

## 7.9 Potentiale von Bioenergie für den Klimaschutz und die »Kontroverse« zur Welternährung und zum Artenschutz

HORST FEHRENBACH

*Der Beitrag beleuchtet die Rolle der Bioenergie und die Schwierigkeit der Abschätzung ihres nachhaltigen Potenzials. Dabei werden die möglichen Beiträge zum Klimaschutz sowie die Grenzen diskutiert, ebenso wie die Risiken für die Biodiversität. Mit der Nutzung von biogenen Reststoffen und Abfällen bleiben sowohl die Potenziale als auch die Risiken beschränkt.*

**Potentials of bioenergy for climate protection and the »controversy« about world nutrition and species protection:** *The article highlights the role of bioenergy and the difficulty of estimating especially sustainable potentials. The possible contributions to climate protection and the constraints are discussed, as are the risks for biodiversity. With the use of biogenic residues and waste, both the potentials and the risks remain limited.*

**Potencial de la bioenergía para la protección del clima y la »controversia« sobre la alimentación mundial de y la protección de las especies:** *El artículo ilumina el papel de la bioenergía y la dificultad de evaluar especialmente el potencial sostenible. Se discuten las posibles contribuciones a la protección del clima y sus límites, así como los riesgos para la biodiversidad. Con el uso de residuos y desechos biogénicos, tanto el potencial como los riesgos siguen siendo limitados.*

### Bioenergie – eine komplexe Angelegenheit

Die Notwendigkeit einer erfolgreichen Klimaschutzpolitik wird mit inzwischen kaum zu leugnenden Klimaveränderungen immer dringlicher. Einen großen Anteil zum Erfolg muss dabei die konsequente Weiterführung und Vollendung der Energiewende beitragen. Diese beinhaltet neben der Steigerung der Energieeffizienz und der Einsparung von Energie den Wechsel von fossilen zu erneuerbaren Energieträgern. Unter diesen spielt die Bioenergie derzeit eine wesentliche Rolle, sowohl in Form von Biokraftstoffen für den Verkehrsbereich als auch in Form von Biogas und Energieholz für Strom und Wärme. Gesetzliche Quotenverpflichtungen und Fördermaßnahmen sollen die Biomasseanteile am Energiemix weiter erheblich steigern. Doch sind die Potenziale dafür überhaupt verfügbar? Ist der weitere Ausbau der Bioenergie überhaupt mit den allgemeinen, über den Klimaschutz hinausgreifenden Zielen der Nachhaltigkeit vereinbar?

Diese Fragen beschäftigen die Fachwelt, die Politik wie auch die Zivilgesellschaft seit einigen Jahren in intensiver Weise in Deutschland, in Europa und global. Denn Bioenergie ist längst ein globalisiertes Thema. Zum einen steigt in Deutschland jährlich der Importanteil der Biokraftstoffe, die billiger mit Palm- oder Sojaöl aus Südostasien oder Lateinamerika herzustellen sind als mit heimischem Raps. Zum anderen geht es um die Nutzung der auf diesem Planeten nur in begrenztem Umfang verfügbaren Fläche. Daher steht auch der heimische Anbau von Bioenergiepflanzen unter Verdacht, weltweit zu Entwaldungen, vielleicht sogar zu Verschärfungen der Nahrungsmittelsituation zu führen.

Auf der anderen Seite ist die Nutzung von Biomasse als die älteste vom Menschen genutzte Energieform untrennbar mit der Kultivierung unseres Lebensraums verbunden. Auch beim Anbau von Lebensmitteln fällt Biomasse an, die genutzt werden kann, beispielsweise Stroh. Mit neuen Technologien könnten solche Biomassen effizient nutzbar gemacht werden. Und dann gibt es noch Szenarien von Klimaforschern, darunter auch der Weltklimarat IPCC (2019), die davon ausgehen, dass die globalen Ziele zur Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5°C nicht ohne Bioenergie erreichbar sind. Voraussetzung dabei ist allerdings, dass das beim Verbrennen der Biomasse entstehende CO<sub>2</sub> abgeschieden und dauerhaft gespeichert wird, da dies bilanztechnisch zu »negativen Emissionen« führt.

Bioenergie ist folglich eine mehr als komplexe Angelegenheit, was sich auch in der seit über fünfzehn Jahren laufenden äußerst kontroversen Debatte auf wissenschaftlicher Ebene ablesen lässt. Der Autor maß sich nicht an, das alles auflösen zu können. Jedoch sollen eine Reihe von Fakten und Einschätzungen mit diesem Artikel zusammengestellt werden.

### Die Biomassepotenziale

Studien zu Biomassepotenzialen sind so zahlreich und vielfältig wie die Ergebnisse, die damit veröffentlicht werden. So werden zunächst bereits Potenziale unterschiedlich definiert. Ausgehend von der in einer gegebenen Region innerhalb eines bestimmten Zeitraumes theoretisch nutzbaren Menge an Biomasse (sie stellt somit das theoretische Maximum dar) ist die entscheidende Frage, welche Restriktionen angesetzt werden, um das tatsächlich nutzbare Potenzial zu bestimmen. Nach THRÄN et al. (2019) und BROSOWSKI et al. (2015) sind da zuerst die technischen Einschränkungen zu

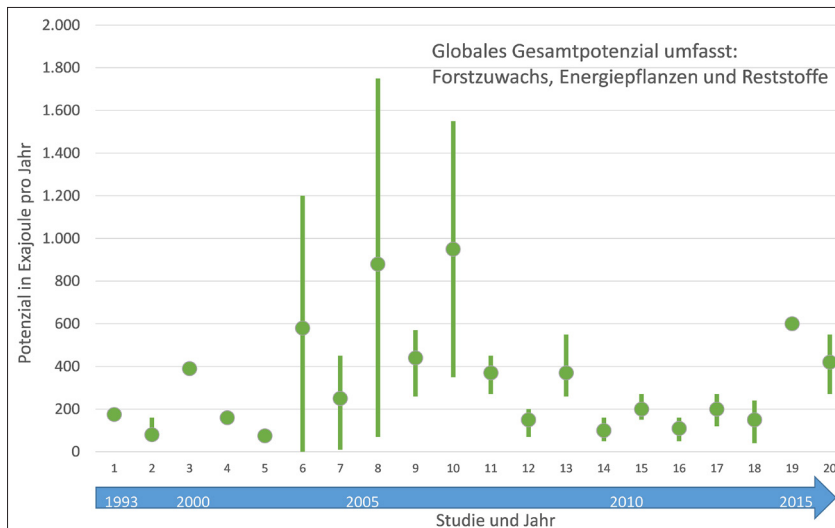
nennen, z.B. die Bergungsrate, sprich, wieviel vom gewachsenen Stroh lässt sich mittels Technik vom Acker gewinnen. Auch rechtliche Vorgaben können die Nutzung einer Biomasse einschränken (z.B. die Pflicht eines Ackerbaubetriebs zur Humusbilanz). Darüber hinaus können viele weitere Restriktionskriterien an die Potenzialabschätzung angesetzt werden. Häufig angeführt werden dabei das »nachhaltige« Biomassepotenzial, das »wirtschaftliche« oder auch das »erschließbare« Biomassepotenzial. Es ist dabei von entscheidender Bedeutung, wie die Kriterien genau definiert sind. So lässt der Anspruch eines »nachhaltigen« Biomassepotenzials viele Spielräume offen. Darunter wird in einem Fall verstanden, dass mehr Naturschutzflächen ausgewiesen werden oder die Landwirtschaft zunehmend extensiviert wird und dementsprechend die produzierte Biomasse geringer ausfällt. Im anderen Fall heißt dies, dass auf Anbaubiomasse insgesamt verzichtet wird und nur biogene Reststoffe und Abfälle einbezogen werden.

Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Wissenschaft keine genaue Zahl für das tatsächliche Biomassepotenzial angeben kann, sondern vielmehr die einzelnen Ergebnisse enorme Bandbreiten aufweisen. THRÄN (2016) hat dies anhand von 32 ausgewerteten Studien, von denen 20 Abschätzungen für das globale Potenzial ausweisen, eindrucksvoll dokumentiert, wie *Abb. 7.9-1* zeigt. Studien zum Biomassepotenzial in Deutschland kommen ebenso zu durchaus unterschiedlichen Zahlen. Auch hier ist die Frage der Rahmensetzung entscheidend, insbesondere der Umgang mit Anbaubiomasse. Da Deutschland Agrargüter in großem Umfang sowohl exportiert als auch importiert, ist die Frage, welche Fläche im Land für eine nachhaltige Biomasseproduktion zur Verfügung steht, kaum zu beantworten.

Bei den Biokraftstoffen hat diese Frage in gewisser Weise die Gesetzgebung geregelt. So sieht das jüngst verabschiedete Gesetz zur Weiterentwicklung der Treibhausgas-Minderungsquote (BUNDESREGIERUNG 2021) eine Deckelung von Biokraftstoffen aus Nahrungs- und Futtermitteln auf den Status quo vor. Darüber hinausgehende Mengen sind nicht auf die Quote anrechenbar, was gleichbedeutend damit ist, dass sie nicht als nachhaltig gelten.

Diese Regelung gilt für Biokraftstoffe, sie ist im Wesen jedoch übertragbar auf den Bereich der Strom- und Wärmeproduktion. Für Anbaubiomasse, die Fläche in Anspruch nimmt, sollten ein zusätzlicher Ausbau gleichfalls nicht als nachhaltig erachtet werden. Dies betrifft insbesondere die Biogasproduktion auf Basis nachwachsender Rohstoffe.

Die Frage nachhaltiger Biomassepotenziale sollte sich daher – wie oben bereits angedeutet – auf verfügbare biogene Reststoffe und Abfälle beschränken. Für diese liegen zwei Studien vor, die trotz teilweise unterschiedlicher Ansätze zu ähnlichen Ergebnissen kommen und daher eine weitgehend verlässliche Einschätzung zulassen sollten. Die TATBIO-Studie von THRÄN et al. (2019) kommt für Deutschland auf jährlich rund 60 Mio. Tonnen Trockenmasse, umgerechnet in 890 Petajoule Brennstoffwärme, rein auf der Basis von Abfall- und Reststoffen. Die größten Anteile darin sind Waldrestholz, Industrierestholz, Stroh sowie Gülle bzw. Mist. Zusätzlich zu den Abfall- und Reststoffen rechnet die TATBIO-Studie noch gut 8 Mio. Tonnen Scheitholz und kommt so auf eine Gesamtenergiesumme von etwas mehr als 1.000 Petajoule. Die BioRest-Studie (FEHRENBACH et al. 2019) kommt insgesamt auf 920 Petajoule, was angesichts der vie-



*Abb. 7.9-1: Globale Biomassepotenziale – Auswertung von 20 Studien unter Angabe von Bandbreite und Mittelwert Quelle (nach THRÄN 2016).*

len Variablen fast schon punktgenau mit der TATBIO-Studie übereinstimmt. Die Abweichungen liegen im Detail, insbesondere beim Waldholz. So schließt die BioRest-Studie das kleinteilige Waldrestholz aus und bezieht sich beim nachhaltig als Energieholz verfügbaren Potenzial auf Untersuchungen von EWALD et al. (2017). Nach Ausschluss des Stammholzes und des in die Papier- und Zellstoffindustrie gehenden Industrielholzes verbleiben vom technisch-ökologischen Potenzial im bundesweiten Durchschnitt 1,8 Festmeter Holz pro Hektar und Jahr, die aus deutschen Wäldern zu energetischen Zwecken entnommen werden kann. Umgerechnet sind dies ca. 200 Petajoule (FEHRENBACH et al. 2019).

Diese Zahl ist in zweierlei Hinsicht bemerkenswert: Erstens liegt sie deutlich unter der Summe von 310 Petajoule Waldrestholz und 150 Petajoule Scheitholz, die die TATBIO-Studie als Potenzial ausweist. Und zweitens liegt sie ebenso deutlich unter der tatsächlichen Nutzung von Energieholz, die bei 310 Petajoule liegt. Folgt man somit den Ergebnissen von EWALD et al. (2017) und begrenzt sich auf das von der BioRest-Studie ausgewiesene Potenzial, dann ist dieses bereits deutlich überzeichnet. Anders ausgedrückt: Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten steht über das aktuelle Maß kein weiteres Energieholz zur Verfügung, im Gegenteil. Die Entwicklungen der letzten Jahre hinsichtlich zunehmender Mengen an Kalamitätsholz aufgrund von Trockenheit und Käferbefall sind hier nicht berücksichtigt. Welche Schlüsse daraus zu ziehen sind, bedarf erst noch genauerer Untersuchungen.

Abb. 7.9-2 stellt die von der BioRest-Studie und die von der TATBIO-Studie ermittelten Biomassepotenziale

für Deutschland zusammen. Mit Blick auf diese Zahlen ist zu beachten, dass mit Ausnahme von Stroh und teilweise Gülle und Mist diese Potenziale bereits energetisch genutzt werden. Im Falle von Waldholz findet nach den obigen Erläuterungen bereits eine Übernutzung statt.

### Bioenergie und Klimaschutz

Wie eingangs erklärt, wird der Bioenergie von vielen Seiten eine entscheidende Rolle für die Erreichung der Klimaschutzziele beigemessen. Der IPCC (2019) führt aus, dass mit Bioenergie »einige Gigatonnen CO<sub>2</sub>-im Jahr 2050« eingespart werden können. Scheidet man das bei der Biomasseverbrennung entstehende CO<sub>2</sub> ab und speichert es langfristig (man spricht hierbei von BECCS, *Bioenergy Carbon Capture and Storage*), könnten sogar 11 Gigatonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden. Zum Vergleich: die aktuelle globale Gesamtemission an fossilem CO<sub>2</sub> beträgt 37 Gigatonnen/Jahr. Allerdings weist der IPCC selbst darauf hin, dass mit solchen Mengenszenarien erhebliche Risiken bezüglich der Nahrungsmittelsicherheit und der Landdegradation verbunden sein können, sofern nicht strikte Nachhaltigkeitskriterien und best-practice umgesetzt würden. Nach IPCC würde dies jedoch bedeuten, dass sich die Biomassegewinnung auf marginale und aufgegebene Flächen beschränkt. Dass unter diesen Voraussetzungen solche Einsparpotenziale erzielt werden können, muss jedoch angezweifelt werden.

In der BioRest-Studie (FEHRENBACH et al. 2019) wurde ebenfalls die Einsparung an Treibhausgasemissionen durch Nutzung der Biomassepotenziale gegenüber der fossilen Energie für Deutschland abgeschätzt. Sie

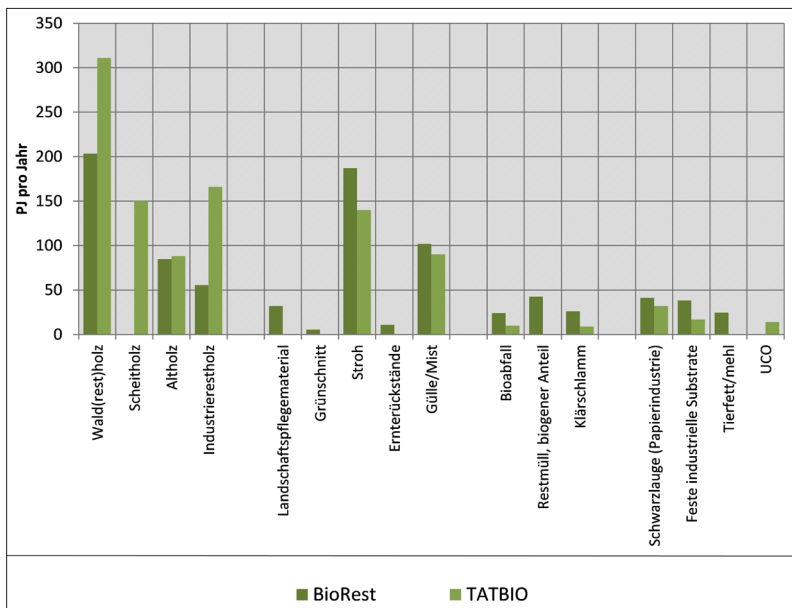


Abb. 7.9-2: Biomassepotenziale für Deutschland – Vergleich der Studien BioRest (FEHRENBACH et al. 2019) und TATBIO (THRÄN et al. 2019).

liegt in einem Bereich zwischen 40 und 47 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente und damit bei um die 5%. Da bis auf Stroh und teilweise Gülle und Mist die Biomassepotenziale bereits genutzt werden, ist diese Einsparung bereits weitgehend realisiert. Bestenfalls bestehen noch Möglichkeiten, die aktuelle Nutzung effizienter zu gestalten.

Eine Steigerung der Biomassenutzung über den Status quo hinaus kann stattdessen negative Folgen bezüglich Klimaschutz nach sich ziehen.

Beispiel Biokraftstoffe: Auf die rechtlichen Einschränkungen der Anrechenbarkeit der Biokraftstoffe auf Basis von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen (BUNDESREGIERUNG 2021) wurde oben bereits hingewiesen. Diese Einschränkungen gelten aufgrund der EU (2018) im Übrigen EU-weit, wenngleich mit unterschiedlichen Höhen der Deckelung je nach Mitgliedstaat. Es ist angebracht, zu erinnern, aus welchem Grund diese Restriktion umgesetzt wurde. Das zentrale Stichwort dazu lautet indirekte Landnutzungsänderung, oder wie im englischen Akronym weiter verbreitet: iLUC.

Was hat es damit auf sich? Es liegt im Wesen von Anbaubiomasse, Fläche für den Anbau in Anspruch zu nehmen. Wird ein zusätzliches Produkt vom Markt angefragt – oder wie im Falle der Biokraftstoffe von der Politik eingefordert<sup>1</sup> –, wird zusätzliche Fläche in Anspruch genommen. Der Anbau kann dabei auf einer neu zu Ackerland umgewandelten Fläche (z.B. aus vormalig Grünland oder Wald) erfolgen, man spricht dann von direkter Landnutzungsänderung (dLUC). Findet der Anbau auf bestehendem Ackerland statt, so muss die zusätzliche Fläche zur Befriedigung der Nachfrage an den von dort dann verdrängten Agrarprodukten anderen Orten bereitgestellt werden und schließlich muss die für den zusätzlichen Bedarf benötigte Agrarfläche dazu umgewandelt werden. Man spricht dann von indirekter Landnutzungsänderung (iLUC). Über Zertifizierung der Lieferkette, wie es nach Gesetzeslage erforderlich ist, kann man als Biokraftstoffhersteller einen dLUC vermeiden, wenn man von agrarischen Bestandsflächen die Biomasse bezieht. iLUC dagegen lässt sich dadurch nicht vermeiden. Zusätzliche Anbauprodukte führen zum Bedarf an zusätzlicher Anbauflächen - im Zweifel an anderer Stelle. In der Realität ist dieser Sachverhalt jedoch überaus komplex, weswegen es nur Modellrechnungen, aber keine genaue Bestimmung des iLUC-Effekts gibt. EDWARDS et al. (2010) haben Ergebnisse für iLUC-Emissionen nach verschiedenen Modellen zu verschiedenen Biokraftstoffen ausgewertet. Die Bandbreiten sind erheblich, aber die Effekte sind in den allermeisten Fällen in einem relevanten Bereich – nicht selten in einer Höhe, wie die THG-Emission des fossilen Referenzkraftstoffs. Sprich: Bezieht man

in diesen Fällen die iLUC-Emissionen ein, dann ist der Einspareffekt durch den Biokraftstoff zunichte.

Wie ernst iLUC und die damit verbundenen Emissionen zu nehmen sind, zeigen die offiziellen Emissionsfaktoren von CORSIA, einer Initiative der Internationalen Organisation der zivilen Luftfahrt (ICAO 2019). Wendet man diese Emissionsfaktoren für Biokraftstoffe aus Raps, Soja oder Mais an, dann ist die Einsparung gegenüber fossilem Treibstoff minimal bis negativ.

Beispiel Holz: Seit einiger Zeit herrscht ein wissenschaftlicher Disput um die Frage, ob und unter welchen Randbedingungen die Verbrennung von Holz als klimaneutral zu werten ist. Erwähnt sei hier insbesondere die seit Ende 2019 verlaufende Auseinandersetzung zwischen dem *Science Advice for the Benefit of Europe* EASAC, (NORTON et al. 2019) und dem Expertenkreis der IEA BIOENERGY (2021). Der Streitpunkt zielt auf die Frage, ob das bei der Verbrennung von Holz entstehende CO<sub>2</sub> tatsächlich als klimaneutral zu werten ist. Beide Seiten werfen dabei Argumente in die Diskussion, die jeweils für sich genommen nicht von der Hand zu weisen sind. Unbestritten ist, dass CO<sub>2</sub>, welches durch Wachstum des Holzes aus der Atmosphäre eingebunden wurde und durch Verbrennung wieder freigesetzt wird bei einem unterstellten im Gleichgewicht befindlichen Holzwachstum keine zusätzliche CO<sub>2</sub>-Last für die Atmosphäre bringt, so die IEA-Position. Aus deutscher Perspektive wäre anzufügen, dass hier der Wald seit Jahren einen Nettozuwachs an Kohlenstoff aufweist (DESTATIS 2021). Global sieht dies jedoch anders aus. Die Nettoprimärproduktion ist hier rückläufig (LEOPOLDINA 2013; IPBES 2019), was bedeutet, dass der Kohlenstoff der Biosphäre abnimmt, gleichbedeutend mit einer CO<sub>2</sub>-Zunahme in der Atmosphäre. NORTON et al. (2019) argumentieren, dass die Verbrennung das CO<sub>2</sub> unmittelbar freisetzt, während, würde man den Baum weiterwachsen und schließlich vor Ort absterben lassen, das darin gebundene CO<sub>2</sub> sehr langsam freigesetzt würde.

Tatsächlich sind die Zusammenhänge und Dynamiken von Kohlenstoffsenken und -quellen im System Wald sehr komplex. Sie lassen sich letztlich nur mit Modellen darstellen. Die zeitliche Dimension ist dabei entscheidend und die Art der Waldbewirtschaftung (HENNENBERG et al. 2019). Wie sich die Kohlenstoffbilanz der Holzenergie am Ende darstellt, kann an dieser Stelle nicht beurteilt werden. Die pauschale Unterstellung, dass der Brennstoff Holz vollständig als klimaneutral zu werten ist, wird mit Sicherheit nicht vollständig haltbar sein.

<sup>1</sup> Sei es über Quoten oder über die Möglichkeit einer Anrechnung an Klimaschutzziele



## Bioenergie und Biodiversität

Dass Bioenergie Risiken für die Biodiversität aufweist, gilt spätestens, seit Diesel auch aus Palm- und Sojaöl gemacht wird, als allgemein bekannt. Auch hier ist einer Pauschalisierung zunächst mit Vorsicht zu begegnen. Allerdings weisen ein paar allgemeine Feststellungen durchaus in diese Richtung. Erstens: Bioenergie ist mit Landnutzung verbunden. Zweitens: Die Landnutzung gilt als einer der größten Treiber von Biodiversitätsverlust (IPBES 2019). Der Zirkelschluss liegt nahe und lässt sich für eine Reihe typischer Bioenergiepfade auch problemlos nachvollziehen. Zwar kann die Intensivierung der Landwirtschaft den Druck auf nichtlandwirtschaftliche Flächen verringern (PHALAN et al. 2016), hat aber nachteilige Auswirkungen auf wildlebende Pflanzen- und Tierarten, die in verschiedenen Agrarökosystemen zusammenleben (EMMERSON et al. 2016).

Die UNEP (2019) schreibt, dass das Agrarsystem den lokalen Druck auf die Ökosysteme und das Klima inzwischen zum globalen Druck ausgeweitet hat. Die Landwirtschaft ist danach die expansivste menschliche Tätigkeit in der Welt und die Hauptursache für den irreversiblen Verlust der biologischen Vielfalt. Sie ist außerdem der Hauptnutzer von Süßwasser und ein Hauptverursacher von Luft-, Süß- und Meerwasserverschmutzung, eine führende Quelle der Bodendegradation und eine bedeutende Quelle von Treibhausgasemissionen.

Dies gilt auch für die Situation in Deutschland. Nach Aussagen von J. Settle vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Halle (Mitautor des IPBES-Berichts) haben „UFZ-Forscher aus verfügbaren Daten errechnet, dass eine Ertragssteigerung auf einer zuvor »mittelintensiv« genutzten Fläche um 85% fast ein Viertel der zuvor dort heimischen Arten verschwinden lässt<sup>2</sup>.“

Wie die vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) veröffentlichten Roten Listen der gefährdeten Tier-, Pflanzen- und Pilzarten in Deutschland belegen, haben in den vergangenen Jahrzehnten sowohl die Artenvielfalt der Insekten als auch deren Häufigkeit abgenommen. Die Gefährdungsursachen sind vielfältig und komplex. Der Rückgang der Insektenvielfalt geht mit dem oben bereits beschriebenen quantitativen Verlust und der qualitativen Verschlechterung der Lebensräume einher. BfN nennt als Hauptfaktoren die quantitativen Verluste von Lebensräumen durch Nutzungsänderungen, die qualitativen Verschlechterungen von Habitaten

in Folge der Beseitigung oder Veränderung von Habitatstrukturen, die Fragmentierung und insbesondere die Intensivierung der Bewirtschaftung mit überhöhten Nährstoff- und Schadstoffeinträgen sowie dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Damit führt BfN ein erheblicher Teil der Einflussfaktoren auf die Art und die Intensität der Landbewirtschaftung zurück (BfN 2015).

Der Faktor überhöhter Nährstoffeinträge, insbesondere Stickstoff, wird auch von SRU (2015) in seinem Sondergutachten zu allererst als Bedrohung für die Biodiversität genannt – noch vor Auswirkungen auf die Gesundheit (NO<sub>x</sub> und Nitrat im Trinkwasser) und das Klima (Lachgas).

Nicht zuletzt hat das Thema Pestizide im Zusammenhang mit dem Rückgang von Insekten und auch dem Bienensterben breite Aufmerksamkeit bekommen. Während in spezifischen Fällen wie den Neonicotinoiden die Zusammenhänge relativ eindeutig beschrieben sind (WOODCOCK et al. 2017), stellt die Vielzahl an Insektiziden, Herbiziden, Fungiziden in der Landwirtschaft in Menge und auch möglichen Kombinationswirkungen ein Problem dar (BfN 2018).

Führt Bioenergie zur Ausdehnung der Agrarfläche, so führt sie in gleicher Weise zum Biodiversitätsverlust wie die Landnutzung im Generellen. Analog zum Klimaschutz ist durch Landnutzungsänderung auch die Biodiversität betroffen. Somit stellt auch hierfür die Beschränkung auf Abfall- und Reststoffe eine Minimierung des Risikos dar.

## Schlussfolgerung

Biomasse trägt derzeit in relevantem Umfang zur Bereitstellung von erneuerbarer Energie in Deutschland bei. Allerdings beruht die Bioenergienutzung überwiegend auf Anbaubiomasse und stößt damit an ökologische Grenzen. Der Beitrag zum Klimaschutz ist aufgrund von Treibhausgasemission der Biomasseproduktion selbst limitiert. Die Knappheit der Ressource Anbaufläche stößt an eine generelle Grenze, so dass auch eine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion oder zur stofflich genutzten Biomasse besteht. Darüber hinaus ist die landwirtschaftliche Bodenbewirtschaftung mit erheblichen und vielfältigen negativen Auswirkungen auf die Umwelt verbunden. Es ist allgemein anerkannt, dass die Nutzung von landwirtschaftlichen Flächen für die Nahrungsmittelproduktion Vorrang hat. Im Sinne einer Nutzungshierarchie wird auch die stoffliche Nutzung als höherwertig eingestuft als die primärenergetische Nutzung, da die stoffliche Nutzung von Biomasse über das Kaskadenprinzip eine energetische Nachnutzung des biogenen Materials als Reststoff oder Abfall ermöglicht.

<sup>2</sup> <https://www.tagesspiegel.de/wissen/weltweiter-oeko-check-so-schlimm-steht-es-um-die-artenvielfalt/24266298.html>.

**Literatur**

- BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2015): Artenschutz-Report 2015 Tiere und Pflanzen in Deutschland. [https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/presse/2015/Dokumente/Artenschutzreport\\_Download.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/presse/2015/Dokumente/Artenschutzreport_Download.pdf)
- BfN (2018): Auswirkungen von Glyphosat auf die Biodiversität – Positionspapier des BfN; [https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landwirtschaft/Dokumente/20180131\\_BfN-Papier\\_Glyphosat.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landwirtschaft/Dokumente/20180131_BfN-Papier_Glyphosat.pdf)
- BROSOWSKI, A., G. ERDMANN, W. STINNER & P. ADLER (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen – Status quo in Deutschland; gefördert vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). <https://www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/2020114.pdf>
- BUNDESREGIERUNG (2021): Gesetze zur Weiterentwicklung der Treibhausgasreduzierungs-Quote. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/weniger-co2-in-kraftstoffen-1850472>
- DÉSTATIS (2021): Kohlenstoffbilanz der Holzbiomasse - Umweltökonomische Gesamtrechnungen. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/UGR/landwirtschaft-wald/Tabellen/kohlenstoff-holzbiomasse.html>
- EDWARDS, R., D. MULLIGAN & L. MARELLI (2010): Indirect land use change from increased biofuels demand. European Commission (EC), Joint Research Center (JRC). [http://re.jrc.ec.europa.eu/bf-tp/download/ILUC\\_modelling\\_comparison.pdf](http://re.jrc.ec.europa.eu/bf-tp/download/ILUC_modelling_comparison.pdf)
- EMMERSON, M., B. MORALES, J. J. OÑATE, P. BATÁRY et al. (2016): How Agricultural Intensification Affects Biodiversity and Ecosystem Services. <https://pure.qub.ac.uk/en/publications/how-agricultural-intensification-affects-biodiversity-and-ecosyst>
- EU (2018): Richtlinie (EU) 2018/2001 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung); 11. Dezember 2018
- EWALD, J., A. ROTHE & M. M. HANSBAUER (2017): Energiewende und Waldbiodiversität: Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben "Energiewende und Waldbiodiversität" (FKZ 3512 83 0700). BfN-Skripten Bundesamt für Naturschutz 455, Bonn-Bad Godesberg. [https://www.natur-und-erneuerbare.de/fileadmin/Daten/Download\\_Dokumente/Skript\\_455\\_H%C3%B6ltermann\\_Wald\\_Gesamtext.pdf](https://www.natur-und-erneuerbare.de/fileadmin/Daten/Download_Dokumente/Skript_455_H%C3%B6ltermann_Wald_Gesamtext.pdf)
- FEHRENBACH, H., J. GIEGRICH, S. KÖPPEN, B. WERN et al. (2019): BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor) FEHRENBACH et al. 2019.pdf. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/bioreest-verfuegbarkeit-nutzungsoptionen-biogener>
- HENNENBERG K., H. BOETTCHER, K. WIEGMANN, J. REISE & H. FEHRENBACH (2019): Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holzprodukten, AFZ - Der Wald. 17/2019 (2019). [https://co2-speichersaldo.de/media/Hennenberg\\_Oekobilanz\\_sl.pdf](https://co2-speichersaldo.de/media/Hennenberg_Oekobilanz_sl.pdf)
- ICAO (2019): CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels. <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/ICAO%20document%2006%20-%20Default%20Life%20Cycle%20Emissions.pdf>
- IEA Bioenergy (2019): The use of forest biomass for climate change mitigation: response to statements of EASAC. [https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/12/Woody-Biomass-Climate-EASACresponse\\_Nov2019.pdf](https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/12/Woody-Biomass-Climate-EASACresponse_Nov2019.pdf)
- IPCC (2019): Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems; Chapter 6: Interlinkages between desertification, land degradation, food security and GHG fluxes: synergies, trade-offs and integrated response options. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/09\\_Chapter-6.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/09_Chapter-6.pdf)
- IPBES (2019): Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Diaz, Sandra et al. (eds.). IPBES secretariat. Bonn. <https://zenodo.org/record/3553579>
- LEOPOLDINA (2013): Bioenergie – Möglichkeiten und Grenzen, Stellungnahme der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. [https://www.leopoldina.org/uploads/tx\\_leopublication/2013\\_06\\_Stellungnahme\\_Bioenergie\\_DE.pdf](https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2013_06_Stellungnahme_Bioenergie_DE.pdf)
- NORTON, M., A. BALDI, V. BUDA, B. CARLI et al. (2019): Serious mismatches continue between science and policy in forest bioenergy. GCB Bioenergy, 11(11), pp.1256-1263. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.12643>
- PHALAN, B., L. V. DICKS, G. DOTTA & R. GREEN et al. (2016): How can higher-yield farming help to spare nature? [https://www.researchgate.net/publication/292212225\\_How\\_can\\_higher-yield\\_farming\\_help\\_to\\_spare\\_nature](https://www.researchgate.net/publication/292212225_How_can_higher-yield_farming_help_to_spare_nature)
- SRU (2015): Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem, Sondergutachten. [http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02\\_Sondergutachten/2012\\_2016/2015\\_01\\_SG\\_Stickstoff\\_HD.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2012_2016/2015_01_SG_Stickstoff_HD.pdf?__blob=publicationFile)
- THRÄN, D. (2016): Nachhaltiges Biomassepotenzial für Deutschland. [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/plattform-strommarkt-ag3-11-sitzung-praesentation-nachhaltiges-biomassepotenzial-deutschland.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/plattform-strommarkt-ag3-11-sitzung-praesentation-nachhaltiges-biomassepotenzial-deutschland.pdf?__blob=publicationFile&v=2)
- THRÄN, D., M. LAUER, M. DOTZAUER, J. KALCHER et al. (2019): Technoökonomische Analyse und Transformationspfade des energetischen Biomassepotentials (TATBIO). [https://www.ufz.de/export/data/2/231891\\_technoökonomische-analyse-und-transformationspfade-des-energetischen-biomassepotentials\(1\).pdf](https://www.ufz.de/export/data/2/231891_technoökonomische-analyse-und-transformationspfade-des-energetischen-biomassepotentials(1).pdf)
- UNEP (2019): Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People. United Nations Environment Programme. Nairobi. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27539/GEO6\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27539/GEO6_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- WOODCOCK, B. A., J. M. BULLOCK, R. F. SHORE, M. S. HEARD et al. (2017): Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees. Science, 356(6345), 1393-1395. <https://doi.org/10.1126/science.aaa1190>

**Kontakt:**

Prof. Dr. Horst Fehrenbach  
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH  
Heidelberg  
horst.fehrenbach@ifeu.de

FEHRENBACH, H. (2021): Potentiale von Bioenergie für den Klimaschutz und die »Kontroverse« zur Welternährung und zum Artenschutz. In: LOZÁN J. L., S.-W. BRECKLE, H. GRAßL & D. KASANG (Hrsg.). Warnsignal Klima: Boden & Landnutzung. S. 374-379. Wissenschaftliche Auswertungen in Kooperation mit GEO, Hamburg. [www.warnsignal-klima.de](http://www.warnsignal-klima.de). DOI: 10.25592/warnsignal.klima.boden-landnutzung.52