



Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen

Daten und Hintergründe

LANUV-Fachbericht 27



Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen
Daten und Hintergründe

Fachbericht 27

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Recklinghausen 2010

IMPRESSUM

- Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW)
Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
Telefax 02361 305-3215
E-Mail: poststelle@lanuv.nrw.de
- Autoren: Lutz Genßler, Andrea Hädicke, Thomas Hübner, Sibylle Jacob, Heinrich König,
Bernd Mehlig, Carla Michels, Peter Neumann, Jens Rosenbaum-Mertens,
Christina Seidenstücker, Ellen Sträter, Winfried Straub, Jutta Werking-Radtke (LANUV NRW),
Christian Koch (DWD)
- Fachredaktion: Ellen Sträter, Barbara Köllner
- Endredaktion: Ernst-Wilhelm Langensiepen
- Gestaltung: Helga Friedrich, Angela Tuczek
- Bildnachweis: Seite 57
-
- ISSN: 1864-3930 LANUV-Fachberichte
- Informations-
dienste: Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz unter
• www.lanuv.nrw.de
Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im
• WDR-Videotext Tafeln 177 bis 179
- Bereitschafts-
dienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUV NRW
(24-Std.-Dienst): Telefon 0201 714488
- Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur unter Quellenangaben und Überlassung von
Belegexemplaren nach vorheriger Zustimmung des Herausgebers gestattet.
Die Verwendung für Werbezwecke ist grundsätzlich untersagt.

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser,



Klimaexperten auf der ganzen Welt sind sich weitgehend einig: Der vom Menschen mitverursachte Klimawandel ist Realität, weltweit steigen die Temperaturen an. Die Auswirkungen des Klimawandels können regional allerdings sehr unterschiedlich sein. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) schätzt die Kosten durch Klimaschäden in Nordrhein-Westfalen aufsummiert bis zum Jahre 2050 auf mehr als 70 Mrd. Euro sofern keine Klimaschutzmaßnahmen getroffen werden. Nordrhein-Westfalen ist mit einer hohen Bevölkerungsdichte, einer ausgeprägten Infrastruktur und einer gleichzeitig hohen biologischen Vielfalt in vielen Bereichen verletzlich. Umfangreiche langfristige Beobachtungen sind daher unverzichtbar.

Mit dem vorliegenden Fachbericht liefert das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) wichtige Grundlagen zum Klima in NRW. So werteten die Experten des LANUV NRW meteorologische Messdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zu Temperatur und Niederschlagsentwicklungen aus und bereiteten sie für diesen Bericht auf. Für die Daten und die weitere Mitwirkung sei dem DWD an dieser Stelle ganz herzlich gedankt.

Darüber hinaus liefert die Analyse der Daten aus verschiedenen Beobachtungs- und Messprogrammen des LANUV wichtige Erkenntnisse zu den Auswirkungen der Klimaänderungen in den Bereichen Natur, Wasser und Boden. Nur durch eine drastische Reduktion des Ausstoßes klimarelevanter Gase können der Klimawandel und seine Folgen noch in erträglichem Rahmen gehalten werden. Allerdings wird trotz aller Anstrengungen um den Klimaschutz der Klimawandel in den nächsten Jahrzehnten nicht zu stoppen sein, denn das Klimasystem reagiert auf eine Verringerung der Treibhausgasemissionen nur langsam. Eine zukünftige Aufgabe wird es daher sein, diese Entwicklungen weiterhin zu verfolgen, damit rechtzeitig zielgerichtete Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden können.

Mit dem Fachbericht liegt für Nordrhein-Westfalen nun ein umfassendes Werk zum Thema Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen für die Bereiche Politik, Verwaltung, Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft vor, das erstmals die Ergebnisse vieler Einzelstudien bündelt. Ich hoffe, dass der Fachbericht „Klima und Klimawandel in Nordrhein-Westfalen“ für viele weiterführende Arbeiten hilfreich sein wird und wünsche eine informative Lektüre.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'H. Bottermann'. The signature is fluid and cursive, written on a white background.

Dr. Heinrich Bottermann
Präsident des
Landesamtes für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Inhalt

	Einleitung	7
1	Das Klima in Nordrhein-Westfalen	9
	1.1 Das aktuelle Klima in NRW (1979 – 2008)	9
	1.1.1 Lufttemperatur	11
	1.1.2 Kenntage	12
	1.1.3 Gradtage	14
	1.1.4 Niederschlag	15
	1.1.5 Bioklima	16
	1.2 Die Entwicklung des Klimas in NRW im vergangenen Jahrhundert (1901 – 2008)	18
	1.2.1 Lufttemperatur	18
	1.2.2 Kenntage	22
	1.2.3 Gradtage	23
	1.2.4 Niederschlag	24
	1.2.5 Schnee	26
	1.3 Witterung und besondere Wetterereignisse der Jahre 2007 – 2009 in Nordrhein-Westfalen	27
2	Auswirkungen des bisherigen Klimawandels in Nordrhein-Westfalen	33
	2.1 Auswirkungen auf die Natur	33
	2.1.1 Phänologie	33
	2.1.2 Populationsgrößen	40
	2.1.3 Arealverschiebungen	42
	2.1.4 Neobiota	43
	2.1.5 Fazit	45
	2.2 Auswirkungen auf den Wasserhaushalt	46
	2.2.1 Starkniederschläge	46
	2.2.2 Grundwasserstände	49
	2.2.3 Abflussverhalten der Fließgewässer	50
	2.2.4 Fazit	51
	2.3 Auswirkungen auf Böden	51
	2.4 Auf dem Weg zu einem Klimafolgenmonitoring	53
	2.4.1 Der Beginn der Apfelblüte als ein Indikator für den Bereich Landwirtschaft	54
	2.4.2 Gewässertemperatur als ein Indikator für den Bereich Wasser	55
	Literatur	56
	Bildnachweis	57

Einleitung

Das Klima prägt intensiv den Zustand unserer Erde und gestaltet damit maßgeblich unseren Lebensraum mit. Es unterliegt natürlichen Schwankungen, an die sich Umwelt und Natur kontinuierlich anpassen. In seinem 2007 veröffentlichten 4. Sachstandsbericht (IPCC 2007) zeigt allerdings der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change), dass sich das Klima aktuell durch menschliche Einflüsse in Form einer globalen Erderwärmung besonders rasch verändert.

Diese Klimaänderungen vollziehen sich jedoch nicht überall gleichmäßig, so dass eine eigenständige Betrachtung Nordrhein-Westfalens notwendig ist. Daher beschreibt das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV NRW) im ersten Kapitel des vorliegenden Fachberichts zunächst ausführlich das aktuelle Klima in Nordrhein-Westfalen und analysiert die langjährige Entwicklung von meteorologischen Messdaten.

Durch Veränderungen der meteorologischen Parameter, insbesondere der Temperatur und des Niederschlags, sind bereits zahlreiche Auswirkungen in den Bereichen Biologische Vielfalt, Wasser und Boden zu beobachten. Die verschiedenen Beobachtungs- und Messprogramme des LANUV NRW zeigen, dass die Folgen des Klimawandels meist regional sehr unterschiedlich sind und daher kleinräumig beobachtet werden müssen.

Das zweite Kapitel des vorliegenden Berichtes stellt aktuelle Erkenntnisse zu den Auswirkungen der Klimaänderungen in Nordrhein-Westfalen im Detail vor und beschreibt in diesem Rahmen auch das Klimafolgenmonitoring, das sich derzeit im Aufbau befindet.

Der vorliegende Bericht bietet insgesamt eine solide Datengrundlage zum Thema Klimawandel in Nordrhein-Westfalen und stellt damit sowohl Experten aus den verschiedensten Fachbereichen als auch interessierten Laien ein erstes umfangreiches Grundlagenwerk zu diesem Thema zur Verfügung. Aufbauend darauf erfordert die hohe Komplexität des Themas weiterhin intensive Forschungsarbeit, um die Auswirkungen der derzeitigen Erderwärmung genauer erfassen und dokumentieren zu können.



1 Das Klima in Nordrhein-Westfalen

Das Klima trägt maßgeblich zur Entwicklung unserer Natur und Umwelt bei. Es ist regional unterschiedlich und unterliegt vielfältigen Schwankungen. Durch die vermehrte Emission klimawirksamer Treibhausgase werden die natürlichen Schwankungen zudem von einer anthropogen verursachten Erwärmung der Atmosphäre überlagert. Die Temperaturzunahme wirkt sich unter anderem auf den Wasserdampfgehalt der Luft und auf die Zirkulationssysteme der Erde aus, so dass sich Niederschlagsmuster ändern. Die weltweit beobachteten Änderungen erfolgen allerdings regional sehr unterschiedlich. Für Nordrhein-Westfalen existieren langjährige Temperatur- und Niederschlagsmessungen, die signifikante Verschiebungen charakteristischer Kenngrößen aufweisen.

Im Folgenden wird zunächst das Klima Nordrhein-Westfalens anhand der meteorologischen Parameter Lufttemperatur und Niederschlag und davon abgeleiteter Klimagrößen beschrieben. Um möglichst aktuelle Daten zu zeigen, wurde hier anstatt des häufig verwendeten klimatologischen Referenzzeitraums 1961 – 1990 die 30-jährige Periode 1979 bis 2008 gewählt. Im Anschluss daran wird gezeigt, wie sich das Klima in Nordrhein-Westfalen seit Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt hat. Zum Ende dieses Kapitels wird ein Überblick über die Witterung und besondere Wetterereignisse der letzten drei Jahre 2007 bis 2009 gegeben.

1.1 Das aktuelle Klima in NRW (1979 – 2008)

Nordrhein-Westfalen zählt zum warm-gemäßigten Regenklima (nach KÖPPEN 1936), bei dem die mittlere Temperatur des wärmsten Monats unter 22° C und die des kältesten Monats über -3° C bleibt. Damit liegt Nordrhein-Westfalen in einem überwiegend maritim geprägten Bereich mit allgemein kühlen Sommern und milden Wintern. Gelegentlich setzt sich jedoch kontinentaler Einfluss mit längeren Phasen hohen Luftdrucks durch. Dann kann es im Sommer bei schwachen östlichen bis südöstlichen Winden zu höheren Temperaturen und trockenem sommerlichen Wetter kommen. Im Winter sind kontinental geprägte Wetterlagen häufig mit Kälteperioden verbunden.

Diese relativ grobe und auf kontinentweite Verhältnisse zugeschnittene Einteilung wird den tatsächlichen klimatischen Gegebenheiten im Land jedoch nicht gerecht. Die ausgeprägte Struktur des Reliefs bedingt eine Zerteilung der klimatischen Strukturen: warm mit mäßigem Niederschlag in der westfälischen Bucht und am Niederrhein, deutlich kühler und regenreicher in den Mittelgebirgen (Weserbergland, Sauer- und Siegerland und Eifel). Das Relief Nordrhein-Westfalens sowie die Klimadiagramme ausgewählter Stationen sind in Abbildung 1.1 dargestellt.

Wetter und Klima

Das **Wetter** beschreibt den augenblicklichen physikalischen Zustand der unteren Atmosphäre (Troposphäre) zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort. Zur Charakterisierung des Wetters werden an klimatologischen Stationen die Parameter Lufttemperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Strahlung, Wind und Niederschlag sowie weitere ableitbare Größen gemessen. Als Witterung wird die Abfolge von Wettersituationen über einen Zeitraum von mehreren Tagen bis Wochen bezeichnet.

Das **Klima** wird durch die statistische Auswertung (z.B. Mittel- und Extremwerte, Häufigkeiten, Andauerzeiten) der oben genannten meteorologischen Größen über eine Mindestperiode von 30 Jahren charakterisiert. Es ist an einem bestimmten Ort insbesondere durch die geographische Breite, die Höhe des Standortes über Meeressniveau, die Hangneigung und Exposition, die Entfernung zum Meer sowie die Oberflächenbeschaffenheit und Oberflächenform gekennzeichnet. Wechselwirkungen und Rückkopplungen innerhalb des Systems Atmosphäre-Erdoberfläche-Ozeane (z.B. Kryosphäre und Biosphäre) beeinflussen das Klima. Es wird zudem durch periodische Variationen der Erdbahnparameter (Milankovich-Zyklen), Änderungen der Sonnenaktivität, tektonische Vorgänge und dadurch ausgelöste Änderungen der ozeanischen Zirkulation, Vulkanausbrüche und Beiträge durch natürliche Treibhausgase bestimmt (Klimavariabilität). Derzeit wird das Klima zusätzlich durch die anthropogene, also vom Menschen verursachte Emission und Anreicherung von Treibhausgasen und Partikeln in der Atmosphäre beeinflusst.

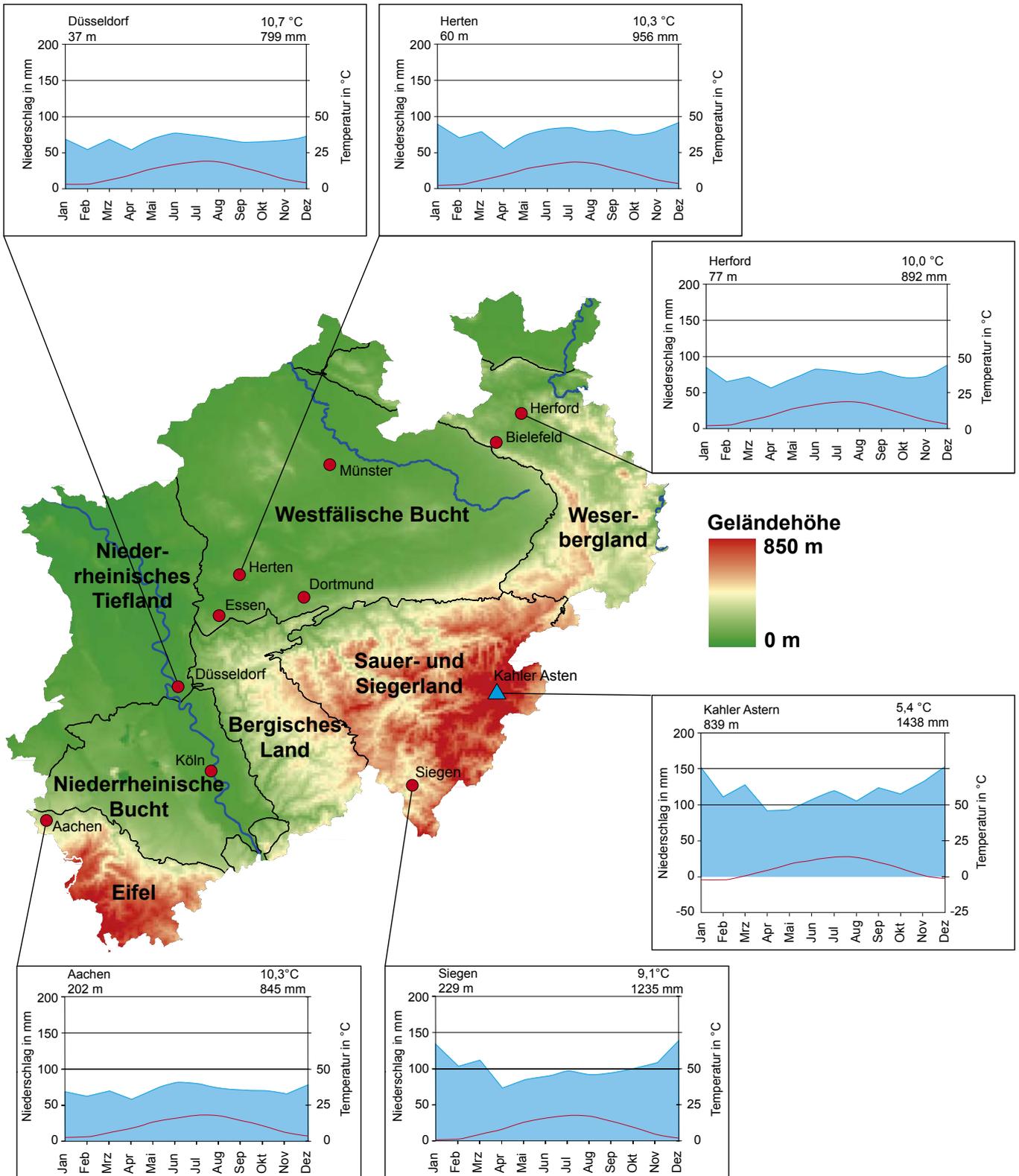


Abb. 1.1: Höhenprofil NRW (Auflösung 1 km x 1 km) sowie Klimadiagramme an sechs ausgewählten Stationen. Die Diagramme umfassen den Zeitraum 1979 – 2008 (Ausnahme: Herford, Herten und Siegen 1979 – 2007). In den Diagrammen sind die Lufttemperaturen in rot, die Niederschläge in blau dargestellt. Oberhalb der einzelnen Diagramme sind der Stationsort, die Höhe der Station über Meeresebene in m, die mittlere Jahrestemperatur in °C und die mittlere Jahresniederschlagssumme in mm angegeben. (Daten: DWD)

1.1.1 Lufttemperatur

Die Lufttemperatur ist, wie in Abbildung 1.2 zu sehen, stark von der Geländehöhe abhängig. Sie nimmt in den Mittelgebirgen (Eifel, Weserbergland, Bergisches Land, Sauer- und Siegerland) im Mittel um etwa 0,7 °C pro 100 m Höhe ab. In der Regel ist der Verlauf der Temperaturen an allen Stationen in Nordrhein-Westfalen sehr ähnlich, allerdings um die Differenz, die sich aus der Höhenlage ergibt, auf der Temperaturachse verschoben (vgl. Abb. 1.10). Zum Teil überlagern besondere Situationen wie z.B. Tallagen, Nord- und Südhänge sowie Fönlagen diesen Effekt, so dass nicht auszuschließen ist, dass höher gelegene Stationen mitunter ähnliche Temperaturen aufweisen wie Stationen, die in geringerer Höhe liegen. So ist z.B. in Aachen in 202 m Höhe die mittlere Jahrestemperatur im Zeitraum 1979 bis 2008 mit 10,3 °C genauso hoch wie in Hertfen, welches nur 60 m über dem Meeresspiegel liegt (vgl. Abb. 1.1). Dies resultiert aus der Lage Aachens im Leegebiet der Eifel. Hier ist die Sonnenscheindauer gegenüber Hertfen aufgrund der geringeren Bewölkung erhöht.

Bezogen auf den Zeitraum von 1979 – 2008 beträgt die mittlere Jahrestemperatur in Nordrhein-Westfalen 9,5 °C. In den verschiedenen Großlandschaften Nordrhein-Westfalens ergibt sich dabei folgendes Bild (vgl. Abb. 1.2):

- Niederungen wie die Niederrheinische Bucht, das Niederrheinische Tiefland und die Westfälische Bucht sowie weitere Bereiche unter 150 m über NN weisen Jahresmittelwerte der Lufttemperatur von über 9 °C auf.
- Die höchsten Jahresmitteltemperaturen werden mit bis zu 11,2 °C entlang des Rheintals in der Niederrheinischen Bucht und im Niederrheinischen Tiefland gemessen.
- In den exponierten Hochlagen von Eifel, Sauer- und Siegerland liegen die Werte nur noch zwischen 5 und 8 °C.

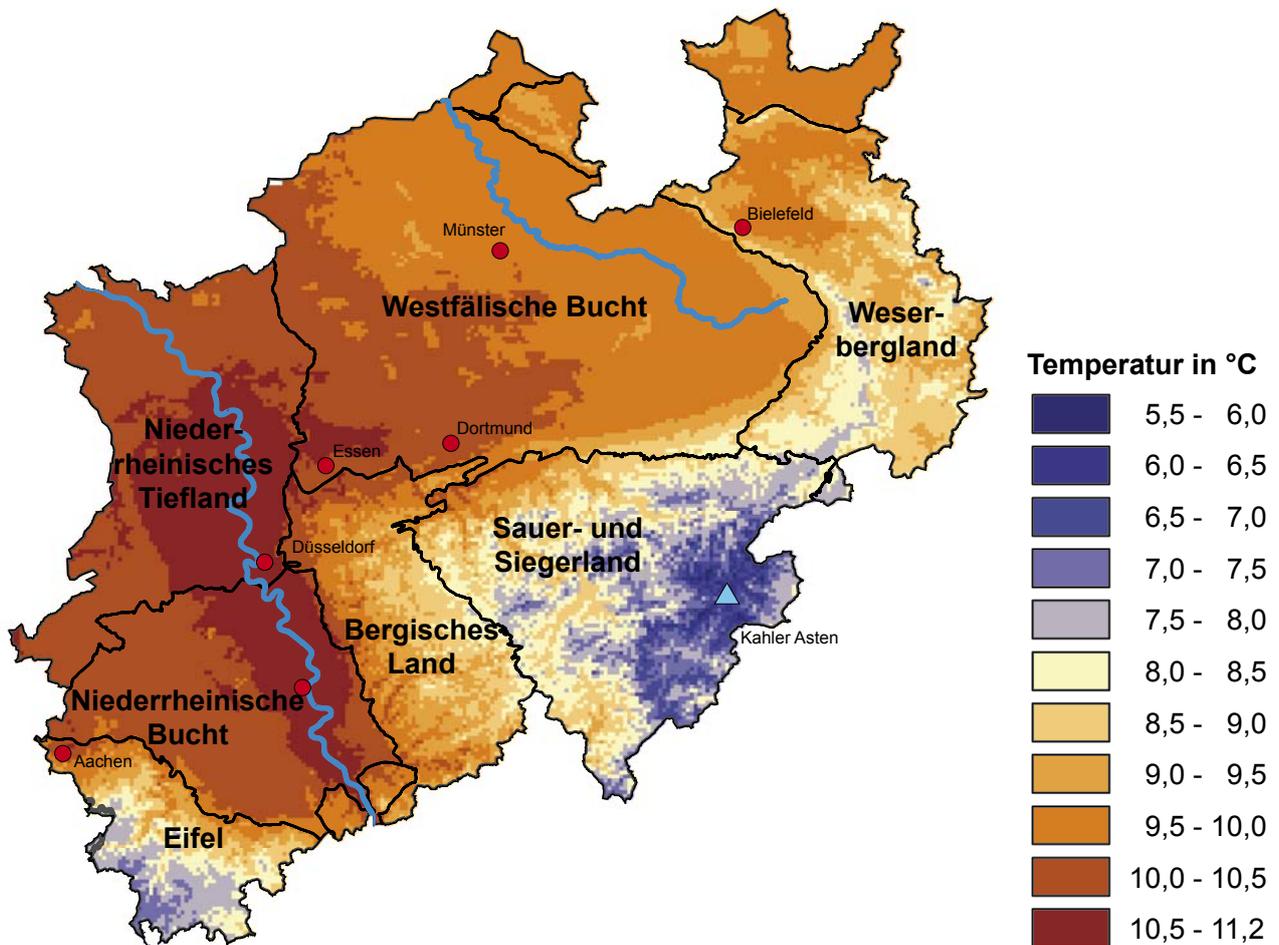


Abb. 1.2: Jahresmitteltemperaturen in Nordrhein-Westfalen im Zeitraum 1979 – 2008. (Datengrundlage: DWD)



1.1.2 Kenntage

Besonders warme oder kalte Perioden eines Jahres werden durch die Temperaturkenntage charakterisiert. Die Kenntage stellen die Summe aller Tage pro Jahr dar, an denen eine definierte maximale Temperatur überschritten oder eine vorgegebene minimale Temperatur unterschritten wird. Sie geben damit einen Eindruck von der Wärmebelastung bzw. dem Kältereiz.

Die Anzahl der **Frosttage** pro Jahr ist für Nordrhein-Westfalen als Mittelwert über die letzten 30 Jahre in Abbildung 1.3 dargestellt. Analog zur Temperatur findet man auch bei den Temperaturkenntagen eine ausgeprägte Höhenabhängigkeit, die zum Teil überlagert wird von einigen zusätzlichen lokalen Einflüssen, wie zum Beispiel dem Lee-Effekt der Eifel (vgl. Aachen, Abschnitt 1.1.1). Mit 35 bis 49 Frosttagen pro Jahr sind weite Teile des Niederrheinischen Tieflandes vom Frost am geringsten betroffen. In den Höhenlagen des Sauer- und Siegerlandes treten die Frosttage hingegen fast an einem Drittel aller Tage im Jahr auf.

Umgekehrt verhält es sich mit den **Sommertagen**.

Sie sind als Mittelwert über die letzten 30 Jahre in Abbildung 1.4 dargestellt. Mit 37 bis 44 Sommertagen pro Jahr fällt hier insbesondere das warme Rheintal auf. Mit zunehmender Geländehöhe reduziert sich die Anzahl auf einige wenige Sommertage in den Höhenlagen von Eifel sowie Sauer- und Siegerland.

Kenntage

Eistag:	maximale Tagestemperatur bleibt unter 0 °C ($T_{\text{max}} < 0\text{ °C}$)
Frosttag:	Tagestemperatur fällt mindestens einmal unter 0 °C ($T_{\text{min}} < 0\text{ °C}$)
Sommertag:	Tagestemperatur steigt mindestens einmal über 25 °C ($T_{\text{max}} > 25\text{ °C}$)
Heißer Tag:	Tagestemperatur steigt mindestens einmal über 30 °C ($T_{\text{max}} > 30\text{ °C}$)

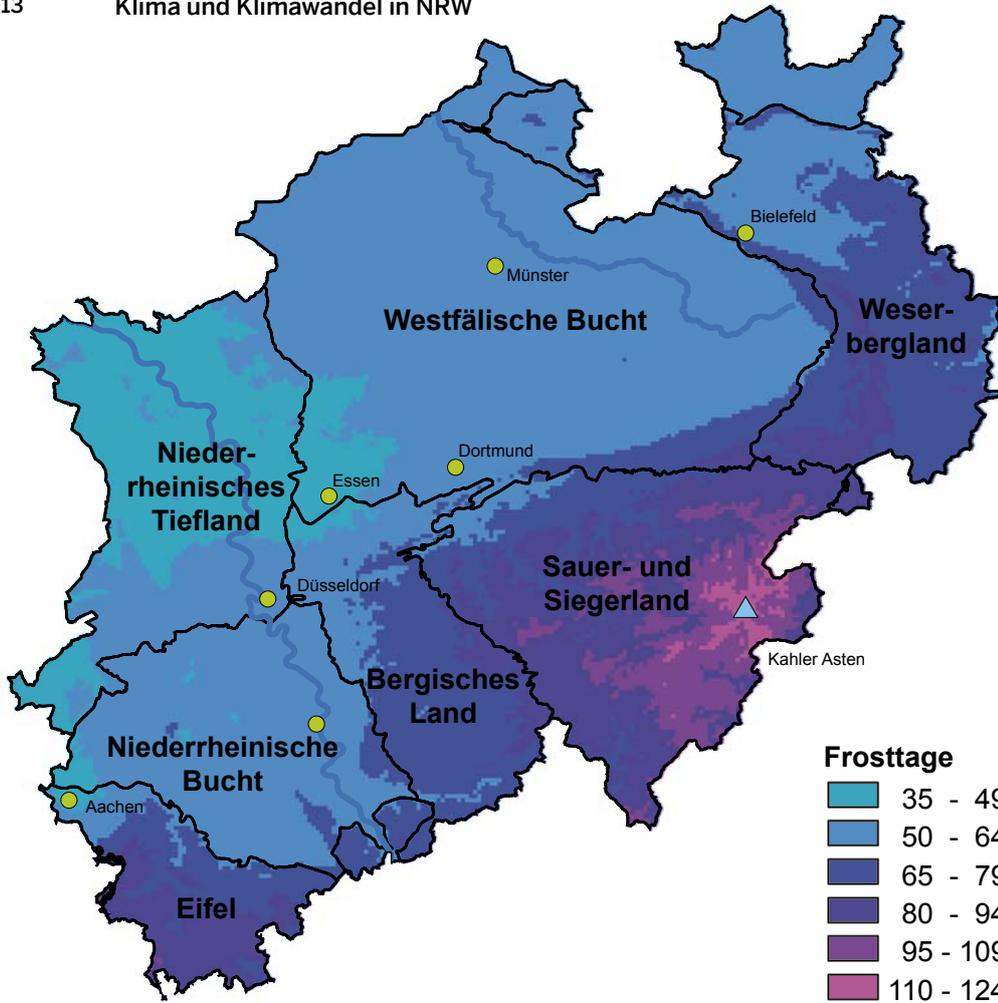


Abb. 1.3:
Mittlere Anzahl der Frost-
tage ($T_{\min} < 0\text{ °C}$) pro Jahr
im Zeitraum 1979 – 2008.
(Datengrundlage: DWD)

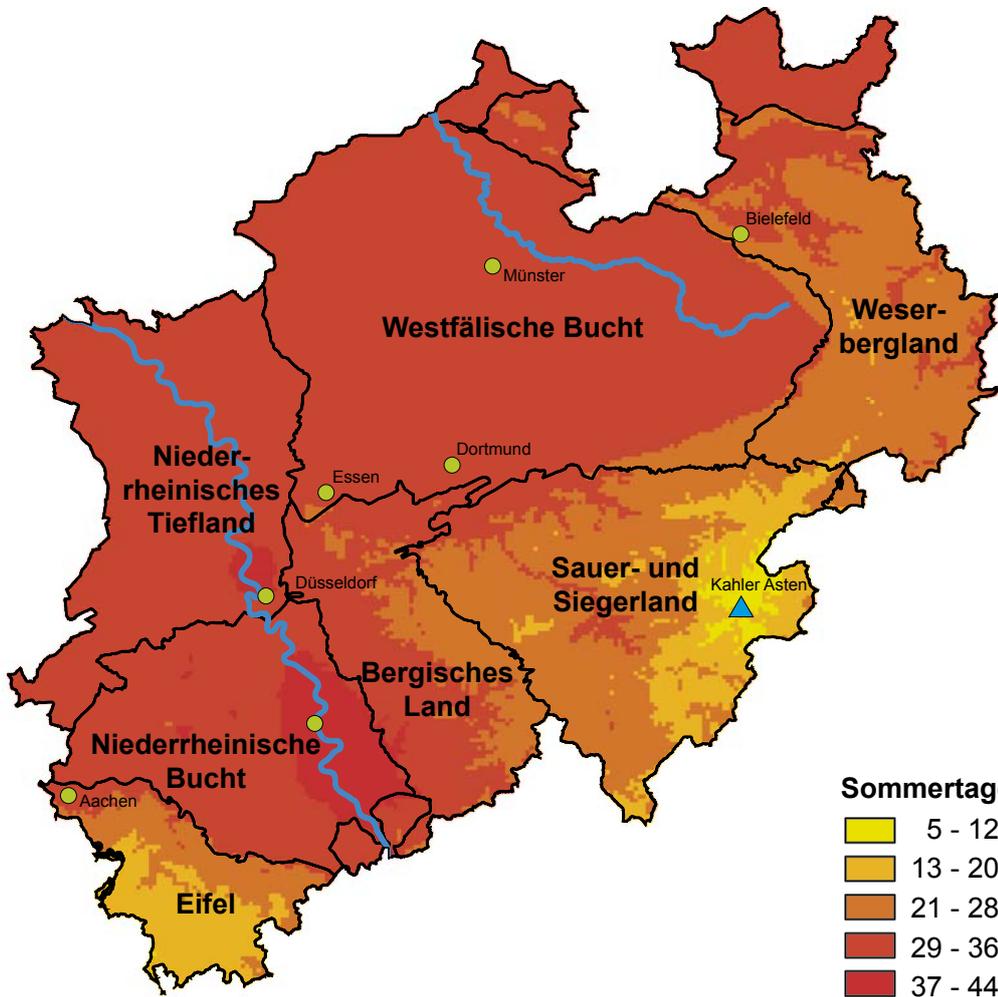


Abb. 1.4:
Mittlere Anzahl der
Sommertage ($T_{\max} > 25\text{ °C}$)
pro Jahr im Zeitraum
1979 – 2008.
(Datengrundlage: DWD)

1.1.3 Gradtage

Gradtage (s. Infobox) stellen ein überschlägiges Maß für den Wärmebedarf während einer Heizperiode dar. Daraus können Rückschlüsse auf den klimabedingten Heizenergiebedarf und die dabei anfallenden Heizkosten gezogen werden. Gradtage sind eine allein von der Außentemperatur abgeleitete Größe. Wärmedämmende Maßnahmen an Gebäuden bleiben bei ihrer Berechnung unberücksichtigt.

Abbildung 1.5 zeigt, in welchen Gebieten Nordrhein-Westfalens allein durch verschiedene mittlere Außentemperaturen mehr und in welchen Gebieten weniger geheizt werden muss. So liegen die Gradtage, gekoppelt an die Temperaturen der verschiedenen Höhenlagen, erwartungsgemäß in den Mittelgebirgen deutlich höher als in den Niederungen der Westfälischen Bucht und am Niederrhein. Die höchste klimabedingte Heizenergie muss rund um den Kahlen Asten aufgewendet werden. Am Niederrhein und im Niederrheinischen Tiefland, wo die Gradtage nur etwa zwei Drittel der Werte am Kahlen

Asten erreichen, ist dementsprechend weniger Heizenergie erforderlich. Im Mittel belaufen sich die Gradtage in Nordrhein-Westfalen auf etwa 3.650 Kd pro Jahr.

Gradtage

Die Berechnung von Gradtagen erfolgt über die VDI-Richtlinie 3807 gemäß der folgenden Definition:

Als Heiztage sind diejenigen Tage definiert, an denen die mittlere Außentemperatur unter der sogenannten Heizgrenze von 15 °C liegt. Die Jahressumme der **Gradtage** ist die über alle Heiztage eines Jahres gebildete Summe der täglich ermittelten Differenz zwischen einer angenommenen Raumtemperatur von 20 °C und der mittleren Außentemperatur. Die Einheit ist Kd/a (Kelvin·Tag/Jahr). Je höher die Gradtage sind, desto kälter war es im betreffenden Zeitraum und desto höher war der Heizenergiebedarf.

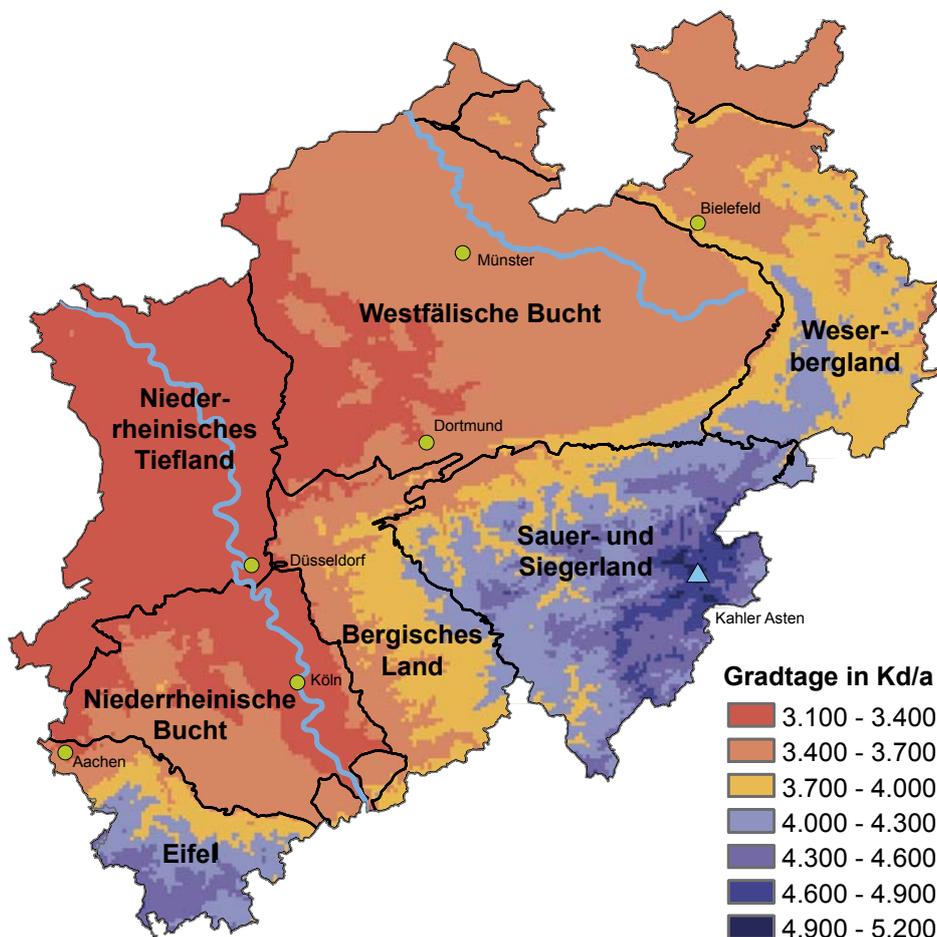


Abb. 1.5: Mittlere Gradtage pro Jahr in Kd/a im Zeitraum 1979 – 2008. (Datengrundlage: DWD)

1.1.4 Niederschlag

In Nordrhein-Westfalen fielen im Mittel im Zeitraum 1979 bis 2008 jährlich 920 mm Niederschlag. Zwischen Niederschlag und Höhenlage besteht ebenso wie bei der Lufttemperatur ein ausgeprägter Zusammenhang (Abb. 1.6). Die Niederschlagsmengen nehmen in allen Gebieten mit der Höhe des Geländes zu, dabei treten jedoch deutliche Unterschiede zwischen den windzugewandten Gebirgs-lagen (Luv) und den windabgewandten Seiten (Lee) auf. Das Wettergeschehen in Nordrhein-Westfalen ist vor allem durch Wetterlagen aus West bis Südwest geprägt, so dass sich die Luftmassen an den (Süd-)Westhängen der Gebirge stauen und zum Aufstieg gezwungen werden. Dies führt an diesen Stellen zu einer stärkeren Bewölkung, wodurch hier mehr Niederschlag fällt. An den Ostseiten der Gebirge sinkt die ohnehin schon trockenere Luft ab, weniger Bewölkung und Niederschlag sind die Folge. Die Jahresniederschlagssummen verteilen sich in Nordrhein-Westfalen wie folgt (Abb. 1.6):

- Jahressummen des Niederschlags im Bereich von 600 bis 1.000 mm pro Jahr charakterisieren die Tieflagen der Westfälischen Bucht, der Niederrheinischen Bucht und des Niederrheinischen Tieflandes.

- Die Hochlagen des Bergischen Landes, des Sauer- und Siegerlandes und der Eifel sind mit jährlichen Niederschlagsmengen bis zu 1600 mm die niederschlagsreichsten Regionen Nordrhein-Westfalens.
- Der Luv-Effekt tritt besonders stark im Bergischen Land auf. Hier macht sich die niederschlagserhöhende Wirkung luvseitig bis zum Rhein hin bemerkbar. So wird im Raum Wuppertal/Remscheid bei Seehöhen von nur ca. 250 m bereits eine mittlere jährliche Niederschlags-höhe von mehr als 1300 mm gemessen. In Bleiche (Kreis Olpe, 460 m über NN) fallen im vieljährigen Durchschnitt bereits 1400 bis 1450 mm Niederschlag, ähnlich viel wie auf dem 839 m hohen Kahlen Asten.
- Das markanteste Leegebiet in Nordrhein-Westfalen ist die Zülpicher Börde, zwischen Nordostrand der Eifel und der Ville gelegen. Hier liegt die mittlere jährliche Niederschlagshöhe zum Teil nur knapp über 600 mm.

In den Niederungen fällt der größere Teil des Niederschlags in den Sommermonaten, wenn die kräftige Sonneneinstrahlung Schauer und Gewitter verursacht. Im Mittelgebirgsraum hingegen kommt es, wenn stärkere Westwinde atlantische Luftmassen heranzuführen, in den Wintermonaten häufiger zu Niederschlägen (Abb. 1.1).

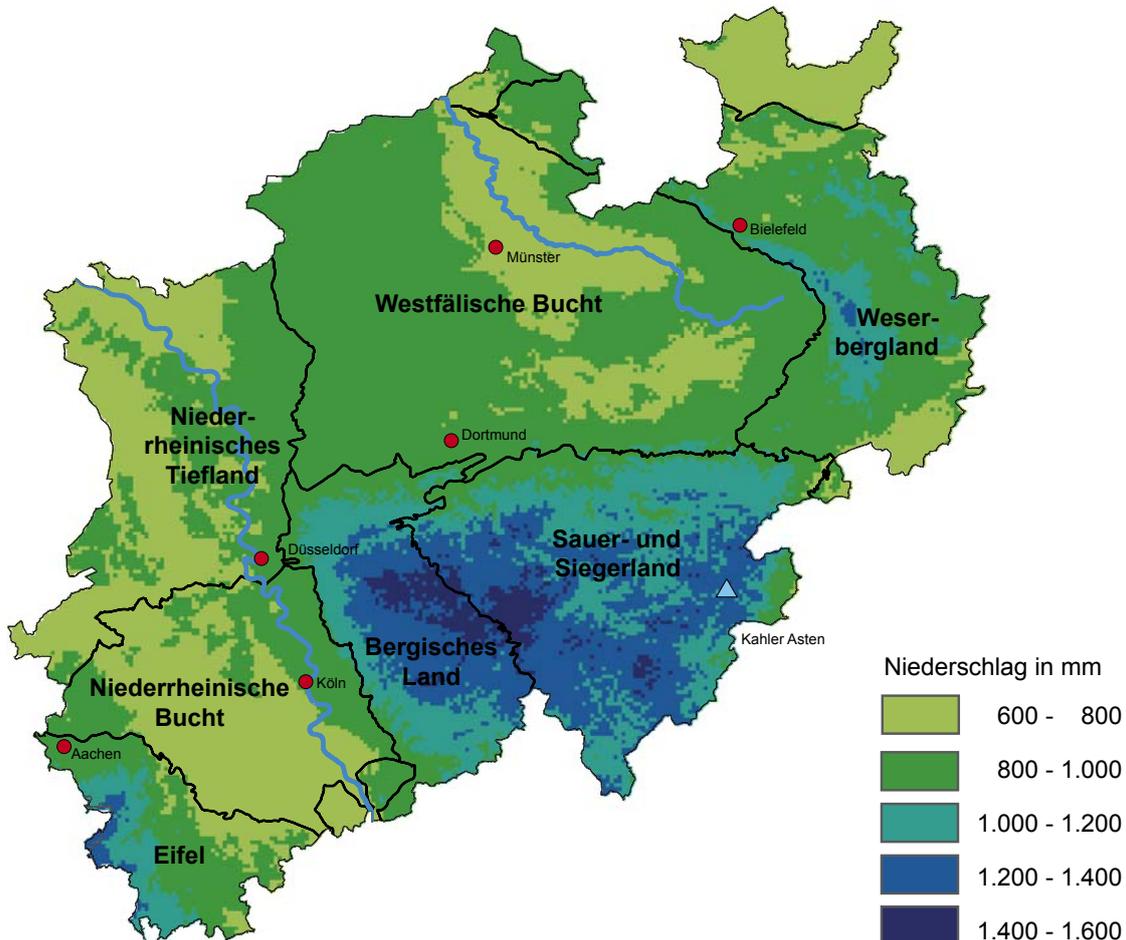


Abb. 1.6: Mittlerer Jahresniederschlag in Nordrhein-Westfalen im Zeitraum 1979–2008. (Datengrundlage: DWD)



1.1.5 Bioklima

Das Klima hat eine große Wirkung auf Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit der Menschen. Der Körper muss sich auf die häufigen Änderungen der atmosphärischen Bedingungen während eines Jahres einstellen. Für einen gesunden Menschen stellt dies keine Schwierigkeiten dar. Empfindliche Personen, vor allem ältere und kranke Menschen, haben dabei jedoch größere Mühen. Das Wohlbefinden kann durch Beschwerden wie Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schlaf- und Konzentrationsstörungen bis hin zu Herz-, Kreislauf- und Atemwegserkrankungen gestört werden. In epidemiologischen Studien konnte ein deutlicher Einfluss von extremen Bedingungen wie Hitze und Kälte auf die Anzahl von Erkrankungen und die Häufigkeit von Sterbefällen gezeigt werden.

Das Bioklima (DWD, 2003) beschreibt die an einem Ort herrschenden meteorologischen Bedingungen in ihrer Wirkung auf den Menschen. Insgesamt gibt es nach Art ihrer Wirkung drei Wirkungskomplexe. Der **thermische Wirkungskomplex** umfasst die Klimagrößen, die einen Einfluss auf den Austausch von Wärme zwischen dem Körper und der Atmosphäre haben. Dies sind vor allem Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Strahlung. Bei hohen Temperaturen, einer hohen Luftfeuchte und schwachem Wind muss die Thermoregulation des Körpers verstärkt werden, damit er nicht überhitzt. Die Umgebung wirkt belastend und das Wetter wird als Stress empfunden (Wärmebelastung). Kaltes Wetter, verbunden mit hohen Windgeschwindigkeiten und starker Bewölkung, erzeugt hingegen einen Kältereiz, der unter moderaten Bedingungen den Körper trainiert, bei extremen Bedingungen jedoch ebenfalls einen ungünstigen Einfluss auf den Körper hat.

Neben dem thermischen Wirkungskomplex spielen der **arktische Wirkungskomplex** (Sonnenstrahlung) und der **lufthygienische Wirkungskomplex** (Luftbeimengungen) für das Bioklima eine wichtige Rolle. Da der Mensch über

seine Thermoregulation jedoch am engsten mit der atmosphärischen Umwelt verbunden ist, stellt die Bioklimakarte nur die klimatischen Bedingungen der Wärmeabgabe dar (Abb. 1.7). Die bioklimatische Bewertung erfolgt über die mittleren Häufigkeiten der Wärmebelastung und Kältereize (trotz jeweils angepasster Bekleidung) in Deutschland im Zeitraum von 1971 bis 2000, nicht wie bei den übrigen hier dargestellten Klimakenngrößen von 1979 bis 2008. Berechnet wurden diese Größen mit dem Energiebilanzmodell „Klima-Michel“ des Deutschen Wetterdienstes. (DWD, 2003)

Im maritimen Bereich Deutschlands kommt es in der Regel durch mäßig warme Sommer und milde Winter nur wenig zu Wärmebelastungen oder Kältereizen. Mit zunehmender Kontinentalität wird die Jahresamplitude der Temperatur größer, so dass der Kältereiz im Winter und die Wärmebelastung im Sommer zunehmen. In den Gebirgen steigt erwartungsgemäß mit den sinkenden Temperaturen der Kältereiz, die Wärmebelastung wird dagegen deutlich geringer.

In den Niederungen Nordrhein-Westfalens, wie der Westfälischen und Niederrheinischen Bucht und dem Niederrheinischen Tiefland, herrschen thermisch ausgeglichene Bedingungen. Die Behaglichkeit kann bereits durch eine angepasste Kleidung aufrechterhalten werden. In den Mittelgebirgen hingegen ist die Wärmebelastung selten bis sehr selten, der Kältereiz hingegen vermehrt bis sehr häufig. Der menschliche Organismus wird verstärkt durch niedrige Temperaturen und eine höhere Feuchtigkeit gefordert.

Große Städte und Ballungsräume sind in der Regel durch den städtischen Wärmeinseleffekt, das sind vor allem ein höheres Temperaturniveau und geringere Windgeschwindigkeiten, stärker von Wärmebelastungen betroffen als ihr Umland.

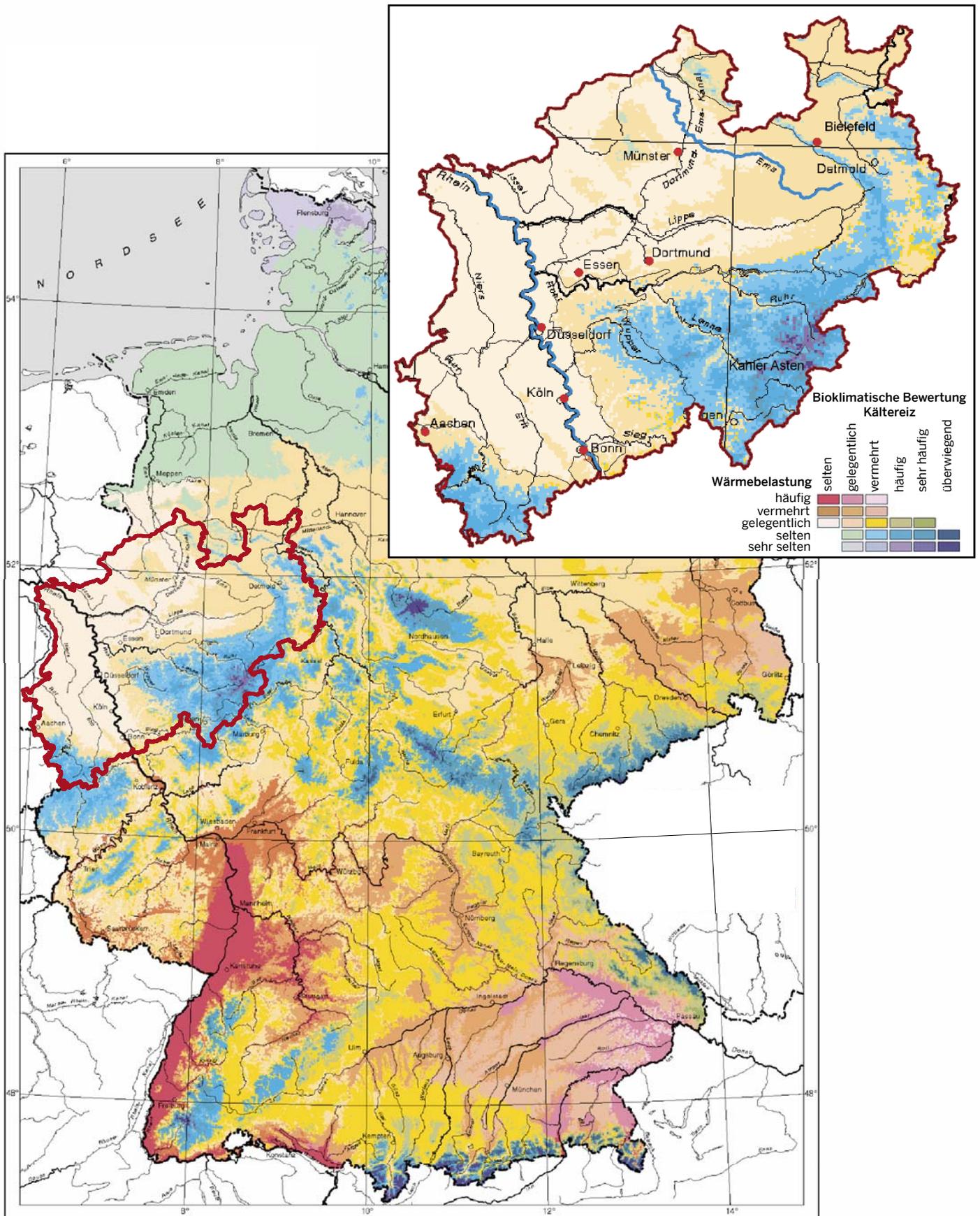


Abb. 1.7: Das Bioklima in der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum 1971 – 2000. (Quelle: DWD)
Im Ausschnitt ist NRW vergrößert dargestellt.

1.2 Die Entwicklung des Klimas in NRW im vergangenen Jahrhundert (1901 – 2008)

Trendtest

Die Zeitreihen der verschiedenen Kenngrößen wurden mit dem verteilungsfreien Mann-Kendall-Test auf signifikante Trends geprüft. Dies soll Aufschluss darüber geben, wie deutlich und sicher ein Trend gegenüber der Variabilität innerhalb der Zeitreihe hervortritt. Je größer das Signifikanzniveau ist, desto mehr gilt ein Trend als statistisch gesichert. Die Signifikanzniveaus (S_i) werden wie folgt bewertet:

- $S_i < 90\%$ → nicht signifikant
- $90\% \leq S_i < 95\%$ → signifikant
- $95\% \leq S_i < 99\%$ → sehr signifikant
- $99\% \leq S_i$ → hochsignifikant

Der Mann-Kendall-Test setzt keine Linearität des Trends voraus, da er lediglich Auskunft über ein relatives Ansteigen oder Abfallen der Zeitreihenwerte gibt. Die Trends sind in den folgenden Zeitreihen zur Veranschaulichung als lineare Trends dargestellt, die Ergebnisse des Tests sollten aber nicht direkt auf die in den Diagrammen dargestellten linearen Trends bezogen werden.

1.2.1 Lufttemperatur

Der Verlauf der Jahresmitteltemperatur in Nordrhein-Westfalen von 1901 bis 2008 ist in Abbildung 1.8 dargestellt. Er ist durch Schwankungen gekennzeichnet, die sich aus der Überlagerung von anthropogenen und natürlichen Klimaeffekten zusammensetzen; natürliche Klimaeffekte sind z.B. Schwankungen der Sonnenaktivität, Änderungen von atmosphärischen und ozeanischen Zirkulationsmustern und Vulkanausbrüche. Die vergangenen 108 Jahre lassen sich in drei Abschnitte einteilen. Vom Anfang des 20. Jahrhunderts bis zum Ende der 40er Jahre fand eine Phase schwacher Erwärmung statt. Anschließend zeigt sich bis zum Anfang der 80er Jahre ein weitgehend neutraler Trend. Seit Beginn der 80er Jahre bis heute findet eine Erwärmung statt, die deutlich stärker ist als in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

Im Zeitraum 1901 bis 2008 beträgt die Jahresmitteltemperatur in Nordrhein-Westfalen $9,1\text{ °C}$ (Standardabweichung $0,7\text{ °C}$). Die niedrigsten Jahresmittelwerte wurden mit etwa $7,6\text{ °C}$ in den Jahren 1940 und 1956 gemessen, die höchsten mit etwa $10,5\text{ °C}$ in den Jahren 2000 und 2007. Insgesamt ist in Nordrhein-Westfalen im 108-jährigen Zeitraum eine hochsignifikante Temperaturzunahme zu verzeichnen. Die Temperatur ist in diesem Zeitraum um $1,1\text{ °C}$ angestiegen (Differenz zwischen Anfang und Ende der grauen Trendlinie in Abb. 1.8).

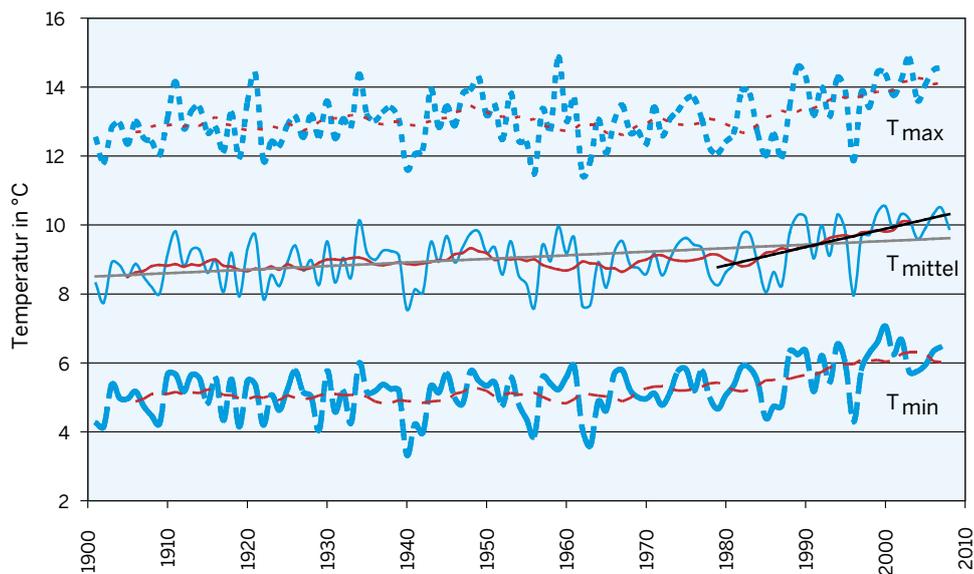


Abb. 1.8: Jahresmittel der minimalen (T_{\min}), mittleren (T_{mittel}) und maximalen (T_{\max}) Tagestemperaturen in NRW im Zeitraum 1901 – 2008 (blau). (Datengrundlage: DWD) Zusätzlich sind die dekadisch gleitenden Mittel gezeigt (rot) sowie lineare Trends der Mitteltemperatur (grau für 1901 – 2008, schwarz für 1979 – 2008).

In den letzten 30 Jahren fand im Vergleich zum Gesamtzeitraum 1901 – 2008 ein wesentlich stärkerer Anstieg der Temperaturen statt, der Trend zwischen 1979 und 2008 ist dementsprechend ebenfalls statistisch hochsignifikant. Während der lineare Erwärmungstrend über die letzten 108 Jahre noch bei $0,1\text{ °C}$ pro Jahrzehnt lag, so war dieser über die vergangenen 30 Jahre fünf Mal so hoch (Abb. 1.8). Der Mittelwert von 1979 bis 2008 lag mit $9,5\text{ °C}$ (Standardabweichung: $0,8\text{ °C}$) über dem Mittelwert von $9,1\text{ °C}$ des Zeitraums von 1901 bis 2008. Seit 1988 (mit Ausnahme der Jahre 1991 und 1996) liegen alle gemessenen Jahresmittelwerte oberhalb des langjährigen Mittelwertes von $9,1\text{ °C}$.

Der IPCC-Report 2007 ermittelte für die Landfläche der nördlichen Hemisphäre im Zeitraum von 1979 bis 2005 im Mittel eine Temperaturzunahme im Bereich von ca. $0,3\text{ °C}$ pro Dekade (TRENBERTH et al. 2007). Somit erfolgte die Temperaturzunahme in Nordrhein-Westfalen in den vergangenen 30 Jahren insgesamt leicht überdurchschnittlich.

Innerhalb Nordrhein-Westfalens sind zwischen dem Anfang des 20. und dem Anfang des 21. Jahrhunderts regionale Unterschiede in der absoluten Temperaturzunahme erkennbar (nicht dargestellt). Die Unterschiede liegen jedoch mit wenigen Zehnteln Grad im Bereich der Standardabweichung und sind daher statistisch nicht aussagekräftig. Auffällig ist, dass die Temperaturen in den Tieflagen anscheinend etwas stärker zugenommen haben als in den Berglagen. Diese geringen Unterschiede können jedoch auch andere Ursachen als den Klimawandel haben. So ist es nicht auszuschließen, dass Inhomogenitäten bei den langjährigen Messungen (z.B. Veränderungen im Messnetz) und der weiteren Verarbeitung der Daten (z.B. Regression, Interpolation) entstanden sind.

Die Jahresminimum- und Jahresmaximumtemperaturen werden für jedes Jahr als Mittel der Tagesminimum- und Tagesmaximumtemperaturen berechnet. Diese zeigen für den Zeitraum 1901 bis 2008 jeweils einen zu der Jahresmitteltemperatur sehr ähnlichen Verlauf (Abb. 1.8). Der Mittelwert für die Jahresminimumtemperatur liegt bei $5,2\text{ °C}$ und für die Jahresmaximumtemperatur bei $13,1\text{ °C}$.



Der lineare Anstieg dieser Temperaturwerte im vergangenen Jahrhundert und in den letzten 30 Jahren fand nahezu parallel zu den linearen Trends der Mittelwerte statt. Daraus folgt, dass die wärmeren Tage zugenommen haben und die kälteren Tage zurückgegangen sind (vgl. Kapitel 1.2.2).

Die Jahresgänge der Monatsmitteltemperatur für die Zeiträume 1901 – 2008 und 1978 – 2008 sind als Gebietsmittel für Nordrhein-Westfalen in einem Box-Whisker Plot (s. Infobox S. 20) in Abbildung 1.9 dargestellt. In beiden Zeiträumen ist der Juli im Mittel der wärmste Monat und der Januar der kälteste Monat. Im Zeitraum von 1978 – 2008 betrug die mittlere Monatsmitteltemperatur im Juli $17,8\text{ °C}$ und im Januar $1,8\text{ °C}$.

Man sieht in Abbildung 1.9, dass die Monatsmittelwerte über einen längeren Zeitraum stark streuen. Dennoch ist insgesamt zu erkennen, dass in den letzten 30 Jahren in allen Monaten die Mitteltemperatur gegenüber dem 108-jährigen Mittel angestiegen ist (vgl. rote Rauten). Die höchsten Mittelwerte der einzelnen Monate wurden überwiegend in den letzten 30 Jahren gemessen, die niedrigsten Mittelwerte hingegen vor 1979 (vgl. Maximal- und Minimumwerte). Besonders fallen in der Darstellung die extrem niedrigen Mittelwerte im Januar und Februar auf, die weit unterhalb des langjährigen Durchschnitts dieser Monate liegen. Der Januar 1940 mit $-7,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ und der Februar 1956 mit $-8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ waren besonders kalte Monate.

Die 108-jährigen positiven Trends der einzelnen Monate sind nicht alle statistisch signifikant. Dennoch sind die Trends alle gleichgerichtet, was gegen ein zufälliges Verhalten spricht. Betrachtet man die statistische Sicherheit der einzelnen Jahreszeitentrends, so sind die Trends im Frühling, im Sommer und im Herbst alle statistisch hochsignifikant. Der Trend im Winter ist immerhin noch statistisch signifikant gesichert. Die Temperaturen haben vom Anfang des 20. Jahrhunderts bis heute in den einzelnen Jahreszeiten zwischen $1,0$ und $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ zugenommen. Der August, der mit einem hochsignifikanten Trend von $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ die größte Änderung unter den einzelnen Monaten aufweist, trägt zum Temperaturanstieg von $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Sommer besonders stark bei.

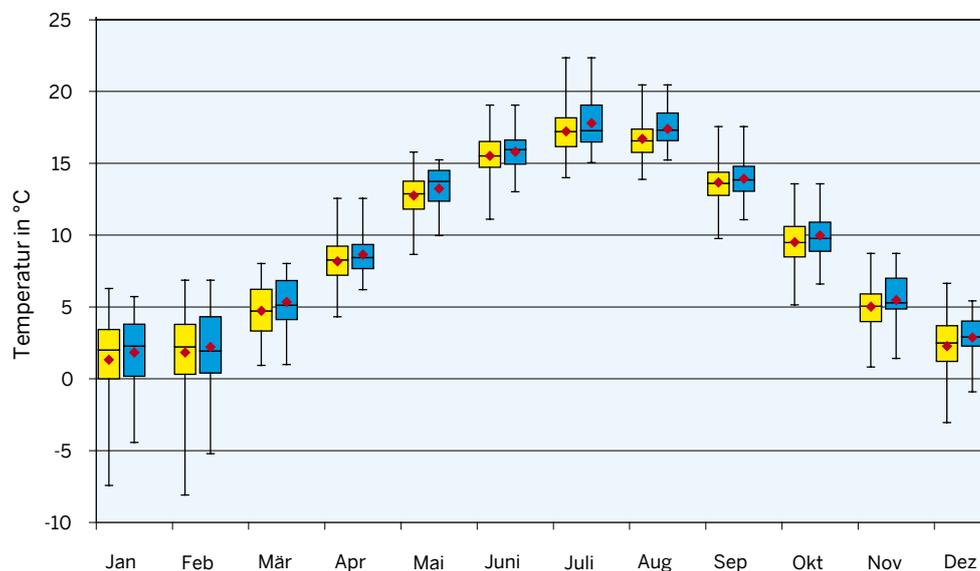
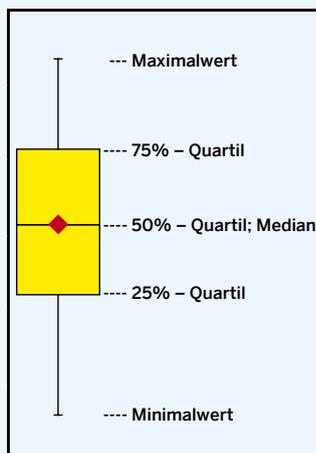


Abb. 1.9: Jahresgang der Monatsmitteltemperatur für die Zeiträume 1901 – 2008 (gelb) und 1978 – 2008 (blau) im Box-Whisker Plot. Angegeben sind die statistischen Parameter Mittelwert (rot), Median, das 25 %- und 75 %-Quartil sowie die Minimum- und Maximumwerte (vgl. Infobox „Box-Whisker-Plot“). (Datengrundlage: DWD)



Box-Whisker Plot

Der Box-Whisker Plot stellt in einer Grafik wichtige Lage- und Streuungsmaße einer Verteilung dar. Auf diese Weise kann ein schneller Eindruck über die Verteilung statistischer Daten, hier der meteorologischen Daten, gewonnen werden. Die Box beinhaltet die mittleren 50 % der Werte. Nach unten wird sie durch das 25 %-Quartil begrenzt, unter dem 25 % der Werte liegen, und nach oben hin durch das 75 %-Quartil, über dem 25 % der Werte liegen. Der Median (das 50 %-Quartil) liegt als Querstrich in der Box und teilt die Datenmenge in genau zwei Hälften. Er vermittelt einen Eindruck über die Schiefe der Verteilung. Die Whisker, die jeweils als senkrechte Linien unter- und oberhalb der Box angegliedert sind, zeigen die 25 % der Datenmenge an, die unter- und oberhalb der Box liegen. Begrenzt werden diese durch den Maximal- bzw. Minimalwert der Datenmenge. Der Mittelwert ist jeweils zusätzlich durch eine rote Raute eingezeichnet.

Meteorologische Singularitäten

Betrachtet man den Verlauf der mittleren Tagestemperaturen im Jahr in Abbildung 1.10, die über den Zeitraum 1979-2008 berechnet wurden, so lassen sich neben der zufälligen Unruhe verschiedene meteorologische Singularitäten erkennen. Singularitäten sind Großwetterlagen, die nach dem jahreszeitlichen Verlauf des Sonnenstandes und den damit verbundenen Temperaturänderungen zyklisch und mit recht hoher Wahrscheinlichkeit zu bestimmten Zeitabschnitten im Jahr wiederkehren. Bereits in den frühen Bauernkulturen wurde im Hinblick auf die Landwirtschaft das Wetter beobachtet. Die langjährigen Erfahrungen wurden von Generation zu Generation weitergegeben und im Laufe der Zeit entwickelten sich daraus die sogenannten Bauernregeln. Die darin enthaltenen Wettererscheinungen finden sich tatsächlich oft in den meteorologischen Zeitreihen wieder. In Abbildung 1.10 sind einige der in Deutschland besonders bekannten Singularitäten anhand der Stationen Düsseldorf und Kahler Asten dargestellt. So sind z.B. die Eisheiligen, die Schafskälte und das Nikolaustauwetter zu erkennen. Weitere Singularitäten, wie z.B. der Märzwinter und der Altweibersommer, lassen Interpretationsspielraum.

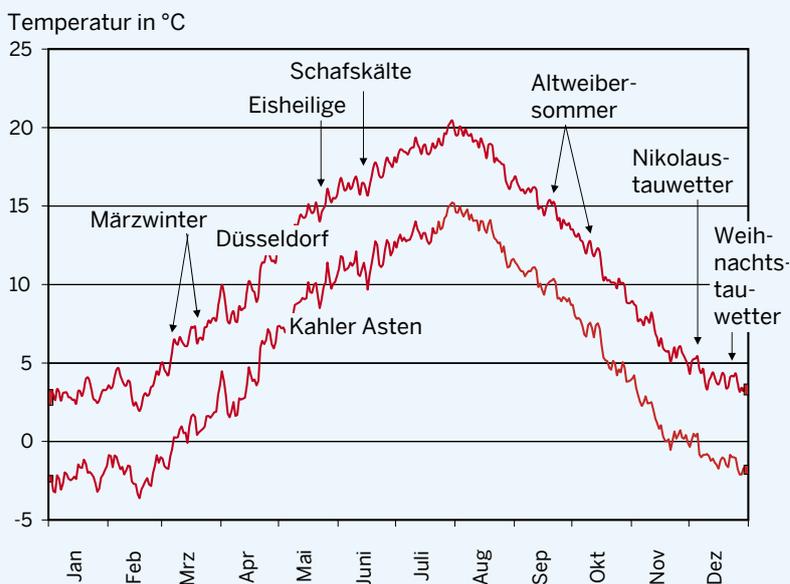


Abb. 1.10: Verlauf der mittleren Tagestemperaturen als Mittel des Zeitraums 1979 – 2008 in Düsseldorf und am Kahlen Asten. Zusätzlich eingetragen sind die Daten bzw. Zeiträume, in denen meteorologische Singularitäten typischerweise auftreten. (Datengrundlage: DWD)

Märzwinter: Als Märzwinter wird ein häufiger Spätwintereinbruch in der ersten Märzhälfte bezeichnet, bei dem nördliche und östliche Wetterlagen polare Kaltluft nach Deutschland bringen. Die Entwicklung der Natur wird dabei um ein bis zwei Wochen zurückgeworfen.

Eisheilige: Die Eisheiligen bezeichnen eine Periode im Mai, in der häufig nördliche Wetterlagen zu Kaltlufteinbrüchen führen. In manchen Gegenden verursachen sie Frostschäden, da die Vegetation zu dieser Zeit besonders frostempfindlich ist. Die Eisheiligen sind nach den Namenstagen der Heiligen Mamertus, Pankratius, Servatius und Bonifatius benannt und enden am 15. Mai mit der Kalten Sophie. Wegen einer Kalenderreform im 16. Jh. ist mit den Auswirkungen der Eisheiligen heute erst in der zweiten Hälfte des Monats Mai zu rechnen. In neueren Untersuchungen kann eine Kalenderegebenheit der Kälterückfälle nicht immer bestätigt werden. In der nahen Vergangenheit scheinen sie seltener und weniger intensiv aufgetreten zu sein als in den vergangenen Jahrhunderten.

Schafskälte: Die Schafskälte tritt sehr häufig und regelmäßig in der ersten Junihälfte auf (Zeit der Schafschur). Arktische Luftmassen aus Nordwesten führen zu einem markanten Temperaturrückgang und bringen windiges Schauerwetter, in den Mittelgebirgen auch ab und zu etwas Schnee.

Altweibersommer: Mitte September bis Anfang Oktober führen häufig südliche bis östliche Winde trockene und warme Luft nach Mitteleuropa, die langanhaltende, stabile Hochdruckwetterlagen verursachen und damit eine beständig warme und sonnenscheinreiche Altweibersommerphase bringen. Die Nächte sind jedoch kühl, so dass sich oft Tau und Strahlungsnebel bilden. Der Name stammt von den vielen Spinnweben, die zu dieser Zeit durch den Tau und Nebel benetzt besonders deutlich zu erkennen sind. Als „Weiben“ wurde im Altdeutschen das Knüpfen von Spinnfäden bezeichnet.

Nikolaus- und Weihnachtstauwetter: Das Nikolaustauwetter und das Weihnachtstauwetter kennzeichnen Perioden zu Nikolaus und zu Weihnachten, in denen mit recht großer Wahrscheinlichkeit Großwetterlagen auftreten, die zu einem kurzfristigen Anstieg der winterlichen Temperaturen führen. Diese Wärmeeinbrüche können zu einem Abschmelzen des ersten gefallenen Schnees führen.



1.2.2 Kenntage

Ausgewählte Kenntage für Nordrhein-Westfalen sind in Abbildung 1.11 dargestellt. Während die Frosttage innerhalb der letzten 108 Jahre tendenziell rückläufig sind (nicht signifikant), zeigen die Sommertage eine sehr signifikante Zunahme. Starke Schwankungen von Jahr zu Jahr fallen besonders bei den Frosttagen auf. Im Landesmittel traten im vergangenen Jahrhundert viermal mehr als 100 Frosttage pro Jahr auf, das letzte Mal im Jahr

1963. In den zurückliegenden 30 Jahren kommt das Jahr 1996 mit insgesamt 98 Frosttagen noch einmal knapp an die 100-Tage-Marke heran. Auffallend hohe Anzahlen von Sommertagen zeigten die Jahre 1910, 1946 und 2002 (jeweils über 50 Tage). Die 62 Sommertage von 1946 wurden bisher nicht mehr übertroffen, seit den 1970er Jahren treten allerdings Jahre mit mehr als 40 Sommertagen häufiger auf als zuvor.

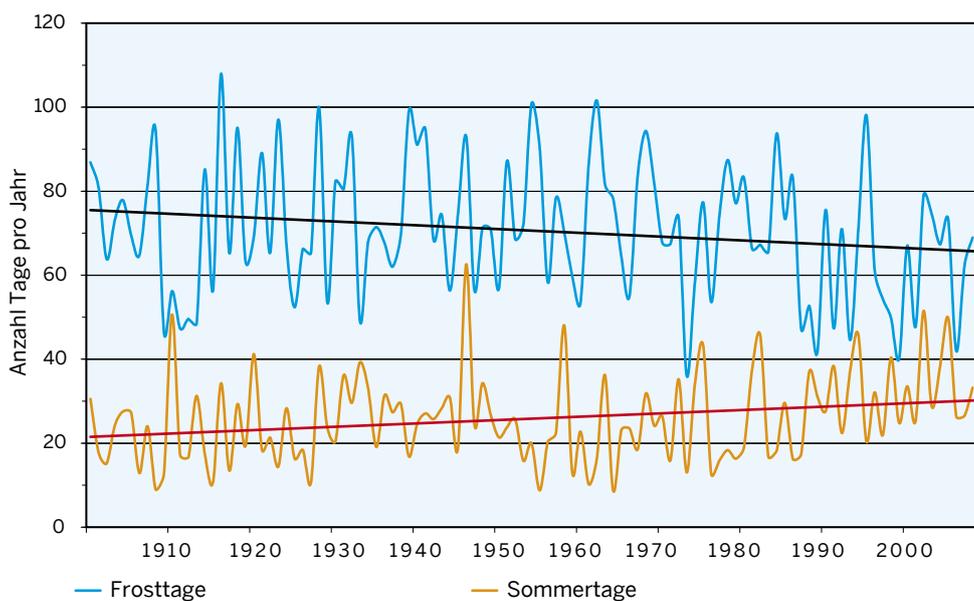


Abb. 1.11: Mittlere Anzahl der Frosttage (blau) und Sommertage (orange) pro Jahr in Nordrhein-Westfalen im Zeitraum 1901 – 2008. (Datengrundlage: DWD) Zusätzlich sind die linearen Trends (schwarz, rot) eingetragen.

1.2.3 Gradtage

In Abbildung 1.12 ist der Verlauf der mittleren Gradtage (vgl. Abschnitt 1.1.3) pro Jahr für Nordrhein-Westfalen für den Zeitraum 1901 bis 2008 dargestellt. Durch den direkten Einfluss der mittleren Außentemperatur verläuft diese Kurve entgegengesetzt der Temperaturkurve in Abbildung 1.8. Durch den allgemeinen Erwärmungstrend in Nordrhein-Westfalen nehmen die mittleren Jahresgradtage während des Zeitraums 1901 bis 2008 ab. Ein Trend ist, ebenso wie bei der Temperatur, hochsignifikant. Insgesamt ist in Nordrhein-Westfalen im 108-jährigen Zeitraum eine Abnahme der mittleren Gradtage um etwa 400 Kd (Kelvin·Tag) zu verzeichnen (Differenz zwischen Anfang und Ende der blauen Trendlinie in Abb. 1.12), was etwa 40 Kd pro Jahrzehnt entspricht. Damit haben die Gradtage in 108 Jahren um etwa 11 % gegenüber dem langjährigen Mittel abgenommen.

Es kann festgehalten werden, dass die allgemeine Erwärmung Nordrhein-Westfalens zu einem niedrigeren klimabedingten Energieaufwand geführt hat. Umgekehrt kann in Kombination mit der Zunahme der wärmeren Tage, insbesondere der Sommertage und heißen Tage, angenommen werden, dass das Energieaufkommen in Gebäuden durch Klimaanlage gestiegen ist. Die Entwicklung des tatsächlichen Heizenergieverbrauchs wird jedoch von vielen weiteren Größen bestimmt, wie z.B. der Entwicklung der Wohnflächen sowie dem Fortschritt in der Wärmedämmung und Isolation von Gebäuden.

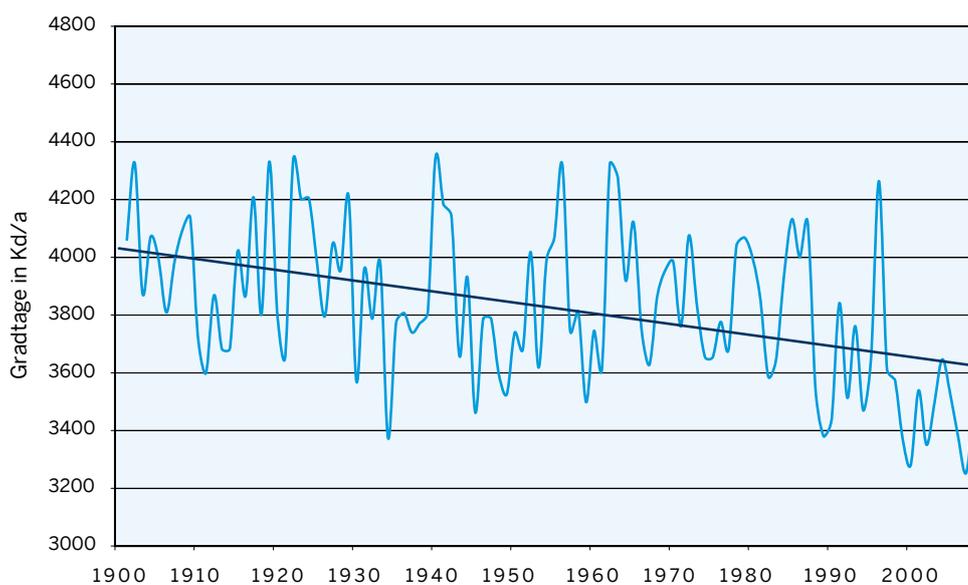


Abb. 1.12: Mittlere Gradtage pro Jahr in Kd/a in NRW im Zeitraum 1901 – 2008 (blau). (Datengrundlage: DWD)
Der lineare Trend für diesen Zeitraum ist in schwarz gezeigt.

1.2.4 Niederschlag

Die Jahresniederschlagssumme für Nordrhein-Westfalen betrug im Zeitraum 1901 – 2008 im Mittel 861 mm. Im Vergleich zur Temperatur ist sie stärkeren jährlichen Schwankungen unterworfen (Abb. 1.13). Um statistisch gesicherte Trends festzustellen, eignen sich daher nur langjährige Zeitreihen. Trends in kleineren Zeiträumen sind meist aufgrund der großen Variationen der Niederschlagswerte nicht statistisch gesichert, so dass entsprechende Aussagen zufälliger Natur sein können. Zusätzlich beeinflusst die flächendeckend „trockene“ 1970er Dekade in Nordrhein-Westfalen Trendbetrachtungen in vielen statistischen und fachlichen Auswertungen. Dies wird besonders in Abbildung 1.13 anhand des dekadisch gleitenden Mittels erkennbar. Möglicherweise spiegelt sich, wie von einigen Wissenschaftlern beschrieben, die atlantische Klimaanomale mit deutlich kühleren Oberflächentemperaturen in den Niederschlagsmesswerten wider, da das Wettergeschehen in unserem Land häufig durch Westwetterlagen mit Zustrom atlantischer Luftmassen geprägt ist. Diese trockene Dekade bewirkt, dass im Zeitraum 1901 – 2008 bei kürzeren Zeitfenstern auch gegenläufige Trends auftreten können. Zeitfenster über nur 30 Jahre sind daher nicht repräsentativ für den Gesamtzeitraum.

Zwischen 1901 und 2008 ist für die Jahressummen des Niederschlags ebenso wie bei der Lufttemperatur ein Aufwärtstrend vorhanden. In diesem Zeitraum nahmen die mittleren jährlichen Niederschlagsmengen in Nordrhein-Westfalen von 806 mm auf 916 mm zu (Differenz zwischen Anfang und Ende der 108-jährigen Trendlinie, Abb. 1.13), was etwa 10 mm pro Jahrzehnt entspricht. Damit hat der Niederschlag in 108 Jahren um 13 % gegenüber dem langjährigen Mittelwert zugenommen.



Die regionale Variabilität des Niederschlages ist ausgesprochen hoch. Obwohl das Gebietsmittel – wie oben dargestellt – insgesamt einen positiven Trend aufweist, haben Untersuchungen des LANUV NRW gezeigt, dass kleinräumig deutlich unterschiedliche, mitunter auch entgegengesetzte Entwicklungen erfolgen können.

Die mittleren Monatssummen des Niederschlags (Gebietsmittel) verteilen sich im Zeitraum von 1978 bis 2008 relativ gleichmäßig auf die vier Jahreszeiten (nicht dargestellt). Während Sommer, Herbst und Winter mit nahezu gleichen Anteilen (etwa 25 – 26 %) vertreten sind, ist im Frühling etwas weniger Niederschlag zu verzeichnen (22 %). Die Trends der Jahreszeiten sind über die vergangenen 108 Jahre alle neutral bis positiv. Während im Winter und Frühling der Niederschlag um 19 % gegenüber dem 108-jährigen Mittelwert der einzelnen Jahreszeiten zugenommen hat, nahmen die Werte im Sommer und Herbst nur um 3 bzw. 11 % zu.

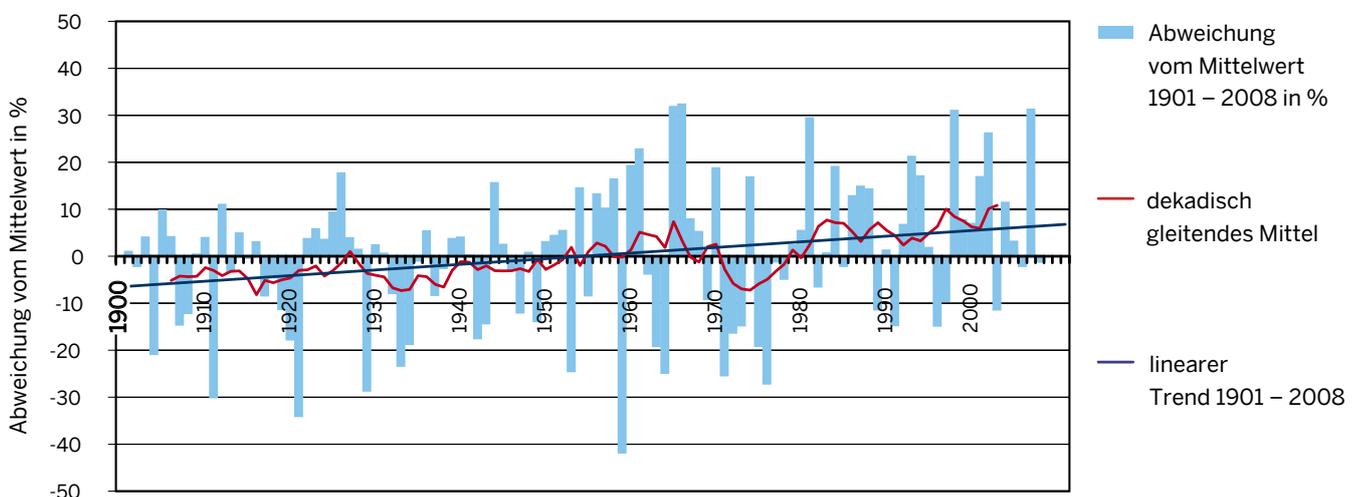


Abb. 1.13: Abweichung des mittleren Jahresniederschlags vom langjährigen Mittelwert 861 mm (1901 – 2008). (Datengrundlage: DWD) – Der lineare Trend ist als blaue Linie, das dekadisch gleitende Mittel in rot dargestellt.



Die Trends des Winters und des Frühlings sind statistisch signifikant bzw. sehr signifikant, die des Sommers und Herbstes nicht signifikant. Auffällig ist für das Sommerhalbjahr eine räumliche Struktur. Während sich die Südhälfte Nordrhein-Westfalens eher unverändert bis gering trockener zeigt, ist die Hälfte ab etwa nördlich des Haarstrangs unverändert bis eher gering feuchter. Insgesamt kann festgehalten werden, dass bisher eine Niederschlagszunahme vor allem im Winter und Frühling stattgefunden hat, im Sommer dagegen kaum eine Änderung vorhanden ist. Während zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Niederschlagssummen im Sommer deutlich über denen des Winters lagen, haben sie sich bis heute immer weiter aneinander angeglichen.

In Abbildung 1.14 ist zu erkennen, dass mit Ausnahme der Monate April, Juli und August die Mittelwerte der mittleren monatlichen Niederschlagsmengen der letzten 30 Jahre oberhalb der Werte der vergangenen 108 Jahre liegen. Die Trends sind allerdings mit Ausnahme der Monate März und Mai (beide sehr signifikant) nicht statistisch signifikant, so dass sie hinter den großen Streuungen der einzelnen Zeitreihen zurückbleiben. Die langen Whisker in Abbildung 1.14, die sich größtenteils deutlich überlappen, verdeutlichen dies.

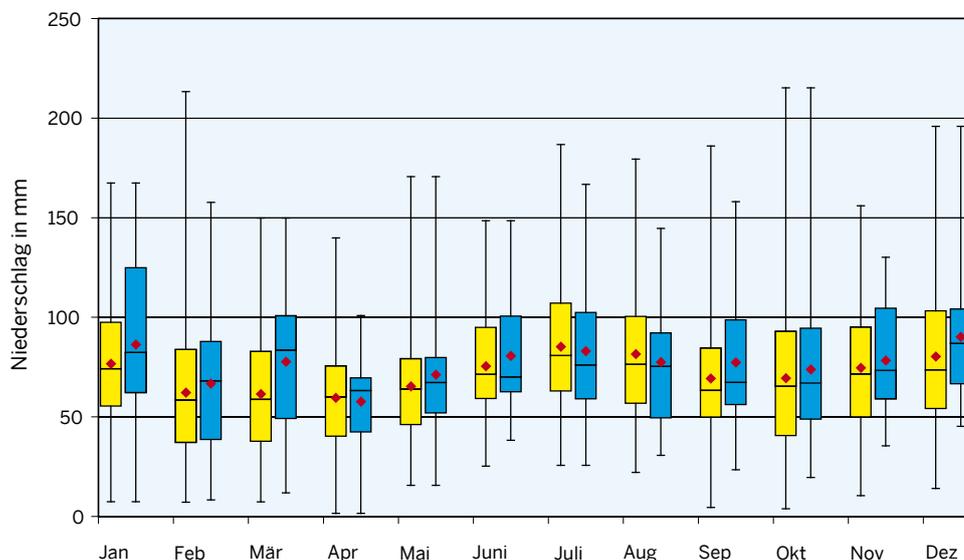


Abb. 1.14: Jahresgang der mittleren Monatsniederschlagssummen für die Zeiträume 1901 – 2008 (gelb) und 1978 – 2008 (blau) im Box-Whisker Plot (vgl. Infobox S.20). Angegeben sind die statistischen Parameter Mittelwert (rot), Median, das 25 %- und 75 %-Quartil sowie die Minimum- und Maximumwerte. (Datengrundlage: DWD)

1.2.5 Schnee

Zur Messung des Schnees stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Die absolute Menge des gefallenen Schnees erhält man durch eine Angabe der dem Schnee äquivalenten Wassermenge. Stärker wirkungsorientiert ist jedoch eine Angabe über die Höhe der Schneedecke oder die Andauerzeiten einer geschlossenen Schneedecke. Ein geeignetes Maß zur Beschreibung der Andauerzeiten ist die Anzahl an Tagen im Jahr mit einer geschlossenen Schneedecke größer als 10 cm. Diese Schneetage sind in Abbildung 1.15 über die vergangenen 53 Jahre an der höchstgelegenen Station Nordrhein-Westfalens, dem Kahlen Asten, dargestellt. Im langjährigen Mittel liegt die Anzahl der Schneetage bei 89, in den letzten 30 Jahren (1979 – 2008) wurden im Mittel noch 87 Schneetage registriert. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, hat sich die Anzahl der Schneetage von 1955 – 2008 um insgesamt 21 Tage signifikant reduziert (Differenz zwischen Anfang und Ende der linearen Trendlinie). Während bis in die 80er Jahre noch vereinzelt deutlich über 120 Schneetage erreicht wurden, konnten in den vergangenen 20 Jahren nur noch wenige knappe Überschreitungen der 100-Tage-Marke verzeichnet werden.



Anzahl Schneetage pro Jahr

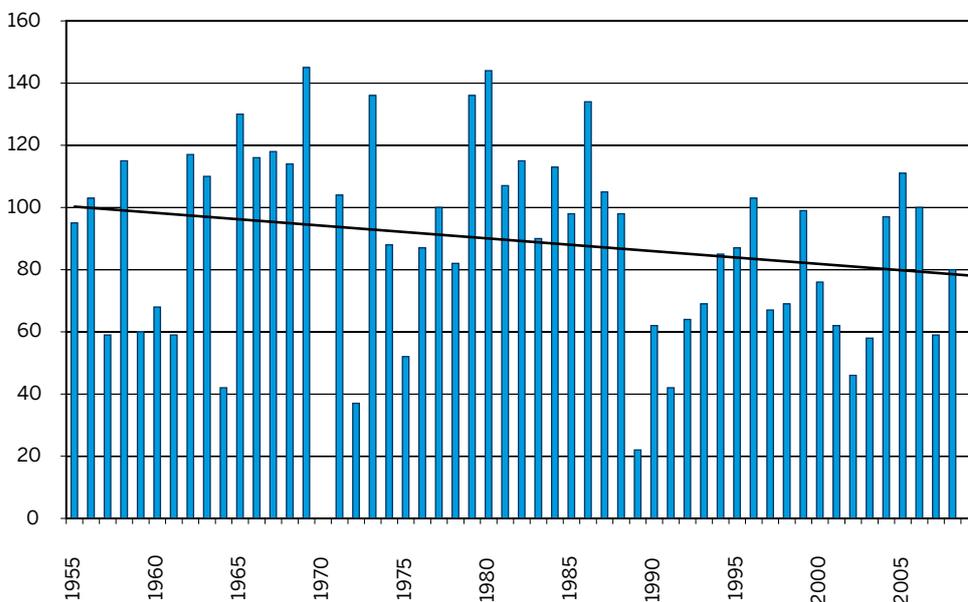


Abb. 1.15: Anzahl Schneetage (Schneehöhe > 10 cm) pro Jahr am Kahlen Asten im Zeitraum 1955 – 2008 (blaue Balken). (Datengrundlage: DWD)
Der lineare Trend ist in schwarz eingezeichnet.



1.3 Witterung und besondere Wetterereignisse der Jahre 2007 – 2009 in Nordrhein-Westfalen

Christian Koch, DWD

Nachdem in den Abschnitten 1.1. und 1.2 das Klima in Nordrhein-Westfalen ausführlich beschrieben wurde, folgt hier eine Betrachtung der Witterung und der besonderen Wetterereignisse der vergangenen drei Jahre. Die Werte werden jeweils mit dem langjährigen Mittel der Klimanormalperiode 1961 – 1990 verglichen.

Die mittleren Temperaturen der vergangenen drei Jahre lagen alle über dem Mittel des Zeitraums 1961 – 1990 (Abb. 1.16). Verbunden damit gab es in allen drei Jahren mehr Sommertage und weniger Frosttage. Der Niederschlag in den Jahren 2008 und 2009 war im Vergleich zum 30-jährigen Mittel nahezu ausgeglichen, das Jahr 2007 dagegen zu nass.

2007

Die Witterung zeigte sich 2007 in Nordrhein-Westfalen abwechslungsreich und dabei extrem. Im Jahresmittel war es, bezogen auf die Normalperiode 1961 – 1990, um 1 bis 2 °C zu warm. Der wärmste Tag im Jahr erreichte 35 °C, es gab landesweit 3 bis 5 heiße Tage und bis zu 37 Sommertage. Die niedrigste Lufttemperatur trat am Kahlen Asten mit -12 °C auf. In den Niederungen kamen 1 – 6 Eistage bzw. 23 – 45 Frosttage vor, auf dem Kahlen Asten waren es 32 bzw. 100. Im langjährigen Mittel sind es in den Niederungen knapp doppelt so viele. Das Jahr 2007 war in NRW insgesamt zu nass, im Mittel fielen etwa 130 % der langjährigen Niederschlagsmenge. Die Sonne zeigte sich während 1400 – 1600 Stunden und damit leicht übernormal häufig.

Die ersten sechs Monate des Jahres waren deutlich wärmer als üblich. Andauernde westliche und südwestliche Wetterlagen führten milde Atlantikluft heran und sorgten für niederschlagsreiches Wetter. Das herausragende Ereignis war der Orkan Kyrill, der am 18.01.2007 ganz Deutschland erfasste. An der Station Düsseldorf wurde ein Höchstwert der Windgeschwindigkeit in Böen von 40,3 m/s (145 km/h) gemessen. Nach 1975 war der Januar 2007 der zweitwärmste Januar seit vielen Jahren. Auch der Februar war deutlich zu mild und schloss damit einen viel zu milden Winter ab (Dezember 2006 bis Februar 2007). In Essen war der Winter 2006/2007, zusammen mit dem Winter 1989/1990, der wärmste Winter seit Beginn der Messungen. Der Februar 2007 war deutlich zu niederschlagsreich und zu arm an Sonnenscheinstunden.

Schäden durch Kyrill





Auch der Frühling 2007 (März bis Mai) war zu warm. Der April brach nahezu alle bisherigen Rekorde hinsichtlich hochsommerlicher Wärme, andauernder Dürre und Sonnenschein – er hatte doppelt so viele Sonnenscheinstunden wie üblich, es gab bereits 11 Sommertage. Dazu fiel kaum Regen, so dass der April 2007 seit vielen Jahren der trockenste Einzelmonat war. Danach folgte ein extrem nasser Mai mit neuen Rekordwerten. Gebietsweise traten Niederschlagsmengen auf, die das 2,5-fache des langjährigen Mittels erreichten. Am 22., 26. und 27. Mai kam es im Rheinland örtlich zu schweren Gewittern mit Starkniederschlag und Hagel, die zu Überflutungen führten.

Der Sommer (Juni bis August) war bei annähernd ausgeglichener Temperatur deutlich zu nass. Die Niederschlagsmengen betragen bis zu 170 % des langjährigen Mittels. Gewitter brachten vielerorts Starkregen und Hagel und führten zu örtlichen Überflutungen. Die Sonne schien seltener als üblich.

Es folgte ein kühler Herbst (September bis November) mit insgesamt niederschlagsreicher Witterung. Die Niederschlagsmengen überstiegen das Herbstsoll um bis zu 52 %, im Raum Köln jedoch fiel etwa 10 % weniger Niederschlag als üblich. Der erste Schnee in höheren Lagen wurde Mitte November verzeichnet. Die Sonnenscheindauer war zu gering. Vom 27. bis 29.09. verursachten Tiefausläufer mit ergiebigem Niederschlag im südlichen Rheinland sowie in den Kreisen Lippe und Höxter örtlich Überschwemmungen. Am 03.10. führten heftige Niederschläge lediglich in den Räumen Aachen und Eschweiler zu Überflutungen.

2008

Das Jahr 2008 war in Nordrhein-Westfalen erneut zu warm. Die Jahresmitteltemperatur übertraf den langjährigen Mittelwert um etwa 1 °C. Die höchste erreichte Tagestemperatur betrug knapp 35 °C, die tiefste ging bis auf -11 °C zurück. Die Zahl der Sommertage schwankte in den Niederungen zwischen 24 und 37 und lag damit knapp über den Durchschnittswerten. Die Zahl der heißen Tage entsprach weitgehend den üblichen Werten. Dagegen kamen Frosttage und Eistage deutlich seltener vor. So gab es im Rheintal bei Köln im Jahr 2008 keinen einzigen Eistag. Im Jahresmittel waren die Niederschlagsbilanz und die Sonnenscheindauerbilanz ausgeglichen.

Die Mitteltemperatur im Winter 2007/2008 lag um 2 bis 3 °C über dem Durchschnitt. Damit war es erneut sehr mild. Es gab 10 bis 20 Frosttage weniger als üblich und Eistage gab es nur vereinzelt. Der Winter war niederschlagsmäßig im Mittel ausgeglichen. Es gab in den Niederungen nur vereinzelt Tage mit einer Schneedecke. Die Sonne ließ sich häufiger als normal blicken.

Der Frühling begann in unserem Land äußerst stürmisch. Eine Serie von Orkantiefs brachte mit ihren Starkwindfeldern in Böen maximale Windgeschwindigkeiten bis 27 m/s (97 km/h). Der März und April zeigten sich temperaturmäßig ausgeglichen, der Mai dagegen derart sonnig und warm, dass im Mittel des Frühlings die Temperaturen den Sollwert um rund 1 °C überschritten. Es gab bereits bis zu 8 Sommertage, etwa doppelt so viele wie üblich.

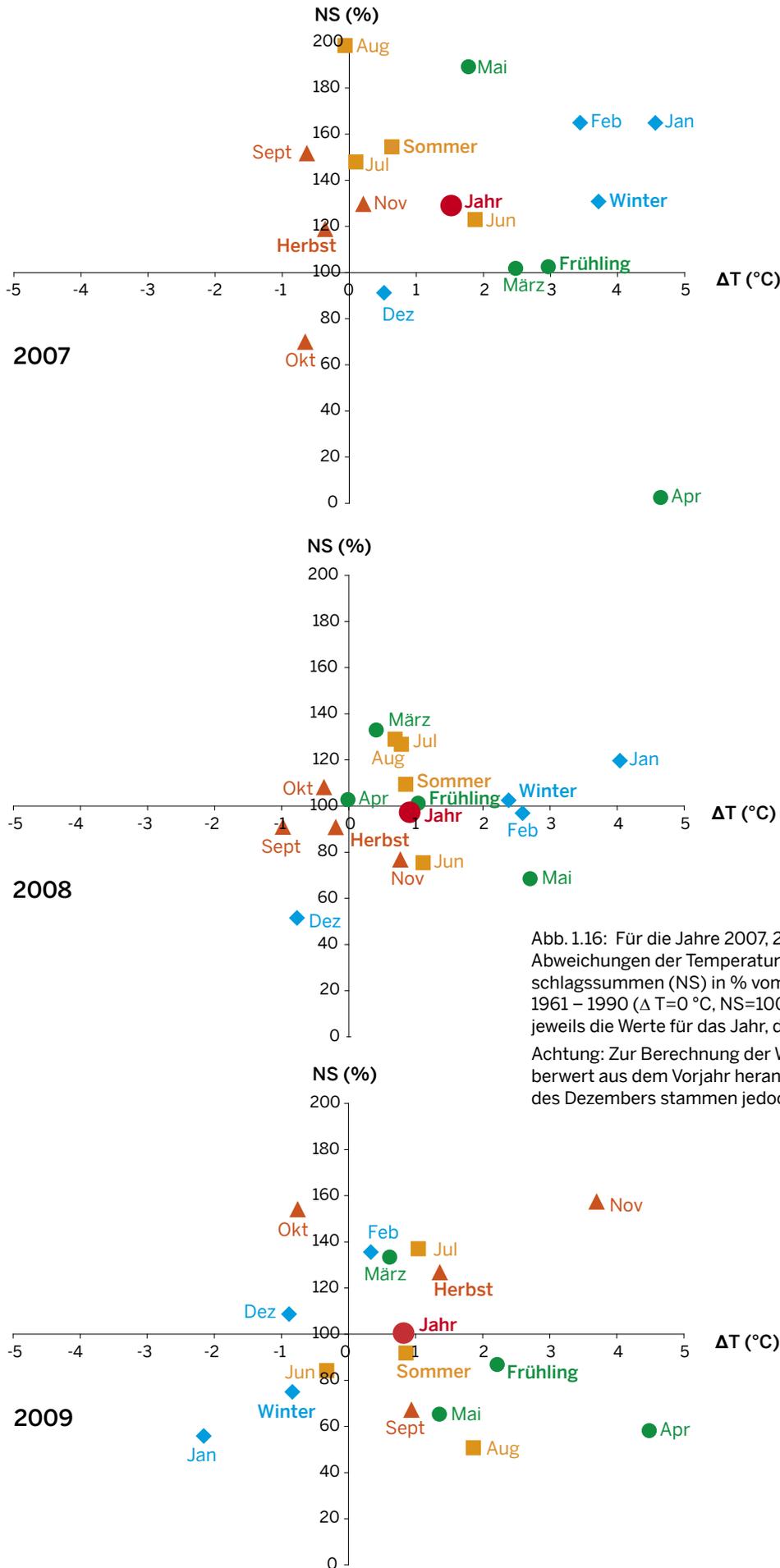


Abb. 1.16: Für die Jahre 2007, 2008 und 2009 in NRW sind die Abweichungen der Temperaturen (ΔT) in $^{\circ}\text{C}$ und der Niederschlagssummen (NS) in % vom langjährigen Mittel des Zeitraums 1961 – 1990 ($\Delta T=0^{\circ}\text{C}$, $\text{NS}=100\%$) dargestellt. Eingezeichnet sind jeweils die Werte für das Jahr, die Jahreszeiten und die Monate.

Achtung: Zur Berechnung der Winterwerte wurde jeweils der Dezemberwert aus dem Vorjahr herangezogen, die dargestellten Einzelwerte des Dezembers stammen jedoch aus dem angegebenen Jahr.

Die Niederschlagsbilanz im März war durchweg positiv, im Mai stark negativ, so dass der Frühling im Mittel dem Sollwert entsprach. Hagel von mehreren Zentimeter Größe wurde verbreitet Ende Mai gemeldet.

Der Sommer präsentierte sich zwar geringfügig zu warm, hinsichtlich der Zahl der Sommertage und der heißen Tage sowie der Sonnenscheindauer jedoch sehr mittelmäßig. Die Niederschlagsmengen überschritten die Sollwerte bis zu 40 %, lediglich der Kahle Asten verzeichnete weniger als die Hälfte der sonst üblichen Regenmengen. Es traten viele Unwetter auf, Gewitter brachten Starkregen mit lokalen Überschwemmungen.

Der September und Oktober leiteten mit zu kalten Temperaturen den Herbst ein. Der November brachte zunächst sehr milde Luft, in der zweiten Monatshälfte erfolgte jedoch ein heftiger Wintereinbruch. Die Mitteltemperatur des Herbstes blieb damit knapp unter den Sollwerten. Es gab 5 bis 11 Frosttage, lediglich auf dem Kahlen Asten traten Eistage (9) auf. Die Niederschläge blieben meist unternormal. An mehreren Tagen wurden Schneedecken gemeldet. Die Sonne schien seltener als üblich.

2009

2009 war in Nordrhein-Westfalen zwar kein Rekordjahr, insgesamt aber dennoch um rund 1 °C zu warm. Die Tagestemperaturen schwankten zwischen dem höchsten Wert von 37,8 °C an der Station Rahden-Varl im nördlichen Münsterland (20. August) und -24,9 °C an der Station Eslohe im Sauerland (07. Januar). Es kamen erneut mehr Sommertage und weniger Frosttage als üblich vor. Die Bilanz der heißen Tage und Eistage war 2009 weitgehend ausgeglichen. Die Jahressummen des Niederschlags entsprachen den üblichen Mengen und schwankten zwischen 88 und 104 % des langjährigen Mittels. Die Sonne schien etwas häufiger als normal, lediglich der Kahle Asten war zu sonnenscheinarm.

Der Winter 2008/2009 zeigte sich mit strengen Frösten und starken Schneefällen. Anfang Januar wurden tiefste Temperaturen bis nahe -25° C gemeldet. Dezember 2008 und Januar 2009 waren kälter als normal, der Februar nur noch zeitweise. Frosttage kamen vielerorts häufiger vor als üblich. Der Kahle Asten meldete sogar 50 Eistage, ein Wert, der in den vergangenen beiden Wintern bei Weitem nicht erreicht wurde. Es fiel lediglich 60 bis 90 % der üblichen Niederschlagsmenge, dennoch gab es in den Niederungen an 12 bis 32 Tagen eine Schneedecke, in Lüdenscheid an 44 Tagen und auf dem Kahlen Asten sogar an fast allen Tagen des Winters. Die Sonne schien häufig, örtlich bis zu 127 % des langjährigen Wertes. Besonders sonnenscheinreich war die Zeit zwischen Weihnachten 2008 und Mitte Januar 2009.

Der Frühling trat zu Beginn kühl in Erscheinung, brachte aber im April und Mai sommerliche Wärme. Insgesamt war der Frühling im Flächenmittel um 2 bis 2,5 °C zu warm. Es gab bis zu 4 Sommertage, ein heißer Tag wurde in der Rheinschiene nur knapp verfehlt. Während im März noch übernormal viele Niederschläge fielen, gingen diese im April und Mai deutlich zurück, so dass das Frühjahr in vielen Landesteilen zu trocken war. Im März ließ die Sonne sich selten blicken, glich den Ausfall in den beiden Folge-monaten jedoch durch übernormal lange Sonnenscheindauern wieder aus.





Das Flächenmittel der Lufttemperatur in den Sommermonaten lag knapp $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ über dem langjährigen Mittel. Die Zahl der Sommertage übertraf das langjährige Mittel um etwa 50 %, und heiße Tage traten etwas häufiger auf als normal. Die Niederschlagsmengen im Flächenmittel waren mit 215 mm etwas geringer als üblich (245 mm), lediglich Düsseldorf übertraf den Sollwert mit 10 %. Dies resultiert aus den Juliniederschlägen, die an dieser Station das langjährige Mittel um fast das Doppelte übertrafen. Die Sonne zeigte sich mit 661 Stunden häufiger als üblich (585 Stunden). Insbesondere im Juli gab es zahlreiche Gewitter mit lokalen Starkniederschlägen. Im südöstlichen und nordöstlichen NRW traten lokale Tornados auf. Hagel wurde im August beobachtet.

Auch der Herbst war um rund $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ zu warm. Im September gab es noch mehrere Sommertage und vereinzelt Tageshöchsttemperaturen nahe oder knapp über $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ihm folgte ein turbulenter Oktober mit Gewittern, markantem Temperatursturz und Frost. Der November brachte erneut sehr milde Luft mit Temperaturen bis zu $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ über den langjährigen Mittelwerten. Der September war niederschlagsarm, örtlich wurden unter 40 % des Solls angetroffen. Die beiden Folgemonate brachten deutlich größere Regenmengen, so dass die Herbstbilanz deutlich über den mittleren Werten lag. Die Sonne zeigte sich mit 277 Stunden nur selten (79 – 95 % des Sollwertes). Hagel fiel Anfang September in Remscheid. Sturm, ergiebige Niederschläge und Gewitter verursachten in der ersten Oktoberdekade und in der letzten Novemberdekade verbreitet Wetterschäden.



2 Auswirkungen des bisherigen Klimawandels in Nordrhein-Westfalen

Die globale Erwärmung, die wie in Kapitel 1 dargestellt auch in den meteorologischen Zeitreihen Nordrhein-Westfalens bereits deutlich festzustellen ist, hat Folgen für Natur und Umwelt. Auch in Nordrhein-Westfalen sind bereits verschiedene Auswirkungen zu beobachten. So spiegeln sich zum Beispiel die angestiegenen Temperaturen in den phänologischen Entwicklungsphasen der meisten vom Deutschen Wetterdienst beobachteten Indikatorpflanzen und die veränderten Niederschlagsverhältnisse in der Wasserwirtschaft wider. Um daraus rechtzeitig resultierende Risiken oder Chancen zu erkennen und angemessen darauf reagieren zu können, werden am LANUV NRW anhand von Kartierungen und Messungen verschiedene Bereiche in Natur und Umwelt beobachtet. Im Folgenden werden Ergebnisse aus den Bereichen Natur, Wasser und Boden vorgestellt.

2.1 Auswirkungen auf die Natur

Das Klima ist ein bestimmender Faktor für die Entwicklung und Verbreitung von Tier- und Pflanzenarten sowie von Lebensräumen. Die Veränderungen der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse sowie extreme Wetterereignisse wie Trockenperioden üben einen direkten Einfluss auf Arten und Lebensräume aus. Je weniger flexibel eine Art oder ein Lebensraum auf diese klimatischen Einflüsse reagieren kann, desto stärker sind die Auswirkungen. So spielt beispielsweise die klimatische Wasserbilanz, die Differenz aus Niederschlag und Verdunstung, eine sehr wichtige Rolle. In den letzten Jahren wurde trotz insgesamt gestiegener Gesamtjahresniederschläge über weite Teile der Vegetationsperiode ein Wasserdefizit festgestellt. Da gleichzeitig mit den ansteigenden Temperaturen die Verdunstung steigt, wird die klimatische Wasserbilanz in dieser Zeit deutlich negativer. Dies kann sich vor allem auf Feuchtgebiete und Gewässer sowie Wälder und ihre Lebensgemeinschaften auswirken, indem z.B. feuchtigkeitsliebende Arten zurückgehen. Gleichzeitig können Arten, die besser an die sich wandelnden klimatischen Verhältnisse angepasst sind, ihre Populationen in Nordrhein-Westfalen vergrößern oder hierher einwandern.

Oft ist es schwierig zu beurteilen, ob Veränderungen durch den Klimawandel oder andere Faktoren wie z.B. die Landnutzung bedingt sind bzw. welcher Faktor überwiegt. Zurzeit übt in Nordrhein-Westfalen in der Regel die Landnutzung im Vergleich zum Klimawandel den größeren Einfluss auf Arten und Lebensräume aus. Im Auftrag des Landes NRW wurde eine Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biologische Vielfalt in Nordrhein-Westfalen erarbeitet (ILÖK 2009). Die Studie zeigt, dass diese Auswirkungen erheblich zunehmen können.

Im Folgenden werden verschiedene Entwicklungen vorgestellt, die in der Natur Nordrhein-Westfalens beobachtet werden und die auf Änderungen der klimatischen Verhältnisse zurückgeführt werden. Dies sind insbesondere:

- Veränderungen der Phänologie (jahreszeitliche Wachstums- und Entwicklungsphasen) von Tier- und Pflanzenarten
- Veränderungen von Populationsgrößen
- Arealverschiebungen

Zusätzlich wird auf die Etablierung wärmeliebender Neobiota eingegangen. Neobiota sind Arten, die durch den Menschen über natürliche Verbreitungsgrenzen hinweg eingeschleppt werden.

2.1.1 Phänologie

In Kapitel 1 wurde gezeigt, dass der Klimawandel in Nordrhein-Westfalen anhand der gemessenen Parameter Temperatur und Niederschlag bereits feststellbar ist. Bei aufmerksamer Beobachtung der Natur zeigt sich, dass auch Tiere und Pflanzen als biologische Indikatoren bereits eindeutige Veränderungen zeigen, die mit dem Klimawandel einhergehen. Wissenschaftlich werden diese Veränderungen unter anderem mittels der Phänologie, der Wissenschaft von den Wachstums- und Entwicklungsvorgängen der Pflanzen und Tiere, erhoben.

Pflanzenphänologie

Im Rahmen der Auswertungen der phänologischen Daten des Deutschen Wetterdienstes (vgl. Infobox) kann belegt werden, dass Veränderungen in der Pflanzenphänologie in Nordrhein-Westfalen deutlich mit den gemessenen Veränderungen der Lufttemperatur (vgl. Kapitel 1.2.1) korrelieren. So zeigen alle Phasen der phänologischen Vegetations- und Jahreszeiten enge Korrelationen mit den mittleren Lufttemperaturen der Monate vor dem Phaseneintritt oder der entsprechenden meteorologischen Jahreszeit, in der sie liegen. Phänologische Vegetations- und Jahreszeiten werden am Eintrittszeitpunkt typischer Leitpflanzenphasen festgemacht (s. Tab. 2.1), die inzwischen bundesweit anerkannt sind. Im Frühjahr und Sommer bedingen erhöhte Durchschnittstemperaturen eine Vorverlegung der Phasen, im Spätherbst jedoch einen späteren Phaseneintritt.

Die **phänologische Vegetationszeit** beginnt mit der Blüte der Sal-Weide und endet mit der Blattverfärbung der Stieleiche, wobei die erste Phase zeitlich zwischen dem Vor- und Erstfrühling liegt und die zweite dem Beginn des Spätherbstes entspricht (Tab. 2.1). Die Eintrittsdaten schwanken über die Jahre hinweg sehr stark, so dass Aussagen zu einer Entwicklung nur bei Betrachtung langer Zeiträume möglich sind. Seit 1951 hat sich landesweit der Beginn der Vegetationszeit nach vorne verlagert, während sich das Ende dieser Periode kaum veränderte. Insgesamt verlängerte sich daher die Vegetationszeit zwischen 1951 und 2009 um ca. 16 Tage (Abb. 2.1).

Das phänologische Erhebungsnetz des Deutschen Wetterdienstes

In Deutschland hat der Deutsche Wetterdienst ein einzigartiges phänologisches Erhebungsnetz von derzeit ca. 1340 Beobachtungsstationen mit ebenso vielen Beobachtern aufgebaut (NRW derzeit 123). Hiermit werden seit 1951 die Eintrittstermine von inzwischen 159 Entwicklungsphasen, die sogenannten Phänophasen, wie z. B. Blattaustrieb, Blüte, Erntereife und Blattfall, verschiedener Pflanzen festgehalten. An den Stationen erfassen die ehrenamtlichen Mitarbeiter des DWD regelmäßig gemäß einer ausführlichen Arbeitsanleitung in einem festgelegten Beobachtungsgebiet (Begehungsroute) die periodisch wiederkehrenden Wachstumsphasen verschiedener Pflanzenarten, die an für sie charakteristischen Wuchsorten stehen.

Obwohl das Auswahlverfahren und die Verteilung der Stationen aus statistischer Sicht nicht repräsentativ sind, gibt das Erhebungssystem des DWD ein gutes Abbild der phänologischen Veränderungen wieder, die sowohl länderspezifische, als auch regional aussagekräftige Trends widerspiegeln.

Die hier aufgezeigten Auswertungsergebnisse für NRW basieren auf der Gesamtheit aller verifizierten Daten des DWD für jede einzelne Phase und jedes Erhebungsjahr.

Tab. 2.1: Phänophasen der Vegetations- und Jahreszeiten in NRW.

Vergleich der mittleren Eintrittsdaten in den Zeiträumen 1961 – 1990 und 1991 – 2009. (Datengrundlage: DWD)

phänologische Vegetationszeit	Pflanze	phänologische Phase	Eintrittsdatum 1961 – 1990	Eintrittsdatum 1991 – 2009	Differenz in Tagen
Beginn	Sal-Weide	Beginn der Blüte	22. Mrz.	15. Mrz.	-7
Ende	Stieleiche	Blattverfärbung	16. Okt.	17. Okt.	1
phänologische Jahreszeit Beginn					
Vorfrühling	Hasel	Beginn der Blüte	22. Feb.	9. Feb.	-13
Erstfrühling	Forsythie	Beginn der Blüte	31. Mrz.	20. Mrz.	-11
Vollfrühling	Apfel, frühreifend	Beginn der Blüte	4. Mai	24. Apr.	-10
Frühsommer	Schwarzer Holunder	Beginn der Blüte	4. Jun.	25. Mai	-10
Hochsommer	Sommer-Linde	Beginn der Blüte	26. Jun.	17. Jun.	-9
Spätsommer	Apfel, frühreifend	Beginn der Pflückreife	8. Aug.	1. Aug.	-7
Frühherbst	Schwarzer Holunder	erste reife Früchte	1. Sep.	23. Aug.	-9
Vollherbst	Stieleiche	erste reife Früchte	24. Sep.	18. Sep.	-6
Spätherbst	Stieleiche	Blattverfärbung	16. Okt.	17. Okt.	1
Winter	Stieleiche	Blattfall	27. Okt.	4. Nov.	8

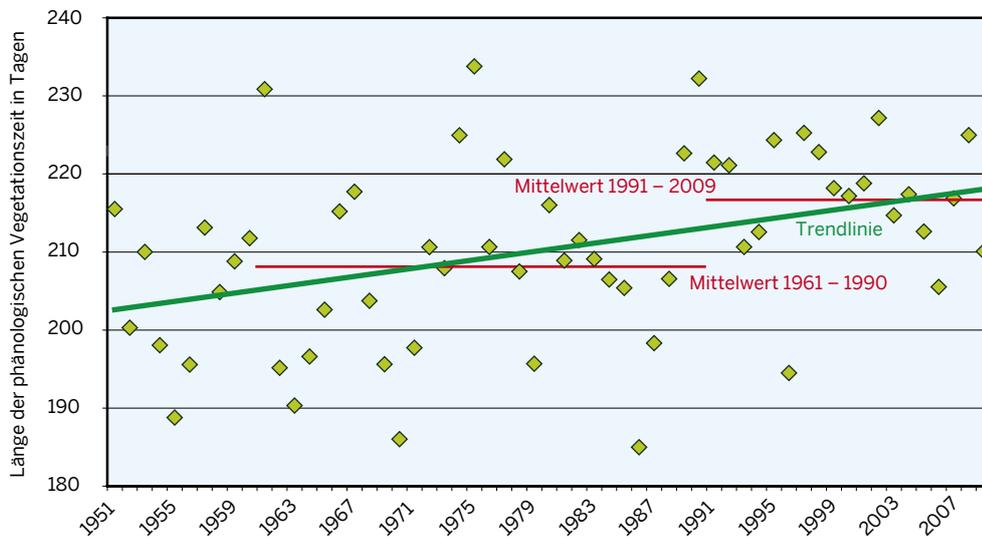


Abb. 2.1: Entwicklung der Länge der Vegetationszeit von 1951 – 2009. (Datengrundlage: DWD)
Eingetragen sind die Einzelwerte, die Trendlinie und die Mittelwerte der Zeiträume 1961 – 1990 und 1991 – 2009.

Diese Entwicklung lässt sich beim Vergleich der Klima-Normalperiode (1961 – 1990) mit den letzten zwei Jahrzehnten (1991 – 2009) ebenfalls in den einzelnen naturräumlichen Großlandschaften Nordrhein-Westfalens beobachten: Dauerte die Vegetationszeit im Tiefland bereits in den früheren Jahrzehnten ca. 10 Tage länger als im Bergland, so hat sich dieser Vorsprung heute auf durchschnittlich ca. 13 Tage erhöht. Dies könnte durch

eine stärkere Zunahme der Temperaturen im Tiefland als im Bergland zu erklären sein. Beobachtete regionale Unterschiede in der Temperaturzunahme sind jedoch bisher, wie in Kapitel 1.2.1. beschrieben, bei gegebener Standardabweichung statistisch nicht aussagekräftig. Aus Tabelle 2.2 lassen sich weitere regional unterschiedliche Entwicklungen ablesen.

Tab. 2.2: Länge der phänologischen Vegetationszeit in verschiedenen Regionen in NRW (Datengrundlage: DWD)

Naturräumliche Großlandschaften in NRW	1961 – 1990	1991 – 2009	Differenz-Tage
Niederrheinisches Tiefland und Kölner Bucht	215	223	8
Münsterländische Tieflandsbucht	211	222	11
Eifel (mit Vennvorland)	203	213	10
Bergisches Land und Sauerland	203	210	7
Weser- und Weser-Leine-Bergland	204	210	6
Tiefland	213	223	10
Bergland	203	210	7



Blattaustrieb der Buche



Blattverfärbung der Stieleiche

Die klimatischen Veränderungen wirken sich auch auf die Länge der Vegetationszeit der beiden wichtigsten nordrhein-westfälischen Laubbaumarten Buche und Stieleiche aus. Die Zeit zwischen Blattaustrieb bis Blattverfärbung ist besonders durch die Vorverlegung des Blattaustriebs verlängert worden (Abb. 2.2).

Die Betrachtung der einzelnen Jahre in der Zeitreihe zeigt, dass sich die entsprechenden Phasen der Stieleiche zeitlich an die der Buche annäherten, so dass ab Anfang

der achtziger Jahre die Buche im Längenvergleich der Vegetationszeit von der Stieleiche überholt wurde. Diese Entwicklung kann zukünftig durchaus das Konkurrenzverhalten beider Baumarten in Mischbeständen verändern.

Die bereits bei der phänologischen Vegetationszeit aufgezeigten Verschiebungen lassen sich auch für die **phänologischen Jahreszeiten** (Tab. 2.1) in einer Kreisgraphik, der sogenannten „doppelten phänologischen Uhr“, verdeutlichen (Abb. 2.3).

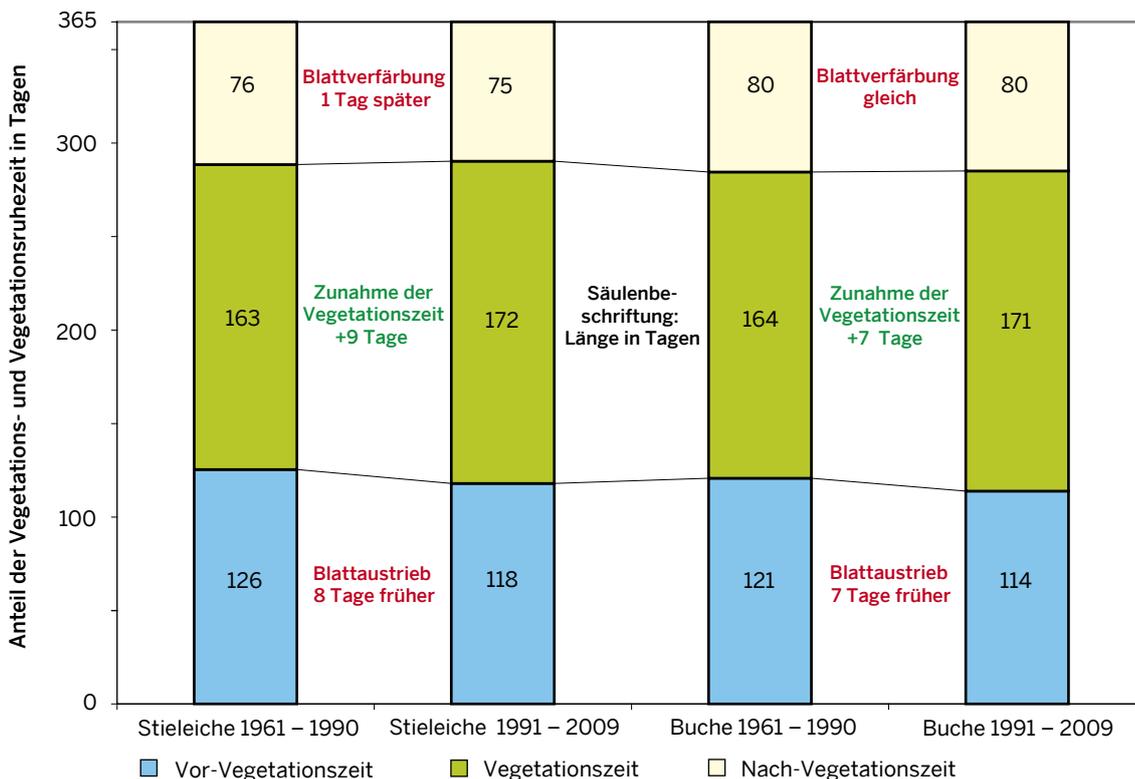


Abb. 2.2: Phänologische Vegetationszeit der Buche und Stieleiche in NRW – Vergleich der Klima-Normalperiode 1961 – 1990 mit der Periode 1991 – 2009. (Datengrundlage: DWD)



Blüte der Hasel



Erste reife Früchte des schwarzen Holunders

Hier ist für NRW zu sehen, dass sich der Beginn von Frühjahr, Sommer und Herbst im Vergleich zur Klima-Normalperiode im Jahresverlauf inzwischen deutlich nach vorne verschiebt. Während sich die Länge von Frühling und Sommer kaum ändert, nimmt die Länge des Herbstes um ca. 17 Tage besonders stark zu, die Länge des Winters um ca. 21 Tage ab. Verantwortlich dafür sind u.a. die Phänophasen „erste reife Früchte des Schwarzen Holunders“ (Beginn des Frühherbstes) und „Blüte der Hasel“ (Beginn des Vorfrühlings). Die Holunderfrüchte

reifen inzwischen im Mittel ca. 9 Tage eher (23. August statt 1. September) als zwischen 1961 bis 1990 und leiten damit früher im Jahr den Herbst ein. Bei der Hasel ist eine zum Teil extreme Vorverlegung der Blüte zu erkennen, so dass der Winter verkürzt wird: Lag im Zeitraum 1961 – 1990 die Haselblüte nur zu 0,01 % im Dezember und zu 4,0 % in der ersten Januarhälfte, so erhöhten sich diese Häufigkeiten auf 1,5 % bzw. 13,6 % im Zeitraum 1991 – 2009.

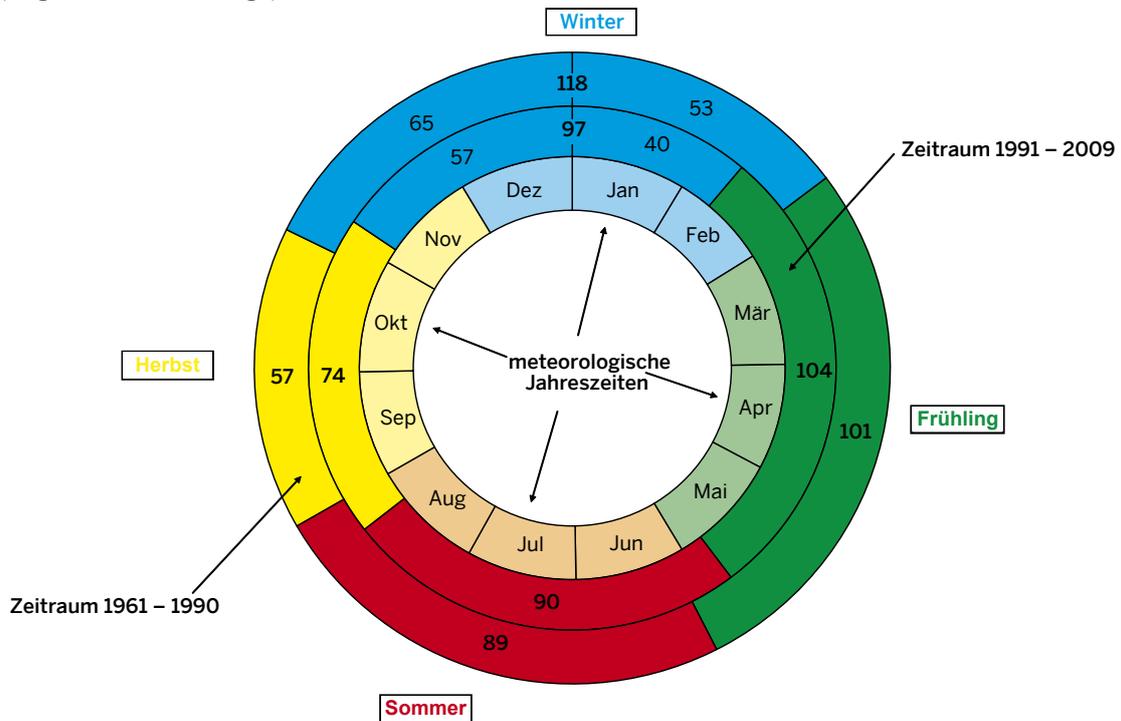


Abb. 2.3: Phänologische Jahreszeiten in NRW – Vergleich der Klima-Normalperiode 1961 – 1990 mit der Periode 1991 – 2009 (Datengrundlage: DWD)

Tab. 2.3: Länge der phänologischen Jahreszeiten (Tage) im Zeitraum 1991 – 2009 in verschiedenen Regionen in NRW, in Klammern jeweils die Differenz zum Zeitraum 1961 – 1990. (Datengrundlage: DWD)

Naturräumliche Großlandschaften in NRW	Frühling	Sommer	Herbst	Winter
Niederrheinisches Tiefland und Kölner Bucht	105 (2)	89 (1)	83 (18)	88 (-21)
Münsterländische Tieflandsbucht	107 (3)	91 (2)	77 (19)	90 (-24)
Eifel (mit Vennvorland)	106 (5)	92 (3)	65 (17)	102 (-25)
Bergisches Land und Sauerland	101 (3)	91 (1)	66 (15)	106 (-20)
Weser- und Weser-Leine Bergland	104 (3)	90 (-1)	69 (18)	102 (-19)
Tiefland	106 (3)	90 (2)	80 (18)	89 (-22)
Bergland	103 (3)	91 (1)	67 (16)	104 (-20)
NRW	104 (3)	90 (1)	74 (17)	97 (-21)

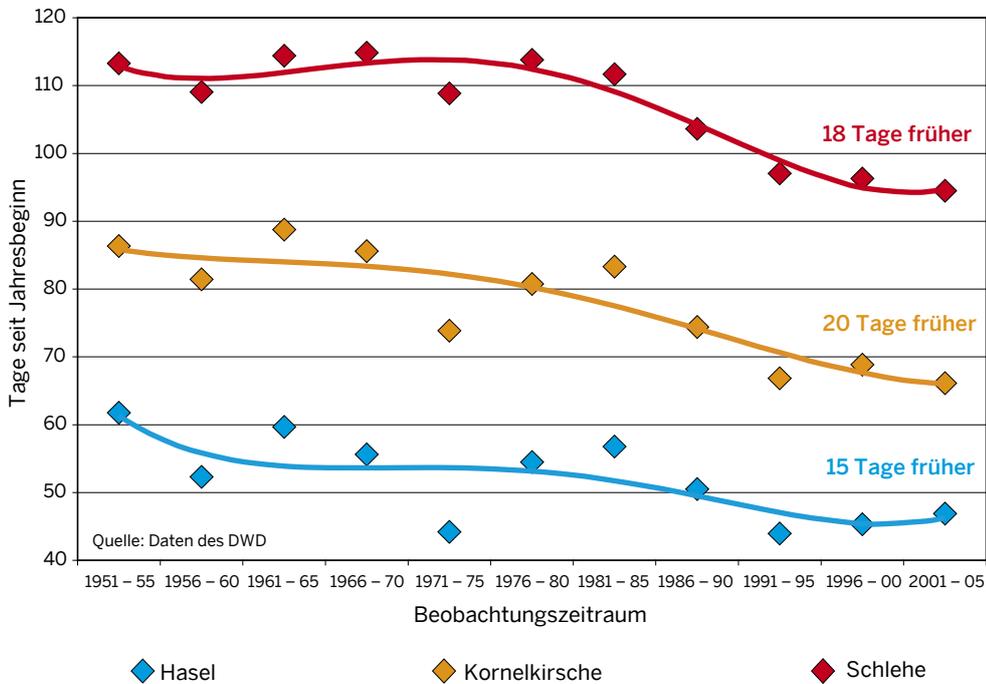


Abb. 2.4: Blütezeitpunkt ausgewählter Straucharten im Jahresverlauf seit 1951 (MUNLV 2009 b, Datengrundlage: DWD)

Diese Entwicklungen sind auch anhand der einzelnen Regionen Nordrhein-Westfalens nachzuvollziehen (Tab. 2.3). Der Herbst, der im Tiefland ohnehin schon länger andauert als im Bergland, hat sich im Vergleich der Zeiträume 1961 bis 1990 und 1991 bis 2009 um weitere 2 Tage gegenüber dem Bergland verlängert, der Winter des Tieflandes dagegen um weitere 2 Tage verkürzt.

Verschiebungen der jahreszeitlichen Entwicklungen können bei zahlreichen Pflanzen beobachtet werden. Abbildung 2.4 zeigt beispielhaft für die Straucharten Hasel, Schlehe und Kornelkirsche, dass der Blütezeitpunkt im Jahresverlauf seit den 1950er-Jahren bis 2005 um 15 bis 20 Tage früher eintritt.



Bei den Süß- und Sauerkirschen werden der Blühbeginn und das Blühende erhoben, so dass die Länge der Blühzeit nachvollzogen werden kann. Zwischen 1961 – 1990 und 1991 – 2009 traten sowohl der Blühbeginn (Mitte April) als auch das Blühende um ca. sieben Tage früher ein, so dass sich die Blütephase (ca. 18 Tage) nicht verlängerte.

Als Folge des früheren Vegetationsbeginns setzt auch der Pollenflug vieler allergen wirkenden Pflanzen mittlerweile deutlich früher ein. Die Hänge-Birke (*Betula pendula*), stellvertretend für die Frühblüher, ist deutlich abhängig von den Märztemperaturen und hat ihre Blühphase in den Niederungen im Zeitraum 1991 – 2009 im Vergleich zum Zeitraum 1961 – 1990 (mittlerer Phaseneintritt 18. April) im Mittel um sieben Tage vorverlegt. Im Bergland blüht sie nach wie vor erst acht Tage später als in den Niederungen. Die Blüte des Beifuß (*Artemisia vulgaris*), stellvertretend für die Sommerblüher, schob sich, abhängig von den Mai/Juni-Temperaturen, in den Niederungen um zehn Tage auf den 4. Juli vor, während im Bergland der Termin nun um den 18. Juli schwankt. Das Wiesen-Knäuelgras (*Dactylis glomerata*), ebenfalls ein Sommerblüher, nutzte in den Niederungen die Frühlingstemperaturen zur Verlegung der Blüte vom 5. Juni (1961 – 1990) auf den 31. Mai (1990 – 2009). Die Berglandpflanzen reagieren auch hier entsprechend später (8 bis 9 Tage).

Tierphänologie

Mit den klimatischen Veränderungen kommt es auch in der Tierwelt zu phänologischen Verschiebungen. Diese werden besonders bei den mobilen Arten wie den Vögeln deutlich, die teilweise flexibel auf Umweltveränderungen reagieren.

Bei zahlreichen wandernden Vogelarten wird ein früheres Eintreffen im Frühjahr und ein späterer Wegzug im Herbst festgestellt. Der Vogelzug von Grünschenkel, Dunklem Wasserläufer und Bruchwasserläufer in den Rieselfeldern bei Münster hat sich beispielsweise im Frühjahr um bis zu fünf Tage pro Dekade nach vorn bzw. der Wegzug um bis zu 6,7 Tage nach hinten verlagert (ANTHES 2004).

Bei zahlreichen Vogelarten konnte zudem eine Vorverlegung der Brutzeit sowie eine Änderung von Überwintungsstrategien festgestellt werden. Mittlerweile überwintern in Nordrhein-Westfalen zunehmend Individuen von Bachstelze, Hausrotschwanz, Singdrossel, Mönchsgasmücke oder auch der Kiebitz, die noch vor 30 Jahren nach Südwesteuropa zogen. Dagegen überwintern immer weniger Individuen von Saatgans, Saatkrähe oder Nebelkrähe in NRW. Diese Arten bleiben verstärkt in Osteuropa.

2.1.2 Populationsgrößen

Die sich verändernden Klimaverhältnisse beeinflussen zum Teil die Bestandsgrößen von Arten in Nordrhein-Westfalen. Dabei gibt es sowohl Klimaverlierer, d.h. Arten, die negativ, also mit abnehmenden Populationszahlen auf den Klimawandel reagieren, als auch Klimagewinner, die mit zunehmenden Populationszahlen auf den Klimawandel reagieren. Von den 100 häufigsten **Brutvögeln** Nordrhein-Westfalens wird bei 20 Arten davon ausgegangen, dass sich der Klimawandel der letzten Jahrzehnte positiv auswirkt und daher einen wichtigen Einfluss auf die Bestandsentwicklung hat. Abb. 2.5 zeigt anhand von Ergebnissen der Ökologischen Flächenstichprobe (ÖFS) die Bestandsentwicklung dieser 20 wärmeliebenden Brutvögel im Vergleich zur Bestandsentwicklung der 100 häufigsten Brutvogelarten. Zwar weisen beide Kurven seit 2002 einen positiven Verlauf auf, jedoch steigt die Kurve der wärmeliebenden Arten bis 2009 deutlich stärker an. Bei den Vogelarten, die mit positiver Bestandsentwicklung auf die globale Erwärmung reagieren, werden vor allem mildere Winter sowie höhere mittlere Durchschnittstemperaturen als Ursache vermutet. Für einige Spätbrüter wie die Mehlschwalbe führen möglicherweise wärmere und trockenere Sommer zu einem höheren Bruterfolg.



Der Zaunkönig – ein Klimagewinner

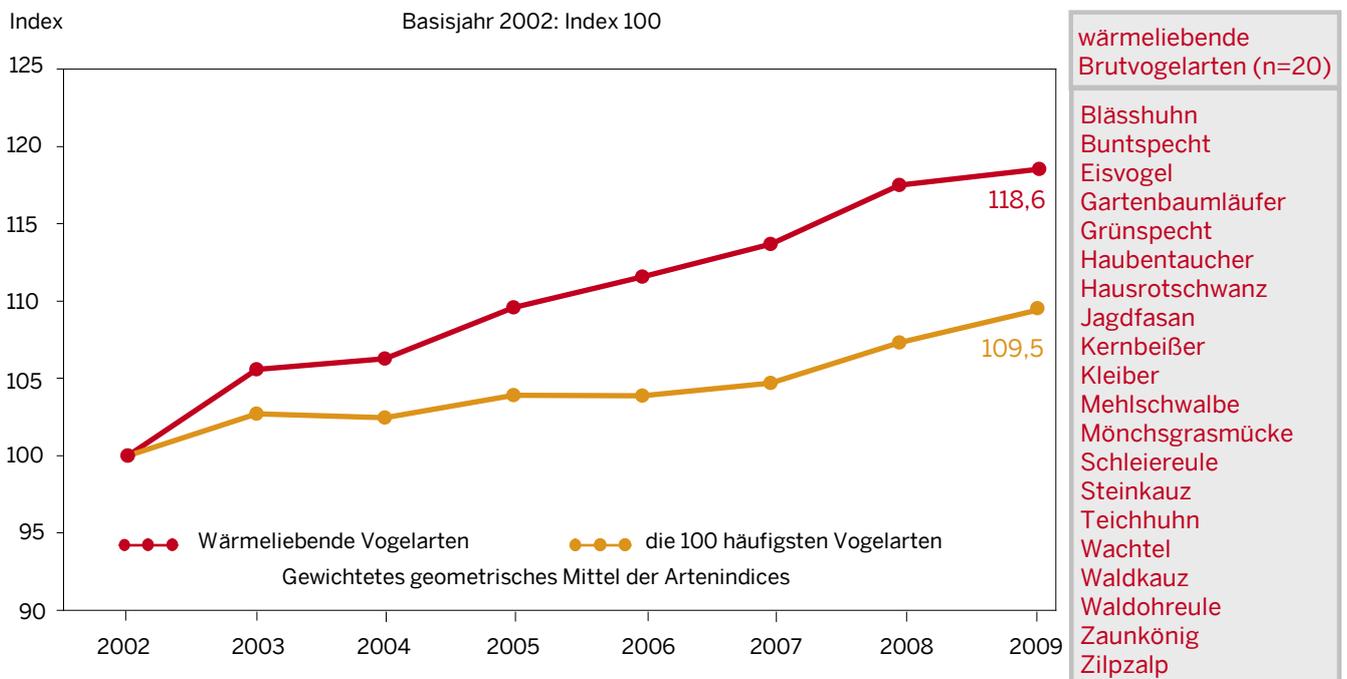


Abb. 2.5: Biodiversitätsmonitoring NRW – Ökologische Flächenstichprobe (ÖFS). Bestandsentwicklung klimasensibler Brutvogelarten in Nordrhein-Westfalen.

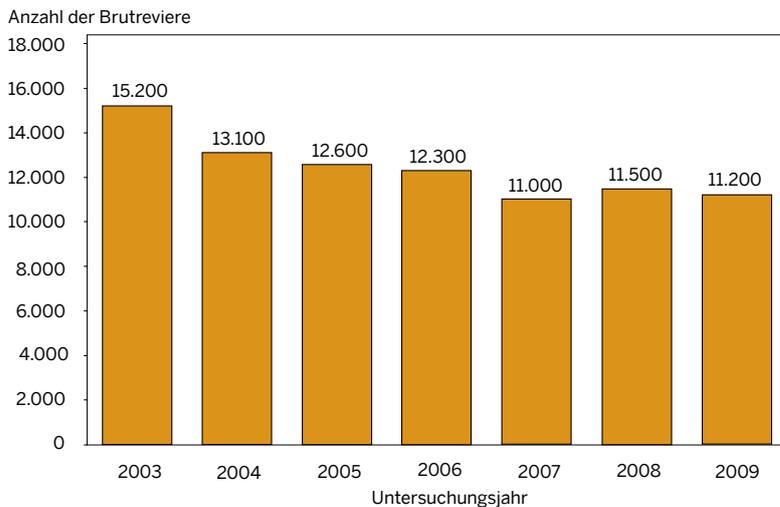


Abb. 2.6: Trauerschnäpper (*Ficedula hypoleuca*): Brutbestandsentwicklung in NRW auf Basis der Ökologischen Flächenstichprobe.

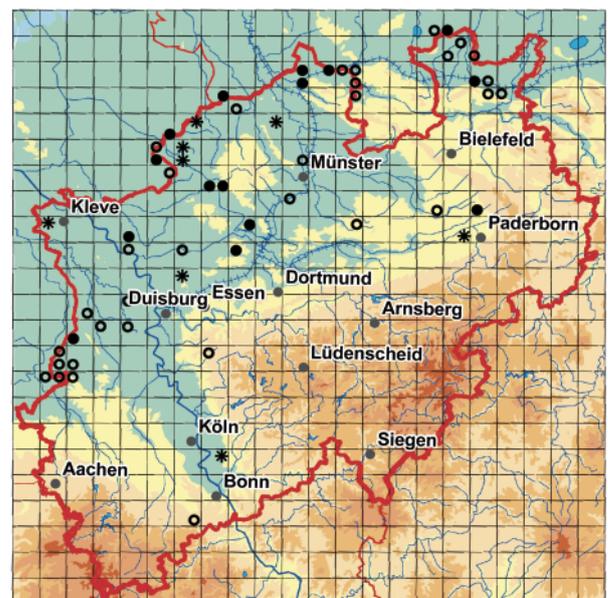
Dagegen wird bei vielen **Langstreckenziehern** ein negativer Einfluss durch den Klimawandel vermutet. Neben potenziellen Auswirkungen in den Überwinterungsgebieten und während des Zuges kann es im Brutgebiet in Mitteleuropa zu einer sogenannten Desynchronisation kommen. Hierunter wird die zeitliche Entkopplung von Zusammenhängen in der Natur verstanden. Dies kann beispielsweise geschehen, wenn bestimmte Phänomene wie Blühbeginn, Blattentfaltung oder der Schlupf von Insekten exogen, d.h. von äußeren Umweltfaktoren gesteuert werden, dagegen andere biologische Ereignisse wie Zugzeiten der Langstreckenzieher einer endogenen, weniger flexiblen Steuerung unterliegen. In den Niederlanden (Both et al. 2005) wurde beim Trauerschnäpper festgestellt, dass die Heimkehr aus den afrikanischen Winterquartieren (endogene Steuerung) und der Brutbeginn nicht mehr wie früher mit der Entwicklung bestimmter Insekten (exogene Steuerung), die die Hauptnahrung der Nestlinge darstellen, zusammenfallen. Seit 2003 zeigt die Art auch bei uns einen Populationsrückgang um ca. 25 % (Abb. 2.6), bei dem die Ursachen ebenfalls im Klimawandel vermutet werden können.

Moore und Flachgewässer gelten hinsichtlich ihrer Hydrologie als besonders sensibel. Eine negative klimatische Wasserbilanz während der Vegetationsperiode, aber auch Extremereignisse können sich auf ihre Lebensgemeinschaften besonders schnell und intensiv auswirken.



Der Trauerschnäpper – ein Klimaverlierer

Die Abbildung 2.7 zeigt die Nachweise der Mond-Azurjungfer (*Coenagrion lunulatum*) in den Zeiträumen 1950 bis 1995 und 1996 bis 2007. Diese Libellenart besiedelt dystrophe (nährstoffärmere) Gewässer, oftmals in Mooren, die in heißen Sommern, wie z.B. im Jahr 2003, verstärkt unter Austrocknung gelitten haben. Die Abbildung zeigt, dass seit 1996 zahlreiche Populationen der Mond-Azurjungfer erloschen sind.



Mond- Azurjungfer *Coenagrion lunulatum*
 Letzter Nachweis ○ 1950 – 1995
 ● 1950 – 1995 und ab 1996
 * nur ab 1996

Abb. 2.7: Die Verbreitung der Mond-Azurjungfer (*Coenagrion lunulatum*) in Nordrhein-Westfalen (Quelle: AK zum Schutz und zur Kartierung der Libellen in NRW)



Laubholz-Mistel

In verschiedenen Teilen Europas wurde beobachtet, dass in den sommergrünen **Wäldern** zu den laubwerfenden Gehölzen vermehrt immergrüne Arten hinzutreten, ein Phänomen, dass auch als „Laurophyllisierung“ bezeichnet wird. Die immergrünen Arten unserer Breiten besitzen eine mäßige Frostresistenz und können im Gegensatz zu den laubwerfenden Gehölzen die zunehmend milderen Witterungsperioden im Winter zu ihrem Vorteil nutzen. Zu den heimischen immergrünen Gehölzarten zählen Stechpalme (*Ilex aquifolium*), Efeu (*Hedera helix*), Eibe (*Taxus baccata*), Laubholz-Mistel (*Viscum album*). Hinzu kommen gebietsfremde Arten wie Kirsch-Lorbeer (*Prunus laurocerasus*) und Mahonie (*Mahonia aquifolia*). Die Verbreitung des immergrünen Halbschmarotzers Laubholz-Mistel folgt in Westfalen etwa der 8 °C-Jahresisotherme. In den letzten 30 Jahren nahmen die Anzahlen der Individuen pro Wirtsbaum signifikant zu und die Höhengrenzen im Süderbergland schoben sich um ca. 150 Meter nach oben (MIEDERS 1977, 2010). Die Verschiebung des Gehölzartenspektrums hat Auswirkungen auf Lichtklima, Struktur und Nahrungsangebot der Wälder und damit auf die gesamte Lebensgemeinschaft.

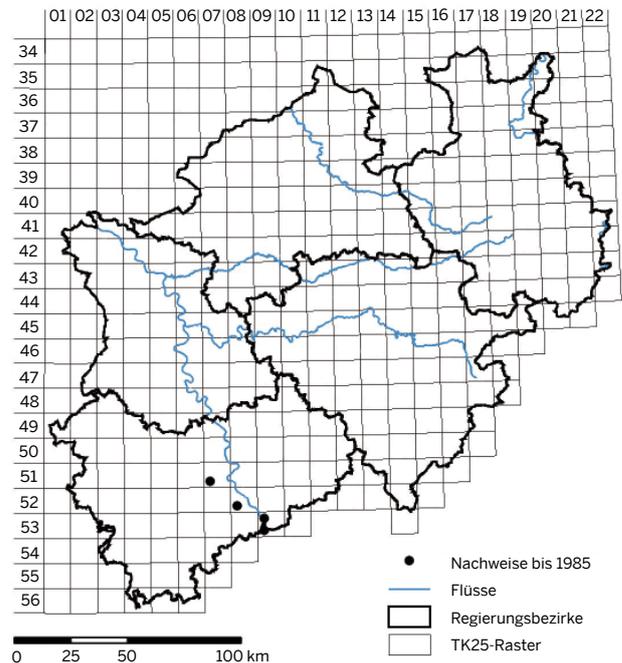


Abb. 2.8a:

2.1.3 Arealverschiebungen

Als sichere Folgen des Klimawandels gelten die Arealerweiterungen wärmeliebender und südlich verbreiteter Arten nach Norden. Vor allem **mobile Insektenarten**, die mit ihrer Flugfähigkeit rasch neue geeignete Gebiete erreichen und besiedeln können, sind seit den 1980er Jahren nach Nordrhein-Westfalen eingewandert. Über das Rheintal haben sie sich nach Norden und Osten ausgebreitet. Zu den auffälligsten Einwanderern aus südlicheren Gebieten zählen die Feuerlibelle (*Crocothemis erythraea*), das Weinhähnchen (*Oecanthus pellucens*), die Mittelmeer-Eichenschrecke (*Meconema meridionale*), die Streifenwanze (*Graphosoma lineatum*), die Große Holzbiene (*Xylocopa violacea*) und die Wespenspinne (*Argiope bruennichi*). Sehr rasch die Fläche besiedeln und auch in die Täler der Mittelgebirge aufsteigen konnten u.a. die Langflügelige Schwertschrecke (*Conocephalus fuscus*) (Abb. 2.8a,b,c) und die Sichelschrecke (*Phaneroptera falcata*).

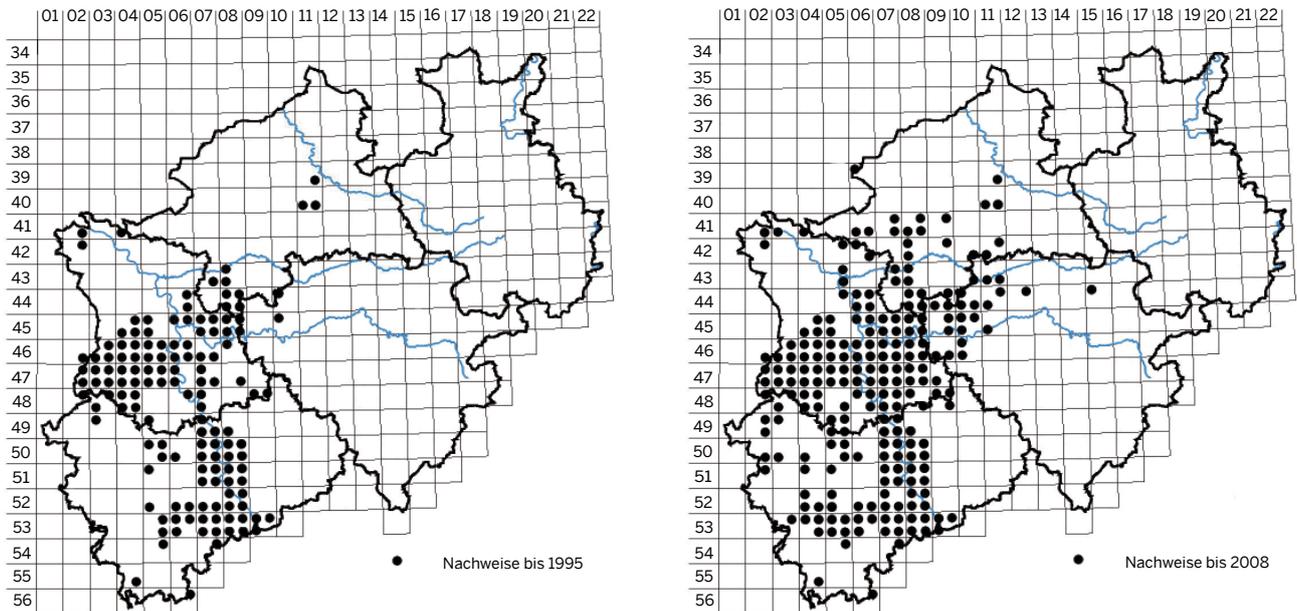


Abb. 2.8b,c: Einwanderung der Langflügeligen Schwertschrecke (*Conocephalus fuscus*) zwischen 1980 und 2008 (IlöK 2009, Teil 2)

Prominente Einwanderer unter den **Vogelarten** aus dem Süden sind der Bienenfresser und der Orpheusspötter. Das nördlichste Brutvorkommen der Zippammer befand sich bis in die 1980er Jahre im Siebengebirge. Aktuell befinden sich die nördlichsten Brutvorkommen im nördlichen Sauerland. Diese Vogelarten sowie der Schwarzmilan haben ihr Brutareal in Nordrhein-Westfalen in den letzten 30 Jahren deutlich nach Norden bzw. Nordosten ausgeweitet.

2.1.4 Neobiota

Schon immer sind durch den Menschen Pflanzen und Tierarten unter Überwindung natürlicher Verbreitungsbarrieren verschleppt worden. Eine Zäsur in der Verbreitungsgeschichte von Pflanzen und Tieren war die Entdeckung der neuen Welt. Die nach 1492 durch den Menschen eingeschleppten Arten werden als Neobiota bezeichnet (Neophyten = gebietsfremde Pflanzenarten; Neozoen = gebietsfremde Tierarten).

SCHMITZ (2006, 2009) zeigt die Zunahme des Neophytenanteils in der Vegetation der Sand- und Kiesbänke des Niederrheins auf (Abb. 2.9).

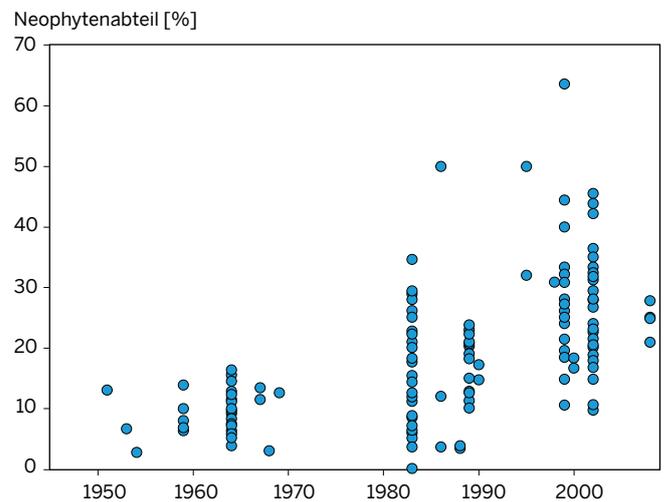


Abb. 2.9: Anstieg des Anteils an Neophytenarten in Vegetationsaufnahmen der Sand- und Kiesbänke des Mittel- und Niederrheins (Pflanzengesellschaft Polygono-Chenopodietum, Subassoziation von *Chenopodium rubrum*) (SCHMITZ 2009). Jeder Punkt stellt eine Vegetationsaufnahme dar.



Amaranthus powellii

Von den 119 am Niederrhein festgestellten Neophyten zählen 16 zu den sogenannten C_4 -Pflanzen, die in unserer ursprünglichen Flora nicht vorkommen. Diese Arten zeichnen sich durch einen besonderen Photosynthesestoffwechsel aus, der es ihnen ermöglicht, mit Trockenstress besser fertig zu werden und an warmen, voll besonnten Standorten schneller zu wachsen. Zu den C_4 -Pflanzen zählen u. a. die Pflanzenarten der Gattung *Amaranthus* (Fuchsschwanz).

Nachdem das Klima in den 1980er Jahren warm genug geworden war, konnte sich z.B. *Amaranthus powellii* am Rheinufer einbürgern. In den vorangegangenen hundert Jahren war die Art zwar immer wieder eingeschleppt worden, kam jedoch nur unbeständig vor.

Experimentelle Untersuchungen von SCHMITZ & LÖSCH (2009) zeigten, dass der Einbürgerungsgrad der *Amaranthus*-Arten am Niederrhein mit der Entwicklungsdauer von der Keimung bis zur Samenbildung korreliert ist (Abb. 2.10). Die Samen der mit Frachtgut eingeschleppten Arten keimen im Sommer auf Sand- und Kiesbänken, wenn der Wasserstand des Rheins zurückgeht. Ihre Entwicklung bis zur Samenreife schließen die miteinander verwandten Arten unterschiedlich schnell ab.

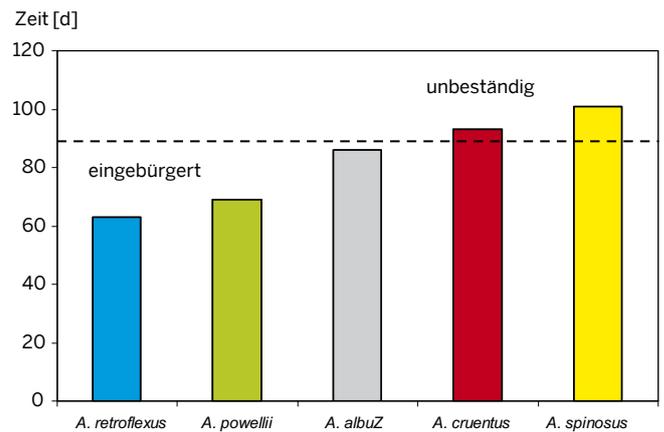


Abb. 2.10: Mindestzeit von Keimung bis Samenreife bei verschiedenen *Amaranthus*-Arten in Tagen (SCHMITZ & LÖSCH 2009).

Die Verlängerung der Vegetationsperiode um einige Tage kann zur Einbürgerung weiterer, derzeit noch unbeständig wachsender *Amaranthus*-Arten führen. Höhere Temperaturen und/oder eine verlängerte Vegetationsperiode sind entscheidend für die Einbürgerung vieler Pflanzenarten, die bei uns zum Teil seit mehr als hundert Jahren unbeständig vorkommen und sich seit den 1980er Jahren vermehrt einbürgern.



Halsbandsittich



Nordamerikanischer Ochsenfrosch

Auch unter den Tierarten gibt es auffällige Neuzugänge aus wärmeren Klimazonen, etwa aus den Subtropen oder dem Mittelmeergebiet. Der Halsbandsittich (*Psittacula krameri*), ein Käfigflüchtling aus Volierenhaltung, hat erstmals 1969 in Köln gebrütet. Mittlerweile leben etwa 2.000 Tiere in der wärmebegünstigten Rhein-Ruhr-Schiene. Aus den Städten sind sie z.B. in die Auenwälder des Siegmündungsgebiets gezogen, einzelne Tiere leben inzwischen in Bielefeld, Minden und Aachen.

Die aus dem Mittelmeerraum stammende Kräuseljagdspinne (*Zoropsis spinimana*), erstmals in Deutschland im Freiburger Raum festgestellt, siedelt seit 2006 kontinuierlich in Köln und Neukirchen-Vluyn und scheint sich ausgehend von diesen Vorkommen ebenfalls entlang von Rhein und Ruhr auszubreiten.

Der Nordamerikanische Ochsenfrosch (*Rana catesbeiana*), von Gartenteichbesitzern oder Aquarianern in stadtnahe Teiche oder andere Gewässer ausgesetzt, kann als gebietsfremder Räuber die heimische Amphibien-Fauna gefährden. Eine voranschreitende Erwärmung würde die Einbürgerung der Art fördern. Eine einzelne seit 1997 reproduzierende Population bei Meckenheim im Rhein-Sieg-Kreis bestand auf Grund konsequenten Abfangens aller Individuen nur bis 2002. Wie die hochgradig allergene Beifuß-Ambrosie ist der Ochsenfrosch eine **invasive** Art, deren Einbürgerung und Ausbreitung in Nordrhein-Westfalen ein Problem darstellen würde und deshalb vorbeugend bekämpft werden sollte. Die Mehrzahl der Neophyten und Neozoen allerdings verursacht keine Schäden und ist, sofern erst einmal eingebürgert, gemäß allgemeinem Artenschutz (§ 39 BNatSchG) den alteingesessenen Arten rechtlich gleichgestellt (<http://neobiota.naturschutzinformationen-nrw.de/>).

2.1.5 Fazit

Bereits heute sind deutliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Natur erkennbar. Die Zunahme der Temperaturen führt zu phänologischen Veränderungen bei Pflanzen und Tieren, die wiederum einen Einfluss auf die biologische Vielfalt, wie z.B. die Verbreitung und Bestandsgröße von Populationen, haben können. So gibt es in Nordrhein-Westfalen sowohl Arten, die von der globalen Erwärmung profitieren, als auch Arten, die in ihrer Anzahl zurückgehen. Es muss damit gerechnet werden, dass sich die Natur mit Blick auf eine anhaltende globale Erwärmung weiter wandeln wird. Zu den wichtigsten Maßnahmen, um negativen Auswirkungen des Klimawandels auf die Biologische Vielfalt entgegen zu wirken, gehören die Stabilisierung der Schutzgebiete durch Maßnahmen, die die Lebensräume verbessern, sowie der Erhalt und Aufbau eines wirksamen Biotopverbundes mit großflächigen Schutzgebieten in guter Qualität (vgl. MUNLV 2009 a).



2.2 Auswirkungen auf den Wasserhaushalt

Nordrhein-Westfalen ist ein Bundesland, in dem ausreichend Niederschlag fällt: im Mittel etwa 920 mm pro Jahr (1979 – 2008). Zahlreiche Bäche, Flüsse, Seen sowie große Grundwasservorkommen machen das Land zu einer wasserreichen Region. Wassermangelsituationen sind bisher selten aufgetreten. Die Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen erstrecken sich über eine Länge von insgesamt ca. 50.000 km. Darüber hinaus zählt Nordrhein-Westfalen über 2.000 stehende Gewässer, wovon fast alle künstliche Seen sind, entstanden v.a. durch Rohstoffabbau oder Stauanlagen.

Die zu erwartenden Veränderungen von Temperatur, Niederschlagsmenge, -intensität und -verteilung beeinflussen unmittelbar den hydrologischen Kreislauf, was sich wiederum direkt oder indirekt in regional unterschiedlichem Ausmaß auf die verschiedenen Handlungsfelder in der Wasserwirtschaft auswirken kann. Der Nachweis klimabedingter Veränderungen ist allerdings sehr schwierig zu führen. Anthropogene Nutzungen und Beeinträchtigungen wirken bereits regional unterschiedlich auf den Wasserhaushalt ein. Sie überlagern sich mit Klimafolgen. Die Ursache-Wirkungsbeziehungen können deshalb sehr komplex sein.

Gleichwohl müssen die bisher erhobenen Grundlagendaten und Prozesskenntnisse genutzt werden, um den Bedarf von Anpassungsmaßnahmen möglichst konkret zu ermitteln und zu bewerten. In den folgenden Darstellungen werden daher auf Basis der bisherigen Beobachtungen die zu erwartenden Klimafolgen auf die wesentlichen Elemente des Wasserhaushalts bewertet: den Niederschlag, das Grundwasser und den Oberflächenabfluss.

2.2.1 Starkniederschläge

Aussagen zu Eigenschaften wie Dauer, Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit von Starkregenereignissen sind wichtige Grundlagen für verschiedene fachliche Fragestellungen, z.B. in der Siedlungswasserwirtschaft und beim Hochwasserschutz. Durch den Klimawandel haben sich die Eigenschaften von Starkregenereignissen verändert und werden sich in Zukunft auch weiter verändern. Allerdings ist die oft pauschal formulierte Aussage „Starkregenereignisse nehmen zu“ für fachliche Untersuchungen zu differenzieren.

Für die Planung von Maßnahmen sind unterschiedliche Parameter interessant: Bei Siedlungswasserwirtschaftlichen Bemessungen wie bei Kanalnetzen, Regenbecken und Abschlagsbauwerken sind eher die kürzeren, aber intensiven Starkregen/Gewitterregen maßgebend mit einer Dauer von etwa 15 – 60 Minuten und einer Intensität, wie sie im Durchschnitt alle 5 bis 20 Jahre vorkommt (5 – 20-jährlich). Bei Hochwasserschutzanlagen an Gewässern oder Ermittlungen zu Überschwemmungsgebieten werden die selteneren Ereignisse (100-jährlich oder seltener) und längeren Dauern (Landregen 24 Stunden bis 3 Tage) zur Bemessung herangezogen.

Im Vorhaben „Extremwertuntersuchung Starkregen in Nordrhein-Westfalen (ExUS)“ wurde untersucht, ob sich aus den Messdaten der Niederschlagsstationen in Nordrhein-Westfalen eine Veränderung im Starkregenverhalten ableiten lässt.

Für den Niederschlag bieten die hochauflösend aufzeichnenden Messstationen des LANUV NRW sowie die Tageswertsummen des DWD (Tagessummendaten für die Dauerstufen größer gleich 1 Tag) eine hohe räumliche Dichte, so dass sie eine wichtige Basis für belastbare Aussagen zu Starkregenereignissen darstellen.

Nach einer eingehenden Datenprüfung konnten für die eigentliche Auswertung 176 kontinuierliche Zeitreihen und 412 Tagessummenzeitreihen genutzt werden (Abb. 2.11). Die folgenden Ergebnisse beziehen sich alle auf den Zeitraum 1950 – 2008.

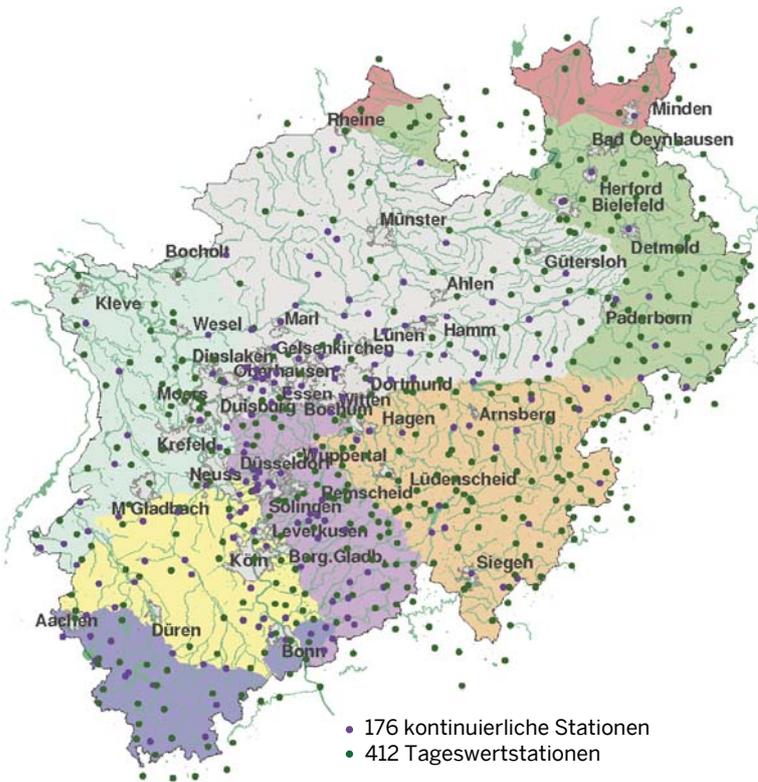


Abb. 2.11: Lage der im Projekt ExUS untersuchten Messstationen

Wasserwirtschaftlich sind neben den Niederschlagssummen u.a. die Kenngrößen „Anzahl trockener Tage“ und „Anzahl der Starkregentage“ von Bedeutung (s. Infobox).

Bezogen auf das gesamte Wasserwirtschaftsjahr haben die Jahresniederschlagssummen flächendeckend moderat zugenommen: bei 85 % der Stationen 0 – 4 mm/Jahr, Signifikanz bei mehr als der Hälfte der Stationen > 80 %.

Für die Kenngröße Anzahl **trockener Tage** zeigt sich hier eine uneinheitliche Tendenz, bezogen auf die hydrologischen Halbjahre hingegen zeichnen sich Tendenzen eher ab:

- Im Winterhalbjahr ist bei mehr als 70 % der Stationen ein signifikanter Anstieg (90 %) der Winterhalbjahressumme zu verzeichnen; bei mehr als der Hälfte der 185 ausgewerteten Stationen nimmt die Anzahl trockener Tage ab (93 Stationen mit mehr als 80 % Signifikanz).
- In den Sommerhalbjahren zeigen die Stationen bezüglich der Sommerhalbjahressumme ein indifferentes Bild mit geringen Signifikanzen und geringen Änderungen; bei vergleichbarer Signifikanz wie im Winterhalbjahr zeigt sich eine Zunahme der trockenen Tage.

Dies bedeutet vereinfacht, dass es im Winter eher häufiger und im Sommer etwas seltener regnet.

Als maßgebender Indikator für Starkregentage wird der Schwellwert „Tag mit > 20 mm Niederschlag“ betrachtet, da die Anzahl Tage mit mehr als 10 bzw. mehr als 30 mm Niederschlag/Tag sich in Signifikanz und Trend jeweils ähnlich verhalten, teilweise jedoch mit geringerer Signifikanz, schwächeren Trends und geringerer Anzahl von Ereignissen.



Wasserwirtschaftliche Kenngrößen und Begriffe

Hydrologisches Wasserwirtschaftsjahr:	November bis Oktober
Hydrologisches Winterhalbjahr:	November bis April
Hydrologisches Sommerhalbjahr:	Mai bis Oktober
Trockener Tag:	Tag mit höchstens 0,1 mm Niederschlag
Starkregentag:	Tag mit mehr als 10, 20 oder 30 mm Niederschlag

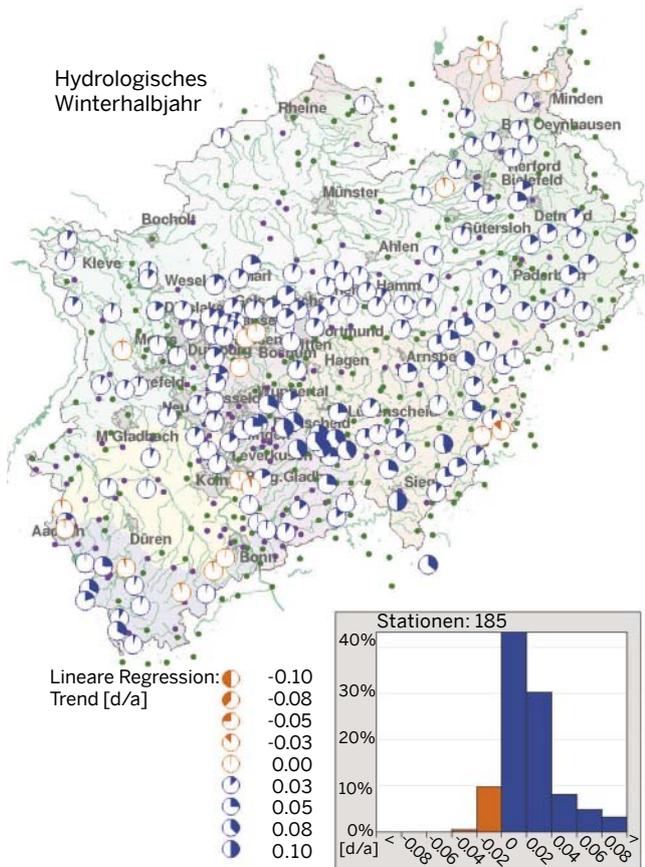


Abb. 2.12: Zeitraum 1950 – 2008: Trend für Anzahl Tage > 20 mm Niederschlag im hydrologischen Winterhalbjahr

Für die Anzahl der **Starkregentage** mit mehr als 20 mm Niederschlag pro Tag ergibt sich sowohl im Wasserwirtschaftsjahr wie auch im Winter- und Sommerhalbjahr eine Tendenz zur Zunahme dieser Tage, im Winterhalbjahr ist dies ausgeprägt signifikant (Abb. 2.12). 117 von 185 Stationen haben eine Signifikanz von größer gleich 80%; etwa 90% der Stationen verzeichnen Zunahmen der Starkregentage (blaue Balken im Histogramm). Die Abbildung zeigt die Standorte der Messstationen, jede für diese Auswertung verwendete Station zeigt mit der Größe des Farbsektors das Maß des Trends.

Für extremwertstatistische Berechnungen werden zunächst Starkregenserien gebildet, in denen die höchsten Ereignisse der verschiedenen Dauerstufen aufgelistet werden. Die Ereignisse in den **Starkregenserien der Dauerstufen < 12 Std.** haben in Nordrhein-Westfalen eher zugenommen. Ein Anstieg der gemessenen Intensitäten der Starkregen ist hingegen nicht erkennbar.

Bei der Zunahme der Anzahl von Extremereignissen bei den Messungen **kurzer Dauerstufen < 1 Stunde**, die für die Siedlungsentwässerung eine große Rolle spielen, überlagern sich der Klimateffekt und die Veränderung der Messtechnik (von analoger Erfassung mit Abhebetechnik über die digitale Erfassung mit Wippen zur Registrierung mit Wägetechnik). Hier ist eine nicht signifikante Zunahme der Ereigniszahlen zu erkennen. Die gemessenen Niederschlagsmengen der Extremereignisse zeigen ebenso keine signifikante Änderung auf.

In den 2000er Jahren sind vermehrt lokale Starkregenerereignisse aufgetreten, die in Siedlungsbereichen häufig zu Schäden geführt haben. Eine derartige Häufung besonders starker Ereignisse hat es aber auch schon zu Beginn der 1950er und in der zweiten Hälfte der 1960er Jahre gegeben. Es wird durch entsprechendes Monitoring nachzuhalten sein, ob in Zukunft die Häufigkeit und Intensität der Starkregen wieder abnimmt oder auf einem hohen Niveau verbleibt.

Bei zusammenfassender Betrachtung der Veränderung des Niederschlagsverhaltens bleibt festzuhalten, dass die bisherigen Veränderungen der genannten Mittelwerte und Kenntage keine unlösbaren Probleme in der wasserwirtschaftlichen Bearbeitung nach sich gezogen haben, auch wenn die Sommer in den 1970er Jahren als besonders trocken und die Starkregenerereignisse als jeweilige Einzelereignisse besonders in Erinnerung sind. Allgemein erscheint die bisherige Betroffenheit durch den Klimawandel im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft, vor allem der Stadthydrologie, ausgeprägter zu sein als im klassischen Hochwasserschutz.



Grundwassermessstelle

2.2.2 Grundwasserstände

Die Grundwasserstände unterliegen natürlich bedingten jahreszeitlichen Schwankungen, anthropogenen Einflüssen wie z.B. mengenmäßige Grundwasserentnahmen, aber auch längerfristigen Veränderungen durch die Klimaentwicklung. Tendenziell lassen die Niederschlagszunahmen in den Wintermonaten höhere Grundwasserneubildungsraten und damit auch einen Anstieg der Grundwasserstände vermuten. Stimuliert durch die ansteigenden Temperaturen nimmt aber auch die Verdunstung zu, so dass lokal die Niederschlagszunahme kompensiert werden kann und sich dadurch kein Effekt bei den Grundwasserständen zeigt.

Nachhaltige Grundwasserstandsänderungen können erhebliche Auswirkungen auf den Wasserkreislauf und damit auf wasserwirtschaftliche Handlungsbereiche wie z.B. die (Trink-) Wasserversorgung haben. Steigende Neubildungsraten sind für die Wasserversorgung und den Erhalt grundwasserabhängiger Ökosysteme grundsätzlich positiv einzuschätzen. Je nach örtlichen Gegebenheiten wächst aber dadurch das Risiko möglicher Vernässungsschäden an Gebäuden. Insbesondere in wasserwirtschaftlich beanspruchten Gebieten, wie z.B. durch den Bergbau, kann dies die Situation verschärfen. Unter diesen Aspekten ist eine Analyse der Entwicklung von Grundwasserständen von Bedeutung.

Im Rahmen des Vorhabens „Auswirkungen des Klimawandels auf die Entwicklung von Grundwasserständen“ wurde untersucht, inwieweit sich die Trends der Klimaparameter Temperatur und Niederschlag auf die Grundwasserstände statistisch auswirken. Analysiert wurden dazu die in der Grundwasserdatenbank des Landes NRW aufgezeichneten Daten der Grundwassermessstellen. Der Gesamtpool dieser Messstellen musste um die Messstellen reduziert werden, die eindeutig anthropogenen

Einflüssen unterliegen und die dadurch das Klimasignal verfälschen. Als mögliche Einflussfaktoren wurden Grundwasserentnahmen, bergbauliche Einflüsse, Dränagen, strukturelle Veränderungen in angrenzenden Fließgewässern und Änderungen in der Landnutzung identifiziert. Insgesamt standen so von den ursprünglich mehr als 4.000 Messstellen in Nordrhein-Westfalen zur weiteren Untersuchung 416 Messstellen zur Verfügung.

Aus anderen Untersuchungen ist bereits bekannt, dass die Auswahl des Zeitfensters einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis einer Trenduntersuchung hat (vgl. Abschnitt 1.2.4). Dies führt zu der Forderung, möglichst lange Zeitreihen zu untersuchen, um das tatsächliche Langzeitverhalten beschreiben zu können. Als Kompromiss zwischen dieser Anforderung und dem Anspruch, in die Untersuchung eine hohe Zahl von Messstellen mit weiter räumlicher Verbreitung einzubeziehen, wurde der Zeitraum 1970 – 2008 für alle weiteren Untersuchungen gewählt. Die räumliche Verbreitung der somit selektierten Grundwassermessstellen beschränkt sich im Wesentlichen auf das Münsterland und das Niederrheinische Tiefland. Damit ist das Untersuchungsergebnis nicht auf Gesamt-NRW übertragbar.

Die Trenduntersuchungen der **monatlichen Grundwasserstände** (1970 – 2008) zeigen ein sehr uneinheitliches Trendverhalten selbst benachbarter Messstellen. Es wurden etwa zu gleichen Teilen positive und negative Trends gefunden, die keine erkennbaren regionalen Muster bilden. Die summarische Betrachtung über alle Messstellen zeigte eine Häufung von negativen Trends, d.h. abnehmenden Grundwasserständen, für die Monate April bis Juli und zeigt damit an, dass sich das Signal der Klimaänderung wenigstens saisonal auf das Trendverhalten der Grundwasserstände an einigen Messstellen in den vergangenen vier Jahrzehnten auswirken konnte.

Die relativen **Änderungen der Grundwasserstände zum Vormonat** erwiesen sich in den Trenduntersuchungen als wesentlich empfindlicher als die absoluten Höhen der Grundwasserstände selbst. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die Änderung der Grundwasserstände zum Vormonat eher von dem aktuellen hydrometeorologischen Geschehen und nicht so sehr von der jeweiligen hydrologischen Halbjahresbilanz abhängig ist. So ergaben die Untersuchungen bezüglich des Trendverhaltens auch ein einheitlicheres Bild im geographischen Raum als dies für die Grundwasserstände selbst der Fall war. Es wurde an einigen Grundwassermessstellen ein negativer Trend durch Zunahme der Grundwasserzehrung im April festgestellt, d.h. eine zeitliche Verschiebung der Grundwasserhöchststände von Ende April zu einem früheren Zeitpunkt. Wegen der Berechnung auf der Basis von Monatsmittelwerten kann eine detaillierte zeitliche Festlegung nicht

erfolgen. Ursache für die Zunahme der Grundwasserzehrung im April kann die Zunahme der Lufttemperaturen im April und das dadurch frühere Einsetzen der Vegetationsphase sein.

Eine Zunahme der Grundwasserneubildung an einigen Grundwassermessstellen für die Monate August und September ist im Zusammenhang mit den Niederschlägen des Sommers weitergehend zu analysieren. Aufgrund der hohen Variabilität der Niederschläge wird es hier wichtig sein, anstatt landesweit flächengemittelter Niederschlagswerte räumlich hoch aufgelöste Daten zu verwenden.

Die Ergebnisse der Trenduntersuchungen der Grundwasserstände ergeben wegen der großen Variabilität sowohl in den monatlichen Zeitreihen der Grundwassermessstellen selbst als auch im räumlichen Auftreten kein einheitliches Bild. Nachweisbare Veränderungen beziehen sich auf wenige Millimeter pro Jahr. Sie sind damit nur von statistischem Interesse. Eine landesweite wasserwirtschaftliche Bedeutung ist durch das untersuchte Trendverhalten der Grundwasserstände für die vergangenen ca. vier Jahrzehnte nach derzeitigem Kenntnisstand nicht abzuleiten. Andererseits erscheint aufgrund der bisherigen Trendnachweise eine Abschätzung hinsichtlich einer zukünftigen Entwicklung erforderlich. Eine flächendifferenzierte Prognose der Entwicklung der Grundwasserneubildung in Nordrhein-Westfalen für die Zeiträume 2021 – 2050 und 2071 – 2100 auf der Grundlage des Wasserhaushaltsmodells GROWA ist in Bearbeitung.

2.2.3 Abflussverhalten der Fließgewässer

Die Veränderung der Niederschläge in den vergangenen Jahrzehnten kann bei der Betrachtung der Abflüsse in den Fließgewässern nur eingeschränkt nachvollzogen werden. Veränderungen des Niederschlags sind nicht unmittelbar auf den Abfluss übertragbar, weil ergänzende Prozesse wie z.B. die Zwischenspeicherwirkung in den oberen Bodenschichten die Abflussbildung beeinflussen und im Regelfalle abschwächen. Zudem ist die Überlagerung mit den menschlichen Eingriffen in den Einzugsgebieten der Gewässer zu berücksichtigen, dies können Rückhaltebecken, Drainagen oder Gewässerumbauten sein.

Untersuchungen wurden an 31 Landespegeln größerer Einzugsgebiete mit Datenreihen mindestens ab 1951 durchgeführt. Hierbei zeigen sich im Jahresmittel des Abflusses eher wenig signifikante Veränderungen. Erst die differenzierte Betrachtung nach hydrologischen Sommer- und Winterhalbjahren erlaubt Aussagen zur Veränderung. Demnach zeigt sich bei den mittleren



Pegel Eigen / Düsseldorf

Abflüssen des Winterhalbjahres in den vergangenen fünf Jahrzehnten eher eine Tendenz zur Erhöhung um etwa 5 – 10 %, während im Sommerhalbjahr die mittleren Abflüsse eher abnehmen. Je nach Lage und Größe des jeweiligen Einzugsgebietes des Pegels variieren diese Größen.

In den Lee-Lagen der Mittelgebirge (Pegel im oberen Erft-, sowie Lahn- und Eder-Einzugsgebiet) ist sogar festzustellen, dass sowohl im Winter als auch im Sommer die mittleren Abflüsse abnehmen, so dass hier das Gesamt-abflussvolumen eine eher sinkende Tendenz aufweist. In einigen Gebieten können Talsperren einen Einfluss auf die mittleren Abflüsse haben, da im Winter zwischengespeichertes Wasser im Sommer abgegeben wird. Andere anthropogene Einflüsse wie z.B. Versiegelung, Entwässerung und Hochwasserrückhaltung spielen bei der Betrachtung der mittleren Abflüsse eines Halbjahres eine untergeordnete Rolle; in Einzelfällen können an kleineren Gewässern Überprägungen durch Kläranlagen stattfinden, wenn deren Einleitung einen erheblichen Teil des Abflusses im Gewässer ausmachen. Die linearen Trendbetrachtungen weisen grundsätzlich ein sehr geringes Bestimmtheitsmaß auf, was auch durch die natürliche Variation der Abflussgrößen bedingt ist.

Signifikante Veränderungen sowohl bei den mittleren **Hochwasserabflüssen** (MHQ) als auch bei den Hochwasserabflüssen mit statistischer Eintretenswahrscheinlichkeit (HQx) sind in Folge von Klimaveränderungen bislang nicht eindeutig nachweisbar. Die jeweiligen Jahreshöchstabflüsse der Halbjahre weisen zwar für die Mehrzahl der Pegel eine leicht ansteigende Tendenz für das Winterhalbjahr auf, jedoch betrifft dies nur in wenigen Fällen Hochwasserscheitel im Bereich von HQ100 oder



gar darüber, so dass Aussagen für die Entwicklung von als „Hochwasser“ wahrgenommenen Ereignissen nicht zulässig erscheinen. Nachgewiesene Veränderungen in den Größen MHQ und HQx am Rhein sind bisher anderweitig bedingt, vor allem durch den Ausbau des Oberrheins bis 1977 und den Bau von Retentionsräumen an Ober- und Niederrhein.

Bei den mittleren **Niedrigwasserabflüssen** sind bisher ebenfalls keine signifikanten Veränderungen bezüglich Tendenzen oder zunehmender Extrema festzustellen. Dies gilt sowohl für die Jahres- als auch für die Halbjahresminima. Für die Entwicklung der Niedrigwasserstände am Rhein spielen neben möglichen Klimaeffekten ebenfalls weitere Faktoren wie z.B. die Tiefenerosion eine entscheidende Rolle.

2.2.4 Fazit

Effekte des Klimawandels sind bereits heute in einigen Bereichen der Wasserwirtschaft, vor allem im Niederschlagsverhalten, feststellbar. Oftmals sind diese Entwicklungen aber noch nicht statistisch gesichert. Hinzu kommt, dass zum Teil zusätzliche anthropogene Einflüsse wie z.B. Wasserentnahmen und Flussumbauten die klimatischen Entwicklungen überlagern. Es ist daher fachlich unentbehrlich, die Größen des Wasserhaushalts möglichst hochauflösend und flächendeckend für Nordrhein-Westfalen kontinuierlich weiter zu erfassen und in regelmäßigen Abständen auf die hier dargestellten statistischen Parameter zu untersuchen.

2.3 Auswirkungen auf Böden

Böden sind unmittelbar von Veränderungen des Klimas betroffen und haben ihrerseits, vor allem auf Grund ihrer Funktion als wichtigster terrestrischer Kohlenstoffspeicher, eine große Bedeutung für die Klimaentwicklung.

Auswirkungen des Klimawandels sind auf die natürlichen Bodenfunktionen sowie auf die Funktion der Böden als Standort der Land- und Forstwirtschaft zu erwarten. Mögliche Bodenfunktionsbeeinträchtigungen stehen dabei insbesondere im Zusammenhang mit

- Veränderungen der Bodentemperatur, des Bodenwasserhaushaltes und des Bodengefüges,
- Veränderungen der potenziellen Wasser- und Winderosionsgefährdung sowie
- Veränderungen der Humusgehalte und -vorräte.

Das LANUV NRW führt derzeit Untersuchungen zu den Themen Humusveränderung, Wassererosionsgefährdung und Bodentemperatur durch. Nachfolgend werden Ergebnisse des bereits abgeschlossenen Projektes „Einfluss des globalen Klimawandels auf die räumliche und zeitliche Variabilität der Niederschlagserosivität in NRW“ (NEUHAUS et al 2010) vorgestellt.

Bodenerosion durch Wasser verursacht in Nordrhein-Westfalen immer wieder Schäden auf landwirtschaftlichen Flächen und durch den Bodenaustrag in Gewässern, an baulichen Anlagen und Verkehrseinrichtungen. Die Erosion wird vor allem durch intensive Starkregen bei unzureichender Bodenbedeckung ausgelöst. Im Rahmen des Projektes wurde daher untersucht, ob sich die Regenerosivität seit 1937 verändert hat.



Bezüglich der Auswirkungen auf die Bodenerosion wird gängigerweise mit mehrjährigen Mittelwerten der Regenerosivität gearbeitet, die ein kumulatives Maß für die Niederschlagsenergie einzelner Ereignisse darstellen. Zu deren Berechnung sind zeitlich hochauflösende langjährige Niederschlagsdaten nötig. Als Datengrundlage wurden vor allem Daten der Emschergerossenschaft/Lippeverband verwendet, die auch in dem Projekt ExUS zum Vorkommen von Starkniederschlägen (Abschnitt 2.2.1) benutzt wurden.

Von 1937 bis 2007 konnte für zehn Messstationen im Ruhrgebiet eine signifikante ($p < 0,05$) Zunahme der sommerlichen Regenerosivität (April bis November) von etwa 4 % pro Dekade registriert werden. Diese Entwicklung erfolgte jedoch nicht stetig, sondern in mindestens zwei Perioden mit einem Rückgang in den 70er Jahren

(Abb. 2.14). Im Zeitraum von 1973 bis 2007 war eine deutliche, hoch signifikante ($p < 0,001$) Zunahme der Regenerosivität von 20 % pro Dekade festzustellen. Auswertungen von 53 weiteren für den Zeitraum 1973 bis 2007 verfügbaren Stationen bestätigen die Ergebnisse.

Betrachtet man die Entwicklung im Jahresverlauf für den Zeitraum 1993-2007 gegenüber dem Gesamtzeitraum (1937-2007) so fällt auf, dass in der Zeit von Mai bis September trotz mehr oder weniger konstanter Niederschläge eine erhöhte Regenerosivität zu verzeichnen ist (Abb. 2.15). Insbesondere in den Monaten Juni und Juli hat die Regenerosivität deutlich zugenommen. Das bedeutet, dass die Niederschlagsintensität (Starkregen) im betrachteten aktuellen Zeitraum bei gleichbleibenden Niederschlagsvolumina angestiegen ist.

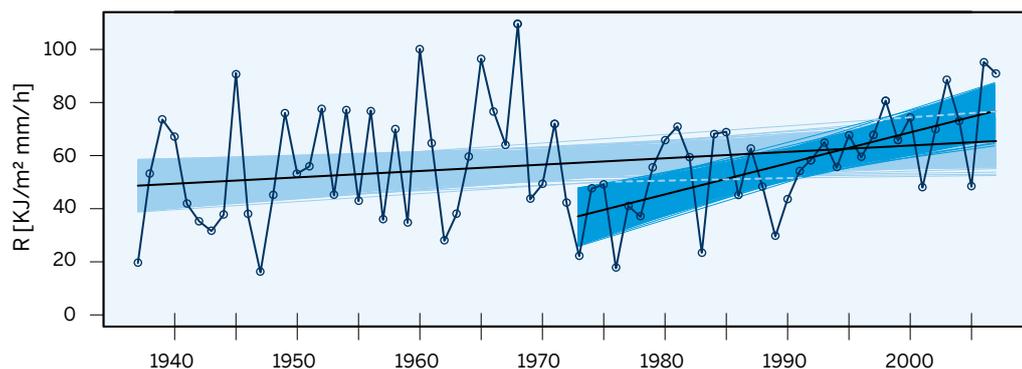


Abb. 2.14: Entwicklung der Regenerosivität (R) von 1937 bis 2007 mit den jeweiligen 95%-Konfidenzintervallen (aus Bootstrapping-Verfahren) für die Zeiträume 1937 – 2007 (hellblau) und 1973 – 2007 (dunkelblau) (NEUHAUS et al. 2010).

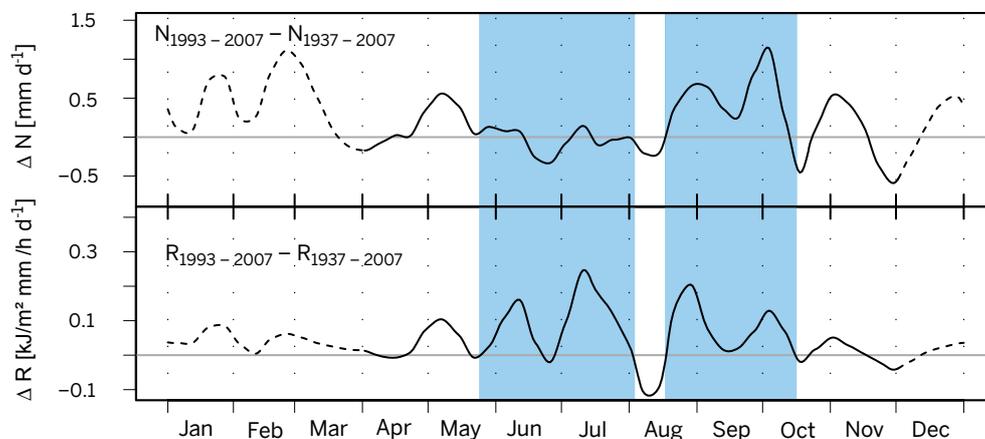


Abb. 2.15: Veränderung von Niederschlag N (oben) und Regenerosivität R (unten) im Jahresverlauf als Differenz zwischen den Zeiträumen 1993 – 2007 und 1937 – 2007 (NEUHAUS et al. 2010).

Je nach Art der angebauten Früchte ist der Boden unterschiedlich lang unbedeckt und damit ungeschützt dem Niederschlag ausgesetzt, besonders in der frühen Phase des Wachstums der Kulturpflanzen Kartoffeln, Zuckerrüben und Mais oder nach der Ernte des Getreides (Abb. 2.16). In diesen Phasen ist der Boden besonders erosionsgefährdet. Mulchsaatverfahren, auf dem Boden verbleibende Erntesterne oder bodenbedeckende Zwischenfrüchte können in dieser Phase Schutz gegen Bodenerosion bieten, so dass die landwirtschaftliche Praxis durch geeignetes Management einer wachsenden Regenerosivität entgegenwirken kann.



2.4 Auf dem Weg zu einem Klimafolgenmonitoring

Wie in den vorangehenden Abschnitten beschrieben, haben langfristige Auswertungen bereits vielfältige Auswirkungen der Klimaänderung in Umwelt und Natur gezeigt. Um diese Veränderungen zu überwachen, entwickelt das LANUV NRW ein systematisches sektorübergreifendes Konzept für ein Klimafolgenmonitoring. Ziel ist es, Effekte in Natur und Umwelt, die durch den Klimawandel verursacht werden, frühzeitig zu erkennen und deren Geschwindigkeit sowie eventuelle Schadenspotenziale zu verfolgen. Damit soll rechtzeitig und angemessen auf Veränderungen und Risiken reagiert werden. Auch sollen Chancen, die sich durch den Klimawandel ergeben, erkannt und genutzt werden.

Bisher existiert weder auf internationaler noch auf nationaler Ebene ein solches Monitoring-Programm. Einzig die Europäische Umweltagentur (EEA) hat einen Vorschlag für Indikatoren aus zehn Umweltbereichen erarbeitet. Bei der Auswahl der Indikatoren orientiert sich das LANUV NRW an diesem Vorschlag. Da der Klimawandel ein globales Problem darstellt, müssen entsprechende Monitoringkonzepte auch über die Grenzen von Nordrhein-Westfalen hinaus mit anderen Ansätzen kompatibel sein.

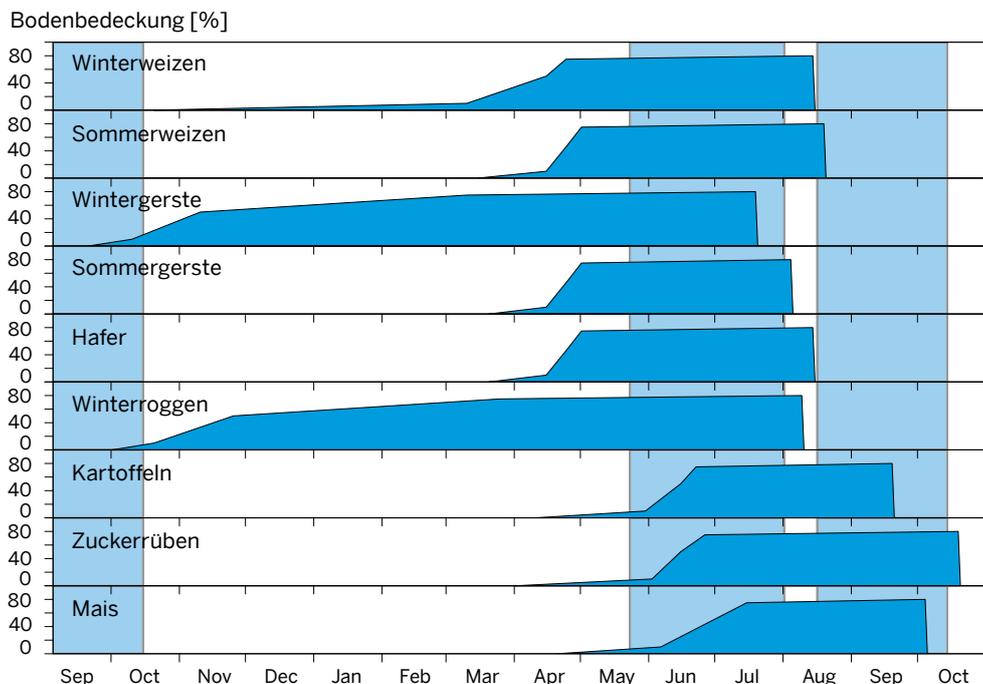


Abb. 2.16: Bodenbedeckung von Kulturpflanzen im Jahresverlauf mit den unterlegten Hauptphasen der Bodenerosion; Daten aus SCHWERTMANN et al. (1987)(NEUHAUS et al. 2010).

Für das Klimafolgenmonitoring werden ca. 10 bis 15 Indikatoren aus den folgenden Bereichen ausgewählt:

- Atmosphäre und Klima,
- Boden,
- Forstwirtschaft,
- Gesundheit,
- Wasser,
- Landwirtschaft,
- Phänologie,
- terrestrische Ökosysteme und
- Biodiversität.

Dabei werden größtenteils Daten der vom LANUV NRW betriebenen Mess- und Beobachtungsprogramme verwendet. So können bei der Dokumentation der Einflüsse des Klimawandels Synergien mit anderen Untersuchungsprogrammen im Umwelt- und Naturschutz genutzt werden.

Einige der für das Klimafolgenmonitoring ausgewählten Indikatoren wurden bereits in den Kapiteln 1 und 2 beschrieben, so z.B.

- für den Bereich Klima und Atmosphäre die „Temperatur“ (Kap. 1.2.1, Abb. 1.8 und Kenntage Abb. 1.11) und die „Anzahl der Schneetage“ (Kap. 1.2.5, Abb. 1.15),
- für den Bereich Biodiversität die „Länge der Vegetationsperiode“ (Kap. 2.1.1, Abb. 2.1) und die „Verbreitung ausgewählter häufiger Tierarten“ (Beispiel Brutvogelarten Kap. 2.1.2, Abb. 2.5).

Im Folgenden sollen beispielhaft „der Beginn der Apfelblüte“ als ein Indikator für den Bereich Landwirtschaft sowie die „Gewässertemperatur“ als ein Indikator für den Bereich Wasser vorgestellt werden.



2.4.1 Der Beginn der Apfelblüte als ein Indikator für den Bereich Landwirtschaft

Die Umweltministerkonferenz hat den Beginn der Apfelblüte als einen Indikator zur Beobachtung von Klimafolgen aufgenommen. Der Indikator wurde bereits 2006 im Set der nordrhein-westfälischen Umweltindikatoren veröffentlicht. Der Tag des Beginns der Apfelblüte zeigt den Eintritt des sogenannten Vollfrühlings an (vgl. Tab. 2.1).

Die Kurve der Eintrittsdaten für den Beginn der Apfelblüte weist den für Klimagrößen typischen stark variierenden Verlauf von witterungsgeprägten Ereignissen (Abb. 2.17) auf. Die Betrachtung des Zeitraums von 1951 bis 2008 zeigt, dass die Apfelblüte in Nordrhein-Westfalen aufgrund der gestiegenen Temperaturen etwa 11 Tage früher eintritt.

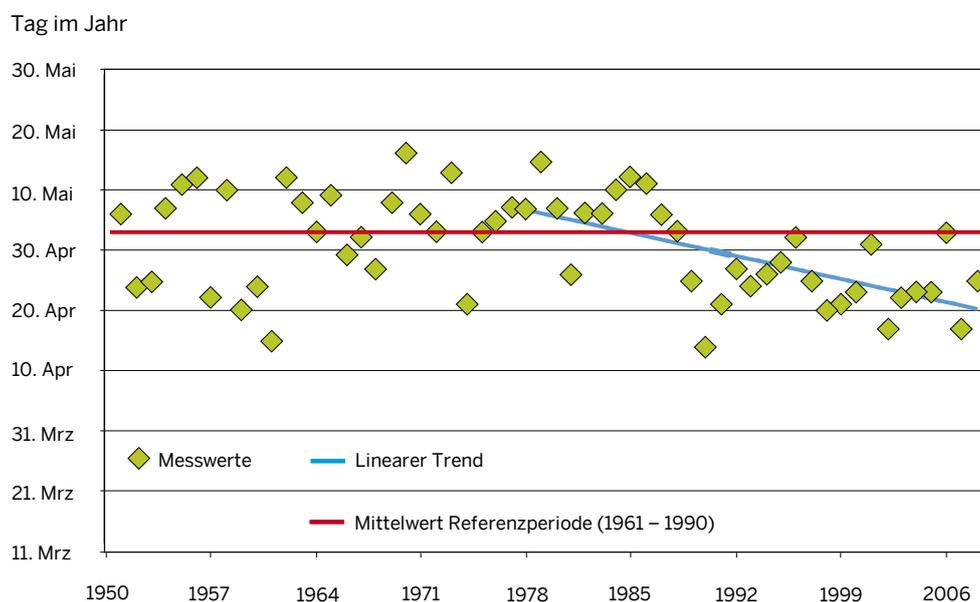


Abb. 2.17: Beginn der Apfelblüte in Nordrhein-Westfalen (Datengrundlage: DWD)

Der Trend verläuft in den letzten 30 Jahren (1978 – 2008) sogar noch deutlich steiler. Selbst in den „kühlsten“ Jahren der vergangenen 20 Jahre (1996, 2001, 2005) hat der Vollfrühling in Nordrhein-Westfalen noch vor dem 4. Mai, dem Mittelwert der Referenzperiode 1961 – 1990, eingesetzt.

2.4.2 Gewässertemperatur als ein Indikator für den Bereich Wasser

Seit 1978 hat die mittlere Wassertemperatur des Rheins an der Station Kleve-Bimmen (Rhein-km 865) um etwa 1,2 °C zugenommen (Abb. 2.18). Dies entspricht einer Temperaturzunahme von etwa 0,4 °C pro Dekade. 1998 wurden zudem das erste Mal seit Beginn der Messungen maximale Wassertemperaturen über 25 °C registriert, seitdem traten in mehreren Jahren Werte oberhalb dieser Grenze auf. Der Temperaturanstieg an der Station Kleve-Bimmen ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Klimawandel zurückzuführen, da gleichzeitig ein Rückgang ge-



nehmiger Abwärmeeinleitungen am Rhein stattgefunden hat. Wichtig im Hinblick auf den Einsatz des Flusswassers als Kühlwasser ist vor allem der starke Anstieg der maximalen Wassertemperaturen im Sommer.

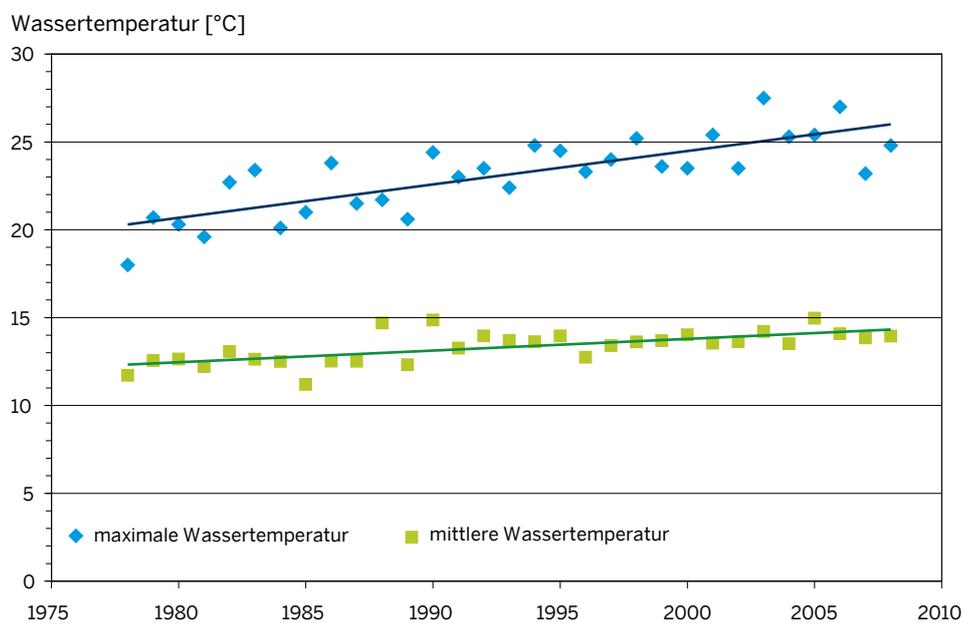


Abb. 2.18: Maximale und mittlere Wassertemperatur des Rheins an der Station Kleve-Bimmen (Rhein-km 865) im Zeitraum 1978 – 2008. Zusätzlich eingezeichnet ist jeweils der lineare Trend.

Literatur

- ANTHES, N. (2004): Wasserläufer verlagern ihre Zugzeiten als Anpassung an Klimaschwankungen. *Charadrius* 40 (1), 28-36.
- BOTH, C., BIJLSMA, R.G., VISSER, M.E. (2005): Climatic effects on timing of spring migration and breeding in a long distant migrant, the Pied flycatcher. *J. Avian Biol.* 36, 368-373.
- DWD (2003): Deutscher Wetterdienst (2003): Das Bioklima in Deutschland. Bioklimakarte mit Begleittext und Informationen zur Wohnortwahl. 3. vollständig überarbeitete Auflage. Flöttmann Verlag Gütersloh.
- ILÖK (Institut für Landschaftsökologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster) (2009): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Biologische Vielfalt: Pilotstudie zu den voraussichtlichen Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte Tier- und Pflanzenarten in Nordrhein-Westfalen. – unveröff. Gutachten im Auftrag des MUNLV, 858 S.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4).
- KÖPPEN, W. (1936): Das geographische System der Klimate. Berlin.
- MIEDERS, G. (1977): Untersuchungen zur Verbreitung der Mistel an ihrer westfälischen Südgrenze. – *Natur und Heimat*, Heft 4, S. 115-121.
- MIEDERS, G. (2010): Vortrag anlässlich des Westfälischen Floristentags 2010 in Münster, nicht veröffentlicht
- MUNLV, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2009 a): Anpassung an den Klimawandel. Eine Strategie für Nordrhein-Westfalen.
- MUNLV, Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2009 b): Umweltbericht Nordrhein-Westfalen 2009.
- NEUHAUS, P., FIENER, P., BOTSCHKE, J. (2010): Einfluss des globalen Klimawandels auf die räumliche und zeitliche Variabilität der Niederschlagserosivität in NRW. Abschlussbericht. Innovationsfonds Klima, http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/klimawandel/anpassungspolitik/projekte/landwirtschaft_und_boden/projektseite_03/index.php
- SCHMITZ, U. (2006): Increase of alien and C₄ plants in annual river bank vegetation of the River Rhine. *Phytocoenologia* 36 (3): 393-402. <http://www.ulfschmitz.de/Publikationen.htm>
- SCHMITZ, U. (2009): Steigerung der Artenzahl durch Neophyten. In: Bleeker, W. & Hurka H. (Hrsg.): Biologische Invasionen und Phytodiversität – Auswirkungen und Handlungsoptionen. Broschüre der AG Botanik der Universität Osnabrück, S. 5-6.
- SCHMITZ, U. & LÖSCH, R. (2009): Neophyten als Indikatoren des globalen Wandels. In: BLEEKER, W. & HURKA H. (Hrsg.): Biologische Invasionen und Phytodiversität – Auswirkungen und Handlungsoptionen. Broschüre der AG Botanik der Universität Osnabrück, S. 18-19. <http://neobiota.natur-schutzinformationen-nrw.de>
- SCHWERTMANN, U., VOGL, W., KAINZ, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen, Stuttgart. Ulmer Verlag.
- TRENBERTH, K.E., P.D. JONES, P. AMBENJE, R. BOJARIU, D. EASTERLING, A. KLEIN TANK, D. PARKER, F. RAHMZADEH, J.A. RENWICK, M. RUSTICUCCI, B. SODEN, P. ZHAI (2007): Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 235-336.

Bildnachweis

Topografische Karten: Geobasisdaten © Land NRW, Bonn

Titelfoto: © Image Source

Image Source (8), Peter Fiener (51 u), Herbert Laufer (45 re), Ulf Schmitz (44)

© **Panther Media:** Erika Utz (12 li), Flo Fastl (12 re), Robert Kneschke (16 li), Franck Camhi (16 mi), Monika Schüll (16 re), Herbert Boekhoff (19), Gaby Schär (22 li), Tobias Ott (22 re), Rüdiger Rebmann (23), Mortimer Müller (24), Marco Müller (25), Veronika Pinke (26), Alexey Stiop (27 ob), Thorsten Frisch (27 un), Swantje Röttgers (28 li), Phovoi R. (30), Eberhard Starosczyk (31 li), Christian Lehner (31 re), Thomas Kranenberg (32), Maik Blume (36 re), Uwe Fuchs (39), Helga Schmitt (45 li), Hanns-Joachim Recksiek (46), Angelo Bischoff (47), Anna Reinert (55)

LANUV NRW: Ernst-Wilhelm Langensiepen (28 re, 54), Lutz Genßler (36 li), Peter Schütz (37 li), Martina Wengelinski (37 re), Martin Woike (40, 41), Thomas Hübner (42), Bernd Mehlig (51 ob)

Alle anderen LANUV-Bildarchiv

Landesamt für Natur, Umwelt
und Verbraucherschutz
Nordrhein-Westfalen
Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuv.nrw.de

www.lanuv.nrw.de

