



## Geofakten 43

■ Klima

### Neuausweisung der Klimaregionen Niedersachsens (Version 2.0)

Hajati, M., Harders, D., Scharun, C., Elbracht, J. & Engel, N.

Dezember 2023

*In diesem Geofakt wird die verwendete Methode zur Ermittlung der Klimaregionen Niedersachsens (Version 2.0) erläutert. Hierbei handelt es sich um eine Überarbeitung der bisher verwendeten Klimaregionen, die unter anderem in der Klimawirkungsstudie 2019 verwendet wurden. Als Datengrundlage wurden 13 klimatische Parameter herangezogen. Die Abgrenzung erfolgte auf Basis der k-Means-Methode. Als Resultat wurden fünf Klimaregionen für Niedersachsen abgegrenzt. Diese bilden im Vergleich zu den bisherig verwendeten Klimaregionen homogenere Räume auf breiter klimatischer Basis ab. Die Ergebnisse können herangezogen werden, um Auswertungen über Veränderungen klimatischer Parameter im Klimawandel durchzuführen. Die Klimaregionen wurden vom Niedersächsischen Kompetenzzentrum Klimawandel (NIKO) des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz (MU) in Kooperation mit dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) erstellt. Veröffentlicht sind die Ergebnisse im NIBIS®-Kartenserver. Das entwickelte R-Skript ist im Anhang beigefügt.*

Klimawandel, Klimaregion, Klimaparameter, Klimawirkung, Klimaprojektion.

#### 1. Einleitung

Auf der Erde gibt es eine Vielzahl von Klimazonen, die maßgeblich von der Strahlungs- und Wärmebilanz abhängen. Auch die Orographie und der Einfluss der Küste spielen dabei wichtige Rollen. So zeigen sich in Niedersachsen von der Küste bis in den Harz unterschiedliche klimatische Gegebenheiten, die bisher durch die Klimaregionen (Version 1.0), veröffentlicht in der Klimawirkungsstudie (KLIMAKOMPETENZNETZWERK NIEDERSACHSEN 2019), beschrieben waren und mit dieser Studie überarbeitet wurden.

Klimaregionen sind Gebiete auf der Erde, die ähnliche klimatische Bedingungen aufweisen. Diese beeinflussen die Tier- und Pflanzenwelt sowie die menschliche Aktivität in einer Region. Es gibt verschiedene Klassifikationssysteme zur Einteilung von Klimaregionen, eines der bekanntesten ist das Köppen-Geiger-Klassifikationssystem (PEEL et al. 2007). Dieses System teilt die Welt in fünf Hauptklimazonen, welche nochmals untergliedert werden. Der größte Teil Niedersachsens befindet sich demnach in der „temperierten Klimazone mit warmen Sommern“, der Osten in der „temperierten Klimazone mit heißen Sommern“. Für regionalere Betrachtungen ist diese Einteilung jedoch zu grob.

Für Niedersachsen liegen darüber hinaus verschiedene regionale Abgrenzungen zu Klimaregionen vor. So werden im DWA-Merkblatt 590 sechs Klimaregionen für Niedersachsen identifiziert, wo-

bei die Einteilung ausschließlich auf der klimatischen Wasserbilanz in der Vegetationsperiode (April bis September) basiert (FITZTHUM et al. 2019). In der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland werden zwar vier Klimaregionen (hier: Klimaraumtypen) für Niedersachsen identifiziert, jedoch wird Niedersachsen maßgeblich von der Klimaregion „Nordwesten“ dominiert. Die Ausweisung basiert auf einer Clusteranalyse für die gesamte Bundesrepublik auf Basis verschiedener klimatischer Parameter und Zeiträume (KAHLENBORN et al. 2021). In der Klimawirkungsstudie Niedersachsen aus dem Jahr 2019 wurden kleinräumige Klimaregionen erarbeitet, um Auswertungen der Klimaprojektionsdaten bzw. Ergebnisse zu den Wirkmodellen durchführen und darstellen zu können. Die Abgrenzung beruht auf den naturräumlichen Einheiten Niedersachsens und der Unterteilung von Klimastationsregionen des LBEG (KLIMAKOMPETENZNETZWERK NIEDERSACHSEN 2019, NIKO 2023). Während die Auflösung von fünf Klimaregionen gut verteilt wirkt, zeigt sich insbesondere der beobachtete, trockene Gürtel von Ost-Niedersachsen bis zur Region Hannover nicht. Dadurch war der Bedarf gegeben, diese Klimaregionen weiterzuentwickeln.

Klimaregionen werden genutzt, um Aussagen über vergangene und zukünftige Veränderungen (z. B. Ausbreitung oder Verstärkung) typischer Klimasignale wie Hitze oder Dürre treffen zu können. Daher werden Regionen mit ähnlichen, gegenüber ande-

ren Regionen abgegrenzten klimatischen Eigenschaften benötigt, um im Rahmen eines Klimafolgen-Monitorings bereits geschehene Änderungen zu dokumentieren oder in Klimawirkungsstudien zukünftige Wirkungen auf unterschiedliche Handlungsfelder (z. B. Wasser, Boden, Forst) mit Hilfe von Klimaszenarien abzuschätzen.

Somit erfolgte eine Überarbeitung der bisherigen fünf Klimaregionen, um das maritime Klima der Küste zum trockenen subkontinentalen Klima in Ost-Zentral-Niedersachsen und zum montanen Klima des Harzes besser abzugrenzen. Hierfür wurden Klimadaten mit einer Methodik der Clusteranalyse (k-Means) verarbeitet. Im Ergebnis zeigt sich insbesondere eine neue Aufteilung des niedersächsischen Flachlands, die nun die Wasserverfügbarkeit deutlich besser abbildet. Für diese Klimaregionen lassen sich klimatische Änderungen aufgrund des Klimawandels darstellen und Handlungsoptionen aufzeigen.

## 2. Methodik

Um die Klimaregionen, die sich hinsichtlich der Kombination ihrer klimatischen Merkmale ähneln, zu identifizieren, wurde in der Open-Source-Software R mit k-Means eine Clusteranalyse durchgeführt. Die k-Means-Methode ist ein weit verbreiteter Clustering-Algorithmus in der Datenanalyse. Ihr Hauptziel besteht darin, eine Menge von Datenpunkten in vordefinierte Cluster zu gruppieren, wobei k eine im Voraus festgelegte Anzahl von Clustern ist. Grundlage für die Methode sind klimatische Parameter, die maßgeblich das Klima beschreiben.

## 2.1 Datengrundlage

Maßgeblich für die Clusteranalyse ist die Auswahl der eingehenden Parameter. Verwendet wurden folgende klimatische Parameter unterschiedlicher zeitlicher Auflösung: Dabei handelt es sich um Parameter und Kenntage der Lufttemperatur, des Niederschlags, des Höhenprofils (DGM), Wind und der potenziellen Verdunstung. Um die aktuellen Klimaregionen zu berechnen, wurden die in die Fläche interpolierten (Raster-)Daten des DWD genutzt. Bei der Auswahl der Parameter wurde darauf geachtet, dass diese hinsichtlich der klimatischen Merkmale in sich möglichst homogen und gegenüber anderen Gruppen möglichst heterogen sind.

Je nach Parameter ging der Mittelwert eines 30jährigen Zeitraums des Kalenderjahrs, der hydrologischen Halbjahre oder des meteorologischen Sommers oder Winters in die Clusteranalyse ein (Tab. 1). Für die Clusteranalyse wurden 30jährige Zeiträume genutzt, da die World Meteorological Organization (WMO) definiert, dass das Klima standardisiert durch einen Mittelwert von 30 Jahren beschrieben wird (WMO 2017). Dabei fokussiert sich diese Analyse auf den Zeitraum 1991–2020, welcher das aktuelle Klima beschreibt. Eine Ausnahme ist hierbei der Parameter Wind, für den dieser Zeitraum mit räumlich hochaufgelösten Daten nicht zur Verfügung steht. Hier wurde stattdessen der Zeitraum 1981–2000 herangezogen.

Tabelle 1: Ausgewählte Parameter für die Clusteranalyse zur Ermittlung von Klimaregionen für Niedersachsen. Bis auf den Parameter Wind wurde der Zeitraum 1991–2020 gewählt.

Parameter	Zeitliche Auflösung	Quelle
Temperatur	Kalenderjahr, Sommer, Winter	DWD (2023)
Kenntage: Hitzetage, Eistage, Frosttage, Tropennächte, Starkregentage ( $\geq 20$ mm)	Kalenderjahr	DWD (2021e, 2021c, 2021d, 2022b) und DWD (2022a)
Temperaturspanne: Mindesttemperatur – Maximumtemperatur	hydrologisches Sommerhalbjahr, hydrologisches Winterhalbjahr	DWD (2021b)
Niederschlag	Kalenderjahr, Sommer, Winter	DWD (2022a)
Kenntage: Trockentage	Sommer, Winter	DWD (2022a)
Klimatische Wasserbilanz	Sommer	DWD (2022b) und DWD (2021a)
Potenzielle Verdunstung (nach FAO-Methode, s. HAJATI et al. (2022))	Kalenderjahr, Sommer, Winter	DWD (2021a)
Geländehöhe DGM200	–	BKG (2021)
Wind (in 10 m Höhe)*	Kalenderjahr	DWD (2020)

\* Zeitraum 1981–2000

Zur Abgrenzung des Berglands wurde die Geländehöhe mittels DGM200-Datensatz berücksichtigt. Dies ist zwar kein meteorologischer Parameter, dennoch beeinflusst die Orographie maßgeblich klimatische Parameter und Prozesse, die im Bergland und auch im Harz eine Rolle spielen.

Die Parameterauswahl wurde dabei nicht auf Korrelationen überprüft. Insgesamt gingen 13 Parameter in die Analyse ein. Die Hinzunahme weiterer Parameter wurde geprüft, ergab jedoch kaum nennenswerte Unterschiede in den Ergebniskarten.

## 2.2 Clusteranalyse und Nachprozessierung

Für die Clusteranalyse muss zunächst die Anzahl von Clustern festgelegt werden. Hierfür kann das Ellenbogenkriterium genutzt werden, das einen Hinweis auf die optimale Anzahl an Clustern gibt. Dabei wird für jedes mögliche Cluster der Mittelpunkt (Zentroid) und die Entfernung des Mittelwertes zu den Beobachtungswerten (Ellenbogen) bestimmt. Die Summe der quadrierten Abstände ergibt den Total-Within-Cluster-Of-Squares (WCSS). Je niedriger der WCSS, desto näher liegt das Zentrum des Clusters an den Beobachtungswerten. Da die Anzahl der Cluster möglichst klein, aber aussagekräftig sein soll, ist die Anzahl von Clustern zu wählen, bei der sich WCSS kaum mehr verändert. Dies entspricht in Niedersachsen etwa einer Anzahl von vier Clustern (Abb. 1). Da Niedersachsen bislang in fünf Regionen eingeteilt wurde und im Folgenden mit fünf Clustern auch die schlüssigsten Ergebnisse erzeugt wurden, wurde die Analyse mit fünf Clustern fortgesetzt.

Anschließend wurden mittels der k-Means-Methode in R (Funktion „kmeans“ des R-Pakets „stats“, Version 4.1.0) fünf Cluster (Klimaregionen) auf der beschriebenen Datenbasis ermittelt (Ergebnis: Abb. 2, links). Dabei wurde jedem Raster (etwa 1 x 1 km analog zu den Klimabeobachtungsdaten) eines von fünf Clustern zugewiesen. Das Ergebnis wurde anschließend in einen Polygondatensatz transformiert, in dem die Rasterkanten geglättet (Funktion „smooth“ des R-Pakets „smoothr“, Version 1.0.1) und kleine Raster-Artefakte gelöscht wurden (Funktion „drop\_crumbs“ des R-Pakets „smoothr“, Version 1.0.1). Die dabei entstehenden „Löcher“ im Raster wurden dann mit dem Wert der

umliegenden Attribute aufgefüllt (Funktion „fill\_holes“ des R-Pakets „smoothr“ Version 1.0.1), um einen bereinigten Datensatz zu erhalten (Ergebnis: Abb. 2, Mitte). Das R-Skript zur Berechnung der fünf Klimaregionen ist im Anhang zu finden.

Abschließend wurden manuelle Korrekturen durchgeführt. So wurde bei der Grenzziehung zwischen den Regionen darauf geachtet, dass die Regionen zusammenhängend sind (Ergebnis: Abb. 2, rechts). Hierbei wurden die Flächen im Norden (getrennt durch den Küstenbereich beim Jadebusen) miteinander verbunden. Auch wurden größere Flächen, die durch den automatisierten Prozess nicht mit anderen Flächen zusammengeführt wurden, den umliegenden zugeordnet. Verbleibende kleine Flächen wurden umliegenden Klimaregionen zugeordnet (s. z. B. Raum Osnabrück). Dieses Vorgehen entspricht dem der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland (KAHLENBORN et al. 2021).

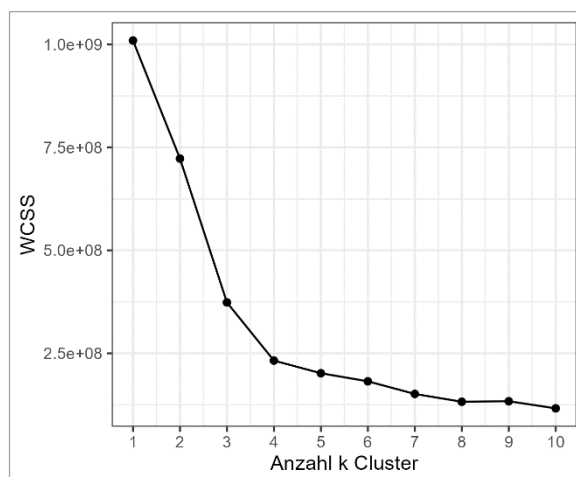


Abbildung 1: Mittels des Ellenbogenkriteriums wurde für jede Anzahl Cluster k die WCSS (Total-Within-Cluster-Of-Squares) ermittelt. Je kleiner die Quadratsumme ist, desto höher die Ähnlichkeit der Cluster.

## 3. Ergebnisse

Die Berechnung der Klimaregionen für Niedersachsen mittels der k-Means-Clusteranalyse ergab fünf Klimaregionen: Maritime, Maritim-Subkontinentale, Subkontinentale, Submontane sowie Montane Region (Abb. 2, rechts). Die Ergebnisse sind auf dem NIBIS®-Kartenserver veröffentlicht und somit abruf- und herunterladbar (LBEG 2023).

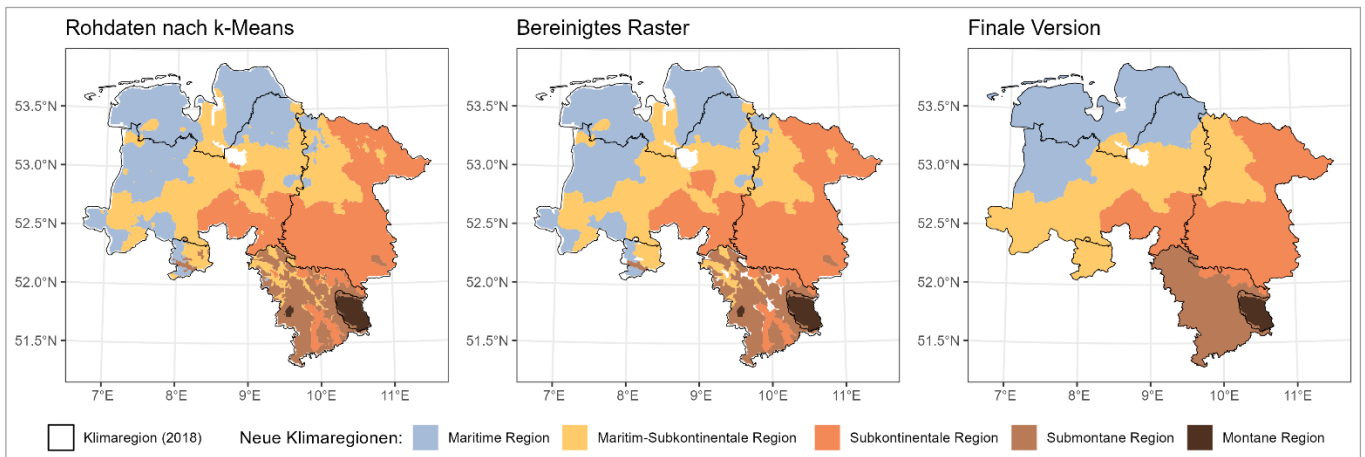


Abbildung 2: Vom Zwischenergebnis zur finalen Version. Links: Ergebnis der k-Means-Analyse mit fünf Clustern. Mitte: Zwischenstand nach der automatisierten Bereinigung der Raster und der Überführung in einen Polygondatensatz. Rechts: Finale Version nach händischen Anpassungen.

Die ermittelten Klimaregionen Niedersachsens weisen im Vergleich zur vorherigen Version aus der Klimawirkungsstudie Niedersachsen (KLIMAKOMPETENZNETZWERK NIEDERSACHSEN 2019) einige Unterschiede auf. Die Maritime Klimaregion reicht weiter in das Land hinein als die Klimaregion „Küste“ des alten Datensatzes. Hier spielt vor allem der Einfluss der Nordsee bzw. die betrachteten klimatischen Parameter wie Wind, Hitzetage sowie Temperaturspanne eine Rolle. Die Region ist durch moderate Temperaturen und das geringere Auftreten von Temperaturextremen gekennzeichnet. Die Nordsee wirkt als Wärmespeicher und sorgt dafür, dass die Temperaturen im Sommer nicht zu hoch und im Winter nicht zu niedrig sind. Die Klimaregionen „Montane Region“ und „Submontane Region“ ähneln am ehesten noch den bisherigen Regionen „Harz“ sowie „Berg- und Hügelland“. Jedoch befindet sich der Raum um Osnabrück, der 2019 der Klimaregion „Berg- und Hügelland“ zugeordnet wurde, nun in der Maritim-Subkontinentalen Region. Insgesamt ist die Submontane Region aufgrund ihrer Topographie vielfältig und bietet eine Mischung aus Berg- und Tieflandcharakteristika. Dies trägt zu einem abwechslungsreichen Klima bei. Hier treten moderate bis hohe Niederschlagsmengen auf (ggf. mit orographiebedingten Niederschlägen). Die Montane Region umfasst hauptsächlich den Harz mit Höhenlagen zwischen 600 und 1.200 m über dem Meeresspiegel. Diese Höhe hat Auswirkungen auf Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit. Aufgrund der Höhenlage sind die Temperaturen in der montanen Region des Harzes im Vergleich zu tieferen Lagen gemäßiger. Die

Winter können kühl bis kalt sein, während die Sommer eher mild sind. Die Niederschlagsmenge ist in der montanen Region tendenziell höher als in den tieferen Gebieten. Die Höhenlage kann dazu führen, dass feuchte Luft aufsteigt und sich in Form von Niederschlag entlädt. Die größten Unterschiede zeigen sich beim vormals östlichen und westlichen Flachland, die nun in etwa der Maritim-Subkontinentalen und Subkontinentalen Region entsprechen. Die Clusteranalyse zeigt, dass die Subkontinentale Region auf Höhe Hannovers noch deutlich weiter in den Westen reicht, während sie nördlich davon nicht so stark ausgeprägt ist. Ursachen dafür sind der zunehmende Einfluss der Kontinentalität bzw. abnehmende Einfluss der Küste mit Einfluss auf die Wasserverfügbarkeit (hier ausgedrückt durch die Klimatische Wasserbilanz und Verdunstung).

Neben den räumlichen Abgrenzungen wurden auch die eher naturräumlichen Namen (Küste, westliches und östliches Flachland, Berg- und Hügelland, Harz) der Klimaregionen entsprechend der meteorologischen Terminologie (Maritime, Maritim-Subkontinentale, Subkontinentale, Submontane, Montane Region) angepasst. Ursache ist hier, dass insbesondere die bisherige Benennung im niedersächsischen Flachland für die neuen Regionen nicht mehr zutreffend ist. So ist zum Beispiel die Küste im eigentlichen Sinn zwar ein Teil der Klimaregion „Maritime Region“, reicht aber auch weit ins Binnenland. Das restliche Flachland ist nun nicht mehr in West und Ost aufgeteilt, sondern anhand der klimatischen Bedingungen in subkontinental und maritim-subkontinental.

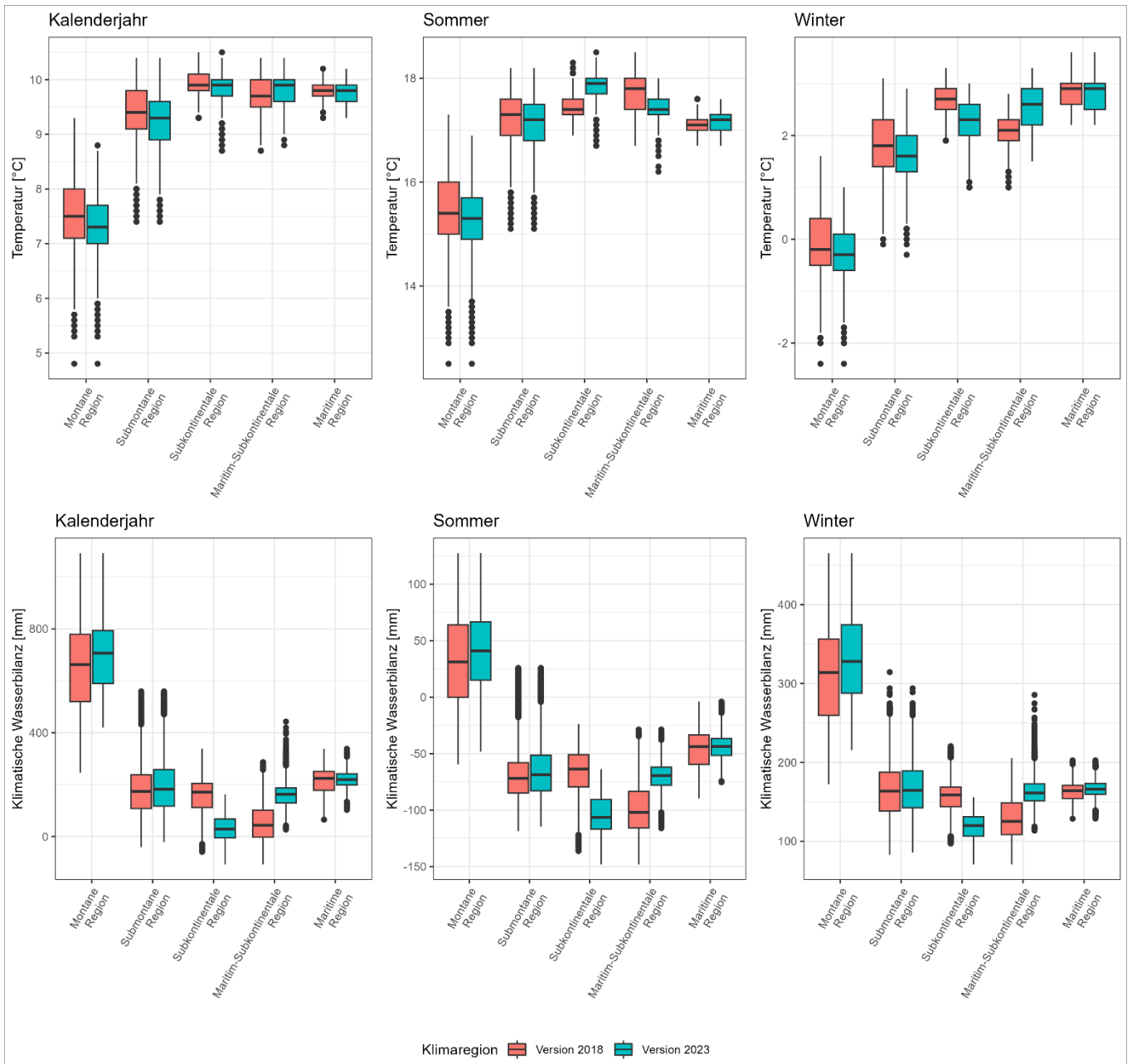


Abbildung 3: Abgrenzungen der Klimaregionen der hier vorgestellten Version 2.0 aus dem Jahr 2023 und der vorherigen Version 1.0 aus dem Jahr 2018 der Klimawirkungsstudie. Dabei wurde festgelegt, dass die Küste der Maritimen Region, das westliche Flachland der Maritim-Subkontinentalen Region, das östliche Flachland der Subkontinentalen Region, das Berg- und Hügelland der Submontanen Region und der Harz der Montanen Region entspricht.

#### 4. Diskussion

Die Klimaregionen Niedersachsens (Version 2.0) sind erstmalig auf breiter klimatischer Datenbasis speziell für Niedersachsen berechnet worden. Diese unterscheiden sich sowohl von den Niedersächsischen Klimaregionen (Version 1.0) als auch von weiteren veröffentlichten Klimaräumen räumlich und methodisch teilweise erheblich. So basieren die Klimaregionen der DWA auf nur einem Parameter und sind somit nicht für eine gesamtheitliche klimatische Betrachtung geeignet (FITZTHUM

et al. 2019). Die Klimaregionen des UBA betrachten die gesamte Bundesrepublik und sind deshalb für die Betrachtung einzelner Bundesländer zu wenig differenziert. So ist dort nahezu die gesamte Fläche Niedersachsens (außer Küstenbereich und Harz) einer Klimaregion zugeordnet. Eine Abgrenzung zum Bergland sowie die Ausgliederung vergleichsweise trockenerer Bereiche im Osten Niedersachsens finden aufgrund der Maßstabsebene bzw. ganzheitlichen Betrachtung von Deutschland (vor allem im Vergleich zu Brandenburg) nicht ausreichend Berücksichtigung (KAHLENBORN et al. 2021).

Die vorangegangene Version der Klimaregionen der Klimawirkungsstudie Niedersachsens lässt vermuten, dass die Abgrenzung des westlichen und östlichen Flachlandes keine homogenen Klimaregionen ergibt, da die trockeneren Regionen Niedersachsens nicht abgebildet werden (KLIMAKOMPETENZNETZWERK NIEDERSACHSEN 2019). Mit den neuen Klimaregionen sollten diese Punkte adressiert werden und einheitliche abgegrenzte Regionen Niedersachsens entstehen.

Die mittlere Lufttemperatur hat sich zwischen den Klimaregionen von 2018 (KLIMAKOMPETENZNETZWERK NIEDERSACHSEN 2019) und denen dieser Studie geringfügig verändert (Abb. 3, oben). Insbesondere die sommerliche mittlere Lufttemperatur hat nun den höchsten Wert in der Subkontinentalen Region, in den alten Klimaregionen war dieser noch im „Westlichen Flachland“. Das hebt die Bedeutung der subkontinentalen Region als trockenste und wärmste Region Niedersachsens nun besser hervor. Die Bandbreiten der jährlichen und sommerlichen Lufttemperatur innerhalb der Maritim-Subkontinentalen Region konnten verringert werden und zeigen nun besser abgegrenzte Regionen. Allerdings sind die Bandbreiten innerhalb der Maritimen Klimaregion größer geworden, wodurch sich die Cluster etwas weniger gut voneinander abgrenzen lassen.

Neben der Lufttemperatur ist die Klimatische Wasserbilanz – als Parameter, der die Wasserverfügbarkeit beschreibt – eine weitere wichtige Größe, anhand derer die Klimaregionen geclustert wurden. Die Ergebnisse zeigen hier erhebliche Verbesserungen zur vorherigen Version der Klimaregionen von 2018 (Abb. 3, unten). So zeigen alle Klimaregionen eine reduzierte Bandbreite und damit besser abgegrenzte Regionen. Insbesondere die Subkontinentale Region hat im Vergleich zum „Östlichen Flachland“ eine reduzierte Wasserverfügbarkeit und tritt sich nun korrekterweise als die trockenste Region Niedersachsens hervor. Die Maritim-Subkontinentale Region ist nun im Vergleich zum westlichen Flachland feuchter. Die Maritime Region hat im Mittel die gleiche Wasserverfügbarkeit, jedoch mit deutlich reduzierter Bandbreite.

Im Ergebnis zeigt sich, dass die Version 2.0 der Niedersächsischen Klimaregionen eine verbesserte Abgrenzung der einzelnen Klimaregionen voneinander aufweist und dass sich die wärmsten und trockensten Regionen nun deutlicher hervorheben. Welche Veränderungen Mensch und Natur bereits in diesen Klimaregionen erfahren, kann im Rahmen von Klimafolgen-Monitoring-Berichten do-

kumentiert werden. Wie sich diese Regionen zukünftig verändern werden und welche Auswirkungen auf Mensch und Natur daraus resultieren, kann mittels Klimaszenarien im Rahmen von Klimawirkungsstudien abgeschätzt werden. Da nun auch die Wasserverfügbarkeit stärkere Berücksichtigung findet, können die ausgewiesenen Klimaregionen handlungsfeldübergreifend genutzt werden, um den fortschreitenden Klimawandel in Niedersachsen zu beschreiben.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Die derzeitigen Klimaregionen der Version 2.0 zeigen Ähnlichkeiten zu bisherigen Klimaregionen der Klimawirkungsstudie Niedersachsen (KLIMAKOMPETENZNETZWERK NIEDERSACHSEN 2019) oder der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland (KAHLENBORN et al. 2021). Gleichzeitig konnten durch die Clusteranalyse Klimaregionen speziell für Niedersachsen detaillierter als bisher abgegrenzt werden. Die aktualisierten Klimaregionen können herangezogen werden, um Auswertungen über Veränderungen klimatischer Parameter im Klimawandel durchzuführen und darzustellen. Die Klimaregionen sind, insbesondere was die Wasserverfügbarkeit, aber auch die Lufttemperatur betrifft, nun besser voneinander abgegrenzt. Zukünftig sollten weitere Beobachtungs- sowie Zukunftszeiträume ausgewertet werden, um aufzuzeigen, ob und wie sich Klimaregionen in Niedersachsen verändern.

## Literatur

- BKG (2021): Digitales Geländemodell Gitterweite 200 m [Raster; GeoTiff]. – GeoBasis-DE – <https://daten.gdz.bkg.bund.de/produkte/dgm/dgm200/aktuell/>.
- DWD (2020): 1 km x 1 km Rasterdaten der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten in 10 m bis 100 m Höhe (in 10-m-Stufen) und Weibullparameter für Deutschland (Version v0.1) [Raster; Ascii]. – Climate Data Center (CDC) – [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/multi\\_annual/wind\\_parameters/resol\\_1000x1000](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/multi_annual/wind_parameters/resol_1000x1000).
- DWD (2021a): Grasreferenzverdunstung nach FAO-Methode—VPGFAO [Raster; Ascii]. – Zentrum für Agrarmeteorologische Forschung Braunschweig (ZAMF) [Unveröff.].
- DWD (2021b): Raster der Monatsmittel der Lufttemperatur (2m) für Deutschland (Version v1.0) [Raster; Ascii]. – Climate Data Center (CDC) – [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/monthly/air\\_temperature\\_mean](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/monthly/air_temperature_mean).
- DWD (2021c): Vieljähriges Mittel der Raster der Anzahl der Eistage für Deutschland (Version v1.0) [Raster; Ascii]. – Climate Data Center (CDC) – [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/multi\\_annual/ice\\_days](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/multi_annual/ice_days).
- DWD (2021d): Vieljähriges Mittel der Raster der Anzahl der Frosttage für Deutschland (Version v1.0) [Raster; Ascii]. – Climate Data Center (CDC) – [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/multi\\_annual/frost\\_days](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/multi_annual/frost_days).
- DWD (2021e): Vieljähriges Mittel der Raster der Anzahl der Heißen Tage für Deutschland (Version v1.0) [Raster; Ascii]. – Climate Data Center (CDC) – [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/multi\\_annual/hot\\_days](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/multi_annual/hot_days).
- DWD (2022a): Raster der Tagessumme des Niederschlags in mm für Deutschland—HYRAS-DEPRE (Version v5.0) [Raster; Netcdf]. – Climate Data Center (CDC) – [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/daily/hyras\\_de/precipitation](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/daily/hyras_de/precipitation).
- DWD (2022b): Vieljähriges Mittel der Raster der Anzahl der Tage mit Niederschlag  $\geq 20$  mm für Deutschland (Version v1.0) [Raster; Ascii]. – Climate Data Center (CDC) – [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/multi\\_annual/precipGE20mm\\_days](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/multi_annual/precipGE20mm_days).
- DWD (2023): Vieljährige mittlere Raster der Lufttemperatur (2 m) für Deutschland 1981–2010 (Version v1.0) [Raster; Ascii]. – Climate Data Center (CDC) – [https://opendata.dwd.de/climate\\_environment/CDC/grids\\_germany/multi\\_annual/air\\_temperature\\_mean](https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/multi_annual/air_temperature_mean).
- FITZTHUM, U., RIESBECK, F., ANTER, J., BUCHER, B., FRICKE, E., GÖTZ, R., MEYERING, R., MÜLLER, U., PROBST, M., RICHTER, S., SCHÖRLING, B., THÖRMANN, H.-H., WENKEL, K.-O., HÜBSCH, L. & BARION, D. (2019): Grundsätze und Richtwerte zur Beurteilung von Anträgen zur Entnahme von Wasser für die Bewässerung (Merkblatt DWA-M 590). – DWA – [https://www.openagrar.de/receive/openagrar\\_mods\\_00052299](https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00052299).
- HAJATI, M.-C., HARDERS, D., PETRY, U., ELBRACHT, J. & ENGEL, N. (2022): Dokumentation der niedersächsischen Klimaprojektionsdaten AR5-NI v2.1 (Geofakten 39). – LBEG, Hannover – [https://doi.org/10.48476/GEOFAKT\\_39\\_1\\_2022](https://doi.org/10.48476/GEOFAKT_39_1_2022).
- KAHLENBORN, W., PORST, L., VOß, M., HÖLSCHER, L., UNDOF, S., WOLF, M., SCHÖNTHALER, K., CRESPI, A., RENNER, K., ZEBISCH, M., FRITSCH, U., & SCHAUSER, I. (2021): Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland 2021 (Teilbericht 6) (25/2021; Climate Change). – UBA – <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/KWRA-Teil-6-Integrierte-Auswertung>.
- KLIMAKOMPETENZNETZWERK NIEDERSACHSEN (2019): Klimawirkungsstudie Niedersachsen. – Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz – <https://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/klima/klimawirkungsstudie-niedersachsen-176873.html>.
- LBEG (2023): Klimaregionen Niedersachsens (Version 2.0) [Polygon; Shp]. – Niedersächsisches Bodeninformationssystem (NIBIS®) – <https://nibis.lbeg.de/cardomap3/>.
- NIKO – NIEDERSÄCHSISCHES KOMPETENZZENTRUM KLIMAWANDEL (2023): Klimafolgenmonitoring-Bericht für Niedersachsen 2023. – Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz – <https://niko-klima.de/publikationen/>.
- PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., & MCMAHON, T. A. (2007): Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. – *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11 – <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>.
- WMO (2017): WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals (1203). – WMO – <https://library.wmo.int/idurl/4/55797>.

## Anhang

```
library(terra)
library(sf)
library(ggplot2)
library(tidyterra)
library(smoothr)

# mask Niedersachsen
v_ni <- st_read("LandesgrenzeWatt_ply")

# raster data preprocessing ----
## single raster (Daten vom LBEG und DWD)
r_dgm <- rast("NIBIS_TOPOGRAPHIE_SDE.FIS.DGM200_BRD.tif")
r_wind <- rast("DWD_Wind_1981_2000_UTM32_NI.tif")

##### CDC Raster (siehe https://niko-klima.de/klimadaten/#fachdaten)
r_tas <- rast(c("CDC_tas_1991-2020_yr.tif",
               "CDC_tas_1991-2020_su.tif",
               "CDC_tas_1991-2020_wi.tif"))
r_tas_spanne <- c(rast("CDC_tmin_1991-2020_hsu.tif") - rast("CDC_tmax_1991-2020_hsu.tif"),
                 rast("CDC_tmin_1991-2020_hwi.tif") - rast("CDC_tmax_1991-2020_hwi.tif"))
r_tas_kt <- rast(c("CDC_KT_id_1991-2020_yr.tif",
                  "CDC_KT_hd_1991-2020_yr.tif",
                  "CDC_KT_fd_1991-2020_yr.tif",
                  "CDC_KT_Schneetage_1991-2020_yr.tif",
                  "DWD_KT_tn_1991_2020.tif"))

### HYRAS Raster (siehe https://niko-klima.de/klimadaten/#fachdaten)
r_pr <- rast(c("HYRAS_pr_1991-2020_yr.tif",
              "HYRAS_pr_1991-2020_su.tif",
              "HYRAS_pr_1991-2020_wi.tif"))
r_pr_kt <- rast(c("HYRAS_KT_r20mm_1991-2020_yr.tif",
                 "HYRAS_KT_dd_1991-2020_wi.tif",
                 "HYRAS_KT_dd_1991-2020_su.tif"))

### KWB Raster (siehe https://niko-klima.de/klimadaten/#fachdaten)
r_kwb <- rast(c("KWB_1991-2020_su.tif"))

### et0 Raster (!!Daten des DWD nicht veröffentlicht!!)
r_et0 <- rast(c("VPGFAO_1991-2020_yr.tif",
               "VPGFAO_1991-2020_su.tif",
               "VPGFAO_1991-2020_wi.tif"))

### resample to same raster
r_dgm <- resample(r_dgm,r_tas)
r_wind <- resample(r_wind,r_tas)
r_tas_kt <- resample(r_tas_kt,r_tas)
r_tas_spanne <- resample(r_tas_spanne,r_tas)
r_pr <- resample(r_pr,r_tas)
r_pr_kt <- resample(r_pr_kt,r_tas)
r_kwb <- resample(r_kwb,r_tas)
r_et0 <- resample(r_et0,r_tas)
```



```

## mask to Niedersachsen
r_dgm <- mask(r_dgm,vect(v_ni))
r_wind <- mask(r_wind,vect(v_ni))
r_pr_ssn <- mask(r_pr_ssn,vect(v_ni))
r_tas <- mask(r_tas,vect(v_ni))
r_tas_kt <- mask(r_tas_kt,vect(v_ni))
r_tas_continentality <- mask(r_tas_continentality,vect(v_ni))
r_tas_spanne <- mask(r_tas_spanne,vect(v_ni))
r_pr <- mask(r_pr,vect(v_ni))
r_pr_kt <- mask(r_pr_kt,vect(v_ni))
r_kwb <- mask(r_kwb,vect(v_ni))
r_et0 <- mask(r_et0,vect(v_ni))

# Cluster Analysis ----
## create data frame ----
df_ice <- na.omit(as.data.frame(c(r_dgm,
                                r_wind,
                                r_tas,
                                r_tas_kt,
                                r_tas_spanne,
                                r_pr,
                                r_pr_kt,
                                r_kwb,
                                r_et0),xy=T))

## Elbow Method ----
k.max <- 10
wss <- sapply(1:k.max, function(k){kmeans(df_ice[3:length(names(df_ice))], k)$tot.withinss})
df <- data.frame(x=1:k.max, =wss)

## cluster analysis ----
cluser_ice <- kmeans(df_ice[,3:length(names(df_ice))], 5)
df_ice$cluster <- cluser_ice$cluster
r_ice <- rast(df_ice, type="xyz")
crs(r_ice) <- "epsg:4647"

## raster to shape ----
kws_v20 <- st_as_sf(as.polygons(r_ice$cluster))
st_crs(kws_v20) <- 4647

## clean shape ----
s_kws_v20 <- kws_v20 %>%
  smooth(method = "ksmooth") %>%
  drop_crumbs(threshold= 50000000) %>%
  fill_holes(threshold = 50000000)

```

---

## Impressum

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

Die bisher erschienenen Geofakten können unter <http://www.lbeg.niedersachsen.de> abgerufen werden.

© LBEG Hannover 2023

Version: 03.04.2024

DOI: 10.48476/geofakt\_43\_1\_2023

## Autorenschaft

- Dr. Mithra-Christin Hajati, Tel.: 0511/643-2507  
mail: [mithra-christin.hajati@lbeg.niedersachsen.de](mailto:mithra-christin.hajati@lbeg.niedersachsen.de),  
[mithra-christin.hajati@mu.niedersachsen.de](mailto:mithra-christin.hajati@mu.niedersachsen.de)
- Denise Harders, ehemals  
Niedersächsisches Ministerium für Umwelt,  
Energie, Bauen und Klimaschutz  
Archivstraße 2, 30169 Hannover  
Internet: [https://www.umwelt.niedersachsen.de/niko/niko\\_uber\\_uns/niko-uber-uns-205852.html](https://www.umwelt.niedersachsen.de/niko/niko_uber_uns/niko-uber-uns-205852.html)
- Christina Scharun, Tel.: 0511/643-3496  
mail: [Christina.Scharun@lbeg.niedersachsen.de](mailto:Christina.Scharun@lbeg.niedersachsen.de)
- Dr. Jörg Elbracht, Tel.: 0511/643-3613  
mail: [joerg.elbracht@lbeg.niedersachsen.de](mailto:joerg.elbracht@lbeg.niedersachsen.de)
- Nicole Engel, Tel.: 0511/643-3597  
mail: [nicole.engel@lbeg.niedersachsen.de](mailto:nicole.engel@lbeg.niedersachsen.de)  
Landesamt für Bergbau,  
Energie und Geologie  
Stilleweg 2, 30655 Hannover  
Internet: <http://www.lbeg.niedersachsen.de>