinhuder Meer	25.07.2018	16:30	31
Steinhuder Meer	23.07.2019	15:30	30
Steinhuder Meer	08.08.2020	16:30	31
Steinhuder Meer	19.06.2021	15:30	29



KÜSTENSCHUTZ





5.6 Meeresspiegel

Der Anstieg des mittleren Meeresspiegels wirkt sich sowohl auf das küstenschutzrelevante Tidehochwasser als auch auf das für die Entwässerung der Niederungsgebiete bedeutsame Tideniedrigwasser aus. Verantwortlich sind im Wesentlichen zwei Effekte. Zum einen führt die Wärmeausdehnung durch steigende Temperaturen zu einer langsam fortschreitenden Anhebung des Wasserstandes. Zum anderen erhöht sich der Wasserstand durch die Zufuhr von Wassermassen, die vorher nicht Teil der Ozeane waren. Insbesondere abschmelzende Gletscher oder Eisschilde können den Meeresspiegel deutlich schneller ansteigen lassen als bisher aufgezeichnet. Hinzu kommt die Landabsenkung der südlichen Nordseeküste mit einer eher untergeordneten Rolle. Erdöl- oder Gasentnahmen können die Landabsenkung jedoch lokal beschleunigen.



Abbildung 44: Dünenabbrüche auf Norderney - Der Meeresspiegelanstieg gefährdet die Küstenregion (Bildrechte: NLWKN-FSK/Berkenbrink).

Seit dem Höhepunkt der letzten Kaltzeit steigen die Meeresspiegel kontinuierlich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit an. Durch die Erwärmung und vor allem durch ein Abschmelzen des Festlandseises wird sich die derzeit beobachtete Anstiegsrate in Abhängigkeit der Klimaschutzmaßnahmen erhöhen. Dadurch steigen die Anforderungen an die Küstenregion hinsichtlich Küstenschutz, Entwässerung und Süßwasserversorgung. Nicht nur Sturmfluten können höher ausfallen als bisher erlebt. Auch in den tiefliegenden Marschen kann es zu Überschwemmungen durch Starkregenereignisse kommen, wenn das Wasser durch die erhöhten Wasserstände vor den Deichen nicht abgeführt werden kann. Außerdem hat der steigende Meeresspiegelanstieg unmittelbaren Einfluss auf den Salzgehalt des Grundwassers. Insbesondere die Süßwasserversorgung der Inseln, welche derzeit durch die eigene Süßwasserlinse sichergestellt ist, wird durch Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten gefährdet.

- Mit dem steigenden Meeresspiegel entwickeln sich die Tidehoch- und Tideniedrigwasser mit unterschiedlicher Geschwindigkeit.
- Am Pegel Norderney ist das mittlere Tidehochwasser um rd. 25 cm/Jahrhundert, das mittlere Tideniedrigwasser um rd. 10 cm/Jahrhundert gestiegen.

Aktuell ist das Weltnaturerbe Wattenmeer in der Lage genügend Sedimente abzulagern, um die Wassertiefen in der Küstenregion nahezu konstant zu halten. Durch beschleunigte Anstiegsraten und höhere Strömungsgeschwindigkeiten können diese wertvollen Habitate jedoch empfindlich gestört werden, wie anthropogene Veränderungen in den Ästuaren zeigen. Daher ist die besondere Herausforderung im Küstenraum, vorhandene Anpassungskapazitäten zu nutzen und durch ökologische Sedimentmanagementstrategien zu fördern, damit Biodiversität und Lebensräume erhalten bleiben, die wiederum einen wertvollen Beitrag zum Küstenschutz leisten.

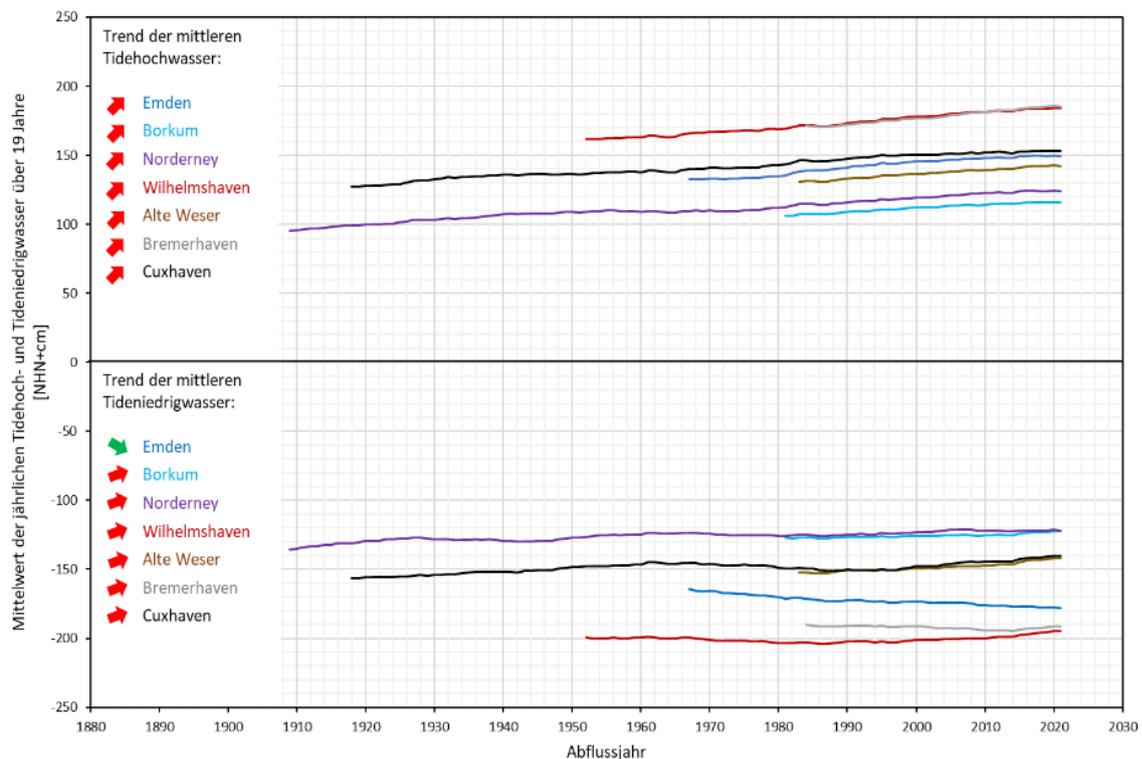


Abbildung 45: Änderung der mittleren Tidewasserstände seit Beginn der Aufzeichnung (Pegelbetreiber GDWS). Die Messdaten zeigen nicht nur einen kontinuierlichen Anstieg der mittleren Wasserstände, sondern auch einen Anstieg des Tidehubs und damit einhergehend einen Anstieg der Strömungsgeschwindigkeiten.

Die Entwicklung der Tidewasserstände an der niedersächsischen Küste kann anhand von Pegelaufzeichnungen verfolgt werden, sofern homogene Datensätze vorliegen. Durch wasserbauliche Maßnahmen oder morphologische Veränderungen in ihrer Umgebung können die Daten beeinflusst sein, was insbesondere in den für die Schifffahrt angepassten Ästuaren beobachtet werden kann. Der Norderneyer Messpegel gilt als ungestörte Messstation. Aber auch hier entwickeln sich Tidehoch- und Tideniedrigwasser mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Während das mittlere Tidehochwasser einen Anstieg von rd. 25 cm/Jahrhundert verzeichnet, steigt das mittlere Tideniedrigwasser eher um rd. 10 cm/Jahrhundert.



5.7 Sturmfluten

Sturmfluten sind eine Gefahr für die Küste Niedersachsens und in den vergangenen Jahrhunderten ist es wiederholt zu teils katastrophalen Überflutungen der Küstenregionen gekommen. Dem stehen spätestens seit 1962, dem Jahr mit der letzten Sturmflut mit hohen Opferzahlen an der deutschen Nordseeküste, erhebliche Fortschritte und Investitionen im Küstenschutz entgegen, die für einen hohen Sicherheitsstandard an der Küste sorgen.



Abbildung 46: Sturmflut vom 08.01.2019 auf Norderney (Bildrechte: Lippe/NLWKN)

- Die Häufigkeit und Intensität von Sturmfluten an der niedersächsischen Küste weisen eine große natürliche Variabilität von Jahr zu Jahr und über die Jahrzehnte auf.
- Ein langfristiger Trend hin zu einer Zunahme des Sturmflutgeschehens ist derzeit nicht zu erkennen.

Sturmfluten an der niedersächsischen Küste entstehen, wenn durch starken Wind aus westlicher bis nordwestlicher Richtung über der Nordsee das Wasser gegen die Küste gedrückt wird und sich dort aufstaut. Von großer Bedeutung dabei ist die zeitliche Überlagerung mit der Tide, dem durch die astronomische Konstellation von Mond, Erde und Sonne erfolgenden Wechsel von Ebbe und Flut. Nur bei Zusammenfallen des durch den Sturm verursachten Windstaus mit dem Tidehochwasser entstehen Wasserstände, die potentiell gefährlich sind. Schwere Sturmfluten treten in der Nordsee nur im Herbst und Winter auf und generell zeigt das Sturmflutgeschehen eine große Variabilität über Jahre und Jahrzehnte. Für die Einteilung und Bewertung der Schwere einer Sturmflut gibt es verschiedene Ansätze. Nach der DIN 4049 (Teil 3, 1994) erfolgt die Klassifikation statistisch an Hand der mittleren Eintrittshäufigkeit. Nach dieser Definition spricht man von einer Sturmflut bei einem Wasserstand, der im Mittel bis zu zehn Mal im Jahr überschritten wird. Dieser Grenzwert liegt an der niedersächsischen Küste bei einem Stau von etwa einem Meter, variiert aber entlang der Küste mit etwas niedrigeren Werten an der offenen Küste und höheren Werten in den Flussmündungen. Schwere und sehr schwere Sturmfluten ereignen sich nach dieser Definition statistisch alle zwei bzw. alle zwanzig Jahre einmal.

Als eine Folge des Klimawandels wird häufig eine Zunahme der Häufigkeit aber auch der Intensität von Stürmen genannt (siehe z.B. Feser et al. 2015). So wird auch im interaktiven Atlas der regionalen Synthese des IPCC (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/regional-synthesis>; Abruf 15.08.2022) für West-/Zentraleuropa und für Nordeuropa eine Zunahme schwerer Stürme prognostiziert bei einer mittleren Zuverlässigkeit dieser Prognose. Betrachtet man als Indikator für die Sturmflutaktivität die Entwicklung der Sturmflutgrenze nach DIN 4049 in Bezug auf die WMO-Referenzperiode 1961-1990, so ist bisher an der niedersächsischen Küste über den Zeitraum der verfügbaren Messungen, also etwa die letzten 120 Jahre, kein Trend hin zu einer Intensivierung des Sturmflutgeschehen zu erkennen. Vom Beginn der Messungen um 1900 bis zum Referenzzeitraum zeigt sich eine niedrigere Sturmflutaktivität jedoch mit steigender Tendenz, die in den 1990er Jahren in einem erhöhten Niveau gipfelt. Mit Beginn des 21. Jahrhunderts fällt der Wert des Sturmflutindikators dann bis zu den aktuellen Beobachtungen wieder ab. Diese zeitliche Entwicklung ist an der gesamten niedersächsischen Küste ähnlich. Die vorgenommene Auswertung spiegelt bewusst allein die Entwicklung des sturmerzeugten Anteils der Wasserstände wider, um die Entwicklung des sturmbedingten Windstaus unabhängig von der des Meeresspiegels zu betrachten.

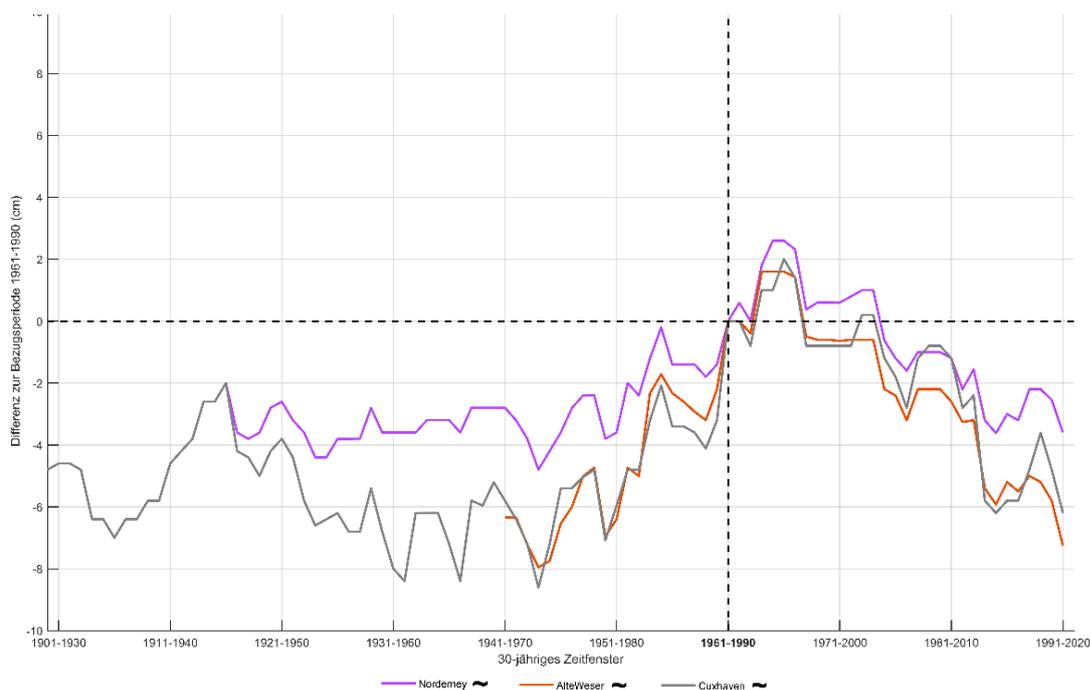


Abbildung 47: Relative Änderung der Sturmflutgrenze nach DIN 4049 bestimmt über ein 30-jährige gleitende Zeitraum in Bezug zur Referenzperiode 1961-1990 (Datengrundlage: Messdaten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes).



5.8 Entwicklung des Wattenmeeres

Durch einen beschleunigt ansteigenden Meeresspiegel steht das Niedersächsische Wattenmeer vor besonderen Herausforderungen. Bislang sind die Wattflächen im untersuchten Gebiet in der Lage, genügend marine Sedimente abzulagern, um trotz steigender Pegelwasserstände die Wassertiefen in der Küstenregion nahezu konstant zu halten, wovon auch der Küstenschutz profitiert. In Zukunft könnten aber ein beschleunigter Meeresspiegelanstieg, die damit einhergehende stärkere Seegangs- und Strömungsbelastung und auch häufiger auftretende Sturmfluten zu reduzierter Sedimentation im Bereich des Wattenmeeres führen. Spezielle Lebensräume vieler charakteristischer Tier- und Pflanzenarten würden bei rückläufigen Salzwiesen und Deichvorländern ebenfalls unter Druck geraten. Langfristig könnte so der Aufwuchsraum vieler Fischarten und Muscheln sowie das Rastgebiet für durchziehende Küstenvögel beeinträchtigt werden.



Abbildung 48: Wattflächen zwischen Baltrum und Langeoog – Ein beschleunigter Meeresspiegelanstieg könnte das Watt gefährden (Bildrechte: NLWKN FSK).

Das als Weltnaturerbe ausgezeichnete Gebiet ist geprägt durch die Gezeiten. Bei Niedrigwasser fallen große Teile des Wattenmeers trocken, die bei Hochwasser periodisch wieder überflutet werden. Diese Flächenanteile (litorale Flächen) bilden einzigartige Lebensräume mit enormer Biodiversität, die in ihrer räumlichen Ausdehnung überwacht und erhalten werden müssen. Das Sublitoral (Tiefwasser und Flachwasser) umfasst den Teil des Gewässers, der ständig vom

Wasser bedeckt ist. Zu ihm gehören auch Priele, die über ein verzweigtes Netz in das Eulitoral hineinreichen. Als Eulitoral bezeichnet man die Fläche, die bei Ebbe trockenfällt (Watt). Das Supralitoral (Salzwiesen, Deichvorland, etc.) kennzeichnet den Gewässerbereich, der oberhalb des mittleren Tidehochwassers liegt. Diese Flächen werden nur unregelmäßig z. B. bei Sturmfluten überspült.

Zur Bestimmung der litoralen Flächenanteile werden flächenhafte Informationen zur Tiefenverteilung der Gewässersohle und die zugehörigen Tidewasserstände benötigt. Da gemessene Daten in beiden Fällen nur punktuell oder gebietsweise vorliegen, ist eine flächenhafte Auswertung bislang nicht möglich. Im Rahmen von Forschungsprojekten wurden diese Lücken modelltechnisch erschlossen. Allerdings treten zusätzlich zu den unvermeidbaren Messungenauigkeiten, die im Laufe der letzten Jahre deutlich verbessert werden konnten, Modellungenauigkeiten auf, die in derselben Größenordnung wie das

- Mit steigendem Meeresspiegel verändern sich die mittleren Tidehoch- und Tide-niedrigwasser, die den Lebensraum im Wattenmeer prägen.
- Bisher sind die Wattflächen, die regelmäßig bei Ebbe trockenfallen, in der Lage genügend Sedimente abzulagern um die Wassertiefen im Wattenmeer konstant zu halten.

zu beobachtende Signal liegen. Insbesondere die flach ausgedehnten trockenfallenden Gebiete reagieren sehr sensitiv auf Höhenabweichungen.

Um eine möglichst robuste Bewertung durchführen zu können, werden daher nur fein aufgelöste Vermessungsdaten zugrunde gelegt. Diese werden mit den gemessenen Wasserstandsdaten am Pegel Norderney Riffgat in Beziehung gesetzt, da die Daten dieses Pegels nahezu unbeeinflusst durch bauliche Eingriffe sind. Dadurch erhält man zwar nicht mehr überall die realen litoralen Flächenanteile, kann dafür aber die Entwicklung der so abgegrenzten Flächenanteile objektiv ohne Interpolations- bzw. Modellungenauigkeiten beobachten. Zum besseren Verständnis werden jedoch die Begriffe beibehalten.

Bislang zeigen die Daten im Untersuchungsbereich keinen Verlust an periodisch überfluteten Flächen. Das Supralitoral ist stabil und das Eulitoral ist gestiegen. Im untersuchten Gebiet scheinen die Wattflächen schneller zu wachsen, als der Wasserstand am Pegel Norderney. Ein Vergleich mit dem Wasserstand gemessen bei Borkum ergibt ein vergleichbares Bild. Weitere Untersuchungsgebiete können erst in den kommenden Jahren hinzugezogen werden, da hier die Vermessungsgrundlage noch nicht ausreichend ist.

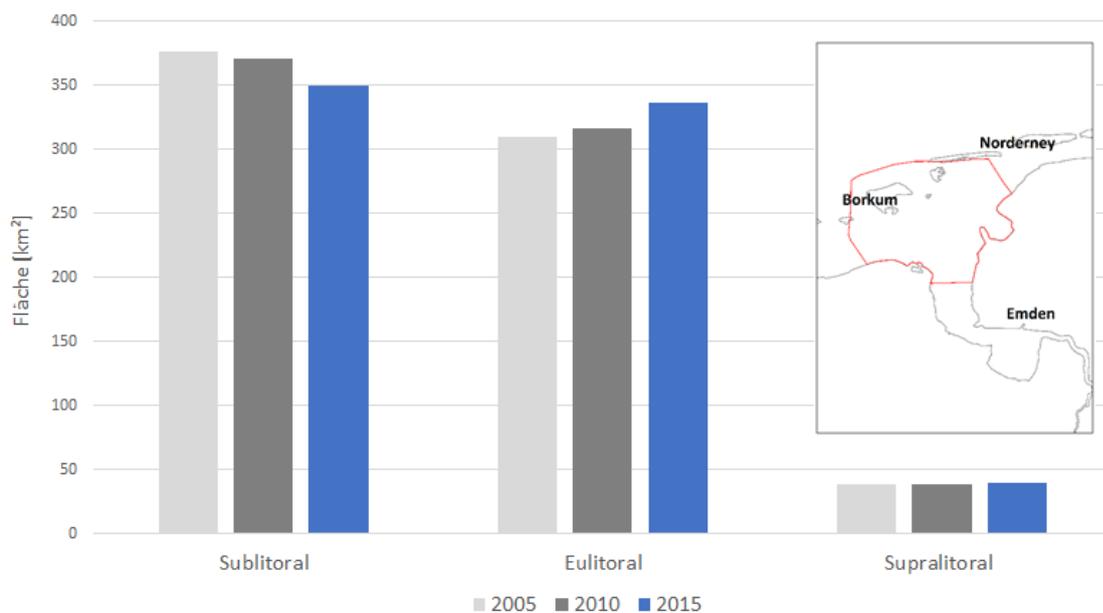


Abbildung 49: Entwicklung der „litoralen Flächenanteile“ im Untersuchungsgebiet für den Zeitraum von 2005 – 2015. Die Daten zeigen, dass bislang genügend Sedimente im Einzugsgebiet abgelagert werden, um die periodisch überfluteten Flächen zu erhalten.



5.9 Entwässerungsbedarf der Küstenniederungen

In den vergangenen Jahren sind die Entwässerungssysteme vieler Entwässerungsverbände entlang der Nordseeküste bei Extremereignissen zunehmend an ihre Grenzen gekommen.

Die bestehenden Entwässerungssysteme sind in der Regel so dimensioniert, dass regenreiche Perioden im Binnenland schadlos überstanden werden können. Das überschüssige Wasser wird zum großen Teil über Siele und Schöpfwerke durch die Deichlinie in die Nordsee bzw. die Ästuarie entwässert. Um die Siele und Mündungsschöpfwerke zu entlasten, wird darüber hinaus binnendeichs Retentionsraum geschaffen, um Wasser zwischenspeichern zu können. Steigt der Entwässerungsbedarf, droht die Überlastung der Entwässerungssysteme. Eine Anpassung ist erforderlich, wenn der Status quo der Binnenentwässerung gehalten werden soll.



Abbildung 50: Überschwemmte Flächen nach Starkniederschlägen in Ostfriesland (Quelle: 1. EV Emden).

Infolge des Klimawandels sorgen der Meeresspiegelanstieg auf der Meeresseite und zunehmend extremere Regenereignisse auf der Landseite dafür, dass größere Wassermengen gegen einen zunehmenden Höhenunterschied entwässert werden müssen. Wo früher gesielet werden konnte, muss nun zumindest zeitweilig gepumpt werden, und die Entwässerungssysteme

müssen für größer werdende Extremereignisse bemessen werden. Leider wurden Pump- und Sielmengen in der Vergangenheit nicht systematisch in hoher zeitlicher Auflösung erfasst, so dass keine ausreichenden Zeitreihen für eine Trendanalyse verfügbar sind. Die jährlichen Siel- und Schöpfmengen seit Beginn des Jahrhunderts zeigen keinen signifikanten Trend.

Im Rahmen der KLEVER-Projekts (2015-2018) konnte aber das Wasserhaushaltsmodell SIMULAT auf Basis der verfügbaren Siel- und Schöpfwerksdaten für das Verbandsgebiet des 1. EV Emden validiert und für Klimafolgensimulationen eingesetzt werden. Darauf basierend kann der zukünftige Entwässerungsbedarf mit dem Wasserhaushaltsmodell individuell für das Verbandsgebiet des Entwässerungsverbandes berechnet werden.

- Bereits heute arbeiten die Entwässerungsverbände in regenreichen Wintermonaten am Rande ihrer Kapazität.
- Zukunftsprojektionen weisen übereinstimmend darauf hin, dass der Entwässerungsbedarf im Winter um etwa 25 % zunehmen wird.

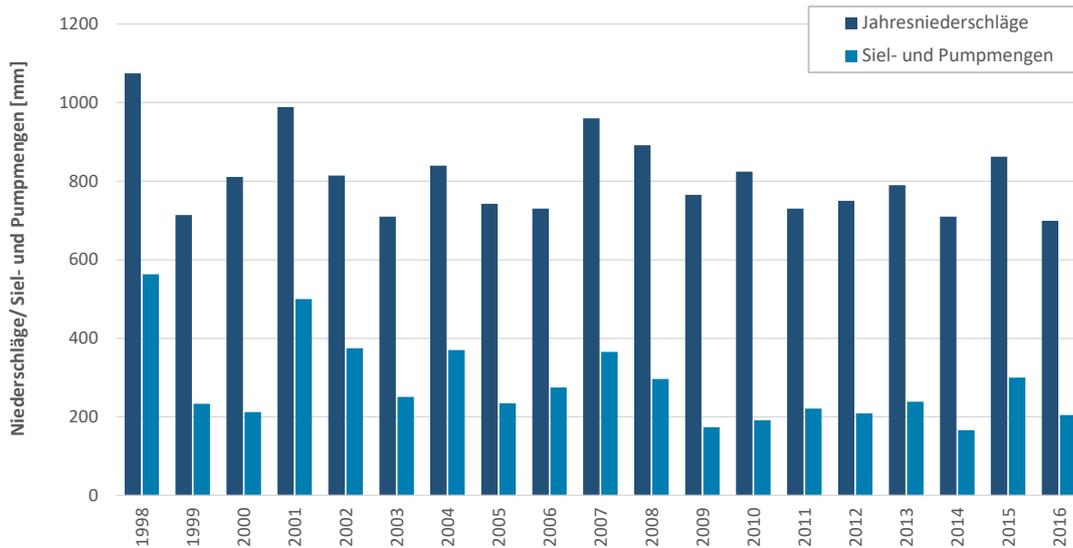


Abbildung 51: Jährlich erfasste Siel- und Schöpfmengen sowie Niederschläge für das Verbandsgebiet des 1. EV Emden, Ostfriesland (nach Spiekermann et al., 2018).

Angetrieben wird das Modell von einem Ensemble unterschiedlicher Klima-projektionen. Die zu erwartenden Veränderungen werden für drei unterschiedliche Zukünfte (nahe, mittlere und ferne Zukunft) abgeschätzt. Die Pro-jektionen weisen für Ostfriesland übereinstimmend darauf hin, dass die Ent-wässerungsbedarfe bis Ende des Jahrhunderts steigen werden, wenn die der-zeitigen Standards der Binnenentwässerung aufrecht erhalten werden sollen. Da zu erwarten ist, dass sowohl die Abflussbildung im Winter (um ca. 25 %) als auch die Häufigkeit und Intensität der Extremereignisse zunehmen, wird auch das Risiko von Binnenhochwasser ohne eine Klimaanpassung zuneh-men.

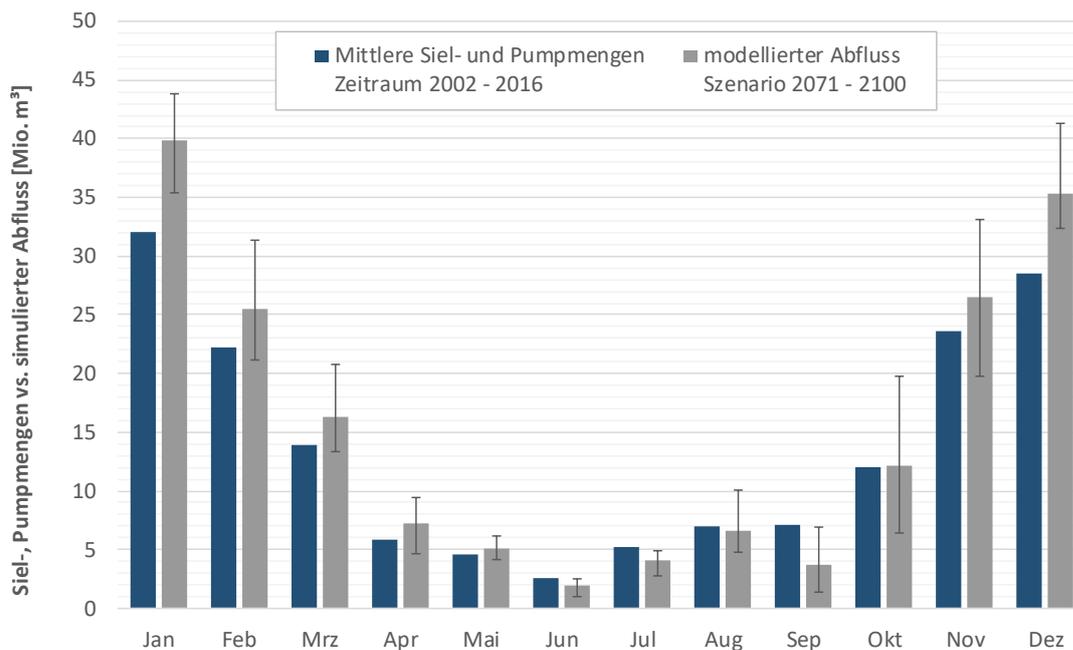


Abbildung 52: Projizierte Zunahme der Abflussbildung v.a. in den Wintermonaten (nach Spiekermann et al., 2018, für das Verbandsgebiet des 1. EV Emden, Ostfriesland).

6.

LAND





INDIKATOREN IN DER ÜBERSICHT



Cluster Land

Handlungsfeld Boden

Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden
Regenerosivität

Handlungsfeld Landwirtschaft, Garten- und Obstbau

Beginn Apfelblüte

Handlungsfeld Wald und Forstwirtschaft

Tage mit Waldbrandgefährdungsstufe 4 oder 5
Durchfeuchtung der Böden auf Waldflächen



BODEN





6.1 Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden

Für die Pflanzen ist die Wasserverfügbarkeit im Boden ein zentrales Element für das Wachstum. Dabei wird die Menge des im Boden gespeicherten Wassers maßgeblich von dem Niederschlag und der Temperatur (bzw. Verdunstung) beeinflusst. Eine ausreichende Wasserversorgung spielt für die Landwirtschaft, vor allem in Niedersachsen als Agrarland Nummer 1, eine wichtige Rolle. Fallen besonders heiße und trockene Zeitabschnitte zusammen, kann der Wasserbedarf der Pflanzen nicht durch den Niederschlag ausgeglichen werden, so dass durch den Trockenstress Ernteschäden und -verluste zu erwarten sind. Dies gilt insbesondere dann, wenn dies mit wichtigen Entwicklungsphasen (z. B. Schossen von Getreide) zusammenfällt.

- Im Vergleich zu 1961-1990 zeigt sich eine Abnahme des Bodenwasservorrats.
- Der geringste Bodenwasservorrat lag im Extremjahr 2018 vor.

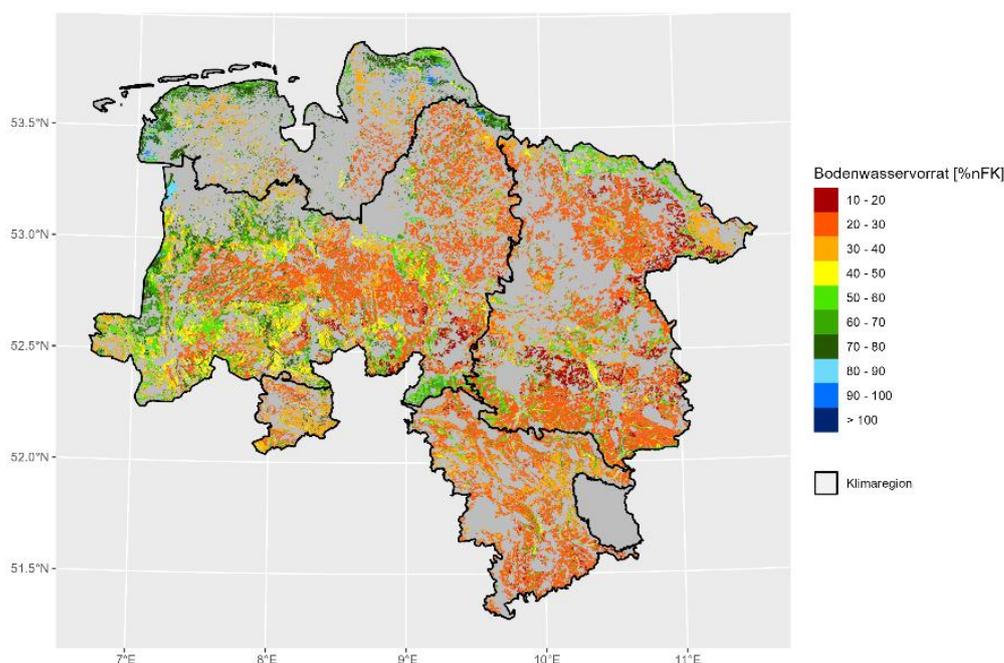


Abbildung 53: Bodenwasservorrat der landwirtschaftlich genutzten Böden in der Vegetationsperiode (Apr.-Sept.) 2018 (Datengrundlage: BOWAB, LBEG). Es sind nur Werte für Ackerflächen hinterlegt. Alle Nichtackerflächen sind grau dargestellt.

Die für Pflanzen nutzbare Bodenfeuchte wird als Prozent der nutzbaren Feldkapazität (%nFK) angegeben. Ein Wert von 100 %nFK oder mehr bedeutet, dass die Speicherfähigkeit des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser erreicht ist.

Der Sommer 2018 war der wärmste und trockenste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen. Für diesen Extremsommer sind auch die größten Abweichungen zur mittleren Bodenfeuchte aus den Jahren 1961-1990 festzustellen (Abbildung 54). Ursache für die trockene Witterung waren beständige Hochdruckgebiete über Nordeuropa (DWD 2018d) mit erheblichen Auswirkungen auf die Vegetation und insbesondere auch die Landwirtschaft. Allein in Niedersachsen wurden etwa 4600 Anträge auf Dürrehilfen bei Bund und Land gestellt (ML 2022a). Der Bodenwasservorrat in der Vegetationsperiode unterschritt hier erstmals im Mittel für alle Ackerflächen 40 %nFK. Vor allem im

Östlichen Flachland wurden besonders niedrige Werte (unter 20 %nFK) erreicht (Abbildung 53). Die Situation 2018 mit z. T. stark ausgeschöpften Bodenwasservorräten prägte auch das Jahr 2019. Die Niederschläge während der Vegetationsruhe reichten nicht aus, um den pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicher nach dem vorangegangenen ausgeprägten Trockenjahr wieder aufzufüllen. Auch 2020 war ausgesprochen trocken (Abbildung 55). Im Vergleich zum Zeitraum 1961-1990 zeigt sich eine Abnahme der Bodenfeuchte von -14 %nFK. Vor allem seit 2008 befindet sich Niedersachsen in einer ausgeprägten trockenen Phase.

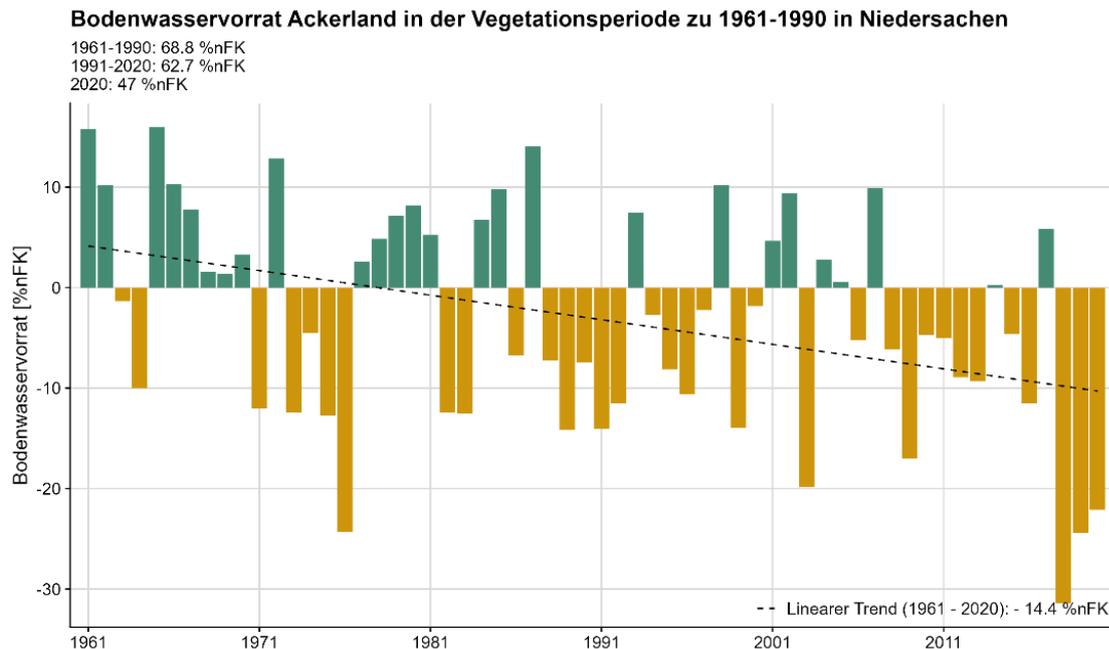


Abbildung 54: Anomalie des Bodenwasservorrats in der Vegetationsperiode zwischen 1961 und 2020 (Apr.–Sept.) für Ackerflächen der Einzeljahre in Niedersachsen (Balken) bezogen auf den Mittelwert des Zeitraums 1961-1990 (Datengrundlage: BOWAB, LBEG). Grüne Balken kennzeichnen, dass der Bodenwasservorrat höher ausfiel als im Mittel 1961-1990, gelbe Balken, dass er geringer war. Die gestrichelte Linie stellt den linearen Trend für Niedersachsen dar.

Auch die 30-jährigen Mittelwerte des Bodenwasservorrats in der Vegetationsperiode auf landwirtschaftlich genutzten Böden zeigen für jeden Zeitraum Abnahmen im Vergleich zu 1961-1990 (Tabelle 30). Während an der Küste zu allen Zeiträumen ähnliche geringe Abnahmen auftreten, ist vor allem die Veränderung im Östlichen Flachland und im Berg- und Hügelland deutlich. Im Berg- und Hügelland ist mit -9 %nFK Abweichung vom Mittel 1991-2020 gegenüber 1961-1990 die stärkste Abnahme aller Regionen zu verzeichnen. Die Abnahme im Östlichen Flachland liegt bei insgesamt etwa -7 %nFK. Besonders hieran ist, dass das Östliche Flachland aufgrund der sandigen Böden bereits die Klimaregion mit den geringsten Bodenwasservorräten ist. Der Klimawandel sorgt dafür, dass die im Vergleich trockenere Region noch trockener wird.

Tabelle 30: Bodenwasservorrat 1961-1990 in %nFK sowie die Veränderung des Bodenwasservorrats in der Vegetationsperiode 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 zu 1961-1990 (in %nFK) für die verschiedenen Klimaregionen Niedersachsens (Datengrundlage: BOWAB, LBEG). Für den Harz werden keine Ergebnisse angegeben, da die Anzahl landwirtschaftlich genutzter Böden zu gering ist.

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Küste	79 %nFK	-3 %nFK	-2 %nFK	-3 %nFK
Östl. Flachland	63 %nFK	-4 %nFK	-4 %nFK	-7 %nFK
Westl. Flachland	70 %nFK	-3 %nFK	-2 %nFK	-5 %nFK
Berg- und Hügelland	70 %nFK	-4 %nFK	-5 %nFK	-9 %nFK
Niedersachsen	69 %nFK	-3 %nFK	-3 %nFK	-6 %nFK



6.2 Regenerosivität

Der Boden ist unsere Lebensgrundlage. Als zentrale Schnittstelle von Atmosphäre, Hydrosphäre, Lithosphäre sowie der Tier- und Pflanzenwelt erfüllt er viele wichtige Funktionen für Mensch und Umwelt. Bis 1 cm dieser wertvollen Ressource gebildet wird, können 100-300 Jahre vergehen. Bereits bei einem einzelnen Starkregen kann dieser Zentimeter durch Bodenabtrag (Wassererosion) wieder verloren gehen (UBA 2010). Die Minimierung von Wassererosion ist daher zum Erhalt und Schutz des Bodens besonders wichtig.

In Niedersachsen sind etwa 10 % der landwirtschaftlich genutzten Böden potenziell stark bis sehr stark durch Wassererosion gefährdet (MU 2019). Diese Gefährdung ist insbesondere im Berg- und Hügelland gegeben (Abbildung 55, links). Klimatisch wird die Wassererosion durch den Niederschlag ausgelöst. Insbesondere im Frühjahr und Sommer führen intensive Niederschlagsereignisse wie Starkregen oft zu deutlichen Erosionsspuren. Dabei ist zu beachten, dass nur dann Boden abgetragen wird, wenn Niederschlag auf erodierbare und geneigte Flächen trifft (LBEG 2021a).

- Die Regenerosivität ist der klimatische Einflussfaktor für die Wassererosion.
- Bisher ist die Messreihe der Radardaten zu kurz um Veränderungen der Regenerosivität feststellen zu können.

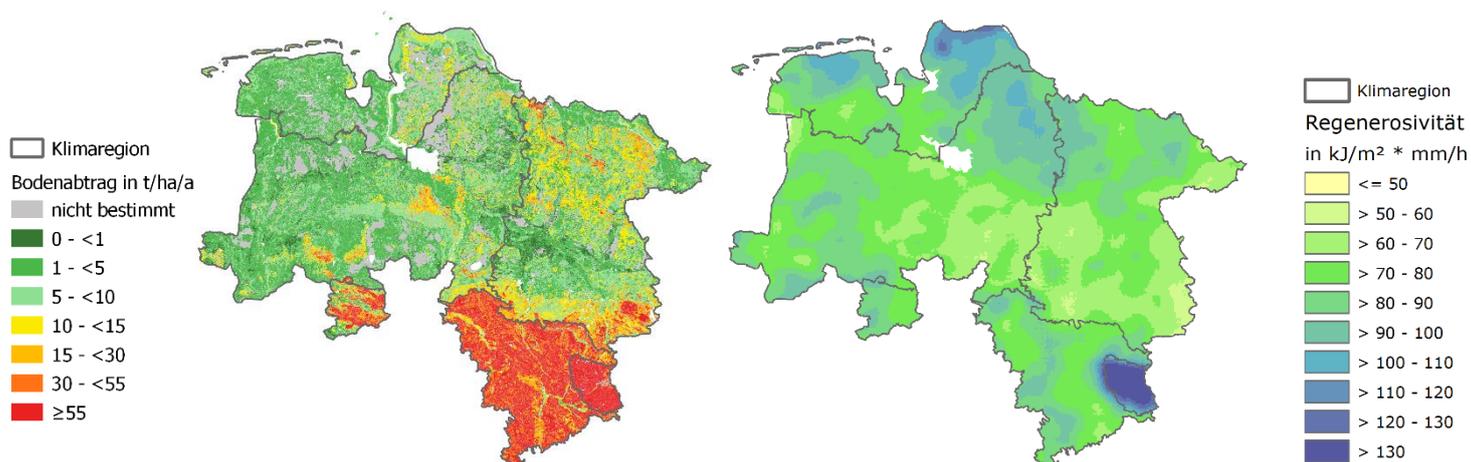


Abbildung 55: Potenzielle Gefährdung durch Wassererosion 2001-2017 (links; Grundlage BK50, LBEG) und Regenerosivität 2001-2017 (rechts; Grundlage RADKLIM, DWD) mit Kennzeichnung der Klimaregionen in grau.

Als Kenngröße für den Einfluss des Niederschlages auf die Wassererosion wird die Regenerosivität herangezogen. Je größer die Intensität und Menge eines Niederschlagsereignisses sind, desto höher ist auch die Regenerosivität. Das Mittel der vieljährigen Regenerosivität liegt im Zeitraum 2001-2017 in Niedersachsen bei etwa 80 kJ/m² * mm/h und reicht vom Harz mit 142 kJ/m² * mm/h bis 74 kJ/m² * mm/h im östlichen Flachland (Abbildung 55 rechts).

Die Regenerosivität schwankt von Jahr zu Jahr deutlich (Abbildung 56, links). Der höchste Wert für Niedersachsen wird mit 133 kJ/m² * mm/h im Jahr 2002 erreicht. Die geringste Regenerosivität mit ca. 54 kJ/m² * mm/h trat 2012 auf. Für den Zeitraum von 2001-2020 zeigen die verfügbaren Radardaten eine leichte Abnahme der Regenerosivität. Die Zeitreihe ist mit 20 Jahren

jedoch zu kurz um mögliche klimawandelbedingte Veränderungen der Regenerosivität aufzeigen zu können.

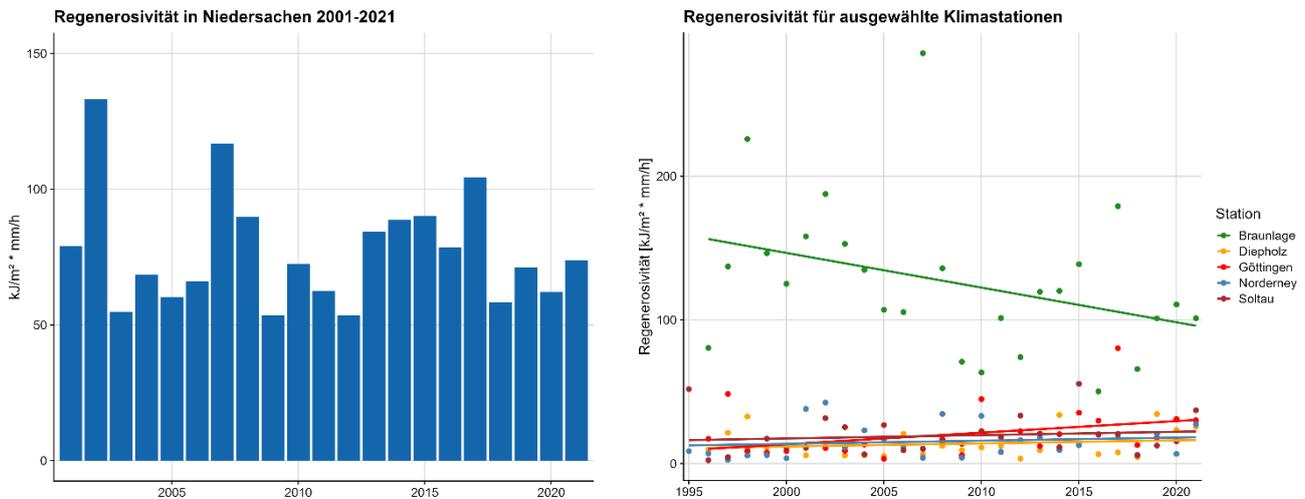


Abbildung 56: Regenerosivität im Niedersachsenmittel von 2001-2021 auf Basis der Radardaten (Grundlage RADKLIM, DWD; links) und Regenerosivität für ausgewählte Klimastationen in den Klimaregionen ab 1951/1996-2021 (mit linearer Regression; rechts).

Auswertungen von Stationsdaten zeigen für Deutschland, dass die Regenerosivität seit den 60er Jahren deutlich angestiegen ist. (Fischer et al. 2020) Als Ursache wurde der Klimawandel identifiziert. Ausgewählte Stationen in Niedersachsen zeigen hingegen keinen einheitlichen Trend (siehe Abbildung 56, rechts). Hier stehen jedoch erst Werte ab Mitte der 90er Jahre in ausreichend zeitlicher Auflösung zu Verfügung, so dass eine abschließende Trendaussage nicht möglich ist. So nahm die Regenerosivität der Station im Harz (Braunlage) ab, die Werte an den anderen Stationen hingegen zu (siehe auch Indikator Starkregen).

In Niedersachsen findet an sieben Standorten ein Monitoring der Wassererosion statt. Die Ergebnisse zeigen u. a., dass Landwirt:innen mit bodenschonenden Verfahren Bodenabtrag effektiv reduzieren können. D. h. der Einfluss der Nutzung und Erosionsschutzmaßnahmen spielt eine entscheidende Rolle (LBEG 2021a). Durch Schutzmaßnahmen ist es also möglich, die klimawandelbedingte Zunahme der Regenerosivität (zumindest teilweise) zu kompensieren.



Abbildung 57: Aufgetretene Erosionsform in der Nähe von Barum 2018 (Bildrechte: Harders).



LANDWIRTSCHAFT, GARTEN- UND OBSTBAU





6.3 Beginn der Apfelblüte

Die Phänologie beobachtet die regelmäßig wiederkehrenden Erscheinungen in der Pflanzen- und Tierwelt, wie den Beginn der Apfelblüte oder den Vogelzug. Anhand des Beginns und der Dauer pflanzenphänologischer Phasen kann der Einfluss veränderter Umweltbedingungen auf die Vegetationsentwicklung verfolgt werden. Die Eintrittszeiten werden u. a. durch Witterung und Klima beeinflusst. Als Indikator für den langfristigen Entwicklungsgang der Vegetation, abhängig von den Jahreszeiten, wird der Beginn der Apfelblüte als Anzeiger des Eintritts des Vollfrühlings gewählt.

- Die Spätfröste werden nicht zwangsläufig seltener eintreten, auch, wenn die mittlere Jahrestemperatur in Niedersachsen angestiegen ist.

Die Pflanzenentwicklung wird maßgeblich von der Lufttemperatur beeinflusst. Dabei ist der Temperaturverlauf ausschlaggebend für die zeitliche Abfolge der phänologischen Phasen, wie z. B. dem Blattaustrieb, der Blattentfaltung, der Blühphase und Fruchtreife. In unseren Breiten wird besonders die frühe Pflanzenentwicklung nach der winterlichen Vegetationsruhe von der Lufttemperatur gesteuert.

Beim Beginn der Apfelblüte konnten seit 1961 zeitliche Verschiebungen festgestellt werden. Im Zeitraum 1961 bis 1990, der Klimareferenzperiode, setzte die Apfelblüte in Niedersachsen im Durchschnitt am 128. Tag des Jahres ein, also am 10. Mai.

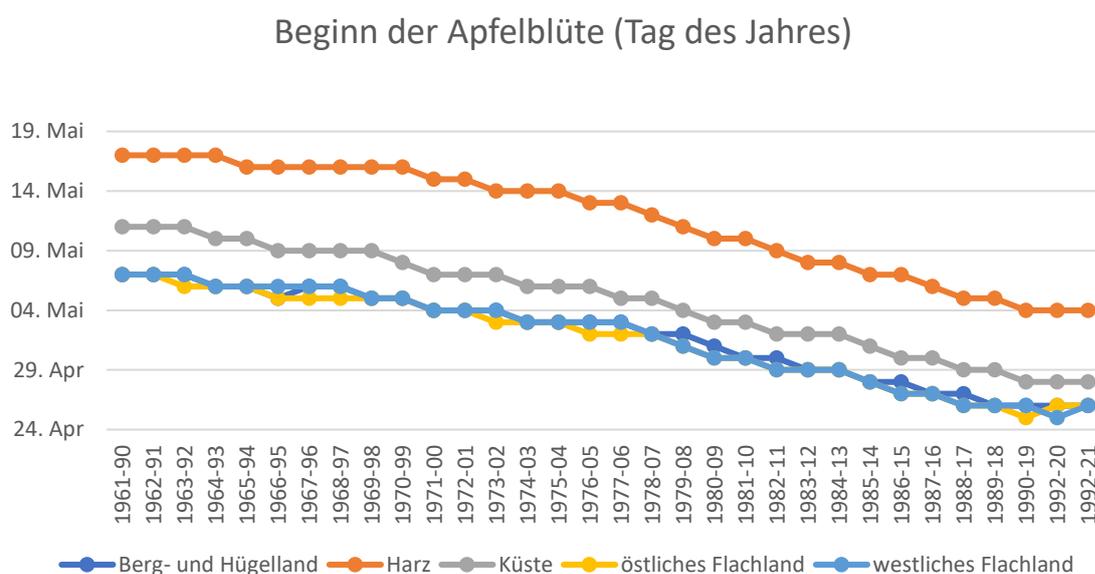


Abbildung 58: Beginn der Apfelblüte, Tag des Jahres. Datengrundlage: DWD; Berechnungen: LSN.

Der mittlere Eintritt der Apfelblüte im Zeitraum 1981 bis 2010 hat sich im Vergleich zur Klimareferenzperiode um acht Tage (2. Mai) verfrüht und bis zum Jahr 2020 um weitere sechs Tage auf den 26. April. In den Klimaregionen Berg- und Hügelland, westl.- und östliches Flachland begann die Apfelblüte im ersten betrachteten Zeitraum von 1961 bis 1990 am 127. Tag des Jahres, an der Küste (131. Tag) und im Harz (137. Tag) erwartungsgemäß einige Tage später. In dem letzten betrachteten Zeitraum von 1992-2021 hat sich in den drei erstgenannten Klimaregionen der Tag der Apfelblüte um elf Tage

(26. April) verfrüht, an der Küste und im Harz sogar um je 13 Tage (28. April bzw. 4. Mai).

Verschiebungen der Phasen können Auswirkungen für den Obst- und Weinbau, die Landwirtschaft und den Wald sowie für Lebensgemeinschaften und Arten haben. Denkbar sind veränderte und neue Konkurrenzen und Wechselwirkungen. Zudem bleibt auch bei früherem Blühbeginn infolge wärmerer Frühjahrestemperaturen weiterhin die Gefahr von Spätfrösten z. B. für die Obstblüte bestehen. Je nach Stärke und Andauer der Frostereignisse werden Blüten geschädigt und damit der Fruchtansatz reduziert, so dass nachfolgende Ertragsverluste möglich sind.

In die Berechnung gehen die Daten der Beobachtungsstationen in Niedersachsen ein; daraus werden zunächst die jährlichen Mittelwerte und nachfolgend die 30-jährigen Mittelwerte für die fünf Klimaregionen in Niedersachsen berechnet.

Tabelle 31: Tag des Jahres mit dem Beginn der Apfelblüte im Abstand von 5 Jahren (1961-1990 bis 1992-2021). Datengrundlage: DWD; Berechnungen: LSN.

Beginn der Apfelblüte (Tag des Jahres)

Zeitraum	Berg- und Hügelland	Harz	Küste	Östliches Flachland	Westliches Flachland
1961-90	127	137	131	127	127
1966-95	125	136	129	125	126
1971-00	124	135	127	124	124
1976-05	123	133	126	122	123
1981-10	120	130	123	120	120
1986-15	118	127	120	117	117
1992-20	116	124	118	116	115



WALD UND FORSTWIRTSCHAFT





6.4 Tage mit Waldbrandgefährdungsstufe 4 oder 5

Im August 1975 wurden in einer Waldbrandkatastrophe 8000 Hektar Waldflächen und 5000 Hektar landwirtschaftliche Flächen, Moor- und Heideland in der Lüneburger Heide und im Wendland vernichtet. Ursache war eine anhaltende Trockenperiode mit Temperaturen über 30 °C bei geringer Luftfeuchte. Zudem befand sich nach dem Sturmereignis „Quimburga“ (1972) viel brennbarer Schlagabraum in den Wäldern. Grundsätzlich gehören Waldbrände zwar zum natürlichen Kreislauf des Waldes. Steigen aber in Folge des Klimawandels die Temperaturen sowie die Intensität und Dauer von Trockenperioden, so steigt auch die Waldbrandgefahr in Niedersachsen.

Als Maß wird der Waldbrandgefahrenindex (WBI) herangezogen, der verschiedene Größen wie Lufttemperatur, rel. Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Niederschlag und Strahlungsintensität als Eingangsgrößen berücksichtigt. Im Weiteren werden daraus vom DWD Größen wie die Bodenfeuchte berechnet und folglich die Waldbrandgefährdungsstufe zwischen 1 (sehr geringe Gefahr) bis 5 (sehr hohe Gefahr) abgeleitet (DWD 2022j).

- Die Anzahl der Waldbrände und die Größe der Brandfläche ist in Deutschland im Vergleich der Mittel von 1977-1990 & 1991-2021 jeweils um mehr als 30 % gestiegen (BMEL 2022).
- Die Anzahl der Tage mit hoher oder sehr hoher Waldbrandgefahr hat sich 1991-2020 im Vergleich zu 1961-1990 mehr als verdoppelt.

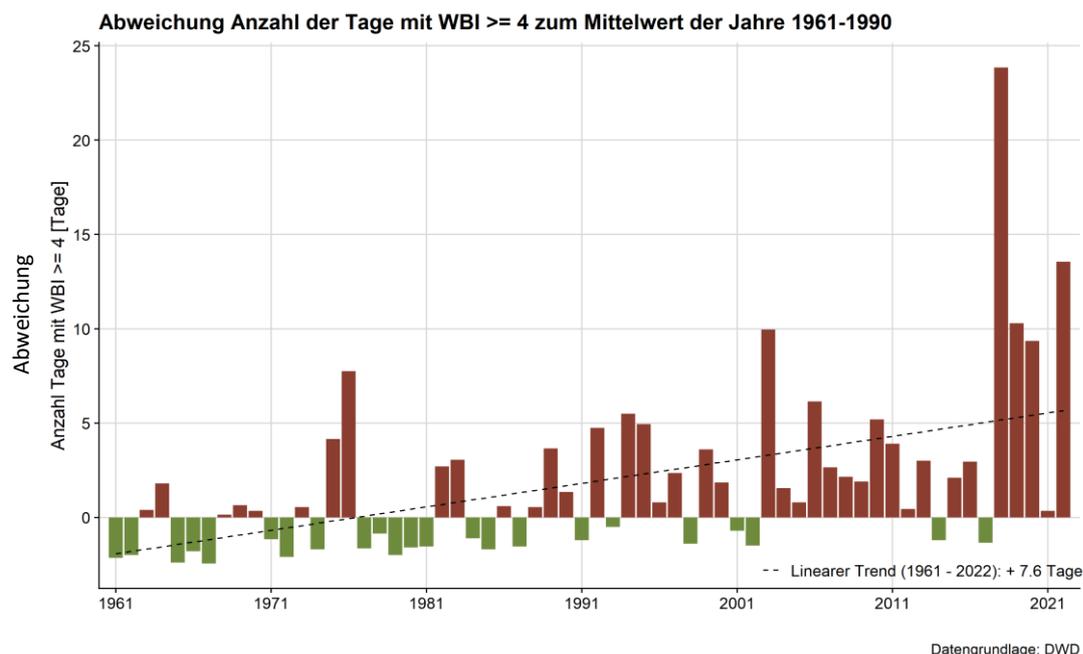


Abbildung 59: Abweichung der Anzahl Tage mit WBI \geq 4 in Niedersachsen im Vergleich zu 1961-1990. Grüne Balken kennzeichnen ein Jahr mit weniger Tagen mit einer hohen oder sehr hohen Waldbrandgefährdungsstufe als 1961-1990 und braune Balken Jahre mit mehr Tagen. Die gestrichelte schwarze Linie zeigt den linearen Trend. Datengrundlage: DWD.

Niedersachsen ist durch den Klimawandel immer akuter durch sommerliche Waldbrände gefährdet (UBA 2022). In den besonders heißen und trockenen Jahren 2018, 2019, 2020 und 2022 gab es daher auch ungewöhnlich viele Tage mit hoher Waldbrandgefahr. Seit den 1990er Jahren zeichnet sich ein Anstieg der Tage mit WBI \geq 4 im Vergleich zum Mittel von 1961-1990 ab

(Abbildung 59). Vor allem die letzten 5 Jahre (mit Ausnahme von 2021) zeigen deutlich höhere Werte. Im linearen Trend (1961-2022) ist eine Zunahme der Tage mit hoher Waldbrandgefahr um etwa 7,6 Tage zu verzeichnen.

Tabelle 32: Mittlere Anzahl der Tage mit WBI ≥ 4 in 1961-1990 und deren Veränderung zu 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 in Niedersachsen. Datengrundlage: DWD.

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Niedersachsen	2,9 Tage	+0,9 Tage	+1,8 Tage	+3,4 Tage

Im Zeitraum 1991-2020 lag sie bei durchschnittlich 6,3 Tagen pro Jahr und hat sich damit im Vergleich zur Klimareferenzperiode 1961-1990 mehr als verdoppelt (Tabelle 32). Über die drei 30-jährigen Zeiträume ist ein kontinuierlicher Anstieg erkennbar. Zusätzlich steigt die Anzahl der Tage mit hoher oder sehr hoher Waldbrandgefahr bereits im Frühjahr (April/Mai) stark an (Abbildung 60). Gleichzeitig ist der Anstieg im August 1991-2020 im Vergleich zu 1961-1990 deutlich größer und auch im September treten nun Tage mit einer hohen bis sehr hohen Waldbrandgefahr auf.

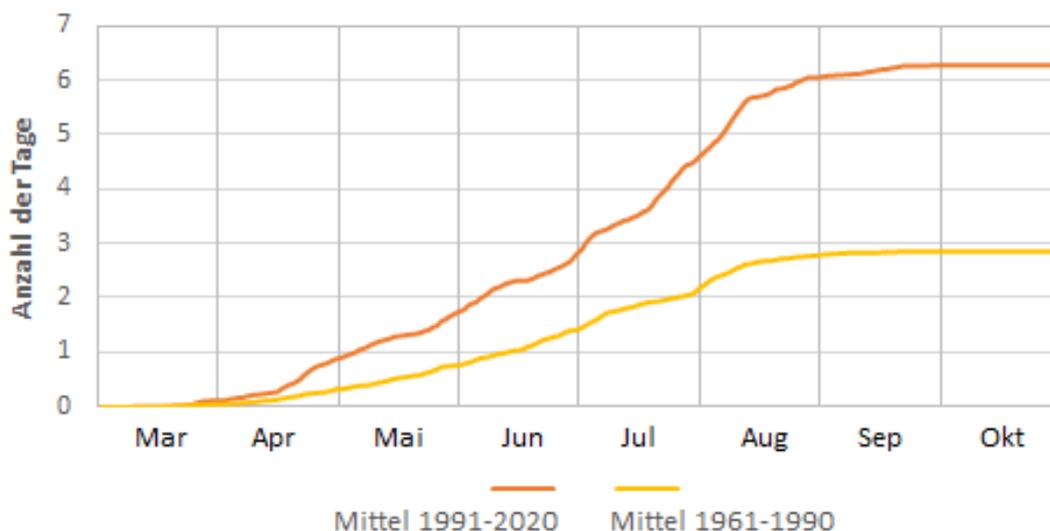


Abbildung 60: Summierte Anzahl Tage mit Waldbrandgefahrenindex WBI ≥ 4 ab 01.03. bis 31.10 eines Jahres im Mittel für Niedersachsen 1961-1990 (Gelb) sowie 1991-2020 (Orange). Datengrundlage: DWD.



6.5 Durchfeuchtung der Böden auf Waldflächen

Niedersachsen hat im Vergleich der Bundesländer die drittgrößte Waldfläche. Regionale Unterschiede bestehen zwischen dem waldreichen Süden und dem waldärmeren Nordwestniedersachsen (ML 2014). Dabei ist für alle Baumbestände eine ausreichende Wasserverfügbarkeit die essentielle Wachstumsgröße. Die Menge des im Boden vorhandenen Wassers wird maßgeblich von dem Niederschlag (sowie zum Teil vom Grundwasser) und der Temperatur (bzw. Verdunstung) beeinflusst. Fallen besonders heiße und trockene Zeitabschnitte zusammen, kann der Wasserbedarf der Bestände nicht mehr allein durch den Niederschlag gedeckt werden. Im Zusammenhang mit der seit 2018 anhaltenden Trockenheit leiden die niedersächsischen Wälder vermehrt unter Vitalitätsschwäche und sind anfälliger für Schädlingsbefall (ML 2022b).

Das für Pflanzen maximal nutzbare Bodenwasser wird als nutzbare Feldkapazität bezeichnet. Die Bodenfeuchte kann als relative Zahl (%nFK) beschrieben werden, die den Füllstand des Bodenwasserspeichers in Prozent beschreibt. Ein Wert von 100 %nFK oder mehr bedeutet, dass die Speicherfähigkeit des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser erreicht ist. Die dargestellten Ergebnisse betrachten den Boden bis in eine Tiefe von 60 cm, Bäume können noch aus tieferen Bereichen Wasser entnehmen.

- Im Vergleich zu 1961-1990 zeigt sich eine Abnahme des Bodenwasservorrats.
- Der geringste Bodenwasservorrat lag im Extremjahr 2018 vor.

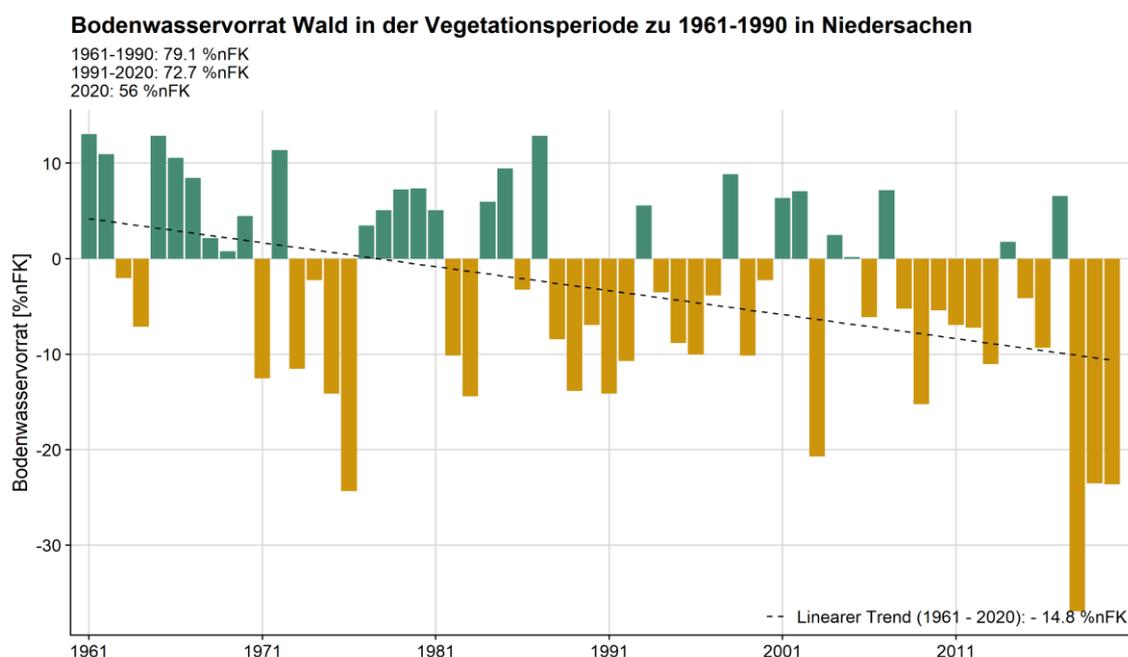


Abbildung 61: Anomalie des Bodenwasservorrats in der Vegetationsperiode zwischen 1961 und 2020 (Apr. – Sept.) auf Waldflächen der Einzeljahre in Niedersachsen (Balken) bezogen auf den Mittelwert des Zeitraums 1961-1990 (Datengrundlage BOWAB, LBEG). Grüne Balken kennzeichnen, dass der Bodenwasservorrat höher ausfiel als im Mittel 1961-1990, gelbe Balken, dass er geringer war. Die gestrichelte Linie stellt den linearen Trend für Niedersachsen dar.

Für den extrem warmen und trockenen Sommer 2018 waren im Vergleich zur mittleren Bodenfeuchte 1961-1990 die größten Abweichungen festzustellen (Abbildung 61). Beständige Hochdruckgebiete führten zu einer sehr trockenen Witterung in Nordeuropa (DWD 2018d) mit erheblichen Auswirkungen auf die Vegetation und insbesondere auch die Wälder Niedersachsens (ML 2022b). Die Niederschläge während der Vegetationsruhe 2018/2019 reichten nicht aus, um den pflanzenverfügbaren Bodenwasserspeicher nach dem trockenen Sommer wieder aufzufüllen. Auch 2019 und 2020 setzte sich der Trend fort. Der lineare Trend von 1961-2020 zeigt eine deutliche Abnahme der mittleren Bodenfeuchte. Vor allem seit 2008 befindet sich Niedersachsen in einer ausgeprägten Trockenphase.

Die 30-jährigen Mittelwerte des Bodenwasservorrats in der Vegetationsperiode auf Waldflächen zeigen für jeden Zeitraum Abnahmen im Vergleich zu 1961-1990 (Tabelle 33). Das Östliche Flachland ist aufgrund der eher sandigen Böden mit 76 %nFK die Klimaregion mit den am stärksten genutzten Bodenwasservorräten. Dies wird durch den Klimawandel weiter verschärft. Die Abnahmen sind mit -7 %nFK 1991-2020 im Vergleich zu 1961-2020 zusammen mit dem Berg- und Hügelland am höchsten. An der Küste und im Westlichen Flachland sind etwas geringere Abnahmen festzustellen.

Tabelle 33: Bodenwasservorrat 1961-1990 in der Vegetationsperiode in %nFK sowie die Veränderung des Bodenwasservorrats 1971-2000, 1981-2010 und 1991-2020 zu 1961-1990 (in %nFK) für verschiedene Regionen Niedersachsens (Datengrundlage BOWAB, LBEG). Negative Zahlen kennzeichnen eine Abnahme des Bodenwasservorrats im Vergleich zu 1961-1990.

	Änderung zu 1961-1990			
	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1991-2020
Küste	80 %nFK	-3 %nFK	-3 %nFK	-5 %nFK
Östl. Flachland	76 %nFK	-4 %nFK	-4 %nFK	-7 %nFK
Westl. Flachland	81 %nFK	-3 %nFK	-3 %nFK	-5 %nFK
Berg- und Hügelland	82 %nFK	-3 %nFK	-4 %nFK	-7 %nFK
Harz	82 %nFK	-3 %nFK	-2 %nFK	-6 %nFK
Niedersachsen	79 %nFK	-3 %nFK	-3 %nFK	-6 %nFK

9.

ZUSAMMEN-
FASSUNG





ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Bericht macht die klimatischen Veränderungen sichtbar und verdeutlicht die Wirkung auf die Bereiche Gesundheit, Wasser und Land. Obwohl sich der Klimawandel unterschiedlich stark auf die fünf Klimaregionen Niedersachsens auswirkt, lassen sich die gesammelten Erkenntnisse folgendermaßen zusammenfassen:

Es ist deutlich wärmer geworden, die Sommer trockener, Meldungen von zeckenbissbedingten FSME Erkrankungen nehmen zu, Grundwasserstände und -neubildungsraten nehmen ab, die Flüsse führen im Sommer weniger Wasser, der Meeresspiegel steigt, die Böden sind trockener, die Jahreszeiten verschieben sich und die Waldbrandgefahr nimmt zu. Diese und weitere Änderungen im Land Niedersachsen sind die Folgen des Klimawandels an die wir uns anpassen müssen – und dies bereits heute schon.

Der deutliche Trend der Erwärmung wirkt sich vielfältig auf die Menschen in Niedersachsen aus. Direkte Auswirkungen zeigen sich durch zunehmende Badeverbote aufgrund von Cyanobakterien in den wärmeren Seen. Gerade während der Hitzesommer fällt so eine wichtige Abkühlungsmöglichkeit weg. Dabei kann festgestellt werden, dass Hitzewellen die Sterberate erhöhen. Besonders für alte und gesundheitlich vorbelastete Menschen ist das ein Risiko. Zudem ist nachgewiesen, dass die veränderten klimatischen Bedingungen dazu führen, dass (invasive) Arten in unsere Breiten vordringen, welche wiederum neue Infektionskrankheiten mit sich bringen können.

Treten höhere Temperaturen in Kombination mit weniger Niederschlag auf, hat dies deutliche Folgen für den Wasserhaushalt. Durch die höheren Temperaturen verbraucht die Vegetation mehr Wasser und es kommt zu erhöhter Verdunstung an der Oberfläche, was durch Regen zum Teil nicht mehr kompensiert werden kann. Die dramatischen Folgen haben wir im Rekorddürrejahr 2018 erlebt. Dabei handelt es sich nicht um ein singuläres Ereignis. Die letzten zehn Jahre waren insgesamt zu warm und zu trocken. Das Resultat waren abnehmende Bodenwassergehalte, sinkende Grundwasserneubildungsraten und fallende Grundwasserstände, niedrige Abflüsse in Flüssen und eine erhöhte Waldbrandgefahr. Diese Änderungen der Wasserverfügbarkeit können Konsequenzen für die öffentliche Trinkwasserversorgung, die Land- und Forstwirtschaft und nicht zuletzt auch für natürliche Ökosysteme bedeuten. Gleichzeitig haben weniger Schneetage im Harz negative Folgen für eine Region, in welcher Wintersport (u. a. der Skitourismus) ein wichtiger wirtschaftlicher Faktor ist.

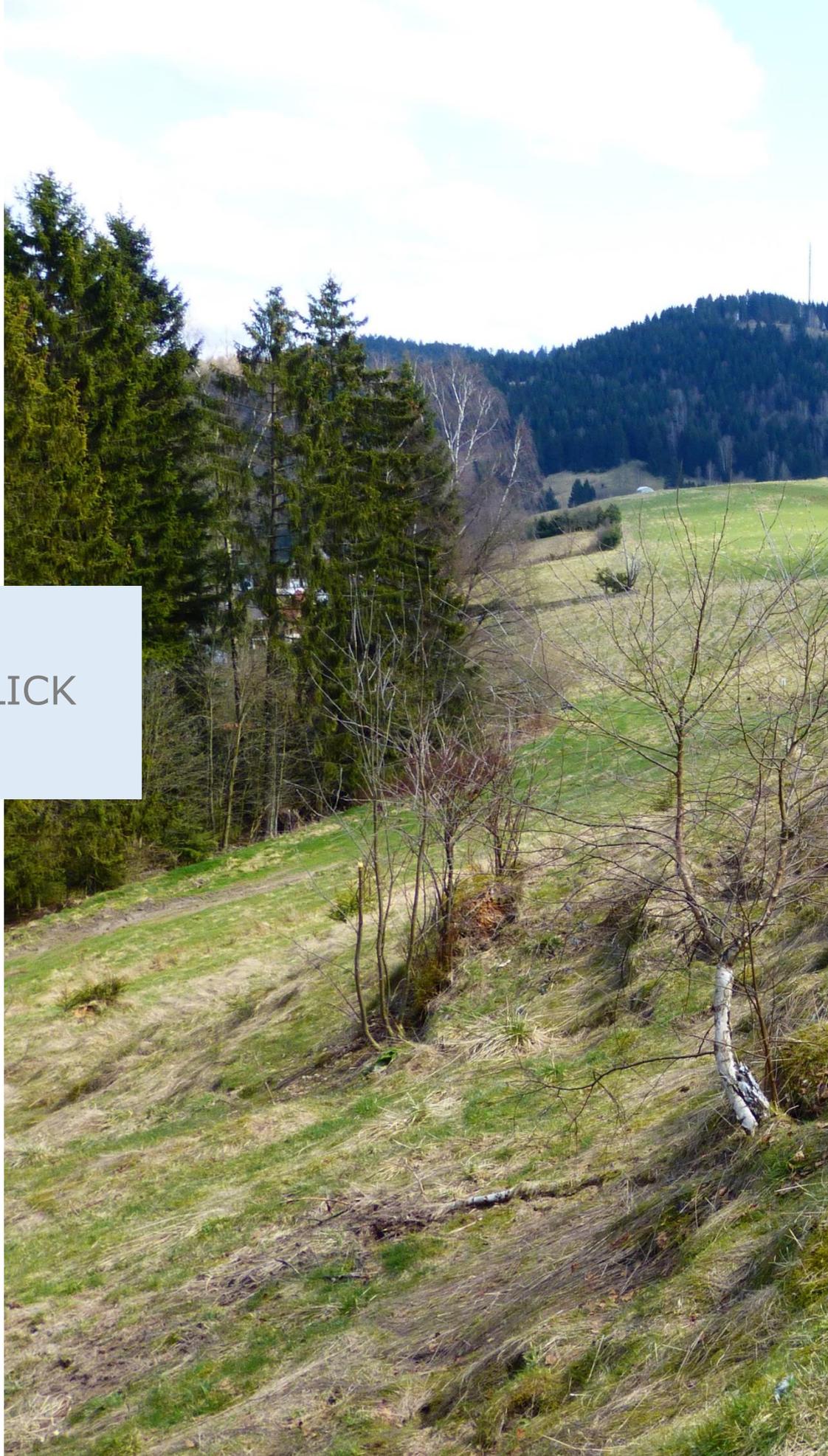
Als Küstenland ist Niedersachsen direkt vom Meeresspiegelanstieg betroffen. Messungen belegen, dass der Meeresspiegel bereits angestiegen ist. Dieser Effekt kann an der Nordseeküste beispielsweise dazu führen, dass Sturmfluten höher ausfallen oder auch, dass die Salzbelastung im Grundwasser steigen kann. Gleichzeitig kam es zu einem erhöhten Bedarf an Siel- und Schöpfleistung. Ursache war die Kombination von steigendem Meeresspiegel mit zunehmenden Winterniederschlägen, die aus dem Binnenland zur Nordsee abfließen. In absehbarer Zukunft kommt die verfügbare Schöpfleistung an ihre Grenzen. Auch das Wattenmeer als Weltnaturerbe und einzigartiger Lebensraum vieler Tiere- und Pflanzenarten ist durch den Meeresspiegelanstieg gefährdet.

Es wird deutlich, dass der Klimawandel regional unterschiedliche Anpassungen in Niedersachsen erforderlich macht. Hierfür ist ein kontinuierliches Monitoring notwendig, das zeitlich hochaufgelöst Veränderungen hervorhebt und entsprechende Handlungsfelder regional erkennbar macht. Daher ist es notwendig, bestehende Messnetze auszubauen und vorliegende Datengrundlagen durch weitere Informationsquellen zu erweitern (siehe Ausblick).

Abschließend verdeutlicht der Klimafolgenmonitoringbericht, dass der Klimawandel Realität ist. Bereits heute gibt es in Niedersachsen in vielen Bereichen unserer Umwelt spürbare Auswirkungen dieses Wandels. Weitere Veröffentlichungen wie der *Klimareport Niedersachsen* (2018) und die *Klimawirkungsstudie Niedersachsen* (2019) zeigen, dass die klimatischen Veränderungen und ihre Auswirkungen zukünftig weiter zunehmen könnten. Es ist wichtig, dass alles unternommen wird, das Voranschreiten des Klimawandels zu bremsen und den Klimaschutz weiter voranzutreiben. Gleichzeitig wird es immer relevanter, sich bereits heute an die möglichen Folgen des Klimawandels anzupassen, um im Sinne des Vorsorgeprinzips katastrophalen Folgen vorzubeugen. Die Zeit zu handeln ist jetzt, um eine lebenswerte Zukunft für kommende Generationen zu gewährleisten.

10.

AUSBLICK





AUSBLICK: ZUKÜNFTIGE BEDARFE UND MÖGLICHKEITEN ZUR WEITERENTWICKLUNG DES NIEDERSÄCHSISCHEN KLIMAFOLGENMONITORINGS

Der vorliegende Bericht fasst zum ersten Mal die Erkenntnisse eines Klimafolgenmonitorings für Niedersachsen zusammen, bei dem Indikatoren in den Clustern Klima, Gesundheit, Wasser und Land übersichtlich zusammengestellt werden. Ein Monitoring ist eine kontinuierliche Aufgabe, daher muss es in regelmäßigen Abständen wiederholt werden, um Änderungen und neueste Erkenntnisse bestehender Indikatoren zu diskutieren und diese auch zu erweitern.

Die hier aufgeführten Indikatoren stellen eine Auswahl dar, welche sich auf den verfügbaren Daten begründet, die zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieses Berichtes vorlagen. Während die State-Indikatoren bereits einen guten Überblick über die klimatischen Entwicklungen geben, fehlen bei den Impact-Indikatoren, welche die Folgen dieser Entwicklungen unter verschiedenen Gesichtspunkten beschreiben, noch eine Reihe von Handlungsfeldern. So fehlen in diesem Bericht die Handlungsfelder Katastrophenschutz, Fischerei, Biologische Vielfalt, Bauwesen, Energiewirtschaft, Verkehr, Industrie und Gewerbe, Tourismus, Finanzwirtschaft sowie Raumordnung/Regional- und Bauleitplanung, welche allesamt im Kontext der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) betrachtet werden. Daneben fehlen auch in einigen der in diesem Bericht aufgeführten Handlungsfeldern noch weitere Impact-Indikatoren. Beispiele hierfür sind „Belastung mit Ambrosiapollen“ im Cluster Gesundheit, „Hagelschäden in der Landwirtschaft“ oder „Grünlanderhaltung“ oder „Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten“ im Cluster Land. Auch sind in diesem Bericht keine Response-Indikatoren aufgeführt, die beschreiben, in welchem Ausmaß Politik und Gesellschaft in den jeweiligen Handlungsfeldern auf die dargestellten Veränderungen reagieren. Diese sind jedoch besonders wichtig, um die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen zu unterstützen und zu beurteilen. All dies konnte in diesem Bericht nicht abgehandelt werden, da langjährige Zeitreihendaten fehlten oder die Ressourcen zur Aufbereitung nicht vorhanden waren.

Eine Erweiterung der Messnetze sowie die Einbindung weiterer Handlungsfelder sind für zukünftige Monitoringberichte angestrebt. Da das Monitoring eine langfristige und kontinuierliche Aufgabe ist, muss das Monitoringnetz zeitnah erweitert werden und mit entsprechenden finanziellen und personellen Ressourcen hinterlegt sein. Um das Klimafolgenmonitoring über die Zeit weiterzuentwickeln und mit weiteren Indikatoren zu hinterlegen, können beispielsweise auch zeitlich befristete Projekte wie WAKOS helfen, deren Monitoring dann in eine Daueraufgabe überführt wird. Auch durch das Projekt TroWaK der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt NW-FA wird für den

nächsten Monitoringbericht eine bessere Abschätzung der Entwicklung der Durchfeuchtung der Böden auf Waldflächen möglich sein.

Daher besteht erheblicher Bedarf, das vorliegende Klimafolgenmonitoring zu erweitern und zusätzliche Messungen und Erhebungsreihen zu etablieren, um die Auswirkungen des Klimawandels in Niedersachsen zu verstehen. Nur durch ein umfassendes Verständnis der Folgen des Klimawandels können effektive Maßnahmen zur Klimaanpassung entwickelt werden.

11.

KOMPETENZ IN NIEDER-
SACHSEN ZU DEN FOLGEN
DES KLIMAWANDELS UND
KONTAKTMÖGLICHKEITEN



NIEDERSÄCHSISCHES KOMPETENZZENTRUM KLIMAWANDEL (NIKO)

Das Niedersächsische Kompetenzzentrum Klimawandel (NIKO) ist 2021 als Service- und Beratungsstelle zu den Themen Klimawandel und Klimafolgenanpassung gegründet worden. Seitdem informiert und berät das NIKO zu den Ursachen des Klimawandels, den Folgen des Klimawandels und zu Klimaanpassung in Niedersachsen.

Das NIKO:

- ... bereitet Klimadaten der Vergangenheit und der projizierten Zukunft kostenfrei auf.
- ... begleitet Projekte zum Klimawandel und zur Klimaanpassung.
- ... unterstützt den Aufbau des niedersächsischen Klimakompetenznetzwerks
- ... organisiert regelmäßig Treffen des Kommunalen Klimaanpassungsnetzwerks Niedersachsen.
- ... informiert zum Klimawandel, zu Klimafolgen und zur Anpassung an den Klimawandel in Niedersachsen.

Das NIKO betreibt das [Niedersächsische Klimainformationssystem \(NIKLIS\)](#). Im NIKLIS finden Sie Karten und Informationen zum Klima der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft – wie z. B. Temperatur, Eistage und vieles mehr. Eine Abgabe der Daten ist ebenfalls möglich. Das NIKLIS ist seit August 2022 kostenfrei für alle Interessierten online verfügbar.

Das NIKO hat die Erstellung dieser Veröffentlichung koordiniert und zum Klimafolgenmonitoringbericht die folgenden Indikatoren beigetragen:

Cluster Temperatur

- Jahresmitteltemperatur
- Mitteltemperatur der vier Jahreszeiten
- Sommertage
- Hitzetage
- Tropennächte
- Frosttage
- Eistage

Cluster Niederschlag

- Jahresniederschlagssumme
- Mittelwerte Niederschläge der vier Jahreszeiten
- Trockenperioden
- Starkregentage
- Schneetage

Des Weiteren hat das NIKO den Indikator „Tage mit Waldbrandgefährdungsstufe 4 oder 5“ in Zusammenarbeit mit den Niedersächsischen Landesforsten und der Nordwestdeutschen Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) erstellt.



Kontakt zum NIKO:

Telefon: 0511/120-3500

E-Mail: niko@mu.niedersachsen.de

Webseite: www.niko-klima.de

Archivstraße 2, 30169 Hannover



LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (LBEG)

Das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) ist eine dem niedersächsischen Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (MW) nachgeordnete obere Landesbehörde. In den Bereichen Grundwasser und Bodenschutz arbeitet das LBEG auch dem Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz zu. Als Geologischer Dienst für Niedersachsen zählen zu den Aufgaben des LBEG die Erhebung, Aufbereitung und Auswertung von Geofachdaten. Damit unterstützen und beraten die Expert:innen des LBEG die Landesregierung zu den Themen Boden, Geologie, Geothermie, Grundwasser und Rohstoffe. Im NIBIS® Kartenserver, dem Internetportal des LBEG, werden die Geofachdaten der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. In der hauseigenen Schriftenreihe, den GeoBerichten, werden fortlaufend aktuelle Themen veröffentlicht. Darüber hinaus engagiert sich das LBEG als Bergbehörde für Niedersachsen, Bremen, Schleswig-Holstein und Hamburg für die Sicherung und nachhaltige Nutzung von Rohstoffen und Ressourcen.

Seit mehreren Jahren untersucht das LBEG im Rahmen von umfassenden und vielseitigen Projekten den Klimawandel in Niedersachsen und dessen Auswirkungen auf den Boden und das Grundwasser. Als Teil des Klimakompetenznetzwerkes findet ein enger Austausch mit anderen Fachdisziplinen und Institutionen statt. Darüber hinaus unterstützt das LBEG im Themenbereich Grundwasser und Boden das NIKO.

Das LBEG hat zum Klimafolgenmonitoringbericht die folgenden Indikatoren beigetragen:

Cluster Wasserwirtschaft:

- Grundwasserneubildung

Cluster Bodenschutz:

- Regenerosivität
- Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden

Des Weiteren hat das LBEG den Indikator „Durchfeuchtung der Böden auf Waldflächen“ in Zusammenarbeit mit den Niedersächsischen Landesforsten und der Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) erstellt.



Kontakt zum LBEG:

Telefon: 0511 / 643-0

E-Mail:

poststelle-hannover@lbeg.niedersachsen.de

Webseite:

<http://www.lbeg.niedersachsen.de>

LANDESAMT FÜR STATISTIK (LSN)

Das Landesamt für Statistik Niedersachsen (LSN) hat den Auftrag, statistische Informationen zu erheben, aufzubereiten und zu veröffentlichen, um Entwicklungen und Strukturen in Niedersachsen transparent zu machen.

Im LSN werden rund 270 Statistiken auf der Grundlage von Verordnungen der Europäischen Union (EU), Landes- und Bundesgesetzen sowie Erlassen und Verwaltungsvereinbarungen erstellt.

Diese statistischen Ergebnisse stehen allen zur Verfügung: Politik, Verwaltung, Wirtschaft sowie den Bürger:innen. Das LSN arbeitet mit den anderen Statistischen Ämtern des Bundes und der Länder zusammen und trägt zu den Ergebnissen von EU- und Bundesstatistiken bei.

Das LSN hat zum Klimafolgenmonitoringbericht den folgenden Indikator beigetragen:

- Beginn der Apfelblüte



Kontakt zum LSN:

Telefon: 0511/9898 2213

E-Mail: ortrud.moshake@statistik.niedersachsen.de

Webseite: www.statistik.niedersachsen.de

NIEDERSÄCHSISCHES LANDESGESUNDHEITSAMT (NLGA)

Das Niedersächsische Landesgesundheitsamt (NLGA) hat das Ziel, die Gesundheit der Menschen in Niedersachsen zu fördern und zu schützen. Das NLGA berät insbesondere die kommunalen Gesundheitsbehörden/Gesundheitsämter und hat kaum direkte Berührungspunkte mit den Einwohner:innen Niedersachsens.

Aufgaben des NLGA:

- Durchführung von mikrobiologischen, umweltmedizinischen und wasserhygienischen Untersuchungen einschließlich krankenhaushygienischer Analysen.
- Bündelung und Auswertung von Daten z. B. zur Verbreitung von Infektionskrankheiten, zur Trinkwasserqualität oder zu Schuleingangsuntersuchungen.
- Konzeption und Durchführung von Fortbildungsveranstaltungen für Berufsgruppen des Gesundheitswesens.
- Beratung des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (z. B. kommunale Gesundheitsämter, politische Institutionen) und medizinischer Einrichtungen (z. B. Krankenhäuser) sowie Berufsgruppen des Gesundheitswesens.
- Information der Öffentlichkeit und der Fachöffentlichkeit durch Merkblätter, Berichte und die Internetseite www.nlga.niedersachsen.de

Der NLGA hat zum Klimafolgenmonitoringbericht die folgenden Indikatoren beigetragen:

Cluster Gesundheit:

- EU-Badegewässer (Cyanobakterien, Vibrionen)
- Mortalitätssurveillance
- Inzidenz vektorübertragener Infektionen



Kontakt zum NLGA:

Yvonne Saathoff (M.Sc. Epidemiologie)

Telefon: 0511-4505-345

E-Mail: Yvonne.Saathoff@nlga.Niedersachsen.de

Webseite: www.nlga.niedersachsen.de

NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (NLWKN)

Der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) nimmt in der Funktion einer Landesoberbehörde wesentliche Aufgaben der Wasserwirtschaft in Niedersachsen wahr. Mit seinem Fachwissen in Fragen des Küsten-, Wasser-, Natur- und Strahlenschutzes und den täglich erhobenen Daten aus tausenden von Messungen und Untersuchungen liefert der NLWKN wichtige Entscheidungsgrundlagen.

Organisatorisch ist er dem Geschäftsbereich des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Klimaschutz zugeordnet. In elf Betriebsstellen und in der Direktion in Norden (Ostfriesland), in Betriebshöfen und Naturschutzstationen, an Sperrwerken, im Labor sowie in zahlreichen weiteren Einrichtungen im ganzen Land arbeitet der NLWKN für Mensch und Umwelt in Niedersachsen.

Der Geschäftsbereich 3 betreibt den Gewässerkundlichen Landesdienst (GLD), welcher das hydrologische Gesamtbild der Flüsse, Bäche und Seen sowie des Grundwassers und die ökologischen Veränderungen mit Hilfe eines niedersachsenweiten Messnetzes ermittelt, bewertet und dokumentiert. Neben Bemühungen um einen Einklang von Grundwasserschutz und Landwirtschaft analysiert der GB 3 den Klimawandel und seine Folgen für die Wasserwirtschaft, entwickelt Konzepte zum Hochwasserschutz und erstellt verlässliche Hochwasservorhersagen. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL). In der Küstenregion untersucht die Forschungsstelle Küste im NLWKN die hydro- und morphologischen Vorgänge anhand umfangreicher Messprogramme ergänzt durch numerische Modelle. Darauf aufbauend werden großräumige und langfristige Entwicklungstrends hergeleitet, auf deren Grundlagen u. a. die Vorarbeiten für Küstenschutzmaßnahmen oder morphologische Analysen erstellt werden. Mit der öffentlich zugänglichen Wasserstandsvorhersage wird frühzeitig vor Sturmfluten gewarnt.

Der NLWKN hat zum Klimafolgenmonitoringbericht die folgenden Indikatoren beigetragen:

Cluster Küstenschutz:

- Sturmfluten
- Meeresspiegel
- Litorale Flächenanteile
- Entwässerungsbedarf

Cluster Wasserwirtschaft:

- Grundwasserstand
- Hochwassertage
- Mittlere Abflusshöhe
- Niedrigwassertage
- Wassertemperatur Seen



Kontakt zum NLWKN:

Telefon: 04931 / 947-0

E-Mail:

poststelle.direktion@nlwkn.niedersachsen.de

Webseite:

www.nlwkn.niedersachsen.de

PROJEKT WAKOS (WASSER AN DEN KÜSTEN OSTFRIESLANDS)

Das Projekt WAKOS (kurz für Wasser an den Küsten Ostfrieslands) wird vom BMBF im Rahmenprogramm "Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA)" innerhalb der Fördermaßnahme RegIKlim (Regionale Informationen zum Klimahandeln) als eines von vier Projekten in vier verschiedenen Modellregionen gefördert.

Gemeinsam mit Akteur:innen aus den relevanten Handlungsfeldern arbeitet das Projektteam an der Identifizierung und Modellierung von (Extrem-)Ereignissen, Identifikation möglicher Wirkungsketten, Offenlegung von Anpassungskapazitäten und des Bedarfs an Klimainformationen in der Region, Zielgruppen spezifischen Aufbereitung von Klimaänderungsinformationen und Bereitstellung von Informationen für Strategien zur Stärkung der Widerstands- und Anpassungsfähigkeit der Region. Ziel ist die Entwicklung einer Blaupause für ein Zielgruppen relevantes Klimainformationssystem, das für ein integratives Klimaanpassungskonzept im Küstenraum notwendig ist, um mit den zukünftigen Herausforderungen umgehen zu können.

Das WAKOS-Projektteam hat zum Klimafolgenmonitoringbericht den folgenden Indikator beigetragen:

- Entwässerungsbedarf der Küstenniederungen



Kontakt zur Projektleitung:

Telefon: 04152/872819

E-Mail: ralf.weisse@hereon.de

Webseite: <https://ms.hereon.de/wakos/index.php.de>

12.

QUELLENVERZEICHNIS



LITERATURVERZEICHNIS

Ahlhorn, F.; Spiekermann, J.; Schaal, P.; Bormann, H. & Keschull, J. (2018): Akteursbeteiligung bei der Anpassung des Entwässerungsmanagements im norddeutschen Küstenraum. In: *Wasser und Abfall* 20(7/8), S. 28–35.

Anhalt, M.; Bindick, S.; Meyer & S. (2021): Das Juli-Hochwasser 2017 im südlichen Niedersachsen. Unter Mitarbeit von Kurt Bültmann, Susanne Aurich, Frank Eggelsmann, Hans-Joachim Lüke, Philipp Haferkamp und Ulrich Neubauer. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN). Online verfügbar unter <https://docslib.org/doc/9185642/das-juli-hochwasser-2017-im-s%C3%BCdlichen-niedersachsen>.

BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. KA5. Hrsg. von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten, S. 1-438.

Bormann, H.; Keschull, J.; Ahlhorn, F.; Spiekermann, J. & Schaal, P. (2018): Modellbasierte Szenarioanalyse zur Anpassung des Entwässerungsmanagements im nordwestdeutschen Küstenraum. In: *Wasser und Abfall*, 20(7/8), 2018, S. 60–66.

Bormann, H.; Keschull, J. & Ahlhorn, F. (2020): Challenges of Flood Risk Management at the German Coast. In: Abdelazim M. Negm, Martina Zelenakova und Katarzyna Kubiak-Wójcicka (Hg.): *Water Resources Quality and Management in Baltic Sea Countries*. New York, Berlin: Springer; Springer [Distributor] (Springer Water Ser), S. 141–155.

Bruns, E. & van Vliet, A.J.H. (2003): Standardisation of phenological monitoring in Europe.

BMEL – Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2022): Waldbrandstatistik der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 2021. Online verfügbar unter <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/FHB-0302250-2021.pdf>.

Bundesministerium der Justiz; Bundesamt für Justiz: Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz - IfSG) § 13 Weitere Formen der epidemiologischen Überwachung; Verordnungsermächtigung. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/ifsg/_13.html.

DIN – Deutsches Institut für Normung e.V. (Hg.) (1994): Hydrologie - Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. DIN 4049-3, Oktober 1994.

DKK – Deutsches Klima-Konsortium, DMG Deutsche Meteorologische Gesellschaft, DWD Deutscher Wetterdienst, Extremwetterkongress Hamburg, Helmholtz-Klima-Initiative, klimafakten.de (2022): Was wir heute übers Klima wissen Basisfakten zum Klimawandel, die in der Wissenschaft unumstritten sind.

DWD – Deutscher Wetterdienst: Climate Data Center (CDC). Unter Mitarbeit von Deutscher Wetterdienst. Online verfügbar unter <https://cdc.dwd.de/portal/>.

DWD – Deutscher Wetterdienst: Hydrometeorologischer Rasterdatensatz Niederschlag für Deutschland (HYRAS-DE-PRE). Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/leistungen/hyras_de_pre/hyras_de_pre.html.

DWD – Deutscher Wetterdienst (1964): Untersuchung der ältesten Temperaturmessungen mit Hilfe des strengen Winters 1708-1709. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_berichte/pdf_einzelba

ende/92_pdf.pdf;jsessio-
nid=F6E2E85291F0BCBCF91415D7CDC90B14.live21073?__blob=publication-
File&v=3. Berichte des Deutschen Wetterdienstes. Hg. v. Deutscher Wetterdienst. Of-
fenbach.

DWD – Deutscher Wetterdienst (1996): Beiträge zum Winter 1995/1996. Online verfüg-
bar unter [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/tempera-
tur/19960301_beitraege_winter1995.pdf?__blob=publicationFile&v=4](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/tempera-
tur/19960301_beitraege_winter1995.pdf?__blob=publicationFile&v=4). Berichte des
Deutschen Wetterdienstes. Hg. v. Deutscher Wetterdienst. Offenbach.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2004): Klimastatusbericht 2003. S. 1-190.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2007): Eine Winterchronik: Die Kälte der Winter in
Deutschland von 1960/61 bis 2007/08. Online verfügbar unter
[https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_berichte/pdf_einzelba-
ende/232_pdf.pdf;jsessio-
nid=33A20D27137329BA5B74443A9B592F04.live21074?__blob=publicationFile&v=2](https://www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_berichte/pdf_einzelba-
ende/232_pdf.pdf;jsessio-
nid=33A20D27137329BA5B74443A9B592F04.live21074?__blob=publicationFile&v=2).

DWD – Deutscher Wetterdienst (2015, überarbeitet 2021): Anleitung für die phänologi-
schen Beobachter des Deutschen Wetterdienstes, Vorschriften und Betriebsunterlagen
Nr. 17. Hg. v. Deutscher Wetterdienst. Offenbach.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2018a): Klimareport Niedersachsen. Fakten bis zur
Gegenwart- Erwartungen für die Zukunft, S. 1–52.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2018b): Vorläufiger Rückblick auf den Sommer 2018-
eine Bilanz extremer Wetterereignisse. Online verfügbar unter
[https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20180803_be-
richt_sommer2018.pdf?__blob=publicationFile&v=10](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20180803_be-
richt_sommer2018.pdf?__blob=publicationFile&v=10).

DWD – Deutscher Wetterdienst (2018c): Deutschlandwetter im Jahr 2018. 2018 – ein
außergewöhnliches Wetterjahr mit vielen Rekorden. Online verfügbar unter
[https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20181228_deutschland-
wetter_jahr2018.pdf?__blob=publicationFile&v=3](https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20181228_deutschland-
wetter_jahr2018.pdf?__blob=publicationFile&v=3).

DWD – Deutscher Wetterdienst (2018d): Die Trockenheit in Deutschland 2018 aus agr-
armeteorologischer Sicht. Online verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/leistun-
gen/besondereereignisse/duerre/20180705_trockenheit_in_deutsch-
land_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2](https://www.dwd.de/DE/leistun-
gen/besondereereignisse/duerre/20180705_trockenheit_in_deutsch-
land_2018.pdf?__blob=publicationFile&v=2).

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022a): Stadtklima- die städtische Wärmeinsel. Online
verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klima-
wirk/stadtpl/projekt_waermeinseln/projekt_waermeinseln_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klima-
wirk/stadtpl/projekt_waermeinseln/projekt_waermeinseln_node.html). Abruf 22.06.2022.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022b): Wetter- und Klimalexikon. Heißer Tag. Online
verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Func-
tions/glossar.html?lv2=101094&lv3=101162](https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Func-
tions/glossar.html?lv2=101094&lv3=101162). Abruf 22.06.2022.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022c): Wetter- und Klimalexikon. Eistag. Online ver-
fügbar unter [https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Func-
tions/glossar.html?lv2=100652&lv3=100720](https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Func-
tions/glossar.html?lv2=100652&lv3=100720). Abruf 22.06.2022.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022d): Wetter- und Klimalexikon. Sommertag. Online
verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Func-
tions/glossar.html?nn=103346&lv2=102248&lv3=102522](https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Func-
tions/glossar.html?nn=103346&lv2=102248&lv3=102522). Abruf 22.06.2022.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022e): Wetter- und Klimalexikon. Tropennacht. Hg.
v. DWD. Online verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Func-
tions/glossar.html?lv2=102672&lv3=102802](https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Func-
tions/glossar.html?lv2=102672&lv3=102802). Abruf 22.06.2022.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022f): Das Wetter in Deutschland im Jahr 2003. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2004/20040102_deutschlandwetter_jahr2003.pdf?__blob=publicationFile&v=3. Abruf 22.06.2022.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022g): Deutschlandwetter im Winter 2006/07. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2007/20070227_deutschlandwetter_winter.pdf;jsessionid=90A987EB22F56B4214A71B5338705C50.live21061?__blob=publicationFile&v=2. Abruf 22.06.2022.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022h): Untersuchung zum Stadtklima der Landeshauptstadt Hannover. Kurzfassung, S. 1–25.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022i): Wetter- und Klimalexikon. Frosttag. Hg. v. DWD. Online verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Funktions/glossar.html?lv3=100912&lv2=100784>. Abruf 22.06.2022.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022j): Erläuterungen zum Waldbrandgefahrenindex. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/basis_waldbrandgefahrenindex_doku.html;jsessionid=1246B311F33F0EEF21D7E07C93403A4F.live21073?nn=344238. Abruf 14.07.2022.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022k): Wetter- und Klimalexikon. Lufttemperatur. Hg. v. DWD. Online verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Funktions/glossar.html?lv2=101518&lv3=101632>. Abruf 22.06.2022.

DWD – Deutscher Wetterdienst (2022j): Wetter- und Klimalexikon. Jahreszeiten. Hg. v. DWD. Online verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Funktions/glossar.html;jsessionid=B70F3E-BEF9608D45257FF8DB73C96D3E.live21061?lv2=101304&lv3=101324>. Abruf 22.06.2022.

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. LBEG. Hannover.

EuroMOMO: European mortality monitoring activity. Online verfügbar unter <https://www.euromomo.eu/>.

Fenner, D.; Mücke, H.-G. & Scherer, D. (2015): Innerstädtische Lufttemperatur als Indikator gesundheitlicher Belastungen in Großstädten am Beispiel Berlins.

Feser, F.; Barcikowska, M.; Krueger, O.; Schenk, F.; Weisse, R. & Xia, L. (2015): Storminess over the North Atlantic and Northwestern Europe : A review. In: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 141, Artikel doi:10.1002/qj.2364, S. 350–382. Online verfügbar unter https://pure.mpg.de/pubman/faces/ViewItemFullPage.jsp?itemId=item_2030911_4, zuletzt geprüft am 20.03.2023.

Fischer et al. (2020): Klimabedingte Zunahme der Regenerosität seit 1960. Online verfügbar unter <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1525847/1525847.pdf>.

Fox-Kemper, B.; Hewitt, H. T.; Xiao, C.; Aðalgeirsdóttir, G.; Drijfhout, S. S.; Edwards, T. L. et al. (2021): Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Unter Mitarbeit von Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K.

- Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, & B. Zhou. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
- Friedrich, K. (2022): Fachaustausch per Mail. DWD. 09.11.2022.
- Garner, G. G.; Hermans, T.; Kopp, R. E.; Slangen, A. B. A.; Edwards, T. L.; Levermann, A. et al. (2021): IPCC AR6 Sea Level Projections.
- Garner, G. G.; Kopp, R. E.; Hermans, T.; Slangen, A.B.A.; Koubbe, G.; Turilli, M. et al. (2022): Framework for Assessing Changes To Sea-level (FACTS). Geoscientific Model Development.
- IGB – Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (2018): Seen im Klimawandel – Diagnosen und Prognosen aus der Langzeitforschung. Berlin.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: Interactive Atlas: Regional synthesis. Online verfügbar unter <https://interactive-atlas.ipcc.ch/regional-synthesis>.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): Human Health: Impacts, Adaptation, and Co-Benefits. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap11_FINAL.pdf.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2018): 1,5 °C globale Erwärmung. Ein IPCC-Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C gegenüber vorindustriellem Niveau und die damit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/07/SR1.5-SPM_de_barrierefrei.pdf.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2019): Food security. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Online verfügbar unter https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2021/02/08_Chapter-5_3.pdf.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2020): Sonderbericht über Klimawandel und Landsysteme (SRCCL). Hg. v. IPCC, SCNAT und Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.de-ipcc.de/media/content/Hauptaussagen_SRCCL.pdf.
- Kaspar, F.; Zimmermann, K. & Polte-Rudolf, C. (2014): An overview of the phenological observation network and the phenological database of Germany's national meteorological service (Deutscher Wetterdienst). In: *Adv. Sci. Res.* 11, Artikel doi:10.5194/asr-11-93-2014, S. 93–99.
- KLIWA – Kooperationsvorhaben Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (2015): Einfluss des Klimawandels auf Seen – Literaturlauswertungsstudie. Konstanz.
- Knaack, H.; Berkenbrink, C. & Wurpts, A. (2021): Ermittlung der Sturmflutgrenzen für die niedersächsische Küste und Ästuare. Untersuchungsbericht 02/2021 NLWKN-Forschungsstelle Küste (unveröffl.).
- Krieger, D.; Krueger, O.; Feser, F.; Weisse, R.; Tinz, B. & Storch, H. (2021): German Bight storm activity, 1897–2018. In: *Int J Climatol* 41 (S1). DOI: 10.1002/joc.6837.

Krug, A. & Mücke, H-G. (2018): Auswertung Hitze-bezogener Indikatoren als Orientierung der gesundheitlichen Belastung. In: *UMID*, S. 67–79.

Küstenmuseum Juist (2022): Inselgeschichte. Online verfügbar unter https://kuestenmuseum-juist.de/?page_id=142. Abruf 14.07.2022.

LBEG – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2012): Klimawandel und Bodenwasserhaushalt. Unter Mitarbeit von Müller, U., Engel, N., Heidt, L., Schäfer, W., Kunkel, R., Wendland, F., Roehm, H., Elbracht, J.: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Online verfügbar unter https://nibis.lbeg.de/DOI/dateien/GB_20_Text_web_klein.pdf.

LBEG – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2021a): 30 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. Unter Mitarbeit von Heinrich Höper und Henning Meesenburg: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Online verfügbar unter https://nibis.lbeg.de/doi/DOI.aspx?doi=10.48476/geober_39_2021.

LBEG – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2021b): GeoBerichte 40. Erläuterung zur BK 50 von Niedersachsen. Unter Mitarbeit von E. Gehrt, I. Benne, S. Evertsbusch, K. Krüger und S. Langner. Hg. v. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. LBEG. Hannover. Online verfügbar unter https://nibis.lbeg.de/doi/DOI.aspx?doi=10.48476/geober_40_2021.

Meynen, E. & Schmithüsen, J. (1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Bundesanstalt für Landeskunde. Remagen/Bad Godesberg.

ML – Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2014): Der Wald in Niedersachsen. Ergebnisse der Bundeswaldinventur 3. Hg. v. Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter https://www.ml.niedersachsen.de/download/90884/Download_Broschuere_Der_Wald_in_Niedersachsen_Ergebnisse_der_Bundeswaldinventur_3.pdf.

ML – Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2022a): Dürrehilfe – Aktuelle Informationen zum Stand der Auszahlungen. Online verfügbar unter <https://www.ml.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/duerreihilfe-aktuelle-informationen-zum-stand-der-auszahlungen-173847.html>. Abruf 22.06.2022.

ML – Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2022b): Waldzustandsbericht 2022. Hg. v. Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Online verfügbar unter <https://www.nw-fva.de/wir/aktuelles/wzb-2022-ni>.

MU – Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2012): Empfehlung für eine niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/projekte-studien/empfehlung-fuer-eine-niedersaechsische-strategie>.

MU – Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2019): Klimawirkungsstudie Niedersachsen. Hannover.

MU – Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (2022): Niedersächsische Strategie zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels 2021. Hg. v. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz.

Niedersächsisches Gesetz zum Schutz des Klimas und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Niedersächsisches Klimaschutzgesetz - NKSG), S. 1–34.

NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2017): Globaler Klimawandel – Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland. Gesamtbericht des Projektes KliBiW, Themenbereich Hochwasser. NLWKN Schriftenreihe Oberirdische Gewässer 41, Norden.

NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2019a): Globaler Klimawandel – Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland. Gesamtbericht des Projektes KliBiW, Themenbereich Niedrigwasser. NLWKN Schriftenreihe Oberirdische Gewässer 42.

NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2019b): Grundwasserbericht Niedersachsen - Sonderausgabe zur Grundwasserstandssituation im Trockenjahr 2018. NLWKN Schriftenreihe Grundwasser 36, Norden.

NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2020): Grundwasserbericht Niedersachsen - Sonderausgabe zur Grundwasserstandssituation in den Trockenjahren 2018 und 2019. NLWKN Schriftenreihe Grundwasser 41, Norden.

NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2021): Grundwasserbericht Niedersachsen - Sonderausgabe zur Grundwasserstandsentswicklung im Jahr 2020. NLWKN Schriftenreihe Grundwasser 48, Norden.

NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2022a): Grundwasserbericht Niedersachsen - Sonderausgabe zur Grundwasserstandsentswicklung im Jahr 2021. NLWKN Schriftenreihe Grundwasser 54, Norden.

NLWKN – Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2022b): Niedersächsisches Messprogramm Klima-Grundwasserstand. Entwicklung eines landesweiten Messprogramms zur Ermittlung klimawandelbedingter Veränderungen der niedersächsischen Grundwasserstandssituation (Band 53).

Prognos (2022): Auswahlprozess zur Detailuntersuchung eines klimawandelbezogenen Extremereignisses. Projektbericht "Kosten durch Klimawandelfolgen", Methodisches Konzept und Anwendung. Unter Mitarbeit von J. Trenczek, O. Lühr, L. Eiserbeck, M. Sandhövel und D. Ibens. Bundesministerium für Wirtschaft. Online verfügbar unter https://www.prognos.com/sites/default/files/2022-07/Prognos_KlimawandelfolgenDeutschland_%20Auswahl_Untersuchungsereignisse_AP2_2.pdf.

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). In: *Meteorologische Zeitschrift* Vol. 22 (No. 3), S. 235–256. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0436>.

Richter, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagmessers. Offenbach am Main.

Riepe, S. (2013): Als der Winter auf den Inseln eisig war. Unter Mitarbeit von NDR. Online verfügbar unter <https://www.ndr.de/geschichte/schauplaetze/Eiswinter-1962-63-Ostfriesische-Inseln-von-der-Aussenwelt-abgeschnitten,eiswinter139.html>. Abruf 22.06.2022.

Reederei Baltrum Linie (2022): 80 Jahre Baltrum Linie. Online verfügbar unter https://www.baltrum-linie.de/wp-content/uploads/2019/04/80jahre_bl.pdf. Abruf 22.06.2022.

Sauerborn, P. (1994): Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland – Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. In: *Bonner Bodenkundliche Abhandlungen* Band 13, Bonn.

Schwertmann, U.; Vogl, W. & Kainz, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser. Vorhersage d. Abtrags u. Bewertung von Gegenmassnahmen. Stuttgart: Ulmer.

Siebert H.; Uphoff H. & Grewe, H. A. (2019): Monitoring hitzebedingter Sterblichkeit in Hessen. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*: 62:580–8.

Spiekermann, J.; Ahlhorn, F.; Bormann, H.; Kobschull, J. (2018): Zukunft der Binnenentwässerung: Strategische Ausrichtung in Zeiten des Wandels. Eine Betrachtung für das Verbandsgebiet des I. Entwässerungsverbandes Emden. Online verfügbar unter uol.de/klever/ergebnisbroschuere/.

UBA – Umweltbundesamt (2010): Die Böden Deutschlands. Sehen, Erkunden, Verstehen. Unter Mitarbeit von Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4161.pdf>.

UBA – Umweltbundesamt (2015): Empfehlung zum Schutz von Badenden vor Cyanobakterien-Toxinen. In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 58 (8), S. 908–920. DOI: 10.1007/s00103-015-2192-8.

UBA – Umweltbundesamt (2019a): Niedrigwasser. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/ww-i-4-das-indikator#ww-i-4-niedrigwasser>.

UBA – Umweltbundesamt (2019b): Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf.

UBA – Umweltbundesamt (2022): Waldbrände. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/waldbraende#waldbrände-in-deutschland>. Abruf 14.09.2022.

Winklmayr, Claudia; Muthers, Stefan; Niemann, Hildegard; Mücke, Hans-Guido & der Heiden, Matthias an (2022): Hitzebedingte Mortalität in Deutschland zwischen 1992 und 2021. In: *Deutsches Ärzteblatt* 119 (26), S. 451–457. Online verfügbar unter <https://www.aerzteblatt.de/archiv/225954/Hitzebedingte-Mortalitaet-in-Deutschland-zwischen-1992-und-2021>.

Wischmeier, W. & Smith, D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Loss: A Guide to Conservation Planning. Washington (537). In: *Agriculture Handbook*.

Wurbs, D. & Steininger, M. (2011): Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden – Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. UBA-Texte 16. Dessau-Roßlau.

Zhou, B. & Rybski, D. (2013): On the statistics of urban heat island intensity. In: *Geophysical Research Letters* 2013, S. 5486–5491.

13.

IMPRESSUM



Herausgeber der Reihe:

Niedersächsisches Kompetenzzentrum Klimawandel (NIKO)
Referat 54.2 Klimakompetenzzentrum,
Niedersächsisches Ministerium für Umwelt,
Energie und Klimaschutz
Archivstraße 2, 30169 Hannover
Tel: 0511/120-3500

niko@mu.niedersachsen.de
www.niko-klima.de

Beteiligte Organisationen:

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV)
Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)
Landesamt für Statistik Niedersachsen (LSN)
Niedersächsisches Kompetenzzentrum Klimawandel (NIKO)
Niedersächsische Landesforsten
Niedersächsisches Landesgesundheitsamt (NLGA)
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Projektverbund WAKOS

Fachliche Leitung:

Niedersächsisches Kompetenzzentrum Klimawandel (NIKO)

Redaktion:

Niedersächsisches Kompetenzzentrum Klimawandel (NIKO)

Zitierhinweis:

NIKO (2023): Klimafolgenmonitoringbericht für Niedersachsen 2023, Niedersächsisches Kompetenzzentrum Klimawandel (NIKO), Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz.

Bildquellen:

Deckblatt: v.l.n.r. und o.n.u.: Adobe Stock, Robin Stadtmann, Adobe Stock, Enke Franck, Denise Harders, Enke Franck, Adobe Stock, Adobe Stock
Seite 3+4: Adobe Stock
Seite 7+8: Adobe Stock
Seite 11+12: Enke Franck
Seite 14: Adobe Stock
Seite 30: Adobe Stock
Seite 44+45: Enke Franck
Seite 55+56: Adobe Stock
Seite 58: Adobe Stock
Seite 78: Enke Franck
Seite 87+88: Denise Harders
Seite 90: Robin Stadtmann
Seite 96: Denise Harders
Seite 99: Denise Harders
Seite 105+106: Denise Harders
Seite 109+110: Denise Harders
Seite 113: Enke Franck
Seite 122: Denise Harders
Seite 130: Denise Harders

Iconquellen:

Thermometer: Temperature by iconixar from Noun Project
Wolke: Snow rain by IconSweet from Noun Project
Herz: Health by Prettycons from Noun Project
Wassertropfen: Water by Nanda Ririz from Noun Project
Landschaft: landscape by Andrejs Kirma from Noun Project

November 2023
1. Auflage

