

Winfried Straub, Ellen Sträter, Sabine Wurzler

Die Klimaentwicklung in NRW

Projektionen für das 21. Jahrhundert

Unter der Prämisse einer fortgesetzten Emission von Treibhausgasen wird sich die Erde auch in Zukunft weiter erwärmen. Die Entwicklung der Temperatur und die Auswirkungen auf den Niederschlag werden mit regionalen Klimaprojektionen abgeschätzt.

Aus Klimamessungen zwischen 1901 und 2008 leiteten STRÄTER et al. (2010) für NRW eine mittlere Temperatur von 9,1°C bei einer Standardabweichung von 0,7 K und eine signifikante Temperaturzunahme von 1,1 K über 108 Jahre ab. Dort wurde ferner darauf hingewiesen, dass die Temperaturzunahme nicht gleichförmig über die Jahre verteilt stattfand, sondern verschiedenen natürlichen und anthropogenen Schwankungen unterlegen war, die jedoch nicht weiter nach ihren Ursachen aufgeschlüsselt wurden.

Im Unterschied zu dieser Betrachtung konzentrieren sich Projektionen des zukünftigen Klimas im Wesentlichen auf den Klimaantrieb durch anthropogene Treibhausgase. Natürliche Klimaschwankungen werden in den Projektionen nur unzureichend abgebildet. Daher sind unter dem Begriff der Klimaprojektionen Modellstudien über die Auswirkungen hypothetischer Treibhausgasemissionen zu verstehen. Sie erlauben eine Abschätzung des zukünftigen anthropogenen Klimawandels, sind jedoch keine Vorhersagen.

Globale Klimaprojektionen

Ausgangspunkt zur Erstellung von Klimaprojektionen bilden verschiedene Szenarien über mögliche gesellschaftliche Entwicklungen. Aus diesen Szenarien können Hypothesen über den bevorstehenden Eintrag anthropogener Treibhausgase in die Atmosphäre abgeleitet werden, die in die Modellsimulationen des zukünftigen Klimas eingehen. Die Szenarien sind im Special Report on Emission Scenarios dokumentiert (NAKICENOVIC und SWART 2000).

Zu den Emissionsszenarien wurden Simulationen mit vielen globalen Klimamodellen durchgeführt. Die simulierte globale Erwärmung ist in Abbildung 1 dargestellt. An den Simulationen zu dieser Abbildung war unter anderem das Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg mit dem Globalmodell ECHAM5/MPI-OM (ROECKNER et al. 2003) beteiligt. Der Zeithorizont der Simulationen umfasst die Jahre 1961 bis 2100. Bis 2000 als Kontrollsimulation für das 20. Jahrhundert, danach als Rechnungen für ausgewählte Emissionsszenarien. Die Kontrollsimulationen sind notwendig, um die Klimamodelle im Vergleich mit gemessenen Klimavariablen auf ihre Eignung hin zu testen.

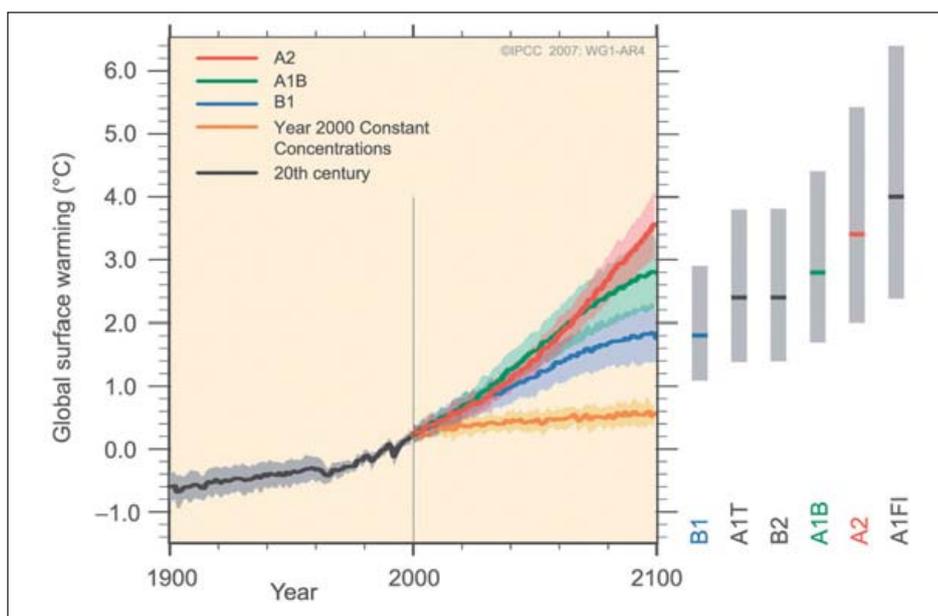


Abb. 1: Globale Erwärmung nach IPCC (2007). Die farbigen Kurven stellen Multi-Modell-Mittelwerte (bezogen auf 1980–1999) für die Szenarien A1B, A2 und B1 dar. Die Standardabweichung ist jeweils schattiert hinterlegt. Die grauen Balken geben die beste Schätzung (farbige Marken) und den möglichen Spielraum (grau) der Erwärmung für sechs verschiedene Szenarien an, die aus zusätzlichen Daten und Simulationen abgeleitet wurden.

Eine entscheidende Rolle bei Klimasimulationen mit dynamischen Modellen kommt dem Zustand der Atmosphäre zu, der bei der Initialisierung des Modells vorgegeben wird. Um den Einfluss dieser sogenannten Anfangsbedingungen auf die Ergebnisse der Modellrechnungen hin zu überprüfen, wurde jedes Szenario in ECHAM5/MPI-OM unter Vorgabe von drei bis vier unterschiedlichen Konfigurationen dieser Anfangsbedingungen simuliert.

Die globalen Klimaprojektionen beinhalten drei wesentliche Quellen für Unsicherheiten: Die erste Unsicherheit resultiert aus den Abschätzungen über zukünftige Treibhausgasemissionen, die zweite Unsicherheit ergibt sich aus der Unvollständigkeit der Modelle und der dritte Unsicherheitsfaktor resultiert aus dem Einfluss der Anfangsbedingung auf das Simulationsergebnis. Diese Unsicherheiten können nur durch statistische Betrachtungen über eine ausreichende Anzahl von Simulationen (mit unterschiedlichen Emissionsszenarien, unterschiedlichen Modellen und verschiedenen Anfangszeitpunkten) quantifiziert

werden, wie sie etwa in VAN DER LINDEN und MITCHELL (2009) beschrieben werden. Hinzu kommen außerdem natürliche Effekte, die den Temperaturanstieg nachhaltig beeinflussen können.

Regionale Klimaprojektionen

Den globalen Klimamodellen liegen Rechengitter zugrunde, deren horizontale Maschenweiten zu grob aufgelöst sind, um Bundesländer in der Größe von NRW adäquat abzubilden. Aus den ECHAM5/MPI-OM-Projektionen wurden daher mit regionalen Klimamodellen, wie zum Beispiel dem statistischen Regionalmodell WettReg (SPEKAT et al. 2007) und den dynamischen Regionalmodellen REMO (JACOB et al. 2008) und CLM (ROCKEL 2008), höher aufgelöste Klimaprojektionen erzeugt.

Aufgrund der bereits erwähnten Unsicherheiten können statistisch aussagekräftige Ergebnisse nur unter Berücksichtigung sehr vieler Simulationen gewonnen werden. In VAN DER LINDEN und MITCHELL (2009) wird dies auf globalem Maßstab darge-

stellt. Auf regionaler Skala steht die dort zugrunde gelegte Mindestanzahl von Simulationen für eine statistische Auswertung jedoch derzeit noch nicht zur Verfügung. Obwohl eine Reihe von regionalen Klimasimulationen existiert, werden diese fast ausschließlich von einer einzigen ECHAM5/MPI-OM-Simulation pro Szenario angetrieben (mit Ausnahme der CLM-Simulationen, von denen für die Szenarien A1B und B1 je zwei Simulationen mit unterschiedlichen ECHAM5/MPI-OM-Antrieben durchgeführt wurden) und geben somit nicht annähernd den, auf globaler Skala vorhandenen, Interpretationsspielraum eines möglichen globalen Klimawandels wieder. Wir weisen daher explizit darauf hin, dass es sich bei den folgenden Darstellungen um beispielhafte Erläuterungen handelt.

Grundlage für die folgenden Darstellungen bilden je 13 WettReg-Projektionen für die Treibhausgasemissionsszenarien A1B, A2 und B1, je 2 CLM-Projektionen für die Szenarien A1B und B1 und jeweils eine REMO-Projektion für die Szenarien A1B, A2 und B1. Die WettReg-Projektionen liegen als Klimazeitreihen punktgenau an den vom Deutschen Wetterdienst betriebenen Klimastationen Nordrhein-Westfalens vor und werden für die Flächenkarten analog zu den Messreihen des 20. Jahrhunderts in die Fläche transformiert (vgl. STRÄTER et al. 2010). Die REMO- und CLM-Projektionen liegen als Rasterdaten auf Gittern mit etwa 10 beziehungsweise 18 Kilometer Kantenlänge vor. Zur Bestimmung der Gebietsmittel wurden die Flächenkarten über Nordrhein-Westfalen gemittelt.

Temperatur

Die Temperatur stellt die Leitvariable des anthropogenen Klimawandels dar. Im Zeitraum 1971 bis 2000 lag das Flächenmittel der Temperatur nach Messungen aus Nordrhein-Westfalen bei 9,3 °C. In Abbildung 2 sind die mit Hilfe der drei Regionalmodelle projizierten Temperaturzunahmen (ΔT) für NRW für den Zeitraum 2071 bis 2100 gegenüber dem Zeitraum 1971 bis 2000 für die drei Emissionsszenarien A1B, A2 und B1 dargestellt. Zu sehen ist, dass die Spannweite und damit die Unsicherheit, vor allem bei den Emissionsszenarien A1B und A2, recht groß sind. Die Flächenmittel über die Simulationen aller drei Emissionsszenarien variieren zwischen 1,6 und 3,1 K. Auffällig ist, dass die Erwärmung vom statistischen Modell WettReg insgesamt deutlich schwächer ausgegeben wird als von den dynamischen Modellen REMO und CLM. Die Ursache dieser Diskrepanz ist zurzeit noch Gegenstand verschiedener Untersuchungen.

Im linken Teil der Abbildung 3 ist die an den Klimastationen Nordrhein-Westfalens beobachtete Mitteltemperatur für den Kontrollzeitraum 1971 bis 2000 gezeigt. Ergänzend dazu ist im rechten Teil die aus

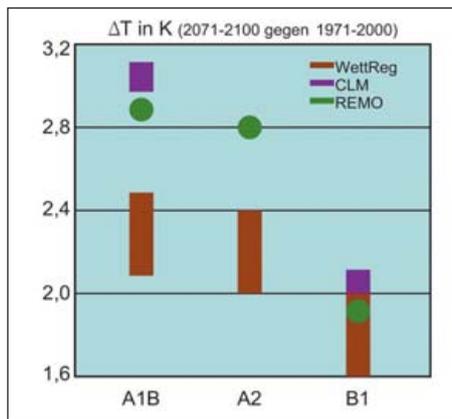


Abb. 2: Erwärmung für 2071–2100 gegenüber 1971–2000 nach je 13 verschiedenen WettReg-Simulationen (braun), je 2 CLM-Simulationen (violett, nur A1B und B1) und je einer REMO-Simulation (grün) für die Szenarien A1B, A2 und B1 als Mittelwert über die Fläche von NRW.

allen verfügbaren regionalen Klimaprojektionen abgeleitete Erwärmung ΔT bis zum Zeitraum 2071 bis 2100 aufgetragen. Entsprechend Abbildung 2 variiert das Flächenmittel zwischen 1,6 und 3,1 K. Die Spannweite der einzelnen Werte im Gelände weicht von den Flächenmittelwerten um höchstens $\pm 0,2$ K ab. Da diese Variation im Gelände wesentlich kleiner ist als die gesamte Spannweite der möglichen Werte, können regionale Unterschiede nicht explizit beziffert werden. Die Geländeunterschiede zeigen ferner keine Modellübergreifende Systematik, so dass die Fläche von NRW nicht weiter differenziert werden kann, mit der Folge, dass sie insgesamt in einer einheitlichen Farbe erscheint. Um die für 2071 bis 2100 projizierte Temperatur für einzelne Regionen zu erhalten, ist die Erwärmung ΔT aus dem rechten Teil

der Abbildung zu den Mitteltemperaturen des Kontrollzeitraums (linker Teil der Abbildung) zu addieren. So ergibt sich zum Beispiel für den Kahlen Asten eine mittlere Temperatur im Zeitraum 2071 bis 2100 zwischen etwa 6,5 und 8 °C, für die Region um Köln erhält man Werte in Höhe von etwa 12,5 bis 14 °C.

Niederschlag

Neben der Temperatur stellt vor allem der Niederschlag eine entscheidende Größe bei Fragen zur Anpassung an den Klimawandel in NRW dar. In Abbildung 4a sind die projizierten Niederschlagsänderungen für 2071 bis 2100 gegenüber 1971 bis 2000 als Jahresmittelwerte über die Fläche von Nordrhein-Westfalen angegeben. Obgleich auch hier größere Schwankungen in allen Szenarien dominieren, zeichnet sich dennoch eine leichte Zunahme des Jahresniederschlags zwischen knapp über 0 bis 10 Prozent ab, die nach statistischen Untersuchungen allerdings nicht als signifikant eingestuft werden kann. Änderungen des Niederschlags werden besonders deutlich, wenn man das Sommer- und Winterhalbjahr getrennt betrachtet. Für die Sommerhalbjahre zeichnet sich ein Rückgang, für die Winterhalbjahre eine Zunahme des Niederschlags ab (Abb. 4b und 4c). Unter Berücksichtigung der drei Regionalmodelle und der drei Emissionsszenarien liegt die Niederschlagszunahme für NRW im Winterhalbjahr zwischen 9 und 24 Prozent, der Niederschlagsrückgang im Sommerhalbjahr zwischen 0 und 12 Prozent.

Im Unterschied zur Temperatur liegt die Variation der Niederschlagsänderungen in der Fläche Nordrhein-Westfalens in derselben Größenordnung wie die Variation zwischen den verschiedenen Projektionen. Demnach ist die Unterscheidung der Nie-

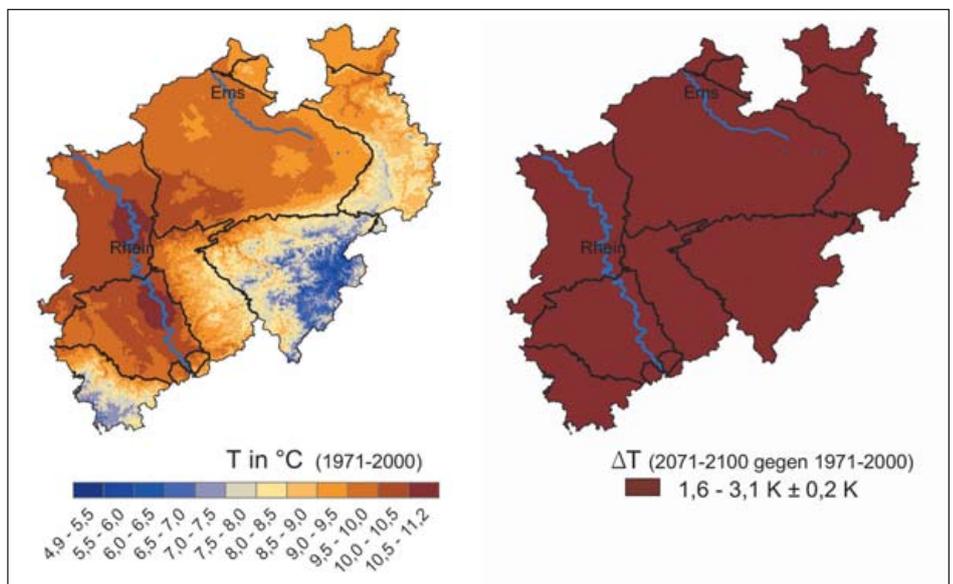


Abb. 3: Links: Jahresmitteltemperatur in Nordrhein-Westfalen aus Messungen des Deutschen Wetterdienstes für den Bezugszeitraum 1971–2000. Rechts: Erwärmung bis zum Zeitraum 2071–2100 aus 39 WettReg-, 4 CLM- und 3 REMO-Simulationen.

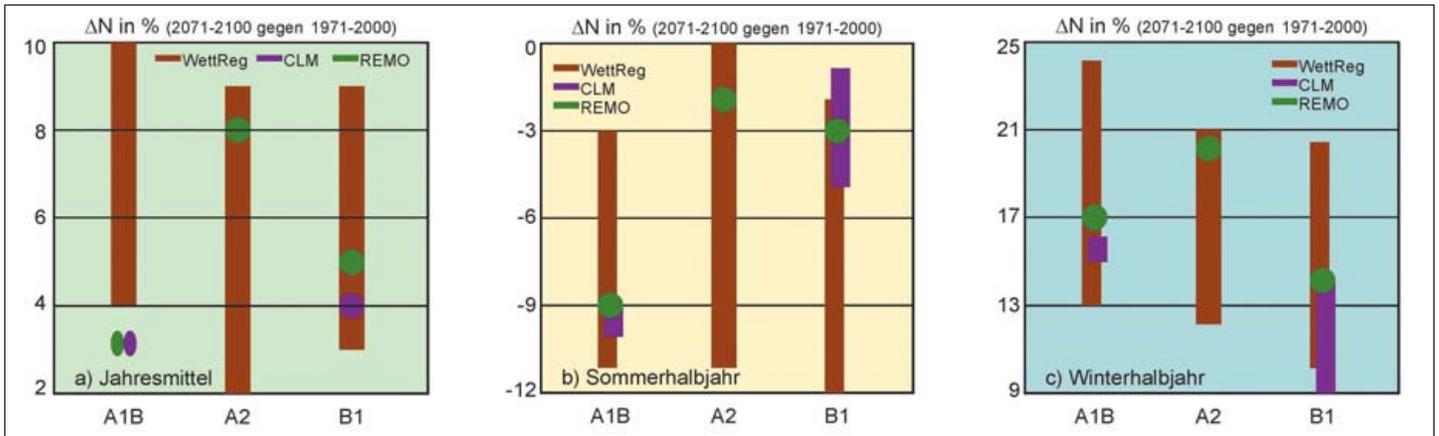


Abb. 4: Niederschlagsänderung für 2071–2100 gegenüber 1971–2000 nach je 13 verschiedenen WettReg-Simulationen (braun), je 2 CLM-Simulationen (violett, nur A1B und B1) und je einer REMO-Simulation (grün) für die Szenarien A1B, A2 und B1 als Mittelwert über die Fläche von NRW. Abb. 4a zeigt die Änderung im Jahresmittel, Abb. 4b gibt die Änderung im Sommerhalbjahr und Abb. 4c die Änderung im Winterhalbjahr an.

erschlagsänderungen nach Regionen zulässig. Gerade die regionale Verteilung der Niederschlagsänderungen ist zwischen den Modellen allerdings widersprüchlich. Während die dynamischen Modelle CLM und REMO den sommerlichen Niederschlagsrückgang vor allem für die südwestlichen Regionen des Landes angeben, fällt der stärkste Niederschlagsrückgang im statistischen Modell WettReg in die nordöstlichen Regionen des Landes. Die Niederschlagszunahme im Winterhalbjahr erfolgt den dynamischen Modellen zufolge hauptsächlich im Bereich der nördlichen und südlichen Landesteile, laut statistischem Modell WettReg liegt die stärkste Niederschlagszunahme eher im Landesinneren. Insofern erscheint auch hier eine räumlich hoch aufgelöste Interpretation der Änderungen problematisch. Eine Region, für die von den meisten Simulationen leicht überdurchschnittliche Niederschlagszunahmen im Jahresmittel projiziert werden, ist das Sauer- und Siegerland, das sich durch seine durchgängige Mittelgebirgsstruktur von den übrigen Regionen Nordrhein-Westfalens abhebt.

Fazit

Die Projektionen für NRW zeigen, dass die Temperatur in Zukunft landesweit weiter ansteigen wird. Niederschlagszunahmen sind eher im Winter, Abnahmen im Sommer zu erwarten. Die stärksten Niederschlagszunahmen im Jahresmittel werden für die Region Sauer- und Siegerland projiziert. Darüber hinausgehende konkretere Abschätzungen über die Änderungen – einschließlich einer detaillierten regionalen Differenzierung – gestalten sich deutlich schwieriger. Dies liegt zum einen an den Unsicherheiten, die den Projektionen zugrunde liegen, zum anderen jedoch auch daran, dass noch nicht ausreichend viele Simulationen auf regionaler Ebene zur Verfügung stehen und damit eine statistisch fundierte Auswertung bisher nur in Ansätzen möglich ist.

Literatur

- IPCC (2007). Summary for Policymakers. 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, 1–18.
- JACOB, D., H. GÖTTEL, S. KOTLARSKI, P. LORENZ und K. SIECK (2008). Klimaauswirkung und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 154 S.
- NAKICENOVIC, N. und R. SWART (Hrsg.) (2000). IPCC Special Report on Emission Scenarios. Cambridge University Press, UK, 570 S.
- ROCKEL, B., A. WILL und A. HENSE (2008). The Regional Climate Model COSMO-CLM (CCLM). Meteorologische Zeitschrift, Vol. 17, No. 4, 347–348
- ROECKNER, E., G. BÄUML, L. BONAVENTURA, R. BROKOPF, M. ESCH, M. GIORGETTA, S. HAGEMANN, I. KIRCHNER, L. KORNBLUEH, E. MANZINI, A. RHODIN, U. SCHLESE, U. SCHULZWEIDA und A. TOMPKINS (2003). The Atmospheric General Circulation Model ECHAM5, Part I, Model Description. Report No. 349, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, 127 S.
- SPEKAT, A., W. ENKE und F. KREIENKAMP (2007). Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WettReg auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2 (Endbericht). Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens: „Klimaauswirkungen und Anpassungen in Deutschland – Phase I: Erstellung regionaler Klimaszenarios für Deutschland“ des Umweltbundesamtes. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 112 S.
- STRÄTER, E., W. STRAUB und C. KOCH (2010). Die Klimaentwicklung in NRW. Beobachtungen seit Anfang des 20. Jahrhunderts. Natur in NRW, Nr. 1/10, LANUV NRW, 39–42
- VAN DER LINDEN P. und J.F.B. MITCHELL (Hrsg.) (2009). ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of Research and Results from the ENSEMBLES Project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 S.

Zusammenfassung

Unter der Prämisse einer fortgesetzten Emission anthropogener Treibhausgase wird sich die Atmosphäre auch in Zukunft weiter erwärmen. Regionale Klimaprojektionen zeigen zwischen 1971 bis 2000 und 2071 bis 2100 eine landesweite Temperaturzunahme im Bereich von 1,6 bis 3,1 K. Der Niederschlag nimmt im Jahresmittel nur geringfügig zu, die stärksten Niederschlagszunahmen werden dabei für die Region Sauer- und Siegerland projiziert. Auffällig sind die jahreszeitlich unterschiedlichen Tendenzen mit einer Niederschlagszunahme im Winter und einer Niederschlagsabnahme im Sommer. Wie signifikant die Trends im Einzelnen sind, werden zukünftige Projektionen zeigen.

Anschriften der Verfasser

Dr. Winfried Straub,
Dr. Sabine Wurzler
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW
Fachbereich Modellierung der Luftqualität, anthropogene Veränderungen der Atmosphäre
Wallneyer Str. 6
45133 Essen
E-Mail: Winfried.Straub@lanuv.nrw.de,
Sabine.Wurzler@lanuv.nrw.de

Ellen Sträter
Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW
Fachbereich Koordinierung übergreifender Umweltthemen, Klimaschutz / Klimafolgen, Umweltinformation
Leibnitzstr. 10
45659 Recklinghausen
E-Mail: Ellen.Strater@lanuv.nrw.de