

umwelt.nrw

nach(haltig) gedacht!

01



PLANETARE ÖKOLOGISCHE GRENZEN EINHALTEN: NORDRHEIN-WESTFALEN IN DER KLIMA- UND UMWELTKRISE

WOLFGANG LUCHT ET AL.

DIE AUTORENSCHAFT

Prof. Dr. Wolfgang Lucht leitet die Forschungsabteilung für Erdsystemanalyse am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) und hat den Alexander-von-Humboldt-Lehrstuhl für Nachhaltigkeitswissenschaften am Geographischen Institut der Humboldt-Universität zu Berlin inne. Er ist Mitglied des Sachverständigenrats für Umweltfragen der Bundesregierung. Als Geoökologe und Nachhaltigkeitswissenschaftler befasst er sich mit der Analyse der Erde als System, der Zukunft der Biosphäre, den Planetaren Belastungsgrenzen und der Ko-Evolution menschlicher Gesellschaften mit ihrer globalen Umwelt im Anthropozän.

Constanze Werner ist Doktorandin in der Forschungsabteilung Erdsystemanalyse des PIK und absolvierte den Masterstudiengang Physische Geographie von Mensch-Umwelt-Systemen an der Humboldt-Universität zu Berlin.

Prof. Dr. Dieter Gerten ist Forschungsgruppenleiter in der Forschungsabteilung für Erdsystemanalyse am PIK und Professor für Klimasystem und Wasserhaushalt im Globalen Wandel am Geographischen Institut der Humboldt-Universität zu Berlin.

PLANETARE ÖKOLOGISCHE GRENZEN EINHALTEN: NORDRHEIN-WESTFALEN IN DER KLIMA- UND UMWELTKRISE

WOLFGANG LUCHT, CONSTANZE WERNER, DIETER GERTEN

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	6
Planetare ökologische Grenzen einhalten: Nordrhein-Westfalen in der Klima- und Umweltkrise	8
Planetare Belastungsgrenzen und Nordrhein-Westfalen	16
Planetare Belastungsgrenze Klimawandel und Landesbezüge	20
Planetare Belastungsgrenze Biogeochemische Flüsse des Stickstoffs und Landesbezüge	32
Planetare Belastungsgrenze Landnutzungswandel und Landesbezüge	38
Planetare Belastungsgrenze Integrität der Biosphäre und Landesbezüge	44
Schlussfolgerungen und Ausblick	50
Literaturverzeichnis	54
Abkürzungsverzeichnis	60
Impressum	64

ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Abb. 01: Planetare Belastungsgrenzen und ihre Überschreitungen nach Steffen et al.	10
Abb. 02: Regionalisierter Planetare Grenzen-Radar – NRW-Beiträge zum Druck auf Belastungsgrenzen und Status der Zielerreichung von Indikatoren im Wirkungsbereich nach Steffen et al.	11
Tab. 01: Erdsystemprozesse, Planetare Grenzen und Status der vier prekärsten Sektoren nach Steffen et al.	12
Abb. 03: NRW-Umweltindikator Warming Stripes und globale Kohlendioxidkonzentration	21
Abb. 04: Beobachtete und projizierte mittlere NRW-Jahreslufttemperatur 1881 bis 2100	22
Tab. 02: RCP-Szenarien 2.6, 4.5 und 8.5 aus dem Fünften Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC	23
Abb. 05: NRW-Umweltindikator Treibhausgasemissionen	24
Abb. 06: NRW-Umweltindikator Erneuerbare Energien	26
Abb. 07: Budgets bei linearen CO ₂ -Emissionsreduktionen für NRW	28
Abb. 08: NRW-Umweltindikator Stickstoffüberschuss der landwirtschaftlich genutzten Fläche (Flächenbilanz)	34
Abb. 09: NRW-Umweltindikator Nitratkonzentration im Grundwasser	35
Abb. 10: NRW-Umweltindikator Flächenverbrauch Teilindikator Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche	40
Abb. 11: NRW-Nachhaltigkeitsindikator Fläche des landesweiten Biotopverbundes	41
Abb. 12: NRW-Umweltindikator Artenvielfalt und Landschaftsqualität	46
Abb. 13: NRW-Umweltindikator Ökologischer Zustand /ökologisches Potenzial oberirdischer Fließgewässer	48

VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,



Ursula Heinen-Esser | Ministerin

das Essay „Planetare ökologische Grenzen einhalten: Nordrhein-Westfalen in der Klima- und Umweltkrise“ ist in vielerlei Hinsicht besonders: Zum einen bildet es den Auftakt für die Publikationsreihe „umwelt.nrw: nach(haltig) gedacht!“ des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz. Ziel der neuen Reihe ist es, aktuelle und/oder zukunftsweisende Trends und Entwicklungen aus den Bereichen der Ressorts vorzustellen, zu thematisieren und Denkpulse zu liefern – nachhaltig gedacht eben. Zum anderen geht das Essay, für das der renommierte Geoökologe und Nachhaltigkeitswissenschaftler Prof. Dr. Wolfgang Lucht vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung als Leitautor gewonnen werden konnte, zwei spannenden Fragen nach: Inwieweit kann man das Konzept Planetare Grenzen auf die Ebene eines Bundeslandes herunterbrechen? Und was kann man daraus ableiten?

Dazu muss man wissen, dass das im Jahr 2009 von einer hochkarätigen Gruppe von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern um Prof. Dr. Johan Rockström veröffentlichte Konzept der Planetaren Grenzen neun Sektoren nennt, bei denen ökologische Grenzen nicht überschritten werden sollten, um die Stabilität des Ökosystems und die Lebensgrundlagen der Menschheit nicht zu gefährden. Das 2015 aktualisierte Konzept hat weltweit großen Einfluss in der Wissenschaft, Forschung und Politikberatung. In Teilen wurde es bereits von der internationalen Klimapolitik übernommen, um die Erderwärmung bis zum Jahr 2100 auf weniger als zwei Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen.

Dazu muss man wissen, dass das im Jahr 2009 von einer hochkarätigen Gruppe von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern um Prof. Dr. Johan Rockström veröffentlichte Konzept der Planetaren Grenzen neun Sektoren nennt, bei denen ökologische Grenzen nicht überschritten werden sollten, um die Stabilität des Ökosystems und die Lebensgrundlagen der Menschheit nicht zu gefährden. Das 2015 aktualisierte Konzept hat weltweit großen Einfluss in der Wissenschaft, Forschung und Politikberatung. In Teilen wurde es bereits von der internationalen Klimapolitik übernommen, um die Erderwärmung bis zum Jahr 2100 auf weniger als zwei Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen.

Um es vorwegzunehmen: Ja, es ist mit dem „Regionalisierten Planetare Grenzen-Radar“ gelungen, eine Resonanz herzustellen zwischen Elementen aus dem nordrhein-westfälischen Umweltmonitoring und dem Konzept der Planetaren Belastungsgrenzen! Und ja, dieser neu entwickelte Ansatz, der auch für andere Regionen anwendbar ist, ermöglicht wichtige neue Sichten, Erkenntnisse und Diskurse! Konkret wurden den prominentesten Sektoren, bei denen zugleich die Planetaren Belastungsgrenzen überschritten sind – nämlich Klimawandel, Biogeochemische Flüsse des Stickstoffs, Landnutzungswandel, Integrität der Biosphäre –, Umweltindikatoren zugeordnet und zusammen mit den von der Landesregierung gesteckten Zielen betrachtet. Darüber hinaus wurden die durch Formeln definierten Planetaren Grenzen auf die Landesebene übersetzt und diskutiert.

Deutlich wird dabei: Mit unserem Umweltindikatoren-Set und unserem Umweltmonitoring sind wir gut aufgestellt. Sie bilden eine bewährte Grundlage für die Bewertung des Umweltzustands. Deutlich wird vor allem aber auch, welche Ziele sich Nordrhein-Westfalen hinsichtlich Klimawandel, Stickstoffbelastungen, Landnutzungswandel und Biodiversität setzen müsste, um seinen Beitrag zur Einhaltung der Planetaren Belastungsgrenzen zu leisten. Insofern liefert das Essay zu künftigen Landeszielen, Lösungen und Perspektiven wertvolle Denkansätze.

Dass wir in herausfordernden Zeiten leben und die Transformation zur Nachhaltigkeit nicht nachlassen darf, hat uns besonders schmerzlich das Hochwasser in West- und Mitteleuropa 2021 gezeigt. Allein in Nordrhein-Westfalen sind durch diese Naturkatastrophe in diesem Sommer mit schweren Sturzfluten und Überschwemmungen 47 Menschen verstorben und unfassbare materielle Schäden entstanden. Ursache waren außergewöhnlich große Niederschlagsmengen durch ein sich sehr langsam fort-

bewegendes Tief. Neben der dauerhaften Verantwortung für die Menschen und ihre schwer getroffenen Städte und Gemeinden in unserem Land gilt es mehr denn je, Verantwortung zu tragen für den Schutz des Klimas, denn es ist der menschengemachte Klimawandel, der extreme Wetterereignisse wie bei der Flutkatastrophe 2021 oder die Dürren in den vergangenen Jahren immer wahrscheinlicher eintreten lässt.

Stärker als bisher rückt nach diesen Ereignissen das Vorsorgeprinzip in den Fokus der Umweltpolitik. Denkbare Belastungen beziehungsweise Schäden für Mensch und Umwelt gilt es im Voraus zu vermeiden oder weitestgehend zu verringern. In diesem Kontext ist auch das Klimaanpassungsgesetz zu sehen, das die Landesregierung als erstes Bundesland auf den Weg gebracht hat. Das Gesetz beinhaltet ein Maßnahmenpaket, um die Folgen des zunehmenden Klimawandels einzudämmen. Von zentraler Bedeutung sind insbesondere der Ausbau grüner Infrastruktur und ein angepasstes Wassermanagement. Diese und weitere Maßnahmen der Landesregierung fügen sich in das Gesamtgefüge der großen umweltpolitischen Zukunftsprojekte unserer Zeit ein, wie der „Green Deal“ von der Europäischen Kommission, das Europäische Klimagesetz oder die „Farm-to-Fork-Strategie“.

Trotz allem bisher Erreichten liegt noch viel Arbeit vor uns. Der Schutz unserer Umwelt ist und bleibt die zentrale Menschheitsaufgabe unserer Zeit – und die nächsten Jahrzehnte sind entscheidend. Das Urteil des Bundesverfassungsgerichts zum generationsübergreifenden Klimaschutz hat dies ebenfalls noch einmal manifestiert und rechtlich neue Maßstäbe gesetzt. Gerade in Nordrhein-Westfalen als hoch entwickeltem Industriestandort ist es eine Herausforderung, die Klimaschutzziele zu erreichen und gleichzeitig Industrieland zu bleiben. Wir sind gefordert, auf diese wirtschaftliche, gesellschaftliche, aber

auch ethische und moralische Herausforderung Antworten zu geben. Denkverbote darf es nicht geben, vielmehr sind kreative und wirksame Ideen und Konzepte gefragt. In diesen Kontext ist auch die Studie von Prof. Dr. Lucht et al. und die neue Publikationsreihe „umwelt.nrw: nach(haltig) gedacht!“ einzuordnen.

Neben der Publikationsreihe wird es auch ein digitales Dialogformat geben. Unter dem Begriff umwelt.nrw: nach(haltig) gedacht! möchten wir auch digital über den „Tellerrand“ schauen und gemeinsam mit Vertreterinnen und Vertretern aus Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft über Trends und Entwicklungen aus den Themengebieten des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz diskutieren. Ziel ist auch hier, Ideen und Lösungsansätzen eine Plattform zu bieten und gemeinsam die Grundlagen für einen erfolgreichen und nachhaltigen Umweltschutz weiterzuentwickeln. Ich freue mich schon jetzt auf viele interessante Diskussionen.

Abschließend möchte ich mich bei Prof. Dr. Wolfgang Lucht und allen anderen Beteiligten für die Erstellung dieses Essays für den Start der Publikationsreihe „umwelt.nrw: nach(haltig) gedacht!“ ganz herzlich bedanken. Ich bin überzeugt, dass diese erste Ausgabe nur der Auftakt für viele weitere interessante Veröffentlichungen ist und wünsche Ihnen eine gute, inspirierende Lektüre.

Ihre



URSULA HEINEN-ESSER

Ministerin für Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Prof. Dr. Wolfgang Lucht | Leिताutor

PLANETARE ÖKOLOGISCHE GRENZEN EINHALTEN: NORDRHEIN-WESTFALEN IN DER KLIMA- UND UMWELTKRISE

Nordrhein-Westfalen (NRW) hat eine lange Tradition der Umweltpolitik. Dieser kommt im industriellen Herzland und bevölkerungsreichsten Bundesland Deutschlands eine besondere Bedeutung zu. Denn NRW ist nicht nur Schrittmacher für Politik auch auf der nationalen Ebene, sondern hat zudem mit der Industrialisierung des 19. Jahrhunderts und später mit dem Rückgang der Schwerindustrie und des Bergbaus in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts tiefgreifende Transformationen erlebt und gemeistert.

Die globale Umwelt- und Klimakrise, mit welcher sich die Menschheit heute konfrontiert sieht, ist im Vergleich dazu jedoch von einer nochmals anderen Qualität. Erstmals ist der Zustand des gesamten Planeten Erde von den kollektiven Entscheidungen der Menschheit abhängig, zu denen auch NRW signifikante Beiträge liefert. Wir sind dabei, die klimatische und ökologische Integrität der Erde in einem Ausmaß zu destabilisieren, das die bisherigen Erfolge der Industrie- und Technologiegeschichte zu unterminieren droht. Für die notwendigen Weichenstellungen in eine neue, eine ökologische Richtung ist das begonnene Jahrzehnt von entscheidender Bedeutung.

Die COVID-19-Pandemie führt seit März 2020 eindrücklich vor Augen, dass die Wohlfahrt der Gesellschaft gerade auch in Zeiten der Globalisierung und Digitalisierung an zahlreiche Voraussetzungen geknüpft ist. Es ist deutlich geworden, wie wichtig internationale Zusammenarbeit, wissenschaftliche Analyse, Daten, Modelle und ein informierter öffentlicher Diskurs zwischen Wissenschaft, Bevölkerung und Politik sind. All dies gilt ebenso für die Umweltpolitik. Es ist das Kennzeichen einer aufgeklärten Zivilisation, dass sie auch in schwierigen Zeiten der Umgestaltung in der Lage ist, ihre Fähigkeiten zu sachlicher Analyse und politischer Abwägung

selbstbewusst in den Dienst der öffentlichen Wohlfahrt zu stellen. Angesichts der globalen Klima- und Umweltkrise ist hierfür in Deutschland, insbesondere aber auch in NRW, eine ambitionierte, zielorientierte, wissenschaftsbasierte Umweltpolitik notwendig.

Der Einführungstext zum „Integrierten Umweltprogramm 2030“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit führt entschieden aus, dass „Umweltpolitik heute nicht mehr nur den Anspruch haben [kann], die Kollateralschäden eines aus dem Ruder gelaufenen Wirtschaftsmodells zu beseitigen“ (BMUB, 2016). Vielmehr gehe es darum, „zu einer Wirtschaftsweise zu kommen, die die Grenzen unserer natürlichen Lebensgrundlagen respektiert“. Darin liege eine große Chance für die weitere Entwicklung unseres Landes, weshalb gefolgert wird: „Es ist Zeit für einen neuen Aufbruch der deutschen Umweltpolitik.“ Diese müsse sich als Teil eines Wandels begreifen, der die Wohlfahrt unserer Gesellschaft langfristig wirtschaftlich, gesellschaftlich und ökologisch sichert und dabei insbesondere auch die Anliegen der jungen und nachkommenden Generationen berücksichtigt. Gerade in einem technologisch versierten Industrieland kann eine sehr viel tiefere Integration von Umweltpolitik in Wirtschafts- und Sozialpolitik wegweisend sein. Dies bedeutet einerseits, die sich entwickelnde planetare Klima- und Umweltkrise auch als solche ernst zu nehmen, andererseits, sich den sozial-ökonomischen Veränderungsprozessen zu stellen und diese zu gestaltender gesellschaftlicher Erneuerung zu nutzen. Wenn derzeit die Jugend-Protestbewegungen in vielen Teilen der Welt fordern, dass die Zukunft dieser jungen Menschen gesichert wird, so ist dies keine leere Phrase: Heute Geborene werden im Jahr 2050 nicht mehr als 30 Jahre alt sein und größtenteils das Jahr 2100 erleben. Das Bundesverfassungsgericht hat in seiner wegweisenden



Entscheidung vom 29. April 2021 zur „intertemporalen Gerechtigkeit“ beim Klimaschutz deutlich gemacht, dass das Staatsziel des Artikels 20a Grundgesetz (GG), wonach die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen sind, dem Freiheitsschutz der jungen Generationen dient.

Warum stecken wir heute in einer Krise des Erdsystems von nie da gewesener Dramatik, wenn wir in unserem Alltag derzeit oft noch zu wenig davon bemerken – obwohl sich die besorgniserregenden Nachrichten über Hitzewellen, Überschwemmungen, großflächige Brände und schmelzendes Eis doch in Zahl und Dramatik deutlich vermehrt haben? Woran können wir uns orientieren, wenn eine Politik verfolgt werden soll, welche daher den sozialen Rechtsstaat um eine ökologische Dimension erweitert, die ihm bisher noch fehlt? Und was bedeutet dies für die Integration von Umweltpolitik in die Politik NRWs?

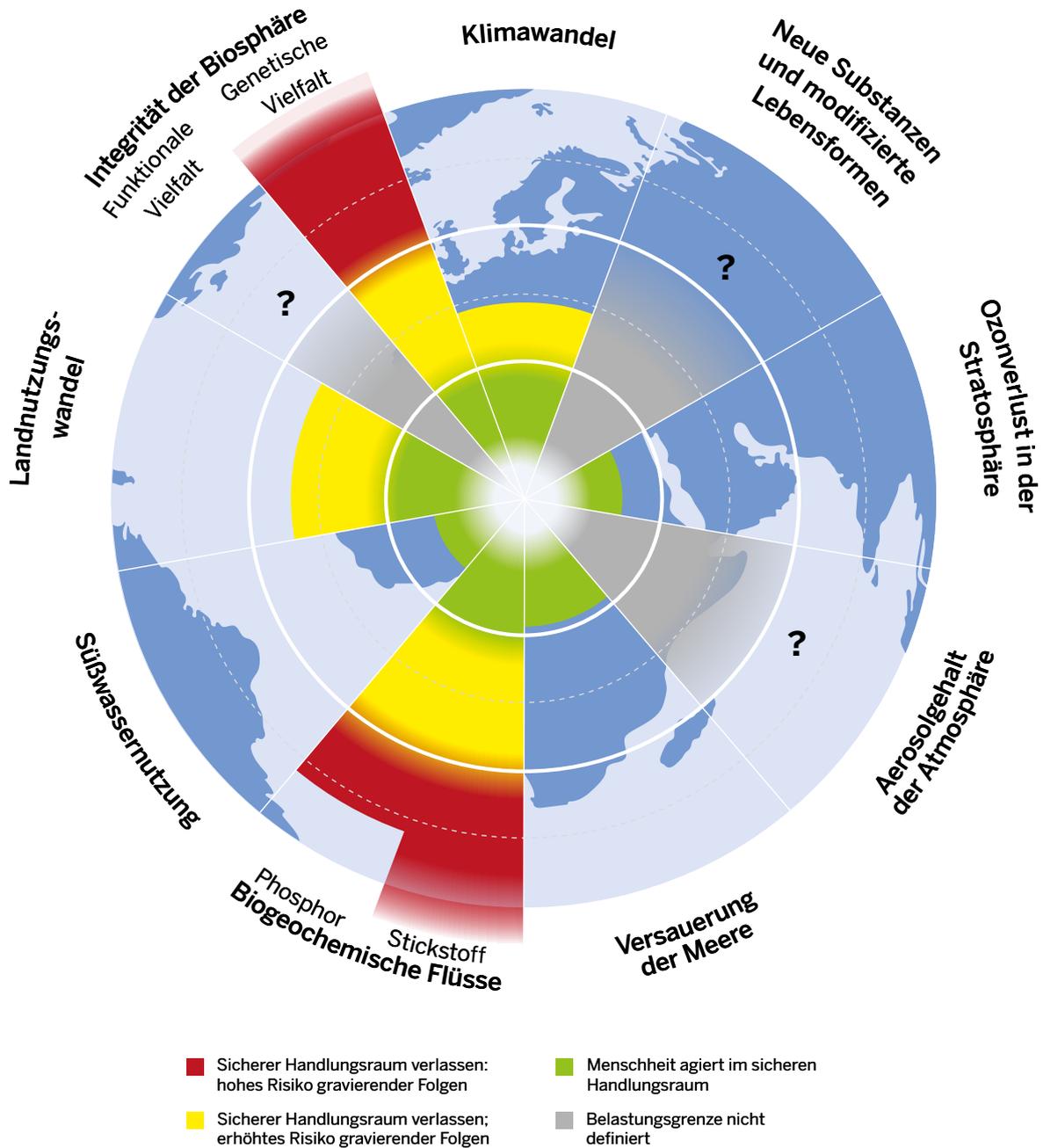
Nicht nur im Grundgesetz wird im Artikel 20a für alle Politik verbindlich festgelegt, dass der Staat „auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen und die Tiere im Rahmen der verfassungsmäßigen Ordnung“ schützt und damit eine gewisse, Politik bindende Wirkung entfaltet. Auch die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung führt die dabei anzuwendenden Grundprinzipien klar aus: „Die Planetaren Grenzen unserer Erde bilden zusammen mit der Orientierung an einem Leben in Würde für alle die absoluten Leitplanken für politische Entscheidungen“ (Bundesregierung, 2018). Ähnliche Prinzipien kennzeichnen auch die weiterentwickelte NRW-Nachhaltigkeitsstrategie (Landesregierung NRW, 2020): „In unserem Nachhaltigkeitsverständnis müssen die wirtschaftliche, soziale und ökologische Entwicklung zusammenspielen, um auch zukünftigen Generationen die gleichen Chancen für ein gutes Leben zu bieten.

Die globale Verantwortung, die Belastungsgrenzen unseres Planeten sowie die wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungsperspektiven beachtet die Landesregierung dabei als Handlungsrahmen.“

Hier taucht das Konzept der „Planetaren Grenzen unserer Erde“, kurz der „Planetaren Grenzen“ (Englisch: planetary boundaries), „planetarischen Grenzen“ oder sehr zutreffend auch „Planetaren Belastungsgrenzen“ explizit auf. Dieses Konzept verweist auf die Notwendigkeit einer wissenschaftlich begründeten Begrenzung der Veränderungen des Erdsystems insgesamt, um gesellschaftlich, ökologisch und ethisch unverantwortliche Risiken zu vermeiden. Es geht darum, die planetaren ökologischen Grundlagen der heutigen Gesellschaften so zu bewahren, dass deren Wohlfahrt langfristig gesichert ist. Dies hat unter den Maßgaben grundlegender Menschenrechte auf ein gutes Leben mit gerechter Teilhabe zu geschehen, nach Maßgabe des Grundgesetzes explizit auch im Hinblick auf künftige Generationen. Bezüglich der konkreten Aufgabe des Klimaschutzes formuliert das Bundesverfassungsgericht zum Beispiel: „Subjektivrechtlich schützen die Grundrechte als intertemporale Freiheitssicherung vor einer einseitigen Verlagerung der durch Artikel (Art.) 20a GG aufgegebenen Treibhausgasminderungslast in die Zukunft. Auch der objektivrechtliche Schutzauftrag des Art. 20a GG schließt die Notwendigkeit ein, mit den natürlichen Lebensgrundlagen so sorgsam umzugehen und sie der Nachwelt in solchem Zustand zu hinterlassen, dass nachfolgende Generationen diese nicht nur um den Preis radikaler eigener Enthaltensamkeit weiter bewahren könnten.“ (Bundesverfassungsgericht, 2021).

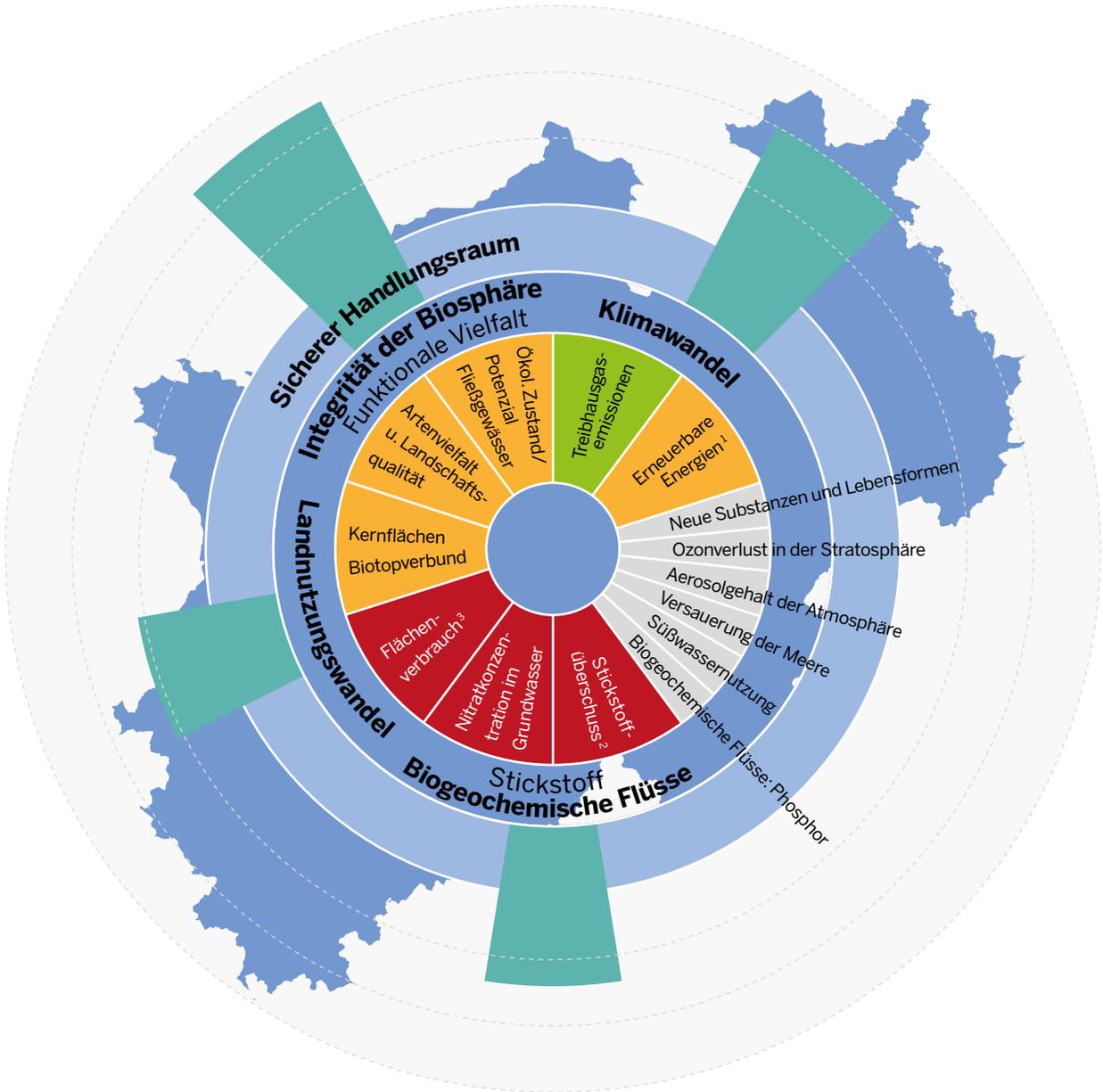
Planetare Belastungsgrenzen und ihre Überschreitungen nach Steffen et al.

(Quelle: angepasst nach Steffen et al., 2015)



Von Rockström et al. im Jahr 2009 entwickelte und von Steffen et al. 2015 aktualisierte Abbildung der Planetaren Belastungsgrenzen. Danach agiert die Menschheit beim Ozonverlust in der Stratosphäre, der Versauerung der Meere und der Süßwassernutzung zurzeit noch im sicheren Handlungsraum. Beim Klimawandel, den biogeochemischen Flüssen, dem Landnutzungswandel und der Integrität der Biosphäre ist dagegen der sichere Handlungsraum bereits verlassen, hier bestehen teils erhöhte und teils hohe Risiken gravierender Folgen. Bei den neuen Substanzen und modifizierten Lebensformen (z.B. radioaktive Elemente, Schwermetalle, Chemikalien, Nanomaterialien, Mikroplastik), dem Aerosolgehalt der Atmosphäre und der Funktionalen Vielfalt (Funktionsfähigkeit der Biosphäre durch Organismen und ihre Verteilung und Eigenschaften in Ökosystemen) als einem Part der Intaktheit der Biosphäre sind die Belastbarkeitsgrenzen zurzeit noch nicht definiert.

Regionalisierter Planetare Grenzen-Radar – NRW-Beiträge zum Druck auf Belastungsgrenzen und Status der Zielerreichung von Indikatoren im Wirkungsbereich nach Steffen et al.



- Bei Fortsetzung der Entwicklung würde der Zielwert des Indikators erreicht oder um weniger als 5 % verfehlt werden
- Bei Fortsetzung der Entwicklung würde der Zielwert des Indikators um 5 % bis 20 % verfehlt werden
- Bei Fortsetzung der Entwicklung würde der Zielwert des Indikators um mehr als 20 % verfehlt werden
- Der Indikator entwickelt sich nicht in die gewünschte Richtung
- Produktionsbasierter NRW-Beitrag zu der entsprechenden planetaren Belastungsgrenze

- ¹ Anteil am Bruttostromverbrauch
- ² der landwirtschaftlich genutzten Fläche
- ³ Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche

Die NRW-Beiträge zum Druck auf die vier prekärsten Planetaren Belastungsgrenzen wurden über die globale Gleichverteilung (pro Kopf beziehungsweise pro Fläche) und die entsprechenden Kontrollvariablen ermittelt und als mintfarbene Strahlen dargestellt. Sie beziehen sich auf den produktionsbasierten Ansatz (ohne Einbeziehung von Im- und Export) und übertreffen derzeit den als Ring abgebildeten, mit den Planetaren Grenzen kompatiblen sicheren Handlungsraum um ein Vielfaches. Dazu sind innen je Wirkungsbereich einer Belastungsgrenze die Status der Zielerreichung von zwei Umwelt- beziehungsweise Nachhaltigkeitsindikatoren (deren Ziele von der amtierenden Landesregierung beschlossen wurden) visualisiert. Die Status wurden anhand der Fortführung der aktuellen Entwicklungen klassifiziert (in der Regel Trends der letzten zehn Jahre und entsprechend der Verfehlung, gemessen in Prozent (%) der Differenz zwischen Zielwert und aktuellem Wert).

Das Konzept der Planetaren Belastungsgrenzen wurde erstmals 2009 von einer internationalen Gruppe von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern veröffentlicht (Rockström et al., 2009) und 2015 umfassend aktualisiert (Steffen et al., 2015). Es hat sich seither als Orientierungsrahmen für Nachhaltigkeitspolitik als sehr einflussreich erwiesen. So lieferte es eine Grundlage für die Umweltdimensionen der Nachhaltigen Entwicklungsziele (Englisch: Sustainable Development Goals, kurz SDGs) der Vereinten Nationen, und es beeinflusste das Umweltaktionsprogramm

der Europäischen Union sowie in Deutschland die nationalen Strategien für Nachhaltigkeit, Klima- und Umweltschutz.

Neun Planetare Belastungsgrenzen wurden für den Zustand der Erde als Ganzes bestimmt (Abb. 01, Tab. 01). Sie adressieren den Klimawandel, die Integrität der Biosphäre, den Landnutzungswandel, die Süßwassernutzung, biogeochemische Flüsse, die Versauerung der Meere, den Aerosolgehalt der Atmosphäre, den Ozonverlust in der Stratosphäre und neue Substanzen und modifizierte Lebensformen im

Tab. 01

Erdsystemprozesse, Planetare Grenzen und Status der vier prekärsten Sektoren nach Steffen et al.

Erdsystemprozess	Indikator	Planetare Grenze [mit Unsicherheitsbereich]	Status im Jahr 2015
Klimawandel	a) Atmosphärische CO ₂ -Konzentration	350[–450] ppm	396,5 ppm
	b) Energiebilanz am Rand der Atmosphäre	Änderung des Strahlungsantriebs gegenüber vorindustriellem Wert: < 1,0[–1,5] W/m ²	2,3 W/m ²
Biogeochemische Flüsse (Phosphor, Stickstoff)	a) Phosphor-Kreislauf: global: Phosphor-Eintrag von Flüssen in den Ozean; regional: Phosphor-Eintrag in erodierbare Böden	Global: 11[–100] Tg/Jahr; regional: 6,2[–1,2] Tg/Jahr auf erodierbare Böden aufgebracht	≈ 22 Tg Phosphor / Jahr
	b) Nitrat-Kreislauf: global: industrielle und biologische Nitrat-Fixierung	62[–82] Tg Nitrat / Jahr	≈ 150 Tg Nitrat / Jahr
Landnutzungswandel	Global und regional: Waldfläche in % der ursprünglichen Fläche	75[–54] % als Mittel dreier Biom-spezifischer Grenzen: Regenwald 85[–60] %, Wälder gemäßigter Breiten 50[–30] %, boreale Wälder 85[–60] %	62 %
Verlust der Integrität der Biosphäre	a) Genetische Vielfalt	< 10[–100], idealerweise ≈ 1 Extinktionen pro 1 Million Spezies und Jahr	100–1.000 Extinktionen pro 1 Million Spezies und Jahr
	b) Funktionale Vielfalt	„Biodiversity Intactness Index“ 90[–30] %, für Großregionen (Biome) oder funktionelle Großgruppen	? (84 % in Südafrika)

Erdsystem. Die jeweiligen Belastungsgrenzen sprechen vereinfacht drei zentrale Bereiche an, in welchen das Ausmaß menschlicher Eingriffe die globale Umwelt grundsätzlich verändert: Klimawandel, Abnahme der Integrität der Biosphäre und Eintrag von gesundheits- und umweltschädlichen Substanzen in die Umwelt. Alle Belastungsgrenzen stehen miteinander in Zusammenhang und beschreiben gemeinsam den Gesamtzustand der Erde. Die Referenz für die einzuhaltenden Grenzen der Veränderung ist, insofern dies möglich ist, der Zustand der Erde, wie er seit dem Ende der letzten Eiszeit vor fast 12.000 Jahren bis in die vorindustrielle Zeit bestand. In dieser Periode des Holozäns erlebte unser Planet aus astronomischen Gründen einen ungewöhnlich stabilen und lang anhaltenden Zustand mit nur geringen Veränderungen des Klimas und auch, von natürlichen Fluktuationen abgesehen, der Biosphäre. In dieser günstigen Periode wurde die Landwirtschaft entwickelt, bildeten sich Zivilisationen und Staaten, und zuletzt erwuchs die moderne Welt mit globalem Handel, Industrie, Technologie und Digitalisierung.

Lange Zeit hat die Erde dem dabei nach und nach wachsenden Druck der menschlichen Nutzung widerstanden. Ihr Zustand wurde trotz großer Veränderungen in einzelnen Regionen auf der planetaren Ebene vom Menschen nicht tiefgreifend verändert. Seit einigen Jahrzehnten jedoch hat die Nutzung beziehungsweise Übernutzung ein Ausmaß erreicht, auf welches die Erde mit tiefgreifenden Veränderungen reagiert. Das Klima hat begonnen, sich global zu verändern. Trotz vieler Fortschritte in der Bekämpfung der klassischen Umweltverschmutzung besteht nach wie vor eine bedeutende Vergiftung und Vermüllung der Umwelt. Und auch die Abholzung von Wäldern, die industrielle Landwirtschaft und der generelle Rückgang von Lebensräumen für Flora und Fauna durch Flächenneuinanspruchnahme führen zu einer erheblich abnehmenden Qualität der ökologischen Lebensgrundlagen.

Die Folgen dieser Entwicklungen sind bereits klar nachweisbar. Sie spiegeln sich zum Beispiel in vermehrten extremen Wetterlagen, steigendem Meeresspiegel, der Problematik

des Plastiks in den Weltmeeren, im Insektensterben und im Verlust von Artenvielfalt (vgl. IPCC, 2021, IPBES, 2019). Diese große Besorgnis erregenden Beobachtungen sollen die Erfolge einer engagierten Umweltpolitik in den vergangenen Jahrzehnten nicht schmälern. Diese haben die Situation verbessert, aber zu keiner grundsätzlichen Wende geführt. Heute haben wir es mit tiefgreifenden strukturellen Herausforderungen zu tun, welche gängige Konzepte der industriellen Zivilisation nach bisheriger, sehr energie- und ressourcenintensiver Verfahrensweise infrage stellen. Die Menschheit steht an einer Weggabelung mit der vielleicht letzten guten Möglichkeit, einen alternativen Weg einzuschlagen, da die Prozesse der planetaren Veränderung erst am Anfang stehen: Sie beginnen allmählich, aber je größer die Destabilisierung der planetaren Teilsysteme der Erde erfolgt, desto rascher addieren sie sich zu einer Destabilisierung des gesamten, historisch gewohnten Zustands des Erdsystems.

Herausforderungen wie die Stabilisierung der Erde sollten nicht als Hemmnisse betrachtet, sondern als Auslöser von Innovation und Entwicklung angesehen werden.

Dabei spielen mehrere Formen der Veränderung eine Rolle: Neben der allmählichen Verschiebung der gewohnten mittleren

Werte des Umweltzustands sind Veränderungen der räumlichen und zeitlichen Struktur von Strömungen in Atmosphäre und Ozean, Veränderungen in der Variabilität der Umweltphänomene und Veränderungen in den komplexen ökologischen Netzwerken der Erde von besonderer Bedeutung. Hierbei stellen sogenannte Kippunkte im Erdsystem eine besondere Gefahr dar (vgl. Lenton et al., 2008, Lenton et al., 2019). Aus der Erdgeschichte und wissenschaftlichen Untersuchungen ist bekannt, dass wichtige Teilsysteme der Erde wie die Eismassen der Arktis und der Antarktis, die Waldsysteme des Amazonas und des hohen Nordens in Kanada und Sibirien sowie Phänomene wie der indische und der westafrikanische Monsun mit ihren Regenfällen bei der Überschreitung bestimmter Schwellenwerte der Klimaerwärmung in einen anderen Zustand überwechseln können, in dem sie sehr andere Eigenschaften als heute hätten. Dies hätte gewaltige Folgen und tritt, wenn es geschieht, ohne viel Vorwarnung ein, sobald der Schwellenwert überschritten wird. Die Veränderung ist dabei sehr oft nicht umkehrbar, es gibt keinen Weg zurück.



Deshalb muss es ein vorrangiges Ziel der Umweltpolitik sein, eine Überschreitung solcher Schwellenwerte und damit ein Kippen der betreffenden Teilsysteme der Erde so weit wie noch möglich zu vermeiden. Aufgrund der Komplexität der beteiligten Vorgänge sind diese auslösenden Werte oft nicht ganz genau bekannt. Daher greift wie in vielen anderen Bereichen der öffentlichen Daseinsfürsorge das Vorsorgeprinzip: Wo Unsicherheit besteht und große Folgen drohen, ist hinreichender Abstand zu halten, sodass das Risiko in einem noch vertretbaren, weitgehend sicheren Bereich liegt (vgl. SRU, 2019). Eine Vermeidung der großen Kippunkte im Klimasystem ist eine zivilisatorische Aufgabe von herausragender Bedeutung und fordert zu Innovation und kreativen Antworten der Gesellschaften heraus.

Klar ist: Die sich entwickelnde globale Klima- und Umweltkrise ist eine Menschheitsaufgabe und die Weiterentwicklung der derzeitigen Industriegesellschaften in sozial, ökologisch und ökonomisch nachhaltige Gesellschaften eine zivilisatorische Zentralaufgabe.

Die Erde, und mit ihr die Menschheit, steht heute somit an einem Scheidepunkt, der mit Recht epochal genannt werden

kann. Entweder kann eine zwar veränderte, aber noch erkennbar dem heutigen Zustand entsprechende Erde erhalten werden oder dies gelingt nicht und die Erde entwickelt sich in einen Zustand hinein, welchen nicht nur keine Zivilisation der Geschichte je erlebt hat, sondern auch der Mensch als Spezies nicht. In beiden Fällen befände sich die Erde in einer vom Menschen dominierten Periode ihrer Entwicklung, dem Anthropozän, in welchem die Menschheit einen Einfluss auf das Erdsystem hat, welcher mit den großen geologischen Kräften der Erdgeschichte zu vergleichen ist.

Im Falle einer stabilisierten Erde würde der lenkende Einfluss der Menschheit auf planetare Prozesse zur Einhaltung der Planetaren Belastungsgrenzen genutzt. Die Stabilität des Erdsystems würde als bindender Faktor in die internationale sozioökonomische Entwicklung einbezogen, wie es die weiterentwickelte Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie an verschiedenen Stellen formuliert. Im Falle einer Fortsetzung der derzeitigen, oft nicht nachhaltigen Entwicklung würde der natürliche Zustand der Erde hingegen destabilisiert. Sie würde sich in den nächsten Jahrzehnten in einen Zustand entwickeln, welchen der Sachverständigenrat für



Umweltfragen der Bundesregierung als „Verwüstungsanthropozän“ (vgl. SRU, 2019) bezeichnet hat. Das Klima wäre das einer „Heißzeit-Erde“ mit stark veränderten Strömungsmustern in Atmosphäre und Ozean und entsprechend disruptiven Auswirkungen auf die Ökosysteme der Erde. Die Biosphäre würde unter der Last von Übernutzung und Stoffeinträgen funktional und genetisch so stark degradiert, dass ihre selbstregulierenden Funktionen teilweise verloren gingen. Die Konsequenz für die Menschheit wäre, dass die Möglichkeit, geopolitische Sicherheit, nachhaltige gesellschaftliche Entwicklung und eine lebenswerte Umwelt sicherzustellen, zunehmend verloren ginge, und zwar langfristig. Schon ein substanzielles Risiko für eine solche Entwicklung muss ausgeschlossen werden – denn ist der destabilisierende Pfad erst einmal eingeschlagen, führt in wichtigen Dimensionen kein Weg mehr zurück.

Knapp 20, 30 Jahre, so wenig Zeit verbleibt bis 2040 beziehungsweise 2050. In diesem Zeitraum wird sich im Wesentlichen entschieden haben, ob die Menschheit insgesamt die sich dramatisch verändernde Erde stabilisiert haben wird oder sich weiterhin auf dem Weg in ein Verwüstungsanthropozän befinden wird. 20 oder 30 Jahre erscheint im Ver-

gleich zu einer Legislaturperiode wie eine lange Zeit. Jedoch entspricht sie maximal einem Drittel einer Lebensspanne. Sie entspricht der typischen Lebensdauer großer Infrastrukturen. Und 30 Jahre sind bereits vergleichsweise tatenlos vergangen, seitdem die Veränderungen des Erdsystems auch in den Messergebnissen sichtbar wurden.

Aber Gesellschaften wachsen an ihren Herausforderungen. Herausforderungen wie die Stabilisierung der Erde sollten nicht als Hemmnisse betrachtet, sondern als Auslöser von Innovation und Entwicklung angesehen werden. Betrachten wir also nachfolgend die Umweltsituation in NRW in einigen ausgewählten Bereichen im Kontext der Planetaren Belastungsgrenzen, welche über den landesweiten sehr wichtigen Umweltschutz hinaus einen aus globaler Sicht notwendigen Bezugsrahmen für künftige integrierte Umweltpolitik darstellen.

PLANETARE BELASTUNGSGRENZEN UND NORDRHEIN- WESTFALEN



Jede Weltregion trägt auf ihre Weise zur derzeitigen Belastung des Erdsystems bei und kann daher umgekehrt zu einer Stabilisierung der Erde als Grundlage für nachhaltige Entwicklung beitragen. Ein Land wie NRW trägt auf dem eigenen Territorium zu Umweltveränderungen, zum Beispiel zum Klimawandel durch Emission von Treibhausgasen, bei.

Darüber hinaus reichen die von NRW bewirkten Umweltveränderungen durch Import und Export weit über die Landesgrenzen hinaus, NRW bewirkt einen globalen Fußabdruck durch Belastung der Umwelt an den genutzten Produktionsstandorten. Außerdem wirkt NRW durch seine wirtschaftliche und gesellschaftliche Verfahrensweise auf andere Akteure ein und kann durch Vorbildfunktion und Zusammenarbeit die Praxis in

anderen Weltregionen positiv beeinflussen. „In“, „durch“ und „mit“ NRW sind daher relevante Kategorien. Das Bundesverfassungsgericht hat in seinem Beschluss zum Klimaschutz betont: „Der nationalen Klimaschutzverpflichtung steht nicht entgegen, dass der globale

Charakter von Klima und Erderwärmung eine Lösung der Probleme des Klimawandels durch einen Staat allein ausschließt.“ Entsprechendes gilt auf subnationaler Ebene auch für NRW.

Der Fokus in diesem Aufsatz auf Planetare Belastungsgrenzen und die Herausforderungen des Anthropozäns sollte nicht so verstanden werden, dass das etablierte System von Umweltindikatoren auf diese planetare Dimension hin ausgerichtet oder an diese angeglichen werden sollte. Denn es gibt gute Gründe für die sehr wichtigen Ziele des Umweltschutzes in einem Bundesland, welche keinen Bezug zur planetaren Dimension haben, und es wäre auch unsinnig, etablierte Verfahrensweisen leichtfertig hinter sich zu lassen. Die Basis für die umweltliche Bewertung NRWs bleibt also das bestehende, laufend fortentwickelte Set an Umweltindikatoren und -zielen (www.umweltindikatoren.nrw.de).

Außerdem wirkt NRW durch seine wirtschaftliche und gesellschaftliche Verfahrensweise auf andere Akteure ein und kann durch Vorbildfunktion und Zusammenarbeit die Praxis in anderen Weltregionen positiv beeinflussen.

Dies wirft jedoch die Frage auf: In welchem Verhältnis stehen diese zu den Planetaren Belastungsgrenzen? Welche Ziele müsste NRW sich setzen, um seinem angemessenen Beitrag zur Einhaltung der Planetaren Belastungsgrenzen gerecht zu werden? Leider ist eine direkte Umrechnung der planetaren Dimension auf regionale Anteile weder einfach noch immer sinnvoll. Die Planetaren Belastungsgrenzen betreffen das gesamte Erdsystem und sind in diesem Sinne nicht teilbar. Wo sie auf Anteile nach Territorium oder Bevölkerungszahl aufteilbar sind, stellen sich normative Fragen der anzuwendenden Verteilungsgerechtigkeit. Schon bei der Aufteilung eines globalen Emissionsbudgets auf Nationen besteht, obwohl ein vergleichsweise gut erfassbares Problem, international erhebliche Uneinigkeit über die anzuwendenden Verteilungsprinzipien.

Obwohl es Versuche gibt, planetare Anteile auf „planetare Quoten“, welche sich auf Produktionseinheiten, Konsumeinheiten, Territorien oder Personengruppen beziehen lassen, herunterzurechnen, sind diese derzeit nicht operationalisiert (vgl. Meyer & Newman, 2018). Ein sol-

ches Verfahren wäre aber für eine bessere Quantifizierung der umweltlichen Dimension in den Nachhaltigen Entwicklungszielen sehr hilfreich und daher für die kommenden Jahre ein großes Desiderat für die Forschungsförderung. Es gibt einen entsprechenden Diskussionsprozess, wissenschaftsbasierte Entwicklungsleitlinien und -ziele zu formulieren. Diese Bemühungen stehen aber größtenteils noch am Anfang, weil die benötigten Analyseinstrumente sich noch im Aufbau befinden. Der Schritt von der etablierten Klimaforschung zu einer vieldimensionalen Erdsystemforschung ist noch nicht mit der nötigen operationellen Tiefe erfolgt.

In Anbetracht wohl etablierter Systeme der Umweltzustandserfassung in Regionen wie NRW kann es daher nicht das Ziel sein, Planetare Belastungsgrenzen direkt für ein Land wie NRW auszuwerten. Vielmehr ist es das Ziel, umsichtig eine Resonanz herzustellen zwischen



diesen beiden diskursiven Bereichen: jenem, der das ganze Erdsystem betrifft, und jenem, welcher in einer Region aus guten Gründen bereits etabliert ist. Dies gelingt für einige der planetaren Dimensionen besser als für andere. Es erfordert einen wechselseitigen Übersetzungsvorgang: Zum einen müssen in einem Land definierte Umweltziele im Kontext der Planetaren Belastungsgrenzen eingeordnet werden können und damit verständlich bleiben; zum anderen müssen die Planetaren Belastungsgrenzen eine Bedeutung im Kontext der regional gültigen Umweltqualitätsziele erlangen. Sowohl regionales Umweltmonitoring als auch eine Betrachtung des planetaren Gesamtzustandes sollte im jeweils anderen Kontext bedeutungsvoll bleiben.

Eine solche Übersetzungsarbeit zwischen Planetaren Belastungsgrenzen und ausgewählten Umweltdimensionen in NRW soll hier vertieft andiskutiert werden. Es handelt sich bei dieser Studie um eine Betrachtung möglicher Analysen und Herangehensweisen, die angesichts der planetaren Herausforderungen und mit Blick auf die aktuellen Umweltentwicklungen auch in NRW den erforderlichen Wandel unterstützen können. In diesem Sinne möchte dieser Aufsatz zu einem notwendigen Denk-, Diskurs- und Umsetzungsprozess anregen.

Der Beitrag fokussiert nachfolgend auf die vier auch für NRW prekären, da global bereits überschrittenen Dimensionen der Planetaren Belastungsgrenzen: den Klimawandel, die biogeochemischen Flüsse des Stickstoffs, den Landnutzungswandel und die Biodiversität. Zunächst werden einschlägige Umweltindikatoren im Wirkungsbereich der jeweiligen Planetaren Belastungsgrenzen in Bezug auf die aktuelle Lage und die Entwicklung zu den entsprechenden Umweltzielen betrachtet. Anschließend wird der Beitrag, den NRW zu dem Druck auf die Planetaren Belastungsgrenzen liefert, global eingeordnet und diskutiert.

Hierbei wird zunächst betrachtet, welchen Druck das Wirtschaften und Handeln NRWs innerhalb des eigenen Territoriums auf die Planetaren Belastungsgrenzen ausübt: Was passiert vor Ort und wie lässt sich dies in Bezug auf die globale Verantwortung einordnen? Beim sogenannten produktionsbasierten Ansatz wird der Einfluss auf der Aufkommenseite betrachtet, auch wenn das Produkt oder die Dienstleistung exportiert wird. Entstehen beispielsweise bei der Wurstproduktion Treibhausgase und Stickstoffeinträge auf nordrhein-westfälischem Boden, werden diese im produktionsbasierten Ansatz für NRW verrechnet, selbst wenn die Wurst am Ende in Frankreich konsumiert



wird. Hier wird also die Belastung innerhalb des Landes sowie die globale Verantwortung des Produzenten in den Fokus genommen.

Doch in einer globalisierten Welt ist es außerdem notwendig, auch durch Importe bewirkte Einflüsse auf das Klima, Landressourcen, Stickstoffeinträge sowie die Biodiversität in anderen Regionen der Welt zu berücksichtigen. Der konsumbasierte Ansatz bezieht sich auf ökologische Auswirkungen, die einem Land aufgrund des Verbrauchs von selbst produzierten oder importierten Produkten beziehungsweise Dienstleistungen zuzurechnen sind. So werden bei dieser Herangehensweise zum Beispiel Waldrodungen für Palmölplantagen in Malaysia entsprechend den Endverbrauchern von palmöhlhaltigen Kosmetikartikeln (also anteilig auch NRW) angerechnet.

Die Berechnung der konsumbasierten Umweltauswirkungen würde jedoch eine weitreichende Erfassung von Produktionsbedingungen und Warenströmen erfordern, welche hier nicht geleistet werden kann. Zur Veranschaulichung des konsumbasierten Ansatzes verweisen wir daher auf andere Studien, die eine grobe Einordnung des Drucks durch den Konsum ermöglichen.

PLANETARE
BELASTUNGSGRENZE
KLIMAWANDEL UND
LANDESBEZÜGE



Die erhöhte Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre ist fast vollständig auf menschliche Aktivität zurückzuführen und verursacht Klimaänderungen, mit denen wir unter anderem durch die steigende Häufigkeit, Intensität und Dauer von Extremereignissen wie Starkniederschlägen, Dürren und Hitzewellen sowie ökologischen Störungen konfrontiert werden (vgl. IPCC, 2021). Gleichzeitig nähern wir uns mit anhaltend hohen Treibhausgasemissionen immer mehr Kipppunkten im Erdsystem, also der Möglichkeit des Kippens vom stabilen System in einen anderen Zustand, gar in eine „Heißzeit“ oder ein „Verwüstungsanthropozän“ (vgl. Steffen et al., 2018, SRU, 2019).

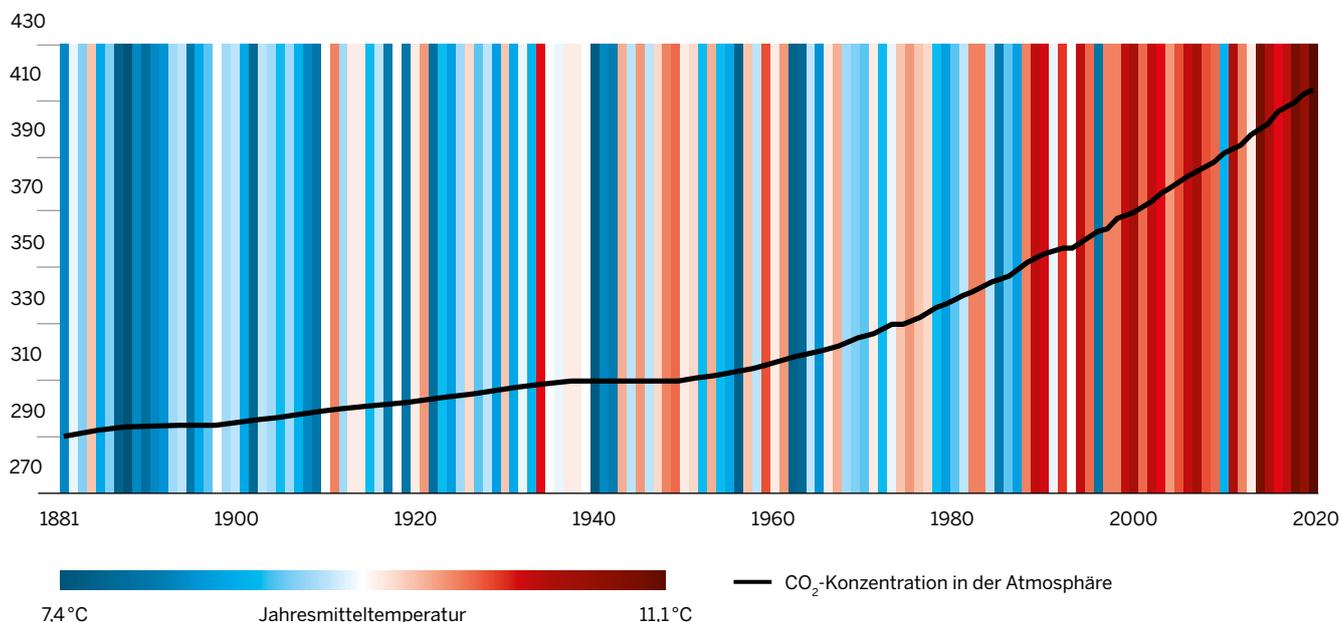
Die globalen Trends der Klimaänderungen bekommen die Menschen aber auch vor Ort ganz konkret zu spüren. Das Jahr 2020 war in Deutschland mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,4 Grad Celsius (°C) das zweitwärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen 1881. Geringfügig wärmer war es nur 2018 mit 10,5 °C gewesen, 2019 verzeichnete mit 10,3 °C die dritthöchste Jahresmitteltemperatur. Auch verliefen diese Jahre in weiten Teilen Deutschlands zu trocken und mit mehr Sonnenschein als üblich (vgl. DWD, 2020). Eine der Ursachen war hier ein besonderer Zustand der sogenannten planetaren Wellen in der Atmosphäre, welche das Wetter bei uns stark beeinflussen. Die derzeit zunehmende Häufigkeit und Dauer solcher Ereignisse steht mit der einsetzenden Klimaerwärmung vermutlich in einem Zusammenhang (vgl. Kornhuber et al., 2019).

Abb. 03

NRW-Umweltindikator Warming Stripes und globale Kohlendioxidkonzentration

(Quellen: ESRL, DWD, NASA)

Kohlendioxidkonzentration in parts per million



Abgebildet sind die NRW-Jahresmitteltemperaturen seit Beobachtungsbeginn im Jahr 1881 nach Hawkins mit bipolarer sequenzieller Farbskala, Wertebereich 7,4 °C (tiefblau, Jahr 1888) bis 11,1 °C (tiefrot, Jahr 2020). Hinterlegt ist die für den Treibhauseffekt wesentliche CO₂-Konzentration der globalen Atmosphäre, um den Zusammenhang von Temperatur und CO₂-Konzentration zu verdeutlichen (bestimmt aus antarktischen Eisbohrkernen beziehungsweise gemessen auf Mauna Loa). Im Jahr 2020 lag die globale CO₂-Konzentration im Mittel bei 412,5 ppm. Die Jahresmitteltemperaturen und CO₂-Konzentrationen steigen statistisch signifikant.

In NRW waren im Jahr 2020 fast alle Monate gekennzeichnet durch zu viel Wärme, Trockenheit und Sonne. Im Frühjahr brachen zahlreiche Waldbrände aus, zum Beispiel im April bei Gummersbach, bei dem 75 Hektar Wald vernichtet wurden. An insgesamt zwölf Tagen stieg das Thermometer auf über 30 °C, und mit 11,1 °C gab es eine neue Rekordjahresmitteltemperatur (Abb. 03, vgl. LANUV, 2020, DWD, 2020). Im Jahr 2019 wurden aufgrund von Sturmtiefs und eines Tornados mehrere Tote und Verletzte beklagt, Dutzende Häuser beschädigt sowie zahlreiche Karnevalszüge am Rosenmontag abgesagt. Ende Juli 2019 wurden in NRW verbreitet absolute Rekordtemperaturen gemessen, teils

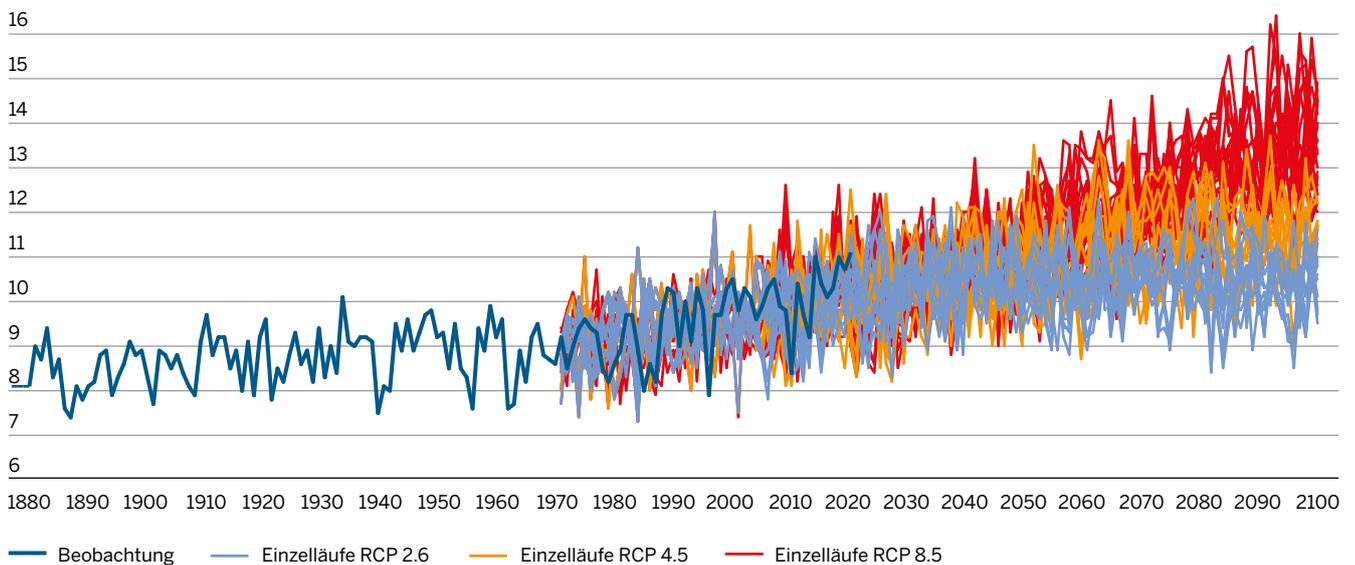
sogar an mehreren Tagen in Folge, die wärmsten Orte waren Duisburg-Baerl und Tönisvorst westlich von Krefeld mit 41,2 °C (vgl. DWD, 2019). Auch das Jahr 2018 brachte in NRW einen Dürre- und Hitzesommer mit millionenschweren Ernteaussfällen in der Landwirtschaft, außergewöhnlich vielen Waldbränden und dem stärksten Borkenkäferbefall seit Jahrzehnten. Im Herbst fielen historische Rekorde bei den Rheinpegelniedrigständen. Infolgedessen mussten Kraftwerke ihre Stromproduktion drosseln, weil Kühlwasser fehlte, und Schlüsselindustrien ihre Produktion zurückfahren oder Tankstellen den Verkauf von Kraftstoff zeitweise einstellen, da die Binnenschiffe nur noch einen Bruchteil ihrer

Abb. 04

Beobachtete und projizierte mittlere NRW-Jahreslufttemperatur 1881 bis 2100

(Quelle: DWD)

Grad Celsius



Im 30-Jahres-Zeitraum 1881 bis 1910 lag die Jahresmitteltemperatur NRWs bei 8,4 °C. Im Zeitraum 1991 bis 2020 lag sie mit 10,0 °C um 1,6 °C höher. Eine Trendberechnung über den Zeitraum 1881 bis 2020 ergibt einen signifikanten Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1,7 °C. Nach den 21 projizierten Einzelläufen des „Weiter wie bisher“-Szenarios RCP 8.5 ist für den 30-Jahres-Zeitraum 2071 bis 2100 mit einer mittleren Jahreslufttemperatur von etwa 12,0 bis 13,9 °C zu rechnen, nach den 12 Einzelläufen des „Stabilisierungsszenarios“ RCP 4.5 mit einer von etwa 10,4 bis 12,3 °C. Die 11 Einzelläufe des weitgehend mit dem Übereinkommen von Paris 2015 konformen Klimaschutzszenarios RCP 2.6 lassen dagegen auf eine mittlere Jahreslufttemperatur von etwa 9,7 bis 11,1 °C für die letzten 3 Dekaden des 21. Jahrhunderts schließen (jeweils mittlere 70 % der Modellensembles).

Ladekapazität nutzen konnten. Wenn sich die Treibhausgasemissionen weltweit weiter so entwickeln wie bisher, dann wären solche Bedingungen in NRW in wenigen Jahrzehnten keine Ausnahme mehr, sondern der Normalfall.

Nun empfiehlt sich bei der Einordnung von Wetterereignissen einzelner Jahre eine gewisse Zurückhaltung, wenngleich die Evidenz rasch wächst, dass sie immer häufiger mit den langfristigen Erwärmungstrends zusammenhängen. Unstrittig ist in jedem Fall, dass sich auch hierzulande längerfristig die zunehmende Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auswirkt, da spricht das nordrhein-westfälische Kli-

mafolgenmonitoring eine klare Sprache (www.kfm.nrw.de). So stieg die mittlere Jahreslufttemperatur NRWs im linearen Trend seit Beginn der Wetteraufzeichnungen im Jahr 1881 um 1,7°C. Ein enormer Anstieg in relativ kurzer Zeit, wenn man zum Beispiel bedenkt, dass bereits Zehntelgrade bei der mittleren Jahreslufttemperatur entscheidend sind für einen gesunden Wuchs der heimischen Pflanzen. Für NRW gerechnete Temperaturprojektionen (Datengrundlage siehe Brienens et al. [2020]) zeigen auf Basis repräsentativer Konzentrationspfade (Englisch: Representative Concentration Pathways, kurz RCPs) des Weltklimarates IPCC, dass hier ein weiterer Anstieg der Temperatur praktisch

Tab. 02

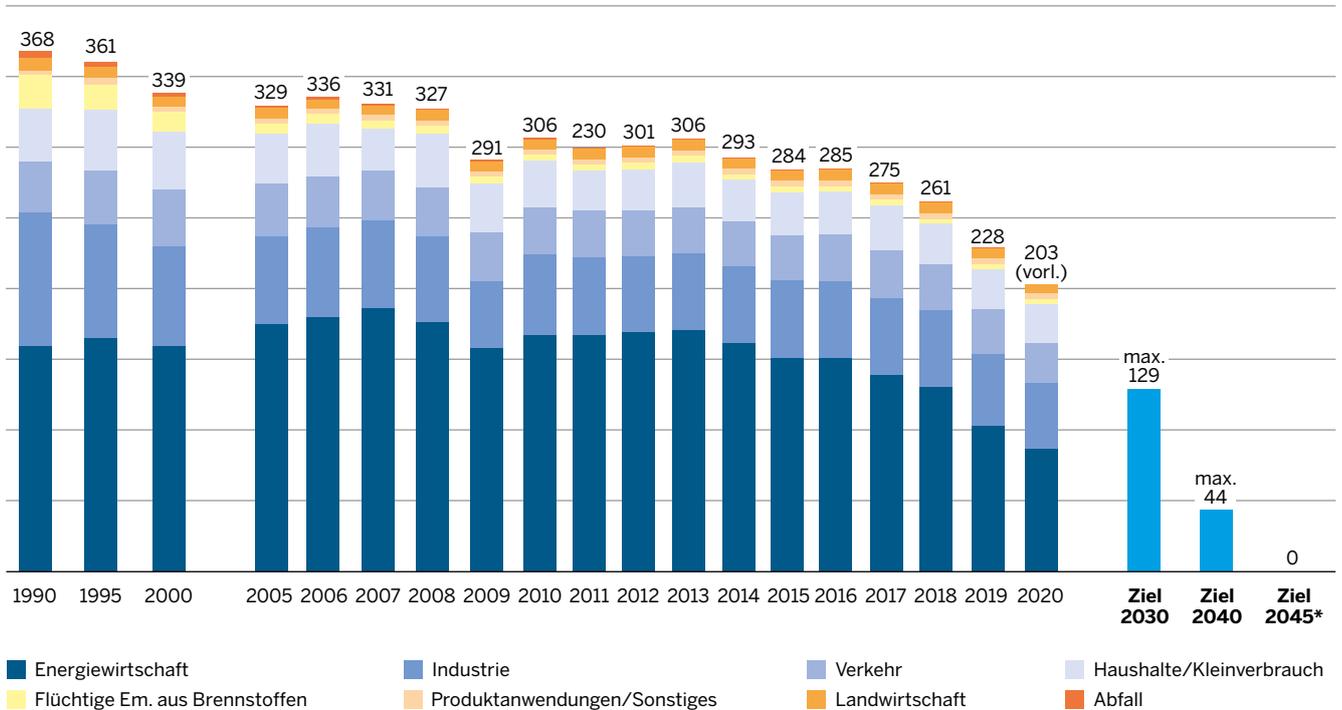
RCP-Szenarien 2.6, 4.5 und 8.5 aus dem Fünften Sachstandsbericht des Weltklimarats IPCC

Szenario	Treibhausgaskonzentrationen	Erläuterung
RCP 2.6 mit einem relativ niedrigen Strahlungsantrieb von 2,6 W/m ²	475 ppm atmosphärische Treibhausgaskonzentration, Emissionsmaximum im Jahr 2020, danach Rückgang	Klimaschutzszenario („peak and decline“-Szenario), sehr ambitionierte Reduktion des Treibhausgasausstoßes
RCP 4.5 mit 4,5 W/m ² Strahlungsantrieb	630 ppm atmosphärische Treibhausgaskonzentration, Maximum im Jahr 2100	Stabilisierungsszenario mit einem mittleren Strahlungsantrieb
RCP 8.5 mit einem sehr hohen Strahlungsantrieb von 8,5 W/m ²	1.313 ppm atmosphärische Treibhausgaskonzentration, Maximum im Jahr 2100 noch nicht erreicht	Hohe Treibhausgasemissionen („Weiter wie bisher“-Szenario), auf fossilen Energieträgern beruhendes Wirtschaftswachstum wie bisher

NRW-Umweltindikator Treibhausgasemissionen

(Quelle: LANUV)

Millionen Tonnen Kohlendioxidäquivalente



* Treibhausneutralität

Im Jahr 2019 wurden 228,5 Mt klimaschädliche Treibhausgase ausgestoßen. Der vorläufige Wert für 2020 beträgt etwa 203,5 Mt CO₂-Äquivalente, rund 11 % weniger gegenüber dem Vorjahr. Der starke Rückgang ist zurückzuführen auf eine reduzierte Kohleverstromung, die Stilllegung großer Kraftwerke sowie eine geringere Auslastung der Kohlekraftwerke, insbesondere durch den Rückgang des Bruttostromverbrauchs wegen des COVID-19-Lockdowns. Es sind weitere große Anstrengungen nötig, um die im novellierten Klimaschutzgesetz NRW formulierten Ziele zu erreichen, nämlich die Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 65 % und bis 2040 um mindestens 88 % gegenüber denen im Bezugsjahr 1990 zu mindern sowie bis spätestens 2045 die Treibhausgasneutralität zu schaffen.

sicher ist (Abb. 04, Tab. 02, vgl. MULNV, 2021). Nach Projektionen für das „Weiter wie bisher“-Szenario RCP 8.5 ist im Zeitraum 2071 bis 2100 mit einer mittleren Jahreslufttemperatur von etwa 12,0 bis 13,9 °C zu rechnen, einhergehend mit etwa 9 bis 35 heißen Tagen pro Jahr (mit einer maximalen Lufttemperatur von wenigstens 30 °C, im Hitzesommer 2018 gab es in NRW 18 solcher Tage). Das Klimaschutzszenario RCP 2.6 würde dagegen eine mittlere Jahreslufttemperatur von etwa 9,7 bis 11,1 °C für die letzten 3 Dekaden des Jahrhunderts bei etwa 2 bis 16 heißen Tagen pro Jahr bedeuten.

Um die Klimaauswirkungen möglichst gering zu halten, müssen die Treibhausgasemissionen global und somit auch in NRW innerhalb der nächsten beiden Jahrzehnte

auf netto null gesenkt werden. In NRW wurden im Jahr 2019 bei einem rückläufigen Trend allerdings noch 228,5 Megatonnen (Mt) Treibhausgase emittiert (in CO₂-Äquivalenten, Abb. 05). 93 % entfielen auf Kohlendioxid (CO₂), der Rest bestand aus Methan, Lachgas und synthetischen Gasen (vgl. Filz & Hoppe, 2021). Umgerechnet entspricht das etwa 12,7 t CO₂-Äquivalenten pro Kopf allein in dem Jahr. Damit lag die Emissionsrate des Landes deutlich über dem Bundesmittel (9,7 t CO₂-Äquivalente pro Kopf) und dem Wert der meisten europäischen Länder (zum Beispiel 6,5 t CO₂-Äquivalente pro Kopf in Frankreich und 7,6 t CO₂-Äquivalente pro Kopf in Dänemark [vgl. EEA, 2021]) – eine Folge des Status von NRW als Industriestandort mit weit überregionaler Bedeutung, daher aber auch überregionaler Verantwortung.

Für das Jahr 2020 sank der vorläufige Gesamtwert des NRW-Treibhausgas-Emissionsinventars auf 203,5 Mt CO₂-Äquivalente bzw. etwa 11,4 t pro Kopf. Das entspricht einer Minderung der Emissionen gegenüber dem Vorjahr um etwa 13 % und gegenüber dem Referenzjahr 1990 um etwa 38 %. Die Gründe sind unter anderem eine reduzierte Kohleverstromung, die auch ein Ergebnis der Reform des europäischen Emissionshandels ist, die zu höheren CO₂-Preisen führte, die Stilllegung großer Kraftwerke wie die des Steinkohlekraftwerks in Lünen und des Heizkraftwerks in Wuppertal-Elberfeld sowie eine geringere Auslastung der Kohlekraftwerke, insbesondere durch den Rückgang des Bruttostromverbrauchs wegen des Sondereffektes durch den Corona-Lockdown (vgl. Filz & Hoppe, 2021, UBA, 2021).

Nach dem bereits mehrfach erwähnten Bundesverfassungsgerichtsurteil folgte der Landtag den kürzlich verschärften Klimaschutzvorgaben des Bundes und novellierte das Klimaschutzgesetz NRW am 1. Juli 2021. Als Zwischenziele werden

nunmehr Treibhausgasreduktionen von mindestens 65 % bis 2030 und 88 % bis 2040 gegenüber dem Referenzjahr 1990 sowie eine Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 angestrebt. Sollte der derzeitige Trend der aktuellen Entwicklung (2011 bis 2020) trotz des temporären Sondereffektes durch COVID-19 umfassend fortgesetzt werden, könnten rechnerisch gesehen das Minderungsziel von mindestens 65 % etwa im Jahr 2029, das Minderungsziel von mindestens 88 % etwa im Jahr 2037 und die Treibhausgasneutralität etwa im Jahr 2041 erreicht werden (Abb. 02). Dies würde neben einer konsequenten Fortsetzung der Emissionsminderungen im Stromsektor jedoch entsprechende Reduktionen in den anderen emittierenden Sektoren wie Verkehr, Gebäudewärme und Landwirtschaft voraussetzen.

Der mit Abstand größte Emittent von Treibhausgasen ist in NRW die Energiewirtschaft, gefolgt von den Sektoren Industrie und Verkehr. Ein entscheidender Schlüssel, um die Klimaschutzziele zu erreichen, ist daher die Wende hin zu den Erneuerbaren Energien. Windenergie, Solarenergie, Biomasse (in sorgfältig begrenztem Umfang), Erdwärme

und Wasserkraft sind – anders als die fossilen Energieträger Erdöl, Erdgas, Braun- und Steinkohle sowie Uranerz – vergleichsweise sauber und basieren nicht, mit der Ausnahme der benötigten Landfläche, in gleichem Maße auf kritisch begrenzten Ressourcen. Aktuell liegen jedoch die hiesigen Anteile der Erneuerbaren Energien beim Bruttostromverbrauch mit 14,2 % und beim Primärenergieverbrauch mit 5,4 % trotz steigenden Trends noch auf vergleichsweise niedrigem Niveau (Abb. 06).

NRW, das sich auch „EnergieLand Nummer eins“ nennt, muss diese Anteile also mächtig steigern, damit Deutschland seine Ziele im Hinblick auf die Erneuerbaren Energien und seine Treibhausgasemissions-Minderungsziele erreichen kann. Die nordrhein-westfälische Landesregierung hat das Ziel, einen „substanziellen Beitrag zum Bundes-

ziel von 65 % Anteil der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch in 2030“ zu leisten. Interpretiert man dies als eine Steigerungsverpflichtung NRWs von ebenfalls mindestens 65 % gemäß einer Gleichverteilung der Bemühungen auf alle

Länder – obwohl ein „substanzieller“ Anteil sicherlich mehr als das Mittel bedeuten sollte – spricht der aktuelle Trend für eine klare Verfehlung dieses Ziels (Abb. 02). Nochmals ambitionierter müsste der Ausbaupfad jedoch ausfallen, um auch noch das im Erneuerbare-Energien-Gesetz definierte bundesweite Ziel eines Anteils der Erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch auf mindestens 80 % bis zum Jahr 2050 zu erreichen. Für beide Ziele würde, falls sich der aktuelle Entwicklungstrend fortsetzt, weniger als die Hälfte des angestrebten Ausbaus erreicht werden.

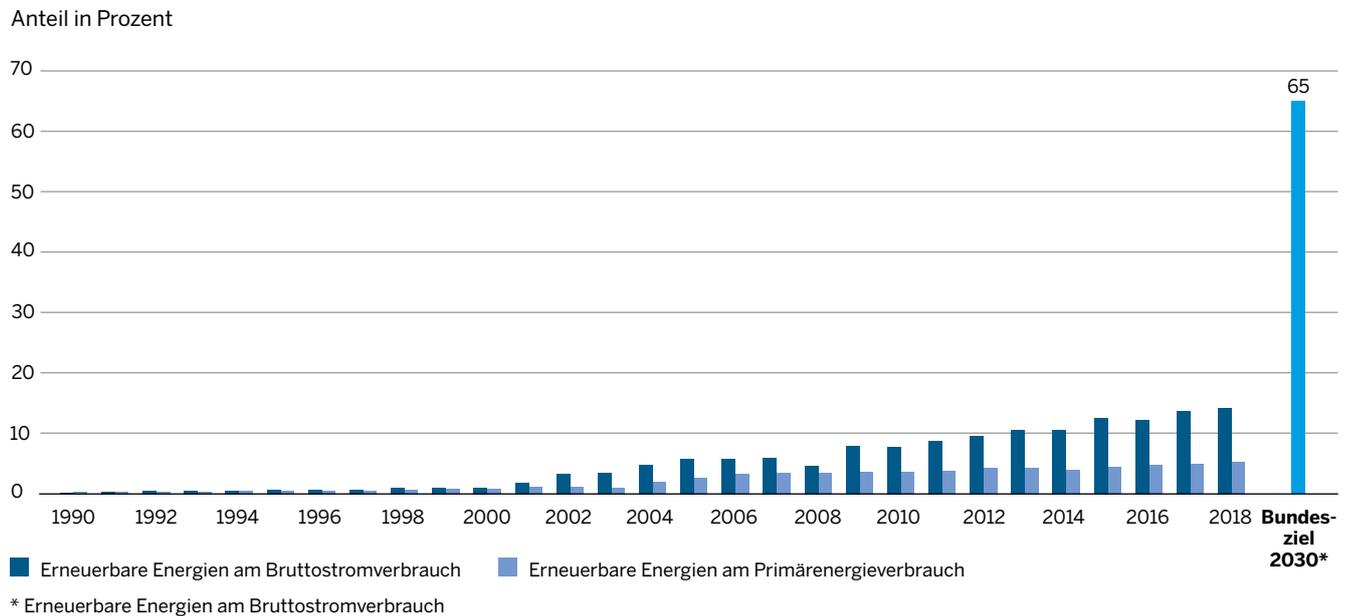
Aus der Perspektive der Erdsystemforschung ist es entscheidend, dass politisch verhandelte, regional gesetzte Klimaziele wie diejenigen, welche sich NRW im Rahmen der deutschen und europäischen Klimaziele gesetzt hat, transparent im Kontext der völkerrechtlich verbindlichen Vorgaben des Abkommens der UN-Klimakonferenz von 2015 in Paris ausgewertet und bewertet werden. Diese orientieren sich am Ziel der Erhaltung eines stabilen Klimasystems der Erde und finden ihr Pendant im Konzept der Planetaren Belastungsgrenzen, einer tragenden Säule nationaler und internationaler Nachhaltigkeitsstrategien.

Um die Klimaauswirkungen möglichst gering zu halten, müssen die Treibhausgasemissionen global und somit auch in NRW innerhalb der nächsten beiden Jahrzehnte auf netto null gesenkt werden.

NRW-Umweltindikator Erneuerbare Energien

Teilindikator Anteile am Bruttostromverbrauch und am Primärenergieverbrauch

(Quelle: IT.NRW)



Im Jahr 2018 stieg der Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf 14,2 %. Ziel der Landesregierung ist eine deutliche Steigerung, um einen substantziellen Beitrag zum Bundesziel von 65 % Anteil Erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch bis 2030 zu leisten. Bis 2050 wird vor dem Hintergrund der bundesdeutschen Zielsetzung, die eine treibhausgasneutrale Stromversorgung für Deutschland bis 2050 vorsieht, ein entsprechend ambitionierter Ausbaupfad verfolgt. Der Anteil Erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch fiel auch im Jahr 2018 mit 5,4 % relativ niedrig aus, da hierzulande noch überwiegend fossile Energieträger genutzt werden. Dieser Teilindikator wurde nach der Methode des Länderarbeitskreises Energiebilanzen ermittelt.

Die klimawissenschaftliche Analyse zeigt hier, dass eine Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 noch nicht ausreicht, um die Klimaziele von Paris und eine entsprechende Minderung des Drucks auf die Planetare Belastungsgrenze des Klimawandels zu erreichen. Dies gilt unter der Prämisse, dass man elementare Grundsätze der Verteilungsgerechtigkeit zwischen Nationen zugrunde legt und auf weitgehend spekulative Annahmen über künftige nachträgliche CO₂-Extraktionen aus der Atmosphäre verzichtet. Auch der Vorschlag von Zukäufen von Emissionsrechten auf einem internationalen Markt entbehrt bislang jeglicher Grundlage und ist auch zahlenmäßig nur schwer umzusetzen.

Die derzeit beschlossenen Klimaziele sind somit wichtige Wegmarken, welche das Ergebnis vielschichtiger politischer Aushandlungsprozesse sind und als solche auch Erfolge darstellen. Jedoch sind zielführende Diskussionen um eine weitere Anhebung dieser Klimaziele auf das vertrag-

lich und wissenschaftlich gebotene Niveau weiterhin unerlässlich. Ihnen kommt für den Schutz der Erde eine besondere Bedeutung zu. Dies sieht dementsprechend auch das Pariser Klimaabkommen durch seine Mechanismen der regelmäßigen Bestandsaufnahme und zugehörig erfolgreicher Ambitionssteigerungen so vor. Der dafür noch zur Verfügung stehende Zeitraum schwindet jedoch aufgrund der weiterhin hohen Emissionen rasch. Diese Gesamtlage betrifft nicht nur NRW, sondern nahezu alle derzeitigen Verhandlungen weltweit um Minderungspfade und -ziele. Die Klimapolitik steht weiterhin vor bedeutenden gesamtgesellschaftlichen Aufgaben. Darauf weisen nicht zuletzt die neuen sozialen Bewegungen für Klimaschutz gut begründet hin.

Auf globaler Ebene setzt das Konzept der Planetaren Belastungsgrenzen eine Grenze für den Klimawandel bei einer Konzentration von 350 parts per million (ppm, Deutsch: Millionstel) CO₂ in der Atmosphäre an. Im Jahr 2020 lag

die Konzentration allerdings im Mittel bereits bei 412,5 ppm (vgl. Dlugokencky & Tans, 2021). Da diese Planetare Belastungsgrenze also bereits überschritten ist, werden die Anzeichen einer Destabilisierung des Klimasystems deutlich erkennbar: Global sind sowohl die Intensität, Häufigkeit und Dauer von Hitzewellen als auch die Anzahl der Starkniederschläge, die Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation und der Verlust von Eismassen in Grönland und der Antarktis gestiegen. Auch zeigen Waldbrände in ihrer Ausdehnung und Intensität vielfach eine neue Qualität. Diese Auswirkungen des Klimawandels sind selbst durch eine ambitionierte Reduktion von Emissionen nicht mehr rückgängig zu machen. Unter der Betrachtung der Planetaren Belastungsgrenzen haben wir beim Klimawandel damit bereits den sicheren Handlungsraum verlassen und befinden uns in der Zone eines erhöhten Risikos beziehungsweise zunehmender Auswirkungen. Zu vermeiden ist das weitere Abgleiten in die Zone der umfassend gefährlichen Auswirkungen. Das Abkommen der UN-Klimakonferenz 2015 in Paris verfolgt aus diesem Grunde das Ziel, sich nun nicht weiter von diesem sicheren Handlungsraum zu entfernen. Insbesondere implizieren die darin verbindlich festgesetzten Temperaturziele direkt eine globale Begrenzung der maximal noch möglichen CO₂-Emissionen, da deren kumulative Wirkung nahezu linear mit der resultierenden Erderwärmung zusammenhängt.

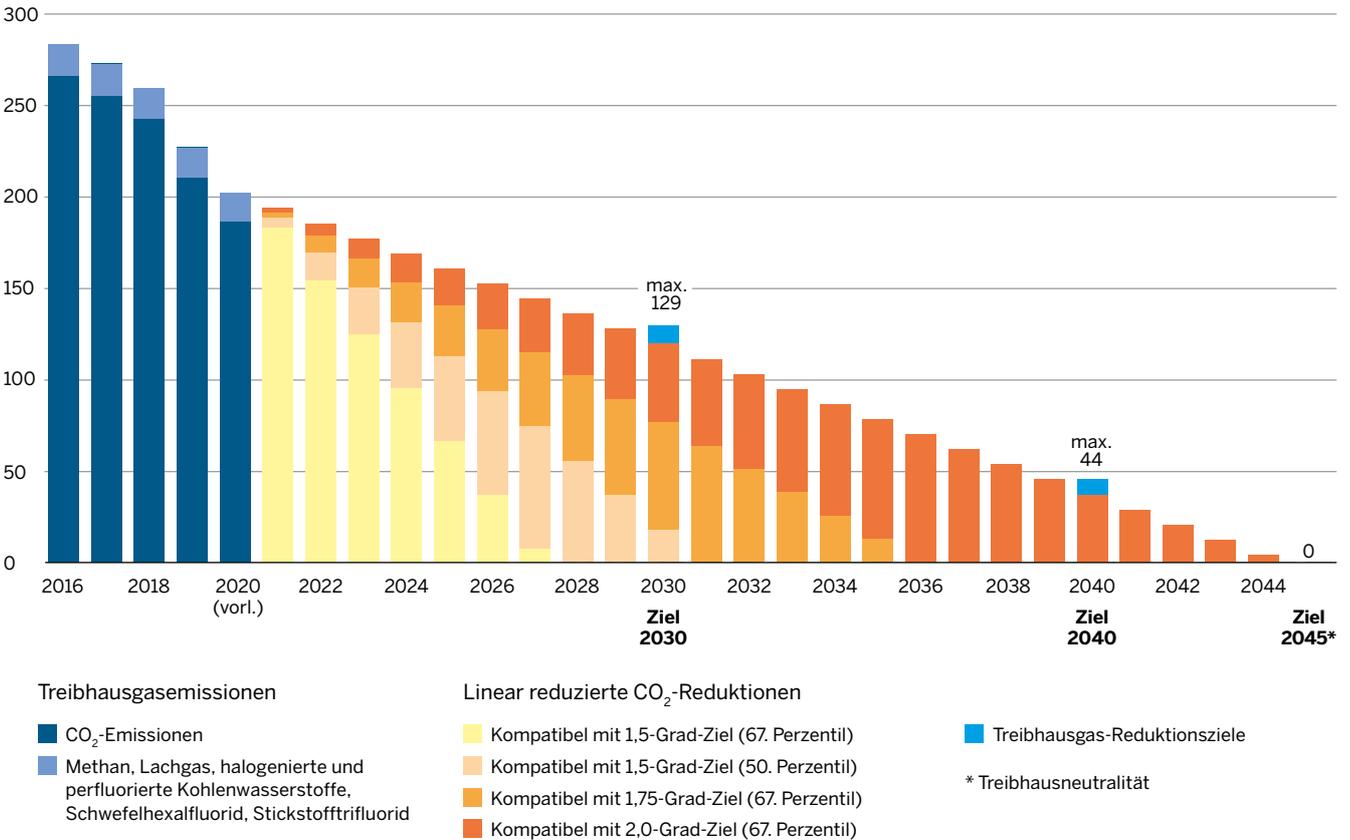
Übersetzt man auf dieser Grundlage das 1,5-Grad-Ziel, das dem sicheren Handlungsraum entsprechend näher ist, in ein solches verbleibendes Budget an CO₂-Emissionen, bleiben der Weltgemeinschaft laut dem IPCC-Sonderbericht zum 1,5-Grad-Ziel noch maximal circa 420 Gigatonnen (Gt) CO₂ ab Januar 2018 (67. Perzentil der Klimasimulationen, das heißt, bei 66 % der Klimasimulationen ist die globale Erwärmung bei Emissionen bis zu dieser Höhe auf unter 1,5°C begrenzt; das 50. Perzentil liegt bei circa 580 Gt [IPCC, 2018]) und bei aktueller Emissionsrate von circa 42 Gt CO₂ pro Jahr nur noch maximal 294 Gt CO₂ ab Januar 2021. Dieses Budget ist dabei als maximale Obergrenze für vertragskonforme Emissionen zu verstehen. Eine Unterschreitung der maximalen Grenze im Sinne des Vorsorge-

Das Abkommen der UN-Klimakonferenz 2015 in Paris verfolgt aus diesem Grunde das Ziel, sich nun nicht weiter von diesem sicheren Handlungsraum zu entfernen.

prinzips erhöht dabei die Wahrscheinlichkeit, das Klimaziel zu erreichen, und bietet mehr Sicherheit gegen eine mögliche Überschätzung des Budgets, welches derzeit Rückkopplungen im Kohlenstoffkreislauf der Erde nur teilweise berücksichtigt. Folgt man dem Prinzip einer globalen Gleichverteilung pro Kopf, welches eine ausgewogene Basis für internationale Verteilungsgerechtigkeit bietet und für jeden Einzelstaat das maximale Budget, bei dem er keine höheren Emissionsrechte besitzt als andere, bliebe ab Januar 2021 für jeden Menschen auf der Welt ein Restbudget von maximal 37,5 t CO₂ und damit für NRW ein Restbudget von maximal circa 673 Mt CO₂. Dabei wurden die historisch bereits verursachten Emissionen, welche für ein Land mit früher Industrialisierung besonders hoch sind und die Frage aufwerfen, ob industrialisierten Staaten deshalb ein geringerer Anteil am verbleibenden Restbudget zustehen sollte, bei der Berechnung sogar außer Acht gelassen. Eine Fortführung der aktuellen Emissionsentwicklung NRWs würde bedeuten, dass das verbleibende Budget für NRW bereits in weniger als dreieinhalb Jahren aufgebraucht wäre (unter der Annahme gleichbleibender Verhältnisse zwischen CO₂- und anderen Treibhausgas-Emissionen). Eine lineare Beanspruchung dieses maximalen Budgets, also eine Reduktion der Emissionen um jährlich den gleichen Wert, bedeutet für NRW bereits im Jahr 2028 die Notwendigkeit der CO₂-Neutralität (Abb. 07). Um dies zu erreichen, müsste das Land seine CO₂-Emissionen jährlich um mindestens 29,5 Mt reduzieren, also circa 3,0 Mal stärker als nach dem aktuellen Trend der letzten zehn Jahre. Eine Fortführung der aktuellen Emissionsentwicklung NRWs würde also eine etwa zweifache Überschreitung des Anteils des Landes (bei Annahme gleichmäßiger globaler Pro-Kopf-Verteilung) an der Einhaltung des 1,5-Grad-Ziels bedeuten (Abb. 02). Auch wenn die Verringerung der Emissionen oftmals nicht linear verläuft, gilt generell bei der Einhaltung von Klimazielen: Wer zu spät substanziell Emissionen reduziert, muss danach umso schneller CO₂-neutral oder sogar CO₂-negativ werden. Für NRW ist daher die Einbindung des Reduktionspfades des Landes in eine Betrachtung des übergeordneten deutschen und europäischen Gesamtbudgets von entscheidender Bedeutung.

Budgets bei linearen CO₂-Emissionsreduktionen für NRW

Millionen Tonnen (t) Kohlendioxidäquivalente bzw. Kohlendioxid



Dargestellt sind die CO₂- bzw. Treibhausgasemissionen der letzten Jahre in NRW und für das verbleibende CO₂-Budget Verteilungsmuster mit Kompatibilität zu unterschiedlichen Klimazielen (Perzentilangaben der IPCC-Modellsimulationen, vgl. IPCC [2018]). Zugrunde gelegt ist eine Pro-Kopf-Verteilung des globalen Budgets mittels einer linearen Reduktion der CO₂-Emissionen. Die CO₂-Emissionen werden für die Budgetierung gemäß bestimmter Temperaturniveaus verwendet, dagegen beziehen sich die Emissionsminderungsziele NRWs auf alle Treibhausgase, die zum Beispiel auch Methan und Lachgas beinhalten. Da das Treibhauspotenzial dieser Gase unterschiedlich hoch ist, werden die Emissionsmengen der unterschiedlichen Gase zur besseren Vergleichbarkeit in die Einheit „t CO₂-Äquivalente“ umgerechnet und diejenigen Gase mit einer größeren Wirkung auf den Treibhauseffekt stärker gewichtet.

Die Einhaltung des CO₂-Budgets von NRW oder Deutschland insgesamt kann dann gelingen, wenn der Sektor Energiewirtschaft, in welchem Emissionsminderungen am leichtesten umzusetzen sind, zunächst substanziell vorangeht, um für Sektoren wie Verkehr und Gebäude, in denen die Umstellung auf Klimaneutralität schwieriger ist, den notwendigen Spielraum zu erhalten. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen hat zum Beispiel berechnet, dass im Rahmen des nationalen Emissionsbudgets die Kohleverstromung in Deutschland bereits bis 2030 beendet werden sollte (vgl. SRU, 2017). Dies ist merklich früher als im

Kohleausstiegsgesetz aufgrund des Kompromissvorschlags der Kohlekommission vorgesehen.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass die Ziele, welche das novellierte Klimaschutzgesetz NRW für die Reduktion der Treibhausgase insgesamt vorsieht, noch nicht kompatibel sind mit einer linearen Nutzung des verbleibenden CO₂-Budgets für die Einhaltung des 1,5-Grad-Ziels. Verfolgt man nun aber nicht das Ziel, sich am sicheren Handlungsraum der Planetaren Belastungsgrenzen zu orientieren, sondern an der Begrenzung der Erwärmung auf deutlich

unter 2 °C, wie es im Pariser Klimaabkommen festgelegt ist, bleibt ein etwas größeres CO₂-Budget zur Verfügung. Wenn man dieses Ziel in ein Budget für einen Temperaturanstieg um maximal 1,75 °C auslegt, da das Abkommen explizit eine Erwärmung von deutlich unter 2 °C anstrebt, sieht eine lineare Reduktion der CO₂-Emissionen entsprechend erst im Jahr 2036 CO₂-Neutralität vor (Abb. 07). Bei einem Budget für eine Erwärmung um die 2 °C (also ohne deutlich unter 2° C zu liegen, was nicht den verbindlichen Vorgaben des Klimaabkommens von Paris entspricht) erreicht die gleichmäßige Reduzierung der CO₂-Emissionen neun Jahre später diesen Punkt. Die im novellierten Klimaschutzgesetz NRW formulierten Minderungsziele bleiben also auch weit hinter dem weniger ambitionierten 1,75-Grad-Ziel zurück und entsprechen gerade einmal etwa einem 2,0-Grad-Ziel, lineare Reduktionspfade zugrunde gelegt.

Folgt man dem hier genutzten, da international möglicherweise kompromissfähigen Verteilungsschlüssel für das CO₂-Budget nach Bevölkerungsanteil, bei welchem ein Industrieland weder besonders ambitioniert vorausgehen muss noch einen besonderen Bonus für größere Abhängigkeit erhält, so ergibt sich aus rein klimawissenschaft-

licher Sicht, dass NRW (und bei entsprechender Rechnung ebenso Deutschland und die EU) bereits deutlich vor dem Jahre 2050 klimaneutral werden müsste, um die völkerrechtlich verbindlichen Klimaziele des Pariser Abkommens einzuhalten (vgl. SRU, 2020). Bei linearem Rückgang der Emissionen müsste Deutschland insgesamt ab 2038 CO₂-neutral sein (vgl. SRU, 2020). Ein dementsprechender Umstieg auf alternative Formen der Energieerzeugung gelingt, wenn der Ausbau Erneuerbarer Energien mit dem erforderlichen Ausstieg aus der fossilen Energieerzeugung Schritt hält. Aus klimawissenschaftlicher Sicht ist daher eine umweltverträgliche Energieversorgung aus 100 % Erneuerbaren Energien bereits ab 2035 notwendig. Die politisch für Europa viel diskutierte Zielsetzung der Klimaneutralität im Jahre 2050 setzt dagegen einen Verteilungs-

Die politisch für Europa viel diskutierte Zielsetzung der Klimaneutralität im Jahre 2050 setzt dagegen einen Verteilungsschlüssel für das globale CO₂-Budget voraus, welcher Industrienationen bevorteilt, sowie erhebliche, derzeit weitgehend spekulative künftige Extraktionen von CO₂ aus der Atmosphäre.

schlüssel für das globale CO₂-Budget voraus, welcher Industrienationen bevorteilt, sowie erhebliche, derzeit weitgehend spekulative künftige Extraktionen von CO₂ aus der Atmosphäre.

Zusätzlich zu den Emissionen, die innerhalb des Bundeslandes entstehen (Quellenbilanz), ist es in unserer globalisierten Welt wichtig, Emissionen zu betrachten, die auch andernorts durch die Herstellung von in NRW konsumierten Produkten entstehen (Verursacherbilanz). Das Global Carbon Project berechnet diese konsumbasierten CO₂-Emissionen auf nationaler Ebene mittels Daten und Modellen zu Handelsströmen von Gütern und Dienstleistungen sowie den damit verbundenen CO₂-Emissionen. Für 2016 summierten sich die auf den Konsum innerhalb Deutschlands zurückzuführenden CO₂-Emissionen auf 888 Mt CO₂ (Le

Quéré et al., 2018). Diese Summe beinhaltet die Emissionen, die sowohl in anderen Ländern als auch in Deutschland durch die Herstellung der Produkte und die Bereitstellung der Dienstleistungen entstanden sind, die schließlich in Deutschland konsumiert beziehungsweise beansprucht wurden. Damit lagen die konsumbasiert betrachteten Emissionen für Deutschland mehr als

10 % über denen aus produktionsbasierter Sicht (802 Mt CO₂ [vgl. Strogies & Gniffke, 2019]).

Auf der Ebene der Bundesländer wurden die mit dem Konsum assoziierten CO₂-Emissionen bisher nicht berechnet. Geht man von einer Gleichverteilung der konsumbasierten Emissionen Deutschlands auf die Einwohner aus – schließlich liegen die Konsumausgaben pro Haushalt in NRW nur rund 2 % über dem Bundesmittel (vgl. IT.NRW, 2018, Statistisches Bundesamt, 2015) – ergibt das 10,8 t CO₂ pro Kopf im Jahr 2016. Dabei sticht NRW als Industriestandort beziehungsweise produktionsstarkes Land hervor, denn hier waren 2016 im Gegensatz zum Bundesmittel die produktionsbasierten CO₂-Emissionen höher als die konsumbasierten: Innerhalb der Landesflächen wurden 15,0 t



CO₂-Emissionen pro Kopf produziert (vgl. Hoffmann & Hoppe, 2018), also rund 40 % mehr als die gemittelten Emissionen durch den Konsum eines Bundesbürgers.

Während bei den meisten EU-Staaten pro Einwohner mehr Emissionen nach dem Güter aus aller Welt berücksichtigenden konsumbasierten Ansatz zu Buche schlagen als nach produktionsbasierter Betrachtung innerhalb des eigenen Landes (vgl. Häyhä et al., 2018), stechen Deutschland und insbesondere NRW mit hohen produktionsbasierten Emissionswerten als exportorientierte Industriestandorte mit emissionsintensiver Produktion hervor. Es gilt also gleichzeitig sowohl Konsummuster zu überdenken als auch die Verantwortung als Produzent wahrzunehmen.

Die COVID-19-Pandemie führte im Jahr 2020 zu einem vorübergehenden, begrenzten Rückgang der globalen CO₂-Emissionen. Die Abwehrmaßnahmen führten zu Einschränkungen

des Verkehrs an Land und in der Luft, zu gedrosselter Produktion von Gütern und Dienstleistungen und zu einer geringeren Stromnachfrage (vgl. Le Quéré et al., 2020). Statt eines Anstieges der globalen CO₂-Emissionen um +0,68 % im Vergleich zu 2019, wie es den Schätzungen ohne Berücksichtigung von Maßnahmen zur Eindämmung von COVID-19 entspräche, gab es mit 34 Gt CO₂-Emissionen einen Rückgang des Ausstoßes um 6,7 % im Vergleich zu 2019 (vgl. Friedlingstein et al., 2020). Die globale mittlere Jahreslufttemperatur für 2020 lag um 1,2 °C über dem Niveau von 1850 bis 1900, was 2020 zu einem der drei wärmsten Jahre seit Beginn der Aufzeichnungen machte (vgl. WMO, 2021). Da sich CO₂ in der Atmosphäre nicht abbaut und seine Konzentration auch bei einer temporären, insgesamt geringfügigen Reduktion der Emissionen zunimmt, erfordert die Einhaltung der Pariser Klimaziele eine stringente, kontinuierliche jährliche Reduktion der Emissionen und eine Entwicklung hin zur CO₂-Neutralität.



Auch eine Krise wie die COVID-19-Pandemie hat keinen bedeutenden Effekt auf das Klima, solange nicht tiefgreifende Maßnahmen der Umstrukturierung erfolgen, die den Klimaschutz entschlossen voranbringen.

Im Gegensatz zu Klimaschutzszenarien, in denen die Emissionsreduktion strategisch an zukunftsorientierte Steigerungen der gesellschaftlichen Wohlfahrt im Sinne von Nachhaltigkeit gekoppelt ist, ist der durch COVID-19 herbeigeführte Rückgang der Emissionen nicht beabsichtigt und Ergebnis eines überaus disruptiven Prozesses. Um Klimaziele zu erreichen, gilt es außerdem, die Emissionen langfristig und nicht einmalig oder nur temporär zu senken. Bei der Planung der staatlichen Anschubhilfen für die Zeit nach der Pandemie ist es daher nun entscheidend, ja für die weitere Entwicklung eine strategische Chance, diese langfristigen Ziele systematisch mit einzubeziehen. Verliert man den Klimaschutz dagegen nun aus den Augen,

kommt es vermutlich zu einem Rebound der bestehenden Emissionen, der unter Umständen sogar zu emissionsintensiveren Entwicklungen in der Zukunft führt. Die anstehenden Entscheidungen zur Wiederaufnahme des öffentlichen Lebens nach dem Schock durch COVID-19 können den Pfad der CO₂-Emissionen somit nachhaltig prägen. Eine geeignete, auf die Zukunft orientierte Schwerpunktsetzung unter systematischem Einbezug des Klima- und Umweltschutzes kann hier einen dringend notwendigen Impuls für die Einhaltung der Planetaren Belastungsgrenzen setzen.

PLANETARE
BELASTUNGSGRENZE
BIOGEOCHEMISCHE
FLÜSSE DES
STICKSTOFFS UND
LANDESBEZÜGE



Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung ernährt sich von Kulturpflanzen, die mit synthetischen Stickstoffdüngern behandelt wurden (vgl. Erisman et al., 2008). Dieser Mineraldünger wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts durch die Erfindung des Haber-Bosch-Verfahrens geschaffen, bei dem atmosphärischer Stickstoff zu reaktiven Formen von Stickstoff reduziert wird.

Eine zuverlässige Versorgung mit Stickstoffverbindungen und anderen Nährstoffen, die für das Pflanzenwachstum unerlässlich sind, ermöglichte es der Landwirtschaft im letzten Jahrhundert, die Ernteproduktion pro Flächeneinheit erheblich zu steigern. Allerdings führt das unbeabsichtigte Entweichen von reaktivem Stickstoff aus landwirtschaftlichen Böden zu nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit. Dazu gehören Grundwasserverschmutzung durch Nitrate, Eutrophierung von Süßwasser- und Küstenökosystemen, die troposphärische Verschmutzung aufgrund von Stickoxid- und Ammoniakemissionen und die atmosphärische Anreicherung von Lachgas, einem sehr wirksamen Treibhausgas, welches zudem das stratosphärische Ozon abbaut (vgl. Zhang et al., 2015). Diese Stickstoffverbindungen gelangen aber nicht nur durch Mineraldünger und organischen Wirtschaftsdünger (Gülle, Mist und Gärreste) in unsere Umwelt, sondern auch durch das Verbrennen von Mineralöl beziehungsweise Treibstoffen, Kohle und Biomasse.

Knapp die Hälfte der Fläche NRWs wird landwirtschaftlich genutzt, davon etwa zwei Drittel als Ackerland. Auf diesen Flächen werden hohe Mengen an Stickstoffverbindungen in Form von Mineral- und Wirtschaftsdünger eingetragen. Zusätzlich weist das Land mit mehr als 22 Millionen Tieren (vor allem Rinder, Schweine und Hühner) eine bedeutende Tierproduktion und die höchste Viehdichte Deutschlands auf (vgl. Statistisches Bundesamt, 2021). Die Tiere produzieren vornehmlich den Wirtschaftsdünger. Die direkte Anreicherung der Böden mit Stickstoffverbindungen in der Weide- und Freilandhaltung ist in NRW hingegen nahezu zu vernachlässigen. NRW verzeichnet auch die größte Anzahl an Industriestandorten in Deutschland mit insgesamt

10.300 Betrieben (vgl. IT.NRW, 2020). Zudem hat es bei knapp 18 Millionen Einwohnerinnen und Einwohnern sowie rund 12 Millionen zugelassenen Kraftfahrzeugen einen hohen Motorisierungsgrad und ein hohes Verkehrsaufkommen (vgl. IT.NRW, 2019a), Letzteres wird durch einen ausgeprägten Transitverkehr noch verstärkt. Damit sind die drei großen Treiber für das heimische Stickstoffproblem genannt: die Landwirtschaft, die Industrie und der Verkehr. Und auch wenn Stickstoff in vielen natürlichen Stoffkreisläufen eine essenzielle Rolle spielt und die Ausbringung von Düngemitteln die Grundlage für eine ausgewogene Pflanzenernährung ist, gilt auch hier: Die Dosis entscheidet. Die Stickstoffeinträge sind hierzulande seit geraumer Zeit zu hoch und haben im Jahr 2016 wegen unzureichender Umsetzung der Nitratrichtlinie (vgl. Europäische Kommission, 2019) und 2018 wegen des Überschreitens der Stickstoffdioxid-Grenzwerte (vgl. Europäische Kommission, 2018) zu zwei EU-Vertragsverletzungsverfahren gegen die Bundesrepublik geführt.

Und auch wenn Stickstoff in vielen natürlichen Stoffkreisläufen eine essenzielle Rolle spielt und die Ausbringung von Düngemitteln die Grundlage für eine ausgewogene Pflanzenernährung ist, gilt auch hier: Die Dosis entscheidet.

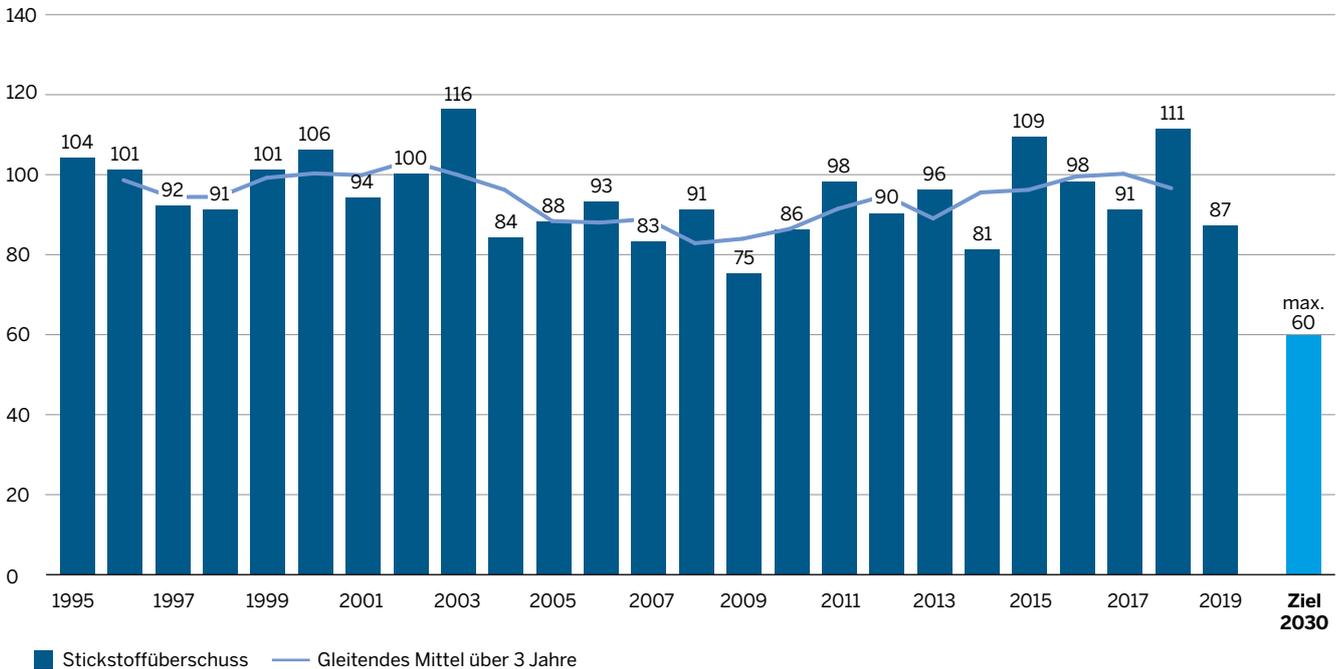
Die landwirtschaftlich genutzte Fläche NRWs verzeichnete im Jahr 2019 einen Stickstoffüberschuss von 87 Kilogramm (kg) pro Hektar (Abb. 08). Da der Trend

der Stickstoff-Flächenbilanz über die letzten zehn Jahre stagniert, würde bei Fortführung dieser Entwicklung das Ziel der Landesregierung, bis zum Jahr 2030 den Stickstoffüberschuss der landwirtschaftlich genutzten Fläche auf maximal 60 kg pro Hektar und Jahr zu reduzieren, verfehlt werden (Abb. 02). Gleichwohl wurde zum 1. Mai 2020 die erst im Jahr 2017 reformierte, bundesweit gültige Düngeverordnung erneut geändert und verschärft. Diese und die neueste Landesdüngeverordnung sollen den Eintrag durch strengere Ausbringungsbeschränkungen für stickstoff- und phosphathaltige Düngemittel begrenzen (für letztere wurde ebenfalls eine eigene Planetare Belastungsgrenze bestimmt). So dürfen zum Beispiel maximal 170 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr mit organischen Düngemitteln ausgebracht und der für jeden Schlag individuell ermittelte Düngebedarf nicht überschritten werden. Auch wurden zu Anfang 2021 Gebietskulissen mit hoher Nitratbelastung nach den Vorgaben der Düngeverordnung ausgewiesen, in denen zusätzliche Anforderungen gelten.

NRW-Umweltindikator Stickstoffüberschuss der landwirtschaftlich genutzten Fläche (Flächenbilanz)

(Quelle: Universität Gießen)

Kilogramm Stickstoff pro Hektar



Bilanziert man die durch Wirtschafts- und Mineraldünger eingesetzte Stickstoffmenge mit der Nährstoffabfuhr durch die Ernte, ergibt sich über die letzten zehn Jahre ein signifikant konstanter Stickstoffüberschuss. Im Jahr 2019 bezifferte sich der Stickstoffüberschuss auf 87 kg pro Hektar. Der Anstieg des Überschusses in 2018 ist möglicherweise auf die dürebedingten Ertragsausfälle in dem Jahr zurückzuführen. Es sind erhebliche Anstrengungen nötig, um das Ziel der Landesregierung zu erreichen, den Stickstoffüberschuss auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche bis 2030 auf maximal 60 kg pro Hektar und Jahr zu reduzieren.

Die erhöhten Stickstoffeinträge können Ökosysteme massiv aus dem Gleichgewicht bringen, besonders prominent durch die Eutrophierung von Gewässern, manchmal als (Blau-) Algenblüte zu erkennen. Doch werden durch eine Überdüngung im Prinzip alle Arten, die sich auf nährstoffarme Standorte an Land und im Wasser spezialisiert haben, verdrängt. Die Stickstoffanreicherung hat aber auch weitere Folgen: Ammoniak, Ammonium und Stickstoffoxide können im Boden zur Versauerung führen und damit zu einer Verschlechterung der Bodenstruktur, zur Auswaschung anderer Nährstoffe und zur Freisetzung von Säuren und toxischen Metallen (vgl. Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2018).

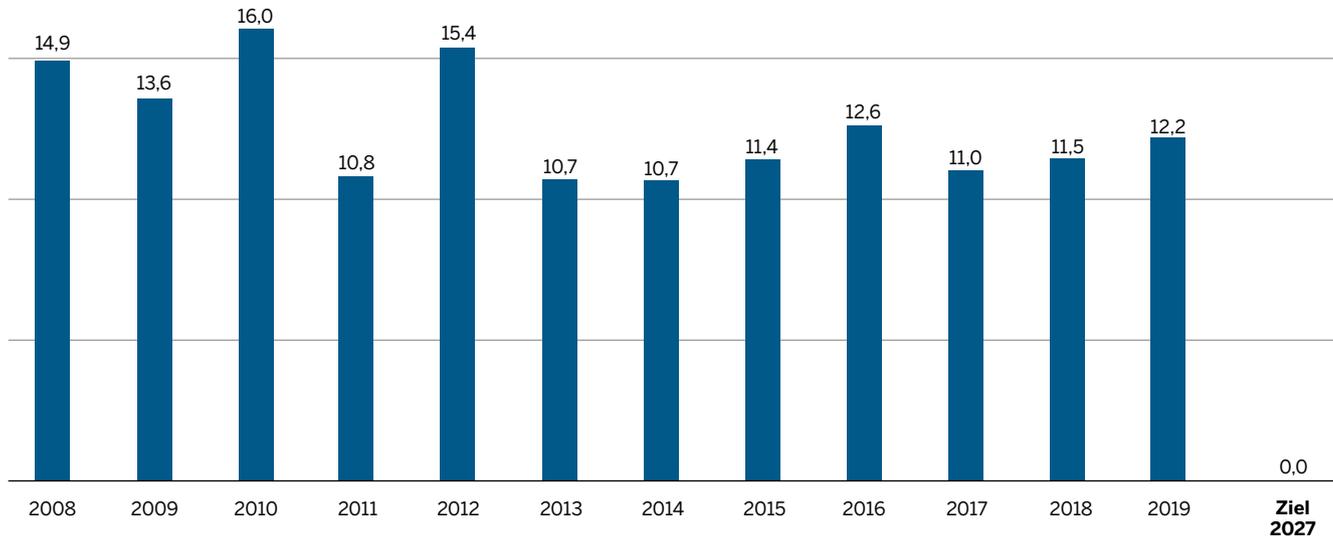
Außerdem gelangt aus stark gedüngten Böden – eingebrachtes Nitrat kann mitunter Jahrzehnte im Boden verbleiben – Nitrat mit dem Sickerwasser in das Grundwasser und durch Abschwemmungen in Oberflächengewässer. So wurde nach der „2. Bestandsaufnahme Grundwasser“

(Monitoringzyklus 2007 bis 2012) auf rund 40 % der Fläche NRW der Schwellenwert von 50 mg Nitrat pro Liter (l) überschritten und der „gute chemische Zustand“ verfehlt. Die „3. Bestandsaufnahme Grundwasser“ (www.lanuv.nrw.de/umwelt/wasser/grundwasser/beschaffenheit, Monitoringzyklus 2013 bis 2018 mit circa 1.500 Messstellen) zeigte eine klare Verbesserung, mit 26 % wurde aber immer noch auf gut einem Viertel der Fläche NRW der Schwellenwert für Nitrat nach der Grundwasserverordnung verfehlt. Dagegen spiegelt der aktuellere, aber weniger differenzierte, auf 115 repräsentativen NRW-Messstellen aus dem Netz der Europäischen Umweltagentur (EUA) basierende Umweltindikator „Nitratkonzentration im Grundwasser“ diese Verbesserung nur bedingt wider. Er bildet für das Jahr 2019 für 12 % seiner Messstellen eine Überschreitung des Schwellenwertes ab (Abb. 09). Die EU-Wasserrahmenrichtlinie sieht für das Jahr 2027 vor, den Nitrat-Schwellenwert in keinem Grundwasserkörper mehr zu überschreiten.

NRW-Umweltindikator Nitratkonzentration im Grundwasser

(Quelle: LANUV)

Anteil der Messstellen mit Nitratgehalten > 50 Milligramm pro Liter in Prozent



Nitrat ist ein wichtiger Parameter für die Grundwasserqualität und kann auf den menschlichen Organismus negativ wirken. Der Grenzwert für Trinkwasser ist mit 50 mg/l identisch mit dem Schwellenwert für den „guten Zustand“ nach der Grundwasserverordnung. Im Jahr 2019 überschritten rund 12 % der 115 Grundwassermessstellen des EUA-/Nitratmessnetzes in NRW diesen Wert. Eine Trendanalyse über die letzten zehn Jahre ergab einen stagnierenden Trend. Ziel der Landesregierung ist eine Minderung der Nitratbelastung in allen Grundwasserkörpern auf weniger als 50 mg/l spätestens bis zum Jahr 2027.

Wird der über die letzten zehn Jahre stagnierende Trend des Indikators „Nitratkonzentration im Grundwasser“ fortgesetzt, ist nicht mit einem zeitgerechten Erreichen des Ziels der landesweiten Einhaltung des Nitrat-Schwellenwerts im Grundwasser zu rechnen (Abb. 02). Mit der oben genannten novellierten Düngeverordnung dürften aber gute Chancen zu einer Entschärfung der Nitratproblematik im Grundwasser bestehen.

Besonders relevant ist diese Entwicklung für die Trinkwasserversorgung. Gemäß der Trinkwasserverordnung ist die Konzentration von 50 Nitrat / l zwingend auch für das Trinkwasser einzuhalten. Denn hohe Nitratkonzentrationen im Trinkwasser können zur Bildung krebserregender Substanzen im Körper führen und bei Säuglingen die Sauerstoffaufnahme im Blut beeinträchtigen. Immerhin werden etwa 50 % der öffentlichen Trinkwasserversorgung in NRW aus Grund- oder Quellwasser gewonnen. Daher wird bei Über-

schreitungen der zulässigen Nitratkonzentration Trinkwasser aufwendig mit unbelastetem Rohwasser verschnitten oder einer zusätzlichen technischen Wasseraufbereitung unterzogen.

Über die heimischen Bäche und Flüsse erreicht die Nitratbelastung schließlich auch die Nordsee. Um die Meeresschutzziele zu erreichen beziehungsweise um ein übermäßiges Meeresalgenwachstum zu vermeiden, sollen die Höchstkonzentrationen am Übergang zwischen Süß- und Salzwasser in den großen Nordseezuflüssen 2,8 mg Gesamtstickstoff / l nicht überschreiten. In NRW wird dieser Wert für den Rhein eingehalten. Ems, Weser, Ijsselmeer- und Maaszufüsse weisen jedoch mit Jahresmittelwerten von bis zu 7,3 mg / l an den letzten Messstellen vor der Landesgrenze weit höhere Konzentrationen auf (vgl. MULNV, 2020).

Auch der globale Stickstoffkreislauf gerät durch die vom Menschen veranlasste Fixierung molekularen Stickstoffs aus der Atmosphäre aus dem Gleichgewicht, da dem biogeochemischen Kreislauf fortwährend immer größere Mengen an Stickstoff in reaktiver Form zugeführt werden. Vor allem aquatische Ökosysteme reagieren darauf mit Eutrophierung, wodurch essenzielle Ökosystemleistungen gehemmt werden. Die globale Summe an Stickstoff aus industrieller und bewusst herbeigeführter biologischer Fixierung sollte daher laut Konzept der Planetaren Belastungsgrenzen 62 Gigatonnen (Gt) Stickstoff pro Jahr nicht überschreiten, wobei die regionale Verteilung eine kritische Rolle spielt.

Die Differenzierung von industrieller und biologischer Fixierung, wie sie in der Definition der Belastungsgrenze unterschieden wird, sei in Kürze dargestellt: Die industrielle Fixierung bezieht sich auf die Gewinnung von Ammoniak durch das Haber-Bosch-Verfahren, das die Bindung von atmosphärischem Stickstoff für die Produktion von Chemikalien und vorrangig Düngemittel ermöglicht. Eine ganz natürliche Fixierung von atmosphärischem Stickstoff findet hingegen durch stickstofffixierende Bakterien statt. Eine besonders effektive Symbiose gehen dabei Knöllchenbakterien mit Hülsenfrüchtlern (Leguminosen) ein. Diese biologische Anpassung ermöglicht Hülsenfrüchtlern eine Stickstoffversorgung ohne Abhängigkeit vom Stickstoffgehalt des Bodens oder von der Zuführung von Dünger. Durch diese gute Nährstoffversorgung sind Hülsenfrüchte sehr proteinhaltig und stellen mit Vertretern wie Erbsen, Bohnen und Linsen einen wichtigen Beitrag zur Welternährung. Das gilt auch für Futtermittel, bei denen vor allem die Sojabohne als Hülsenfrüchtler verbreitet ist. Die natürliche Verbreitung von Hülsenfrüchtlern wurde also durch die menschliche Kultivierung dieser Pflanzen extrem ausgeweitet und damit ihre gesamte globale Stickstofffixierung stark erhöht. Zunächst in der Pflanze gebunden, durchläuft der Stickstoff dann die Konsumkette und kann schließlich als Stickstoffverbindung in menschlicher oder tierischer Aus-

Die erhöhten Stickstoffeinträge können Ökosysteme massiv aus dem Gleichgewicht bringen, besonders prominent durch die Eutrophierung von Gewässern, manchmal als (Blau-)Algenblüte zu erkennen.

scheidung (auch als Wirtschaftsdünger genutzt) wiederum Ökosysteme belasten.

Da die Verteilung des fixierten Stickstoffs so relevant ist, betrachten wir auch hier eine globale Gleichverteilung für die Einordnung des Beitrags NRWs an der globalen Stickstofffixierung – verteilt über die gesamte Ackerfläche der Welt. Bei einer globalen Ausweitung der Ackerwirtschaft auf circa 1.591 Megahektar (vgl. Klein Goldewijk et al., 2017) und der Planetaren Belastungsgrenze von 62 Gt Stickstoff pro Jahr bedeutet das eine Maximalbelastung von circa 39 kg Stickstofffixierung pro Hektar Ackerfläche und Jahr. Der Einsatz von Mineraldünger in NRW – und damit die erforderliche industrielle Stickstofffixierung – betrug für das Jahr 2019 pro Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche durchschnittlich 92 kg Stickstoff (vgl. Landwirtschaftskammer NRW, 2021). Damit erreicht die industrielle

Fixierung in NRW einen rund 2,4-fachen Wert des Limits von 39 kg Stickstoff pro Hektar Stickstofffixierung (Abb. 02), und zwar bereits ohne die Berücksichtigung der Kultivierung von Hülsenfrüchtlern. Doch nicht nur innerhalb der Landesgrenzen greifen Landwirtschaft und Industrie schwerwiegend in den natürlichen Stickstoffkreislauf ein, wie diese Einordnung des

produktionsbasierten Ansatzes zeigt. Nach NRW und Deutschland werden zahlreiche Produkte (Lebensmittel, aber auch Kleidung und Lederwaren) importiert, die andernorts auf die vom Menschen veranlasste Fixierung von Stickstoff angewiesen sind. In diesem Sinne stecken also indirekt Stickstoffemissionen in vielen Konsumgütern, die sich in dem folgenden konsumbasierten Ansatz abschätzen lassen.

Um für einzelne Länder einen Stickstoff-Fußabdruck zu generieren, wurden in einer Studie von Oita et al. (2016) die Emissionen verschiedener Stickstoffverbindungen in der Herstellung, Verarbeitung und dem Transport von Produkten und für die Bereitstellung von Dienstleistungen nachvollzogen und mit einer Handelsdatenbank der entsprechenden Im- und Exporte kombiniert. Hierbei wurden



Emissionen von Ammoniak, Stickoxiden und Lachgas in die Atmosphäre berücksichtigt sowie die Emissionen von Stickstoff in Oberflächengewässer und Grundwasser durch Bodenauswaschung und Oberflächenabfluss (vor allem Nitrat aus der Landwirtschaft). Deutschland liegt mit einem Stickstoff-Fußabdruck von 44,5 kg Stickstoff pro Kopf und Jahr weit über dem globalen Mittel von jährlich 27 kg pro Kopf. Entwicklungsländer wie Liberia und Papua-Neuguinea weisen dabei die niedrigsten Pro-Kopf-Werte mit um die 7 kg pro Kopf auf, während reiche Regionen und Länder wie Hongkong und Luxemburg mit viel landwirtschaftlichen Importen bis zu 100 kg pro Kopf erreichen. Dieses Verhältnis verdeutlicht die Tendenzen, dass wohlhabende Konsumenten tierische Produkte und stark verarbeitete Lebensmittel bevorzugen und generell stärker von energieintensiven Waren und Dienstleistungen abhängig sind. Außerdem reduzieren Entwicklungsländer mit substantziellen Ausfuhren von landwirtschaftlichen Produkten, Lebensmitteln und Textilien ihren Fußabdruck enorm durch den indirekten

Export von Stickstoffemissionen. Nichtsdestotrotz wirken die Emissionen natürlich trotzdem vor Ort, sodass ortsgebundene Analysen innerhalb des Landes weiterhin von enormer Bedeutung sind (siehe oben).

Der Anteil der Stickstoffverbindungen, der potenziell ins Wasser gelangen könnte, liegt für den deutschen Fußabdruck bei 21 kg Stickstoff pro Kopf und Jahr, also bei knapp der Hälfte. Hierbei wird allerdings nicht in organischen und anorganischen Stickstoff unterschieden, sodass dieser Wert nicht unmittelbar mit der Stickstofffixierung durch Mineraldünger, wie er in dem produktionsbasierten Ansatz durch den Mineraldüngerabsatz abgeleitet wurde, zu vergleichen ist. Eine Analyse für die Einordnung des Drucks NRWs auf die Planetare Belastungsgrenze des biochemischen Kreislaufs von Stickstoff im konsumbasierten Ansatz müsste zudem den Handelsfluss von Hülsenfrüchten und deren Verarbeitungspfade berücksichtigen.



PLANETARE
BELASTUNGSGRENZE
LANDNUTZUNGS-
WANDEL UND
LANDESBEZÜGE

Landnutzungswandel wirkt als ein wesentlicher Treiber globaler Umweltveränderungen. Verändert der Mensch die natürliche Erdoberfläche (ob Wald, Steppe oder Sumpf), hat das weitreichende Folgen für die Struktur und die Funktionen des betroffenen Ökosystems und damit für das Wohlergehen der Menschen (vgl. Steffen et al., 2006). Global sind heute bereits 50 % der eisfreien Erdoberfläche direkt vom Menschen verändert. Praktisch sind jedoch fast alle Flächen in irgendeiner Weise von Prozessen wie Jagd, Klimawandel, Wasser- oder Luftverschmutzung betroffen (vgl. Vitousek et al., 1997).

Die bedeutendste Form des Landnutzungswandels ist die Verdrängung der natürlichen Ökosysteme zugunsten von Ackerflächen und Weideland. So entfallen bereits 40 % der globalen Landfläche auf die Landwirtschaft (einschließlich Weideland und angepasstem Grünland), auf die weltweit fast 85 % der jährlichen Wasserentnahmen zurückzuführen ist (vgl. Foley et al., 2005) und welche außerdem die natürlichen Systeme als Hauptquelle für Stickstoffemissionen weit übertrifft (vgl. Galloway et al., 2003). Hinzu kommen der Biodiversitätsverlust und die Abnahme von unterstützenden, regulierenden und kulturellen Ökosystemdienstleistungen (vgl. IPBES, 2019).

Der Landnutzungswandel im Sinne von großen Rodungen zugunsten der Landwirtschaft ist heutzutage in NRW kein Thema mehr. Diese geschahen aber in der Vergangenheit. Vor allem im Mittelalter fielen große Teile des Waldes siedlungsnahen Rodungen für die Landwirtschaft und der Erschließung und Besiedelung zum Opfer (vgl. Schmidt, 2002). In der darauffolgenden, bis in die Gegenwart reichenden Neuzeit mit seiner Siedlungs- und Aufbauphase, dem Umbruch von der Agrar- zur Industriegesellschaft, dem Bevölkerungswachstum und so weiter wurde die menschliche Einflussnahme immer dynamischer und stärker. Im Ergebnis entstanden aus Naturlandschaften Kulturlandschaften, beispielsweise das von der Montanindustrie ge-

prägte Ruhrgebiet (der größte Ballungsraum Deutschlands) oder das stark landwirtschaftlich strukturierte Westmünsterland.

Die dominanteste Landbedeckung in einem NRW ohne den Einfluss des Menschen wäre der von Buchen geprägte Wald (vgl. Schulte, 2003). Heute liegt der Anteil des Waldes, der ausnahmslos kein Primärwald und nicht ursprünglich ist, sondern größtenteils forstlich bewirtschaftet wird, bei etwa 27 % der Landesfläche (vgl. Landesbetrieb Wald und Holz NRW, 2016). Allerdings sind nur etwa 23 % der Waldbäume frei von Kronenschäden (vgl. MULNV, 2019). Die restliche Landesfläche besteht laut Kataster im Wesentlichen zu rund 47 % aus Landwirtschaftsflächen und zu rund 24 % aus Siedlungs- und Verkehrsflächen (vgl. IT.NRW, 2019b). Knapp die Hälfte der Siedlungs- und Verkehrsflächen gelten übrigens als versiegelt (vgl. LIKI, 2021).

Hierzulande beobachten wir mit der Urbanisierung eine Art fortgeschrittenen Landnutzungswandel: Die durch Kultivierung in landwirtschaftliche Flächen umgewandelten Gebiete verlieren täglich Flächenanteile zugunsten der Siedlungs- und Verkehrsfläche.

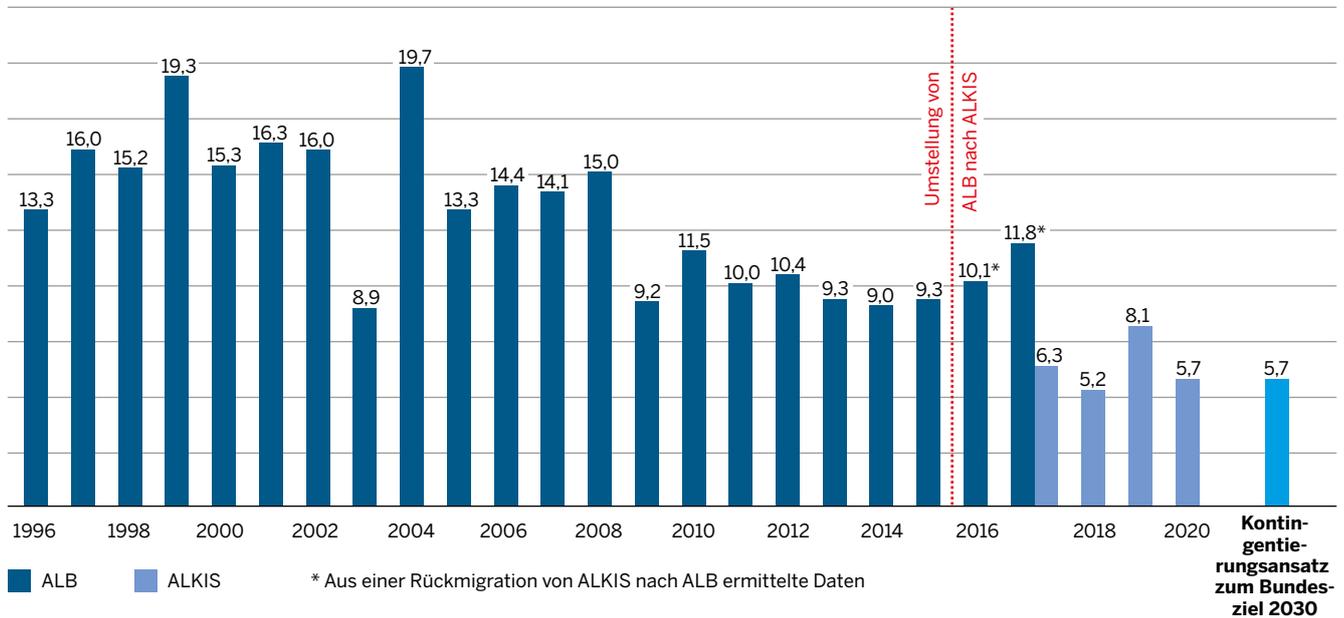
Hierzulande beobachten wir mit der Urbanisierung eine Art fortgeschrittenen Landnutzungswandel: Die durch Kultivierung in landwirtschaftliche Flächen umgewandelten Gebiete verlieren täglich Flächenanteile zugunsten der Siedlungs- und Verkehrsfläche. Im Jahr 2020 lag die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche in NRW bei durchschnittlich knapp über 5,7 Hektar pro Tag (Abb. 10). Für das Mäßigen dieses Landnutzungsdrucks strebt die Landesregierung an, zur Erreichung des Bundesziels (bis zum Jahr 2030 den Flächenverbrauch auf unter 30 Hektar pro Tag verringern) einen angemessenen Beitrag zu leisten. Das Umweltbundesamt ermittelte zur Erreichung des Bundesziels in einem Kontingentierungsansatz für NRW eine entsprechende maximale Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche von 5,7 Hektar pro Tag, basierend auf der Entwicklung im Zeitraum 2001 bis 2004, Bevölkerungszahlen und -prognosen (vgl. UBA, 2009). NRW nennt kein quantifiziertes Ziel. Rechnet man jedoch die Entwicklung der neuerdings nach dem Amtlichen Liegenschaftsinformationssystem ALKIS erhobenen Werte der Jahre 2017 bis 2020 hoch (nicht zu verwechseln mit

NRW-Umweltindikator Flächenverbrauch

Teilindikator Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche

(Quellen: Geobasis NRW, IT.NRW)

Hektar pro Tag



Von 2006 bis 2015 wurden im Schnitt 11,2 Hektar pro Tag für Siedlung und Verkehr in Anspruch genommen. Durch die Umstellung vom Automatisierten Liegenschaftsbuch ALB auf das Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem ALKIS kann für 2016 nur ein auf ALB rückmigrierter Wert abgebildet werden. 2020 lag der Flächenverbrauch bei etwa 5,7 Hektar pro Tag (der Flächenverbrauch durch Bergbaubetriebe, Tagebau, Gruben und Steinbrüche ist unberücksichtigt). Die ALB- und ALKIS-Werte sind nicht zuletzt wegen Umschlüsselungen nicht vergleichbar. Auch haben die ALKIS-Werte gewisse Ungenauigkeiten wegen teils noch nicht homogener Erhebung vor Ort. Ziel der Landesregierung ist es, einen angemessenen Beitrag zur Erreichung des Bundesziels (Senkung der Flächeninanspruchnahme für Siedlung und Verkehr auf unter 30 Hektar pro Tag bis 2030) zu leisten.

Trendberechnungen mit in der Regel zehn Werten), würde der ermittelte Beitrag des Flächenverbrauchs zum Bundesziel für 2030 trotz schwankender Werte ansteigen und sich nicht in Richtung des Bundesziels entwickeln (Abb. 02).

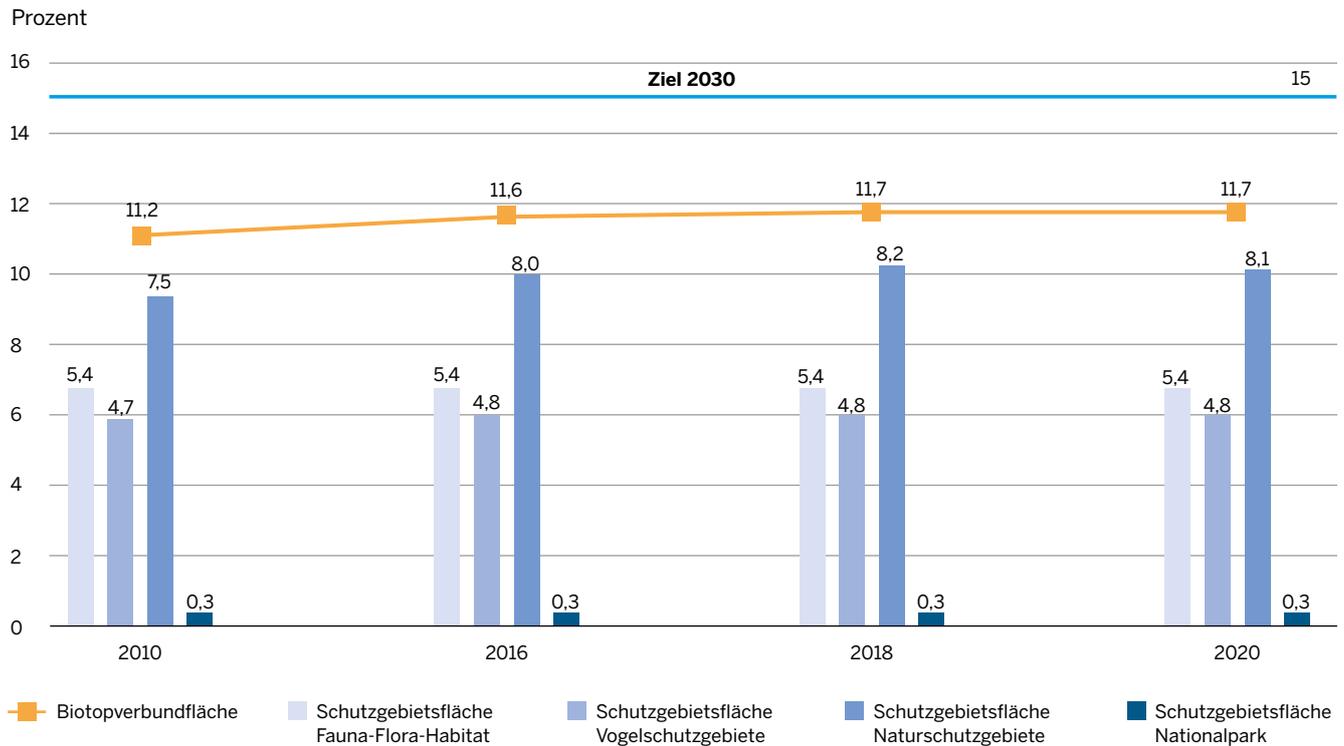
In der Zeitspanne seit Erhebungsbeginn 1997 bis 2020 summierte sich die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche auf etwa 1.050 Quadratkilometer (km²), eine Fläche, die deutlich größer ist als die des Stadtstaates Berlin oder das 9,7-fache der Fläche des Nationalparks Eifel (vgl. MULNV, 2021). Würde man bei der Angabe des Flächenverbrauchs auch noch die Abbaufelder von Braunkohle im Tagebau sowie von Kies- und Sandgruben berücksichtigen, fielen die Werte noch ungünstiger aus.

Besondere Bedeutung für den Biotop- und Artenschutz hat das Ausweisen von Nationalparks, Naturschutzgebieten, Fauna-Flora-Habitat-Gebieten (FFH-Gebiete) und europäischen Vogelschutzgebieten (FFH- und Vogelschutzgebiete bilden das EU-weite Natura-2000-Netzwerk zum Erhalt und zur Entwicklung gefährdeter Arten und ihrer natürlichen Lebensräume). Diese Kernflächen des landesweiten Biotopverbundes machen zwar den Flächenverbrauch nicht ungeschehen, sie sind ihm aber entzogen und bilden die Basis des Naturschutzes. Sie sollen die Vielfalt, Schönheit und Leistungsfähigkeit von Natur und Landschaft erhalten und Biotopverbünde vernetzen, um den Artenaustausch, Wanderungsbewegungen und letztlich das Überleben möglichst vieler Arten zu sichern. Aktuell zählen 11,7 % der Landesfläche zu den Kernflächen des landesweiten Biotopver-

Abb. 11

NRW-Nachhaltigkeitsindikator Fläche des landesweiten Biotopverbundes

(Quelle: IT.NRW)

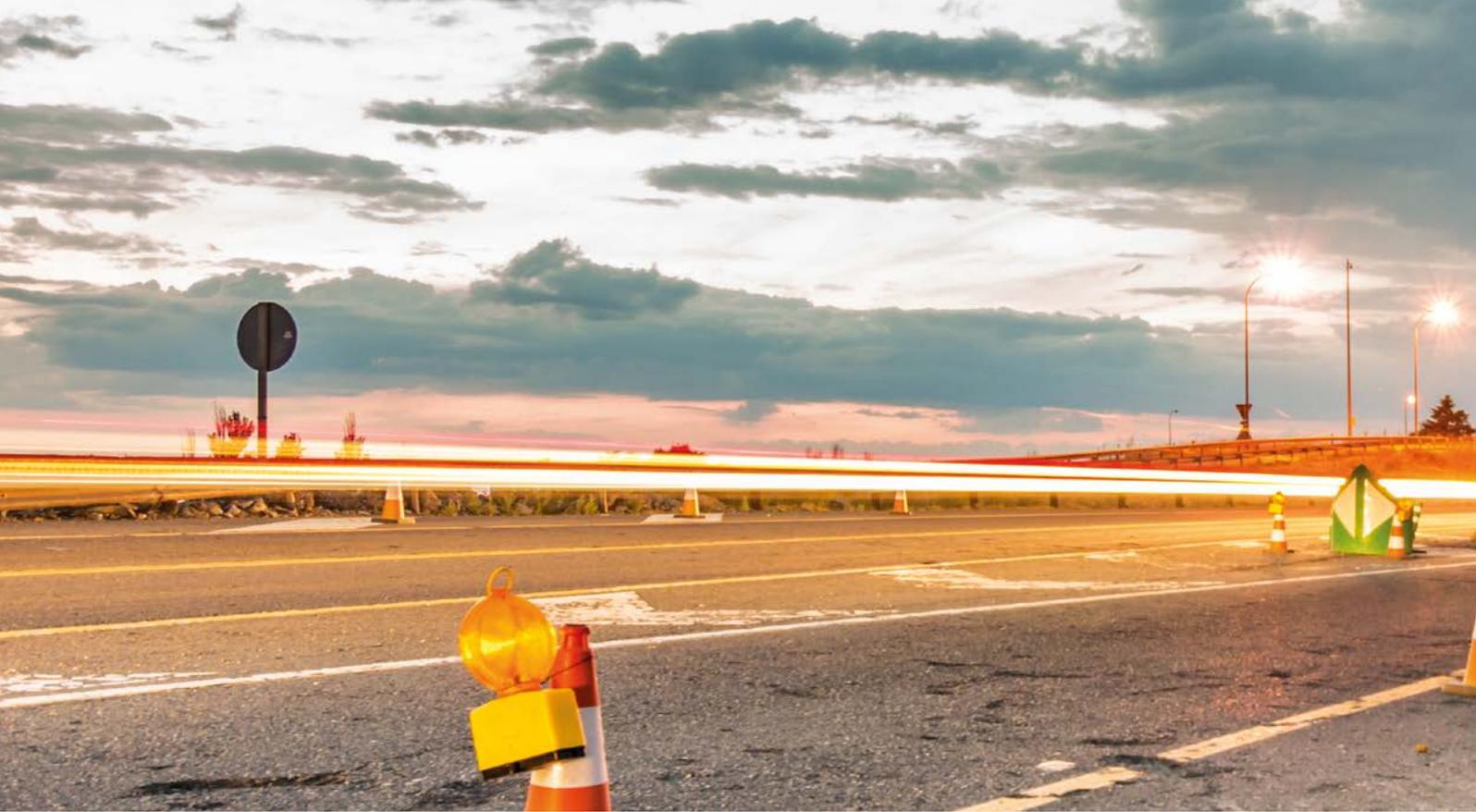


Die überschneidungsfreie Summe der Flächen des landesweiten Biotopverbundes an der Landesfläche wuchs im Jahr 2020 auf nunmehr 11,7 %. Die Flächen werden gebildet aus den Schutzkategorien Nationalparke – NRW hat mit dem 108 km² umfassenden Nationalpark Eifel nur einen Nationalpark –, Naturschutzgebiete, FFH- und Vogelschutzgebiete (Flächen, die mehreren Kategorien angehören, zählen nur einmal, für die Flächenberechnung wurden nur Naturschutzgebiete berücksichtigt, die 2020 noch in Kraft waren). Ziel der Landesregierung ist es, dass bis zum Jahr 2030 der überschneidungsfreie Biotopverbund 15 % der Landesfläche umfasst.

bundes (Abb. 11). Bis 2030 hat sich NRW als Ziel gesetzt, den Biotopverbund auf insgesamt 15 % der Landesfläche auszuweiten. Betrachtet man die Entwicklung von 11,2 % in 2010 zu den 11,7 % in 2020, scheint dieses Ziel allerdings weit entfernt (Abb. 02). Zudem steht es um die Qualität der Schutzgebiete und der FFH-Lebensräume nicht immer zum Besten – unter anderem weil es an konkreten Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen fehlt. So sind im atlantischen Tiefland nur 18 % und im kontinentalen Bergland 60 % der nordrhein-westfälischen FFH-Lebensraumtypen in einem günstigen Zustand (vgl. LANUV, 2019).

Eine fundamentale ökologische Regel ist die Arten-Areal-Beziehung: Je größer die untersuchte Fläche, desto mehr Arten sind darauf zu finden. Und je verinselter und fragmentierter

die Lebensräume, desto geringer ist ihre Biodiversität. Daher hat der Erhalt sogenannter Unzerschnittener verkehrsarmer Räume – definiert als Räume, die nicht durch Straßen mit einer Verkehrsstärke von über 1.000 Fahrzeugen pro Tag sowie Bahnstrecken, Ortslagen, Flughäfen und Kanäle ab einer bestimmten Bedeutung zerschnitten werden – so große Relevanz für die Biodiversität (uzvr.naturschutzinformationen.nrw.de/uzvr/de/start). NRW verfügt gerade einmal über sechs Unzerschnittene verkehrsarme Räume, die größer als 100 km² sind (url.nrw/uzvr, vgl. LANUV, 2017). Dieser Sachverhalt übt in Verbindung mit dem Flächenverbrauch einen enormen Druck auf die heimische Artenvielfalt aus.



Um sich der Verantwortung NRW in Bezug auf den Beitrag zum Druck auf die Planetare Belastungsgrenze des Landnutzungswandels zu widmen, gibt es bisher zwei Ansätze. Der eine berücksichtigt die Schlüsselfunktionen der Waldökosysteme unter anderem für die Klimaregulation und leitet eine Toleranzgrenze der Entwaldung von maximal 15 % der tropischen und borealen Wälder und 50 % der Wälder in gemäßigten Klimazonen – darunter Deutschland – ab (vgl. Steffen et al., 2015). Für die Fläche NRW ist ohne das menschliche Einwirken von einer weitgehend geschlossenen Waldbedeckung mit Ausnahme von Gewässern, Mooren und Lichtungen durch den Einfluss von Großsäugern auszugehen (vgl. Schulte, 2003). Das wären unter Berücksichtigung von 627 km² Gewässerfläche und etwa 400 km² für die ursprüngliche Ausweitung von Mooren, abgeschätzt mittels geologischer Karten und Bodenmerkmalen (vgl. Schopp-Guth & Guth, 2003), rund 33.000 km². Laut Landeswaldinventur 2014 bezifferte sich die Waldfläche NRW samt Lichtungen auf 9.345 km². Demnach steht heutzutage nur noch auf etwa 28 % der potenziell ursprünglich bewaldeten Flächen Wald und die Toleranzgrenze der Entwaldung ist kräftig überschritten. Allerdings ist solch eine Übersetzung der Planetaren Belastungsgrenze in ein landesweites Ziel problematisch, nicht zuletzt da diese Definition für größere zusammenhän-

Zweifellos sind Einwohnerinnen und Einwohner Deutschlands und NRWs in Zeiten der Globalisierung auch indirekt am Landnutzungswandel im Ausland beteiligt.

gende Wald-Biome gedacht und die Angabe der ursprünglich bewaldeten Fläche mit Unsicherheiten behaftet ist.

Ein anderer, früherer Ansatz adressiert den Landnutzungswandel über die Ausweitung des Ackerlandes, die maximal 15 % der Landoberfläche betragen soll (vgl. Rockström et al., 2009). In dieser Definition wird die Umwandlung natürlicher Ökosysteme stellvertretend durch die Ausweitung des Ackerlandes betrachtet. Nutzt man auch hier wieder das Prinzip der Gleichverteilung und setzt für jeden Nationalstaat und jedes Bundesland eine maximale Ausweitung

des Ackerlandes von 15 % des Territoriums an, würde das für NRW eine Toleranzgrenze von rund 5.120 km² Ackerfläche bedeuten. Die aktuell landwirtschaftlich genutzte Ackerfläche von etwa 10.643 km² ist allerdings mit einem Faktor von

2,1 mehr als doppelt so groß wie dieser Richtwert (Abb. 02, vgl. IT.NRW, 2019c).

Zweifellos sind Einwohnerinnen und Einwohner Deutschlands und NRWs in Zeiten der Globalisierung auch indirekt am Landnutzungswandel im Ausland beteiligt. So sind die Produktion und der Konsum von Fleisch zwei der Hauptursachen für die Abholzung des Regenwaldes in Ländern wie zum Beispiel Brasilien (vgl. Machovina et al., 2015). In Borken, Coesfeld, Warendorf und zahlreichen anderen



Kreisen mit verdichteter Intensivtierhaltung wird viel eiweißreiches Soja verfüttert, das vor allem aus Südamerika importiert wird (vgl. Chemnitz et al., 2016). Dort weiten sich die Sojaplantagen und Rinderweiden immer weiter in den Regenwald aus und verdrängen die angestammte Flora und Fauna sowie indigene Völker (vgl. WWF, 2014). Der hohe Fleischverzehr in Deutschland von rund 60 kg pro Kopf und Jahr sowie unsere Fleischexporte tragen also das Ihrige dazu bei (vgl. BLE, 2019).

Ein weiteres Produkt, das in Deutschland viel konsumiert wird und in anderen Regionen der Welt starken Druck auf die natürlichen Ökosysteme ausübt, ist das Palmöl. Es wird aus den Früchten der Ölpalme gewonnen, die am besten dort gedeihen, wo auch Regenwald wächst. Palmöl ist heutzutage in einem Großteil der industriell hergestellten Produkte enthalten: in Margarine, Pizzen und Keksen, in Kosmetikartikeln und Waschmitteln, ja sogar in nicht unerheblichem Maße in sogenannten Biokraftstoffen (vgl. Danielsen et al., 2009). Nach Einschätzung des UNEP (Umweltprogramm der Vereinten Nationen) sind Ölpalmenplantagen der Hauptgrund für die zunehmende Regenwaldzerstörung in Malaysia und Indonesien (vgl. Nellemann et al., 2007). So sind Produktion und Konsum von Palmöl verbunden mit der Vernichtung von Regenwald, nicht selten durch illegale Brandrodungen mit erheblichem CO₂-Ausstoß und der irreparablen Zerstörung der letzten Lebensräume von Orang-Utans, Sumatra-Tigern und Borneo-Nashörnern.

Auf diese Weise üben Deutschland und NRW also auch außerhalb ihres Territoriums Druck auf die Ressource Land aus. Während für den produktionsbasierten Ansatz die Landbeanspruchung innerhalb NRWs betrachtet wurde, bezieht sich die konsumbasierte Betrachtung auf den Landnutzungswandel, der NRW aufgrund des Verbrauchs zuzurechnen ist. Kombiniert man die Landnutzung für die Produktion und Bereitstellung von Waren und Dienstleistungen mit den internationalen Handelsströmen, lässt sich die Landbeanspruchung für den Konsum einzelner Länder ermitteln. In einer entsprechenden Studie geben Yu et al. für Deutschland eine außerordentlich hohe Rate an Landnutzung im Ausland an: 87 % des Drucks auf Landressourcen durch den Konsum Deutschlands betrifft demnach das Ausland und summiert sich auf eine Beanspruchung von 71 Megahektar, also fast das Doppelte der Fläche des Bundesgebiets (vgl. Yu et al., 2013). Damit liegt Deutschland weit über dem globalen Mittel von 27 %. Auch im europäischen Vergleich gehört Deutschland zu den Ländern mit dem größten Anteil an Landbeanspruchung im Ausland. So liegt der ausländische Anteil der Landbeanspruchung durch Konsum für Großbritannien bei 80 %, für Spanien bei 63 % und für Schweden bei 53 %. Extremere Beispiele mit besonders niedriger Landbeanspruchung im Ausland sind Australien, Brasilien, Indonesien und Russland. Dort sind die Flächen, die innerhalb des Landes für die Produktion von Waren, die für den Konsum in anderen Ländern bestimmt sind, deutlich größer als die Flächen, die sie im Ausland für ihren eigenen Konsum beanspruchen.



PLANETARE
BELASTUNGSGRENZE
INTEGRITÄT DER
BIOSPHERE UND
LANDESBEZÜGE

Die Existenz des Lebens macht den Planeten Erde einzigartig und die Vielfalt dieses Lebens umso faszinierender. Über acht Millionen Arten von Pflanzen, Tieren, Protisten (eine Gruppe nicht näher verwandter mikroskopischer Lebewesen) und Pilzen zählen zu den Erdbewohnern, dazu kommt die Spezies Mensch mit rund 7,8 Milliarden Exemplaren. Menschliche Handlungen jedoch zerstören kontinuierlich den Lebensraum zahlreicher anderer Lebewesen und vernichten unwiderruflich ganze Arten, Gene und biologische Merkmale mit alarmierender Geschwindigkeit, wie erstmals auch beim Erdgipfel 1992 in Rio de Janeiro von der Mehrheit der Nationen der Welt offiziell anerkannt und problematisiert wurde.

Wie besorgniserregend die Situation der Biodiversität auf der Welt ist, bestätigte nun zuletzt auch der Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services, der Globale Bericht des Weltbiodiversitätsrats, der im Mai 2019 von der 7. Vollversammlung des Weltrats für Biologische Vielfalt IPBES verabschiedet wurde (vgl. IPBES, 2019). So sind zum Beispiel 40 % der Amphibien, knapp ein Drittel der riffbildenden Korallen und mehr als ein Drittel der Meeressäuger vom Aussterben bedroht. Der Verlust von Biodiversität senkt die Effizienz, in der Ökosysteme Biomasse produzieren, Ressourcen aufnehmen beziehungsweise verfügbar machen und essenzielle Nährstoffe zersetzen und recyceln (vgl. Cardinale et al., 2012). Der Artenrückgang ist daher nicht nur ein moralisches Debakel für die Menschheit, sondern auch eine ernstzunehmende Bedrohung lebenswichtiger Funktionen im Erdsystem.

Insekten sind die artenreichste Klasse der Tiere überhaupt. Sie leisten zum Beispiel als Bestäuber unverzichtbare Ökosystemleistungen zur Lebensmittelversorgung, tragen zur Pflanzenvermehrung, zur Bodenfruchtbarkeit und zum Stoffabbau bei und sind die Nahrungsgrundlage für zahllose Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere. Ohne Insekten würde es zu einem Zusammenbruch der Ökosysteme

kommen. Die sogenannte Krefelder Studie bestätigte im Jahr 2017 allerdings, was einige durch Beobachtungen im eigenen Garten oder durch nahezu insektenfreie Frontscheiben nach sommerlichen Autofahrten bereits vermuteten: Die Masse der Fluginsekten hat rapide abgenommen. Analysiert wurde die Biomasse von Fluginsekten, gefangen von 1989 bis 2016 in 63 Naturschutzgebieten – davon 57 in NRW. Ergebnis war, dass die jährlich gesammelte Insektenmasse in weniger als drei Jahrzehnten um 76 % schrumpfte (vgl. Hallmann et al., 2017).

Eine Art Gradmesser für die nordrhein-westfälische Artenvielfalt ist die „Rote Liste der gefährdeten Pflanzen, Pilze und Tiere in NRW“. Sie wird etwa alle zehn Jahre zum Gefährdungsstatus der heimischen

Arten veröffentlicht. Die letzten Ergebnisse bezeugen einen besorgniserregenden Zustand der Biodiversität im Land: Im Jahr 2011 standen unter anderem 42 % der Säugetierarten, 71 % der Reptilienarten, 52 % der Wildbienen und Wespen, 55 % der Schmetterlingsarten sowie 42 % der Farn- und Blütenpflanzen auf der Roten Liste. Insgesamt waren

rund 45 % aller beobachteten Arten gefährdet, stark gefährdet, vom Aussterben bedroht, ausgestorben oder verschollen (vgl. LANUV, 2011). Die neue Gesamtfassung der Roten Liste NRWs soll im Laufe des Jahres 2021 erscheinen. Teillisten, wie die der Brutvogelarten NRWs sind bereits veröffentlicht: 49 % beziehungsweise 93 der regelmäßigen Brutvogelarten sind ausgestorben oder gefährdet und dramatische Bestandsrückgänge wurden bei Allerweltsarten beobachtet. So starb kürzlich neben dem Ortolan die einst zahlreich vorkommende Haubenlerche aus, so musste zum Beispiel der Gemeine Star in die Rote Liste neu aufgenommen werden (vgl. Grüneberg et al., 2016).

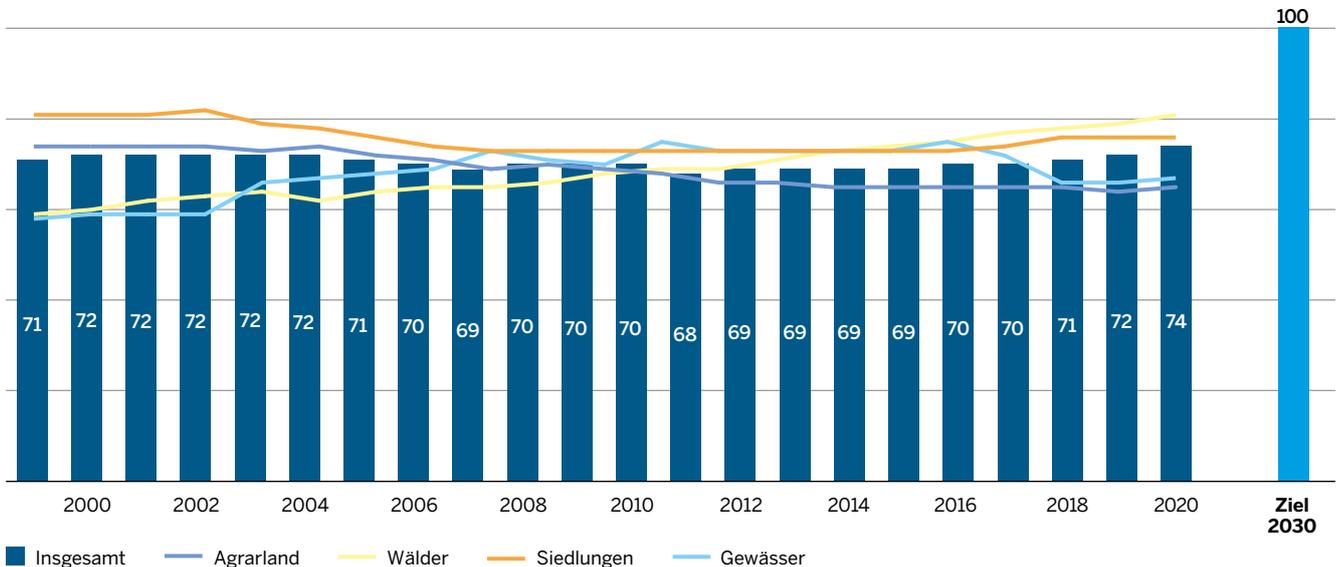
Nicht überraschend korrespondieren diese Ergebnisse mit denen des Umweltindikators Artenvielfalt und Landschaftsqualität (Abb. 12). Dieser basiert auf der Bestandsentwicklung von rund 60 Brutvogelarten, die für den Zustand der vier wichtigsten Landschafts- und Lebensraumtypen

Der Artenrückgang ist daher nicht nur ein moralisches Debakel für die Menschheit, sondern auch eine ernstzunehmende Bedrohung lebenswichtiger Funktionen im Erdsystem.

NRW-Umweltindikator Artenvielfalt und Landschaftsqualität

(Quelle: LANUV)

Grad der Zielerreichung in Prozent



Der Gesamtindikator, der auf der Bestandsentwicklung charakteristischer Brutvogelarten basiert, stieg im Jahr 2020 auf einen Zielerreichungsgrad von 74 %. Während der Teilindikator Agrarland (Gewichtungsfaktor 0,52) auf eine Zielerreichung von 64 % bei einem signifikanten Negativtrend kam, ging die Zielerreichung für Gewässer (Gewichtungsfaktor 0,01) auf 68 % zurück. Für die Siedlungen (Gewichtungsfaktor 0,18) wurde eine Zielerreichung von 78 % ermittelt, für die Wälder (Gewichtungsfaktor 0,28) eine von 86 %, jeweils bei steigenden Trends. Ziel der Landesregierung ist es, bis zum Jahr 2030 den Zielwert 100 % für alle Lebensraumtypen zu erreichen.

repräsentativ sind. Darunter sind Feldlerche und Kiebitz, Eisvogel und Teichrohrsänger, Hausrotschwanz und Rauchschwalbe sowie Schwarzspecht und Waldlaubsänger. Der Indikator ist mit einem Zielerreichungsgrad von insgesamt 74 % weit entfernt vom angestrebten Zielwert von 100 % (abgeleitet aus der maximalen Häufigkeit der jeweiligen Brutvogelart im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2015, also einer Zeitspanne, in der diese Arten bereits deutliche Bestandsrückgänge verzeichnen). Blicke es bei der derzeitigen Trendentwicklung, würde das 100 %-Ziel für 2030 klar verfehlt werden (Abb. 02).

Die Definition einer Kontrollvariable für die globale Biosphärenintegrität, die den Artenverlust und weitere ökologische Funktionen der Biosphäre einschließt, ist eine besondere Herausforderung. Derzeit wird eine Interim-Variante vorgeschlagen, der Biodiversity Intactness Index (BII, Deutsch: Biodiversitätsintaktheitsindex). Der BII bewertet die Verän-

derung der Flora- und Fauna-Populationszahlen infolge menschlicher Einflüsse wie Land- oder Ressourcennutzung für eine Vielzahl von Taxa und Funktionsgruppen auf der Ebene von Biomen oder Ökosystemen mittels der vorindustriellen Populationen als Referenz. Der Index reicht von 100 % (Populationen aller Funktionsgruppen auf vorindustriellem Niveau) bis zu niedrigeren Werten, die das Ausmaß und den Grad der menschlichen Veränderung von Pflanzen- und Tierpopulationen widerspiegeln. Als Belastungsgrenze wird zurzeit ein BII-Wert von 90 % genutzt.

Auch um die aquatischen Lebensgemeinschaften NRWs steht es nicht zum Besten. Dabei war beispielsweise der Rhein noch Ende des 19. Jahrhunderts der bedeutendste Lachsfluss Europas (vgl. IKS, 2009). Damals wanderte der Lachs zu Hunderttausenden zum Laichen stromaufwärts und war der wichtigste Brottisch der Berufsfischerei vom



Rheinfall bis zur Mündung. Etwa fünf Jahrzehnte später starb der Rheinlachs wegen der katastrophalen Wasserqualität des Flusses und des Baus von Staustufen aus. Mittlerweile sind im Rheineinzugsgebiet jedoch enorme Investitionen in Kläranlagen getätigt worden und viele Flussabschnitte wieder fischdurchgängig gemacht. Im Ergebnis konnten – auch dank eines Wiederansiedlungsprogrammes in NRW – im Jahresdurchschnitt wieder etwa 240 Lachsrückkehrer gezählt werden (vgl. LANUV, 2018).

Aktuell sind nur rund 20 % der natürlichen Fließgewässer (beziehungsweise rund 9 % aller Fließgewässer NRWs) in einem „sehr guten oder guten ökologischen Zustand“ – so der Befund anhand von Algenarten und Bakterien, Wasserpflanzen, Makrozoobenthos wie Krebsen und Insektenlarven, gewissen Fischarten sowie chemisch-physikalischen und hydromorphologischen Kriterien. Für künstliche und erheblich veränderte Fließgewässer wird entsprechend das „ökologische Potenzial“ bewertet, weil deren Gewässerstruktur etwa durch Wehre oder Kanalisierung stark verändert ist. Lediglich rund 3 % von diesen (beziehungsweise knapp 2 % aller Fließgewässer des Landes) weisen ein „sehr gutes oder gutes ökologisches Potenzial“ auf (Abb. 13). Wenig erstaunlich, schlägt sich der ökologische Zustand der Fließgewässer auch in der Roten Liste NRWs aus dem Jahr 2010 nieder, nach der etwa 35 % der Fische und Rundmäuler als aus-

gestorben oder gefährdet gelten. Beispielsweise sind der einst häufige Stör ausgestorben, Lachs und Meerneunauge vom Aussterben bedroht, der ehemals in Massen vorkommende Aal stark gefährdet und selbst Brasse, Hecht und Rotaugen auf der Vorwarnliste.

Gemäß der EU-Wasserrahmenrichtlinie ist es das Ziel, dass bis 2027 alle natürlichen Fließgewässer den guten ökologischen Zustand sowie alle erheblich veränderten und künstlichen Gewässer das gute ökologische Potenzial zu 100 % erreicht haben. Verfolgt man die Entwicklung über die letzten beiden Erhebungen, also vom Monitoringzyklus 2012 bis 2014 bis zum Monitoringzyklus 2015 bis 2018, erkennt man allerdings nur eine gemäßigte Entwicklung in diese Richtung. Zwar stieg der Anteil an künstlichen oder veränderten Wasserkörpern mit „gutem oder sehr gutem Potenzial“ von 0,6 % auf 1,6 %, aber der Anteil der natürlichen Wasserkörper mit mindestens gutem Potenzial stagnierte bei 8,8 %. Daher würde bei Fortführung dieser mäßigen Entwicklungsdynamik das Ziel für 2027 weit verfehlt werden (Abb. 02).

Im Jahr 2016 veröffentlichte ein Team um den Biologen Tim Newbold erstmals einen globalen Datensatz des BII und optimierte das Modell seither (vgl. Newbold et al., 2016). Mittelt man die aktuellsten Ergebnisse der BII-Berechnung

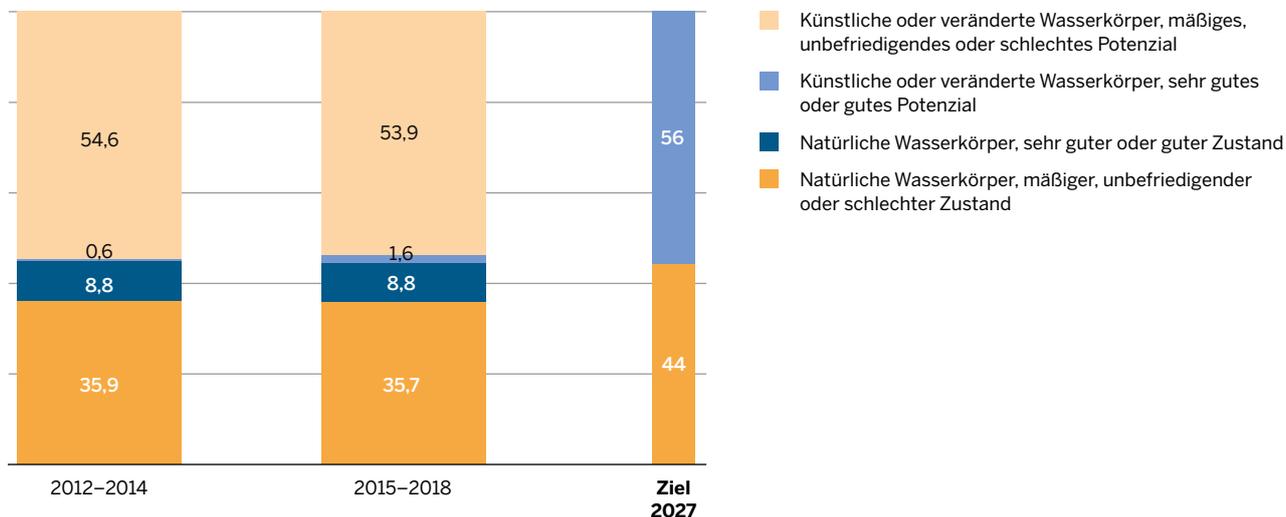


Abb. 13

NRW-Umweltindikator Ökologischer Zustand / ökologisches Potenzial oberirdischer Fließgewässer

(Quelle: LANUV)

Prozent



Rund 44 % aller Bäche und Flüsse des Landes, deren Einzugsgebiet größer als 10 km² ist, sind „natürliche Fließgewässer“, für die der „ökologische Zustand“ erhoben wird. 56 % sind „erheblich veränderte und künstliche Fließgewässer“, für die lediglich das „ökologische Potenzial“ untersucht wird. Aktuell sind nur 8,8 % aller Fließgewässer in einem sehr guten oder guten ökologischen Zustand. Weitere 1,6 % haben ein sehr gutes oder gutes Potenzial. Ziel ist gemäß EU-Wasserrahmenrichtlinie, dass bis zum Jahr 2027 alle natürlichen Fließgewässer den guten ökologischen Zustand und alle erheblich veränderten und künstlichen Fließgewässer das gute ökologische Potenzial zu 100 % erreicht haben.



für die Fläche NRW, erhält man einen Durchschnittswert von 66 %. Das bedeutet, dass die durchschnittliche modellierte Populationsdichte einer Spannweite an analysierten Arten mit Schlüsselfunktionen im Mittel nur noch circa 66 % von der Populationsdichte des unbeeinflussten Zustands beträgt. Diese Reduktion um 34 % entspricht dem 3,4-Fachen des Grenzwertes, der bei einer Reduktion von maximal 10 % angesetzt wurde (Abb. 02). Eine derartig starke Beeinträchtigung der Biodiversitätsintegrität wird von den Zahlen der oben erwähnten Rote Liste der gefährdeten Pflanzen, Pilze und Tiere NRW untermauert.

Doch die Ernsthaftigkeit der Lage beschränkt sich selbstverständlich nicht nur auf die heimische Artenvielfalt, wie sie im produktionsbasierten Ansatz adressiert wird. Die Produktion von Waren, die in NRW konsumiert werden, ist mit starken Eingriffen in die Ökosysteme in nahezu allen Regionen der Welt verbunden. Im konsumbasierten Ansatz für die Einordnung des Drucks auf die Planetare Belastungsgrenze muss also der Einfluss des Verbrauchsverhaltens NRW auf die Biodiversität an den jeweiligen Produktionsstandorten berücksichtigt werden. Ein Team um Wissenschaftler Manfred Lenzen analysierte die Auswirkungen des internationalen Handels auf die Biodiversität (vgl. Lenzen et al., 2012). Es wurden 25.000 Aufzeichnungen zur Bedrohung von Tierarten aus der Roten Liste der IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural

Resources) mit der Produktion von mehr als 15.000 Waren aus 187 Ländern verknüpft, um mehr als 5 Milliarden Lieferketten in Bezug auf ihre Auswirkungen auf die Artenvielfalt auszuwerten. Laut dieser Studie verursacht der Konsum Deutschlands 230 Artenbedrohungen innerhalb des Bundesgebiets und weitere 395 Bedrohungen im Ausland. Der Druck, der von Deutschland auf die Biodiversität in anderen Regionen der Welt ausgeht, ist dabei (im Vergleich zu dem Druck, den der Konsum anderer Länder auf die Artenvielfalt in Deutschland ausübt) außerordentlich hoch. Verrechnet man die Bedrohungen durch Import und Export miteinander, ist Deutschland hinter den USA und Japan der drittgrößte „Netto-Importeur von Artenbedrohungen“. Länder mit relativ geringem eigenem Konsum, aber großer Exportleistung von Waren, deren Produktion stark in die Ökosysteme eingreift, gelten hingegen als „Netto-Exporteure von Artenbedrohungen“. So bedingt der Export von Palmöl aus Indonesien und Malaysia durch die extensiven Plantagen besonders viele Bedrohungen der heimischen Arten, während beispielsweise in Papua-Neuguinea vor allem der Fischfang zu hohen „Netto-Exporten von Artenbedrohungen“ führt.

An aerial, high-angle view of a futuristic city model. The buildings are primarily white and have various modern, organic shapes. Some are tall and slender, while others are more complex and multi-tiered. The city is interspersed with lush green trees and plants. Several solar panels are visible, mounted on flat surfaces of the buildings. The overall aesthetic is clean, modern, and sustainable. A blue banner with white text is overlaid on the upper left portion of the image.

SCHLUSSEFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Die beschriebenen Veränderungen und Trends sind das Ergebnis historischer Entwicklungen. Sie zeigen in ihrer Gesamtheit deutlich auf, dass die sich entwickelnde Klima- und Umweltkrise nicht länger nur als in Kauf zu nehmender Begleitschaden des modernen Zeitalters gesehen werden kann, sondern grundsätzliche Fragen aufwirft. Die Herausforderung ist nun, die Entwicklung der modernen Industriegesellschaft auf einen Weg zu führen, welcher langfristig ihre ökologischen Grundlagen sichert – eine Voraussetzung für künftige Wohlfahrt. Dies ist aus wirtschaftlichen und gesellschaftlichen ebenso wie aus ethischen und moralischen Gründen notwendig. Die sich entfaltende Geschichte des 21. Jahrhunderts steht unter eigenen Vorzeichen.

Das Konzept der Planetaren Belastungsgrenzen unterscheidet Veränderungen, welche für die Menschheit im Sinne der Vorsorge mit hoher Wahrscheinlichkeit noch „sicher“ sind, von solchen, welche im komplexen System Erde „riskant“ oder sogar „gefährlich“ sind. „Sicher“ bedeutet dabei, dass die aus der Geschichte der Zivilisationen bekannten, stabilen Umweltverhältnisse als Grundlage auch der weiteren Entwicklung der Menschheit und ihrer Gesellschaften weiterhin zur Verfügung stehen. Die Grenzen werden also dort positioniert, wo ein Übergang von einer stabilen Erde in eine instabile Entwicklung vermutet wird. Leitlinie ist angesichts der Größe der Folgen und bestehender Unsicherheiten dabei ein sorgfältig erwogenes Vorsorgeprinzip, wie es unter anderem unter Berücksichtigung des Grundgesetzes in vielen Bereichen der öffentlichen Vorausplanung Anwendung findet. Dies erfordert aber einen klaren, unverstellten Blick auf die Ergebnisse wissenschaftlicher Analyse und auf die vorliegenden Monitoring- und Prognosedaten. Die Fähigkeit moderner Gesellschaften, mit großen Umweltauswirkungen umzu-

Die Herausforderung, vor der NRW für eine politisch integrierte Umweltpolitik steht, lässt sich nicht durch eine Anzahl kleinerer Korrekturen bewältigen.

gehen, ist nicht genau bestimmbar, und die Reaktion hochgradig miteinander vernetzter Ökosysteme auf Klimawandel, schleichende Vergiftung und menschlichen Nutzungsdruck ist zwar in Konturen, aber nicht im letzten Detail absehbar. Aus diesem Grunde ist es nicht nur das Recht, sondern sogar die Verpflichtung eines demokratisch verfassten Staates wie Deutschland, in Vorsorge gegenüber den Risiken solcher Veränderungen die ökologischen Grundlagen künftiger gesellschaftlicher Wohlfahrt zu sichern (vgl. SRU, 2019). Entsprechendes gilt für die einzelnen Bundesländer und damit auch für NRW.

Die Sicherung der ökologischen Grundlagen gehört ebenso elementar zu den Aufgaben eines Staates wie die Sicherung des Rechtsstaats, auf welchem historisch im Zuge der Aufklärung das Hauptgewicht der staatlichen Entwicklung lag, und des mit ihm heute zusätzlich elementar verbundenen Sozialstaats. Denn nicht nur der moderne Rechts- und Verwaltungsstaat, welcher gesellschaftliche Freiheiten sichert, ist ein Erbe der Aufklärung, sondern auch die modernen Naturwissenschaften, welche uns heute in der Analyse des Erdsystems auf Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse wichtige Warnungen über die sich entwickelnden Veränderungen im Erdsystem vermitteln. Sie zu missachten hieße, sowohl das Erbe der Aufklärung als auch im Grundgesetz festgeschriebene Staatsziele zu missachten.

Es ist nicht überraschend, dass für NRW als hoch entwickeltem Industriestandort Defizite bezüglich der selbst gesteckten Umweltziele und ein erheblicher Beitrag zum Druck auf die Planetaren Belastungsgrenzen festzustellen ist (Abb. 02). Die Einordnungen weisen klar darauf hin, dass NRW noch nicht auf dem notwendigen Kurs ist. Dies betrifft sowohl die selbst gewählten Umweltziele als auch in Bezug



auf die angemessene globale Verantwortung. Wie auch in anderen Industrieländern sind drei Defizite festzustellen: Erstens bestehen Umsetzungslücken, das heißt Lücken in Bezug auf die Erreichung der selbst gesteckten Ziele. Diese zu schließen, wäre bereits ein wichtiger Schritt und ist für ein Industrieland eine nicht zu unterschätzende Aufgabe. Zweitens bestehen darüber hinaus Ambitions-lücken: Die selbst gesteckten Ziele bleiben in wichtigen thematischen Bereichen hinter dem zurück, was notwendig wäre, um den „sicheren“ Bereich planetarer Stabilität für die künftige Entwicklung zu garantieren beziehungsweise dazu die angemessenen Beiträge zu leisten. Und drittens besteht häufig zu wenig Transparenz über Verlauf und Wir-

kung der beschlossenen Transformationspfade, sodass eine Bewertung schwierig ist. Der kürzlich veröffentlichte Umweltzustandsbericht NRW 2020 liefert im Rahmen des Berichtswesens des Landes hier einen wichtigen Beitrag (www.umweltzustandsbericht.nrw.de). Planetare Belastungsgrenzen im Kontext der Entwicklungen in NRW könnten künftig als elementare Orientierung zum notwendigen Diskurs beitragen.

Die Herausforderung, vor der NRW für eine politisch integrierte Umweltpolitik steht, lässt sich nicht durch eine Anzahl kleinerer Korrekturen bewältigen; die Integration von Umweltpolitik in Wirtschafts-, Sozial- und Finanzpolitik



muss grundsätzlich als Aufgabe von politisch zentraler Bedeutung und mit zutiefst historischer Wirkung verstanden und entsprechend gestaltet werden. Hier sieht sich NRW als Industriestandort einer enormen Aufgabe gegenübergestellt. Gleichwohl kann NRW auch ein hochinteressanter Pionier bei der Etablierung einer die öffentliche Wohlfahrt sichernden sozial und ökologisch nachhaltig operierenden Marktwirtschaft für das 21. Jahrhundert werden – und damit ein Vorbild auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene.

Danksagung

Wir danken dem Ministerium für die gute Zusammenarbeit bei der benötigten Datengrundlage. Ein besonderer Dank gebührt Herrn Gerald Tessmer für kontinuierliches Engagement, kritische Begleitung und die sorgfältige Redaktion.

LITERATURVERZEICHNIS

B

Bayerisches Landesamt für Umwelt 2018.

UmweltWissen – Schadstoffe Ammoniak und Ammonium. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt.

BLE 2019.

Bericht zur Markt- und Versorgungslage Fleisch 2019. Bonn: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.

BMUB 2016.

Den ökologischen Wandel gestalten. Integriertes Umweltprogramm 2030. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB).

Brienen, S., Walter, A., Brendel, C., Fleischer, C., Ganske, A., Haller, M., Helms, M., Höpp, S., Jensen, C., Jochumsen, K., Möller, J., Krähenmann, S., Nilson, E., Rauthe, M., Razafimaharo, C., Rudolph, E., Rybka, H., Schade, N. & Stanley, K. 2020.

Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks.

Bundesregierung 2018.

Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Aktualisierung 2018. Berlin: Die Bundesregierung.

Bundesverfassungsgericht 2021.

Leitsätze zum Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021 [online] www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Entscheidungen/DE/2021/03/rs20210324_1bvr265618.html.

C

Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G. M., Tilman, D., Wardle, D. A., Kinzig, A. P., Daily, G. C., Loreau, M., Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S. & Naeem, S. 2012.

Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486, 59–67.

Chemnitz, C., Bartz, D. & Stockmar, E. 2016.

Fleischatlas 2016 – Deutschland Regional. 3. Auflage: Heinrich-Böll-Stiftung & Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland.

D

Danielsen, F., Beukema, H., Burgess, N. D., Parish, F., Brühl, C. A., Donald, P. F., Murdiyoso, D., Phalan, B. E. N., Reijnders, L., Struebig, M. & Fitzherbert, E. B. 2009.

Biofuel Plantations on Forested Lands: Double Jeopardy for Biodiversity and Climate. *Conservation Biology*, 23, 348–358.

Dlugokencky, E. & Tans, P. 2021.

Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. National Oceanic and Atmospheric Agency. Earth System Research Laboratory.

DWD 2019.

Deutschlandwetter im Jahr 2019. Drittwärmstes Jahr seit 1881 – Niederschlagsarm und sonnenscheinreich. Offenbach: Deutscher Wetterdienst.

E

EEA 2021.

Data viewer on greenhouse gas emissions and removals, sent by countries to UNFCCC and the EU Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (EU Member States) [online]. www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer

Erismann, J. W., Sutton, M. A., Galloway, J., Klimont, Z. & Winiwarter, W. 2008.

How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience*, 1, 636–639.

Europäische Kommission 2018.

Pressemitteilung 17.05.2018: EU-Kommission verklagt Deutschland und fünf weitere Mitgliedsstaaten wegen Luftverschmutzung [online]. ec.europa.eu/germany/news/20180517-luftverschmutzung-klage_de.

Europäische Kommission 2019.

Pressemitteilung 25.07.2019: Vertragsverletzungsverfahren: Kommission leitet in 17 Fällen rechtliche Schritte gegen Deutschland ein [online].

ec.europa.eu/germany/news/20190725-vertragsverletzungsverfahren_de.

F

Filz, K., Hoppe, D., Laufhütte, T.

Treibhausgas-Emissionsinventar Nordrhein-Westfalen 2019. LANUV-Fachbericht 117. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.

Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N. & Snyder, P. K. 2005.

Global Consequences of Land Use. *Science*, 309, 570–574.

Friedlingstein, P., O’Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Hauck, J., Olsen, A., Peters, G. P., Peters, W., Pingratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Canadell, J. G., Clais, P., Jackson, R. B., Alin, S., Aragão, L. E. O. C., Arneeth, A., Arora, V., Bates, N. R., Becker, M., Benoit-Cattin, A., Bittig, H. C., Bopp, L., Bultan, S., Chandra, N., Chevallier, F., Chini, L. P., Evans, W., Florentine, L., Forster, P. M., Gasser, T., Gehlen, M., Gillfillan, D., Gkritzalis, T., Gregor, L., Gruber, N., Harris, I., Hartung, K., Haverd, V., Houghton, R. A., Ilyina, T., Jain, A. K., Joetzjer, E., Kadono, K., Kato, E., Kitidis, V., Korsbakken, J. I., Landschützer, P., Lefèvre, N., Lenton, A., Lienert, S., Liu, Z., Lombardozzi, D., Marland, G., Metzl, N., Munro, D. R., Nabel, J. E. M. S., Nakaoka, S. I., Niwa, Y., O’Brien, K., Ono, T., Palmer, P. I., Pierrot, D., Poulter, B., Resplandy, L., Robertson, E., Rödenbeck, C., Schwinger, J., Séférian, R., Skjelvan, I., Smith, A. J. P., Sutton, A. J., Tanhua, T., Tans, P. P., Tian, H., Tilbrook, B., Van Der Werf, G., Vuichard, N., Walker, A. P., Wanninkhof, R., Watson, A. J., Willis, D., Wiltshire, A. J., Yuan, W., Yue, X. & Zaehle, S. 2020.

Global Carbon Budget 2020. *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 3269–3340.

G

Galloway, J. N., Aber, J. D., Erisman, J. W., Seitzinger, S. P., Howarth, R. W., Cowling, E. B. & Cosby, B. J. 2003.

The Nitrogen Cascade. *BioScience*, 53, 341–356.

Grüneberg, C., Sudmann, S. R., Herhaus, F., Herkenrath, P., Jöbges, M. M., König, H., Nottmeyer, K., Schidelko, K., Schmitz, M., Schubert, W., Stiels, D. & Weiss, J. 2016.

Rote Liste der Brutvogelarten Nordrhein-Westfalens, 6. Fassung, Stand: Juni 2016. *Charadrius*, 52, 1–66.

H

Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D. & de Kroon, H. 2017.

More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE*, 12, e0185809.

Häyhä, T., Cornell, S., Hoff, H., Lucas, P. & Van Vuuren, D. 2018.

Operationalizing the concept of a safe operating space at the EU level – first steps and explorations. Stockholm: Stockholm Resilience Centre, Stockholm University.

Hoffmann, V. & Hoppe, D. 2018.

Treibhausgas-Emissionsinventar Nordrhein-Westfalen 2016. LANUV-Fachbericht 87. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.

I

IKSR 2009.

Masterplan Wanderfische Rhein. IKS-R-Bericht Nr. 179. Koblenz: Internationale Kommission zum Schutz des Rheins.

IPBES, S. Díaz, Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Guèze, M., Agard, J., Arneith, A., Balvanera, P., Brauman, K. A., Butchart, S. H. M., Chan, K. M. A., Garibaldi, L. A., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S. M., Midgley, G. F., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razaque, J., Reyers, B., Chowdhury, R. R., Shin, Y. J., Visseren-Hamakers, I. J., Willis, K. J. & Zayas, C. N. 2019.

Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Service. Bonn: Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Service.

IPCC 2018.

Global Warming of 1.5 °C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Genf: Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC 2021.

Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

IT.NRW 2018.

Einkommen und Einnahmen sowie Ausgaben privater Haushalte in Nordrhein-Westfalen. Ergebnisse der Einkommens- und Verbrauchsstichprobe 2013. Düsseldorf: Information und Technik Nordrhein-Westfalen, Statistisches Landesamt.

IT.NRW. 2019a.

Katasterfläche am 31.12.2018 nach Nutzungsarten [online]. Düsseldorf: Information und Technik Nordrhein-Westfalen. www.it.nrw/statistik/eckdaten/katasterflaeche-am-31122018-nach-nutzungsarten-1613.

IT.NRW 2019b.

Kraftfahrzeuge und PKW-Dichte am 1. Januar [online]. Düsseldorf: Information und Technik Nordrhein-Westfalen. www.it.nrw/statistik/eckdaten/kraftfahrzeug-und-pkw-dichte-1918.

IT.NRW 2019c.

Landwirtschaftlich genutzte Fläche 2015–2019 nach Hauptnutzungs- und Kulturarten sowie Hauptfruchtarten [online]. Düsseldorf: Information und Technik Nordrhein-Westfalen. www.it.nrw/statistik/eckdaten/landwirtschaftlich-genutzte-flaeche-nach-hauptnutzungs-und-kulturarten-sowie.

IT.NRW 2020.

Statistische Berichte. Verarbeitendes Gewerbe sowie Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden in Nordrhein-Westfalen 2018. Unternehmens- und Betriebsergebnisse, Investitionen. Düsseldorf: Information und Technik Nordrhein-Westfalen.

K

Klein Goldewijk, K., Beusen, A., Doelman, J. & Stehfest, E. 2017.

Anthropogenic land use estimates for the Holocene – HYDE 3.2. Earth Syst. Sci. Data, 9, 927–953.

Kornhuber, K., Osprey, S., Coumou, D., Petri, S., Petoukhov, V., Rahmstorf, S. & Gray, L. 2019.

Extreme weather events in early summer 2018 connected by a recurrent hemispheric wave-7 pattern. Environmental Research Letters, 14, 054002.

L

Landesbetrieb Wald und Holz NRW 2016.

Die Wälder Nordrhein-Westfalens im Blick. Ergebnisse der landesweiten Waldinventur 2014.

Landesregierung NRW 2020.

Die globalen Nachhaltigkeitsziele konsequent umsetzen. Weiterentwicklung der Strategie für ein nachhaltiges Nordrhein-Westfalen.

Landwirtschaftskammer NRW 2021.

Nährstoffbericht NRW 2021.

LANUV 2011.

Rote Liste der gefährdeten Pflanzen, Pilze und Tiere in Nordrhein-Westfalen, Band 1 + 2, LANUV-Fachbericht 36. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.

LANUV 2017.

Daten zur Natur in Nordrhein-Westfalen 2016. LANUV-Fachbericht 83. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.

LANUV 2019.

Bericht über den Zustand von Arten und Lebensräumen nach der EU-Naturschutzrichtlinie (FFH-Richtlinie). Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.

LANUV 2020.

Aktuelle Einordnung der Witterung in NRW [online]. Essen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein Westfalen. www.klimaatlas.nrw.de/Witterungsverlauf.

Le Quéré, C., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Hauck, J., Pongratz, J., Pickers, P. A., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., Canadell, J. G., Arneeth, A., Arora, V. K., Barbero, L., Bastos, A., Bopp, L., Chevallier, F., Chini, L. P., Ciais, P., Doney, S. C., Gkritzalis, T., Goll, D. S., Harris, I., Haverd, V., Hoffman, F. M., Hoppema, M., Houghton, R. A., Hurtt, G., Ilyina, T., Jain, A. K., Johannessen, T., Jones, C. D., Kato, E., Keeling, R. F., Goldewijk, K. K., Landschützer, P., Lefèvre, N., Lienert, S., Liu, Z., Lombardozzi, D., Metzl, N., Munro, D. R., Nabel, J. E. M. S., Nakaoka, S.-i., Neill, C., Olsen, A., Ono, T., Patra, P., Peregon, A., Peters, W., Peylin, P., Pfeil, B., Pierrot, D., Poulter, B., Rehder, G., Resplandy, L., Robertson, E., Rocher, M., Rödenbeck, C., Schuster, U., Schwinger, J., Séférian, R., Skjelvan, I., Steinhoff, T., Sutton, A., Tans, P. P., Tian, H., Tilbrook, B., Tubiello, F. N., van der Laan-Luijkx, I. T., van der Werf, G. R., Viovy, N., Walker, A. P., Wiltshire, A. J., Wright, R., Zaehle, S. & Zheng, B. 2018.
Global Carbon Budget 2018. *Earth Syst. Sci. Data*, 10 (Ziffer „10“ vgl. essd.copernicus.org/articles/10/2141/2018/) 2141–2194.

Le Quéré, C., Jackson, R. B., Jones, M. W., Smith, A. J. P., Abernethy, S., Andrew, R. M., De-Gol, A. J., Willis, D. R., Shan, Y., Canadell, J. G., Friedlingstein, P., Creutzig, F. & Peters, G. P. 2020.

Temporary reduction in daily global CO₂ emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*, 10, 647–653.

Lenton, T. M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J. W., Lucht, W., Rahmstorf, S. & Schellnhuber, H. J. 2008.

Tipping elements in the Earth's climate system. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 1786–1793.

Lenton, T. M., Rockström, J., Gaffney, O., Rahmstorf, S., Richardson, K., Steffen, W. & Schellnhuber, H. J. 2019.

Climate tipping points – too risky to bet against. *Nature*, 575, 592–595.

Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Foran, B., Lobefaro, L. & Geschke, A. 2012.

International trade drives biodiversity threats in developing nations. *Nature*, 486, 109–112.

LIKI 2021.

D1 – Flächenverbrauch [online]. Länderinitiative Kernindikatoren. www.lanuv.nrw.de/liki/index.php?indikator=8&aufzu=4&mode=indi

M

Machovina, B., Feeley, K. J. & Ripple, W. J. 2015.

Biodiversity conservation: The key is reducing meat consumption. *Science of the Total Environment*, 536, 419–431.

Meyer, K. & Newman, P. 2018.

The Planetary Accounting Framework: a novel, quota-based approach to understanding the impacts of any scale of human activity in the context of the Planetary Boundaries. *Sustainable Earth*, 1, 4.

MULNV 2019.

Waldzustandsbericht 2019. Bericht über den ökologischen Zustand des Waldes in Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

MULNV 2020.

ELWAS-WEB. Elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW [online]. Düsseldorf: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW. www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf

MULNV 2021.

Umweltzustandsbericht Nordrhein-Westfalen 2020. Düsseldorf: Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

N

Nellemann, C., Miles, L., Kaltenborn, B. P., Virtue, M. & Ahlenius, H. 2007.

The last stand of the orangutan – State of emergency: Illegal logging, fire and palm oil in Indonesia's national parks. United Nations Environment Programme.

Newbold, T., Hudson, L. N., Arnell, A. P., Contu, S., De Palma, A., Ferrier, S., Hill, S. L. L., Hoskins, A. J., Lysenko, I., Phillips, H. R. P., Burton, V. J., Chng, C. W. T., Emerson, S., Gao, D., Pask-Hale, G., Hutton, J., Jung, M., Sanchez-Ortiz, K., Simmons, B. I., Whitmee, S., Zhang, H., Scharlemann, J. P. W. & Purvis, A. 2016.

Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science*, 353, 288–291.

O

Oita, A., Malik, A., Kanemoto, K., Geschke, A., Nishijima, S. & Lenzen, M. 2016.

Substantial nitrogen pollution embedded in international trade. *Nature Geoscience*, 9, 111–115.

R

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sorlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P. & Foley, J. A. 2009.

A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472–475.

S

Schmidt, U. E. 2002.

Der Wald in Deutschland im 18. und 19. Jahrhundert. Das Problem der Ressourcenknappheit dargestellt am Beispiel der Waldressourcenknappheit in Deutschland im 18. und 19. Jahrhundert. Eine historisch-politische Analyse. Saarbrücken: Conte-Verlag.

Schopp-Guth, A. & Guth, C. 2003.

Moorrenaturierung – Grundlagen und Anforderungen. Laufener Seminarbeiträge, 3, 7–22.

Schulte, A. 2003.

Der Wald und seine Entwicklung. In: Schulte, A. (Hrsg.) Wald in Nordrhein-Westfalen. Band 1. Münster: Aschendorff Verlag.

SRU 2017.

Stellungnahme. Kohleausstieg jetzt einleiten. Sachverständigenrat für Umweltfragen.

SRU 2019.

Demokratisch regieren in ökologischen Grenzen – Zur Legitimation von Umweltpolitik. Sondergutachten. Sachverständigenrat für Umweltfragen.

SRU 2020.

Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa, Umweltgutachten 2020. Sachverständigenrat für Umweltfragen.

Statistisches Bundesamt 2015.

Wirtschaftsrechnungen. Einkommens- und Verbrauchsstichprobe Aufwendungen privater Haushalte für den privaten Konsum. Fachserie 15, Heft 5.

Statistisches Bundesamt 2021.

Land und Forstwirtschaft, Fischerei. Viehhaltung der Betriebe. Landwirtschaftszählung 2020. Fachserie 3, Reihe 2.1.3.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B. & Sörlin, S. 2015.

Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347, 1259855-1–1259855-10.

Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., Summerhayes, C. P., Barnosky, A. D., Cornell, S. E., Crucifix, M., Donges, J. F., Fetzer, I., Lade, S. J., Scheffer, M., Winkelmann, R. & Schellnhuber, H. J. 2018.

Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115, 33, 8252–8259.

Steffen, W., Sanderson, R. A., Tyson, P. D., Jäger, J., Matson, P. A., Moore III, B., Oldfield, F., Richardson, K., Schellnhuber, H. J. & Turner, B. L. 2006.

Global Change and the Earth System: A Planet Under Pressure. Berlin, Heidelberg & New York: Springer Science & Business Media.

Strogies, M. & Gniffke, P. 2019.

Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019 – Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2017. Dessau: Umweltbundesamt.

U

UBA 2009.

Flächenverbrauch einschränken – jetzt handeln: Empfehlungen der Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

UBA 2021.

Gemeinsame Pressemitteilung von Umweltbundesamt und Bundesumweltministerium. Treibhausgasemissionen sinken 2020 um 8,7 Prozent. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt. www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent.

V

Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W., Schlesinger, W. H. & Tilman, D. G. 1997.

Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences. *Ecological Applications*, 7, 737–750.

W

WMO 2021.

State of the Global Climate 2020. Genf: World Meteorological Organization.

WWF 2014.

Living Planet Report 2014. Gland: World Wide Fund For Nature.

Y

Yu, Y., Feng, K. & Hubacek, K. 2013.

Tele-connecting local consumption to global land use. *Global Environmental Change*, 23, 1178–1186.

Z

Zhang, X., Davidson, E. A., Mauzerall, D. L., Searchinger, T. D., Dumas, P. & Shen, Y. 2015.

Managing nitrogen for sustainable development. *Nature*, 528, 51.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A

Abb.	Abbildung
Art.	Artikel

B

BII	Biodiversity Intactness Index, Biodiversitätsintaktheitsindex
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

C

≈	circa, ungefähr
---	-----------------

D

Dr.	Doktor
DWD	Deutscher Wetterdienst

E

EEA	European Environment Agency
Em.	Emissionen
et al.	et alii, und andere
EUA	Europäische Umweltagentur

G

Gt	Gigatonne
°C	Grad Celsius
>	Größer als
GG	Grundgesetz

I

IKSR	Internationale Kommission zum Schutz des Rheins
IPBES	Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Zwischenstaatliche Plattform für Biodiversität und Ökosystem-Dienstleistungen / Weltbiodiversitätsrat
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen
IT.NRW	Landesbetrieb Information und Technik Nordrhein-Westfalen
IUCN	International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Internationale Union zur Bewahrung der Natur / Weltnaturschutzunion

K

kg	Kilogramm
<	Kleiner als
CO₂	Kohlendioxid

L

LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LIKI	Länderinitiative Kernindikatoren

M

max.	maximal
Mt	Megatonne
mg	Milligramm
Mio.	Million
MULNV	Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

N

NRW	Nordrhein-Westfalen
------------	---------------------

O

Ökol. Ökologisch

P

ppm parts per million, Millionstel
PIK Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
Prof. Professor
% Prozent

Q

km² Quadratkilometer
m² Quadratmeter

R

RCP representative concentration pathway, repräsentativer Konzentrationspfad

S

SRU Sachverständigenrat für Umweltfragen

T

Tab. Tabelle
Tg Teragramm
t Tonne

U

u.	und
UBA	Umweltbundesamt
UNEP	United Nations Environment Programme, Umweltprogramm der Vereinten Nationen

V

vorl.	vorläufig
--------------	-----------

W

W	Watt
WWF	World Wide Fund For Nature
WMO	World Meteorological Organization, Weltorganisation für Meteorologie

IMPRESSUM

Herausgeber

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Referat Öffentlichkeitsarbeit
40190 Düsseldorf

Fachredaktion

Referat VII-2 Umweltberichterstattung,
Umweltinformationssysteme,
OPEN.NRW, Bürgerbeteiligung

Umsetzung

RHEINDENKEN GmbH
www.rheindenken.de

Bildnachweis

Hinweis: Bei der Gestaltung wurden teilweise
Symbolbilder verwendet. Nicht alle Bilder wurden
in Nordrhein-Westfalen aufgenommen.

alamy.de / Jochen Tack (S. 20)
alamy.de / Martin Fowler (S. 47)
Anke Jacob (S. 6)
gettyimages.de / Andriy Onufriyenko (S. 50)
gettyimages.de / Jorg Greuel (S. 18, 30, 44)
gettyimages.de / kacege photography (S. 9)
gettyimages.de / skynesher (S. 52)
gettyimages.de / Westend61 (Titel)
istockphoto.com / Alexandrum79 (S. 38)
istockphoto.com / DaveAlan (S. 48)
istockphoto.com / Juan-Enrique (S. 42)
istockphoto.com / Sepp Friedhuber (S. 14)
istockphoto.com / trabantos (S. 16)
Peter Himsel (S. 8)
Stadt Paderborn / Karl Heinz Schäfer (S. 37)
Warendorf Deutschland (S. 32)

Druck

Druckerei Flock
www.druckerei-flock.de

Redaktionsschluss

Dezember 2020, mit Anpassungen bis Juli 2021

Stand

Dezember 2021

umwelt.nrw.de

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
40190 Düsseldorf
Telefon 0211 4566-0
Telefax 0211 4566-388
poststelle@mulnv.nrw.de
www.umwelt.nrw.de