

**Hannes Böttcher, Klaus Hennenberg, Katja Hünecke,
Horst Fehrenbach, Nils Rettenmaier, Mascha Bischoff
und Judith Reise**

Naturschutz und fortschrittliche Biokraftstoffe



Naturschutz und fortschrittliche Biokraftstoffe

**Ergebnisse des gleichnamigen F+E-Vorhabens
(FKZ: 35168 22 800)**

**Hannes Böttcher
Klaus Hennenberg
Katja Hünecke
Horst Fehrenbach
Nils Rettenmaier
Mascha Bischoff
Judith Reise**

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	9
Zusammenfassung	11
Summary	15
1. Einleitung	19
1.1. Was sind Hintergrund und Motivation der Studie?	19
1.2. Wie werden fortschrittliche Biokraftstoffe definiert und welchen Bezug haben sie zu Naturschutzbelangen?	20
2. Die Neufassung der RED und Implikationen für Naturschutzaspekte	22
2.1. Was ist neu in der RED II im Vergleich zur RED I?	22
2.1.1. Der Startpunkt: RED I und ILUC-Richtlinie	22
2.1.2. Neufassung: RED II	23
2.2. Welche rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen bestehen für die Berücksichtigung von Naturschutzbelangen bei der Neuauflage der RED?	26
2.3. Welche Naturschutzrisiken können mit fortschrittlichen Biokraftstoffen verbunden sein?	27
2.4. Welche Auswirkungen auf Naturschutzaspekte sind mit den Änderungen in der RED II zu erwarten?	28
2.4.1. Landwirtschaftliche Bioenergie-Nutzung und Naturschutzrisiken	28
2.4.2. Forstwirtschaftliche Bioenergie-Nutzung und Naturschutzrisiken	29
2.5. Fazit zur Neufassung der RED und Implikationen für Naturschutzaspekte	30
3. Naturschutzkriterien in Biomassepotenzialstudien	31
3.1. Wie hoch sind Potenziale von biogenen Rohstoffen zur Produktion von fortschrittlichen Biokraftstoffen?	31
3.2. Welche Rolle spielen naturschutzfachliche Restriktionen in Potenzialstudien?	33
3.3. Fazit zu Naturschutzkriterien in Biomassepotenzialstudien	36
4. Technologiepfade für die Produktion fortschrittlicher Biokraftstoffe	38
4.1. Welche bestehenden und potenziellen Technologiepfade für die Herstellung fortschrittlicher Biokraftstoffe existieren?	38

4.1.1.	Biochemische Route	38
4.1.2.	Anaerobe Vergärung	39
4.1.3.	Pyrolyse-Route	39
4.1.4.	Synthesegas-Route	39
4.1.5.	Zwischenfazit	40
4.2.	Welche Technologiepfade werden in Zukunft voraussichtlich quantitativ von Bedeutung sein?	40
4.3.	Welche direkten und indirekten naturschutzfachlichen Effekte können sich aus der Verwendung bestimmter Technologiepfade ergeben?	41
4.4.	Fazit zu Technologiepfaden für die Produktion fortschrittlicher Biokraftstoffe	42
5.	Auswirkungen der RED II-Anreize zur Biomassenutzung auf Naturschutzaspekte	44
5.1.	Welche allgemeinen Auswirkungen hat eine verstärkte Biomassenutzung für den Naturschutz?	44
5.2.	Ergebnisse des Fachgesprächs zu landwirtschaftlichen Reststoffen	44
5.3.	Ergebnisse des Fachgesprächs zu forstwirtschaftlicher Biomasse	45
5.4.	Ergebnisse der Vertiefungsstudie zu landwirtschaftlichen Reststoffen	46
5.4.1.	Was wurde in der Vertiefungsstudie untersucht?	46
5.4.2.	Wie ist der Stand der Forschung?	47
5.4.3.	Welche Auswirkungen der Strohentnahme sind bekannt?	48
5.4.4.	Fazit zur Vertiefungsstudie zu landwirtschaftlichen Reststoffen	49
5.5.	Ergebnisse der Vertiefungsstudie zu forstwirtschaftlicher Biomasse	50
5.5.1.	Was wurde in der Vertiefungsstudie untersucht?	50
5.5.2.	Was hat die Risikoanalyse der Beispielländer ergeben?	50
5.5.3.	Fazit zur Vertiefungsstudie zu forstwirtschaftlicher Biomasse	54
6.	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen	56
6.1.	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für Akteure des Bundesumweltministeriums (BMU) und des Bundesamtes für Naturschutz (BfN)	56
6.1.1.	Handlungsempfehlungen für den EU-Prozess	56
6.1.2.	Handlungsempfehlungen innerhalb Deutschlands	57
6.1.3.	Handlungsempfehlungen bzgl. anderer relevanter EU-Prozesse	57
6.2.	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Biomassepotenzialforschung	58
6.3.	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für Akteure in Zertifizierungssystemen	59

6.4.	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für Anlagenbetreiberinnen und -betreiber	59
7.	Literatur	61
Anhänge		68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Flächenkategorien der RED I bzw. RED II in Abhängigkeit vom Überschirmungsgrad durch Bäume.	22
Abbildung 2-2: Übersicht über die Änderungen land-bezogener Nachhaltigkeitskriterien von RED I zu RED II.	25
Abbildung 3-1: Biomassepotenziale zur energetischen Nutzung laut ausgewählter Potenzialstudien für das Jahr 2020.	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Naturschutzrelevante Kriterien und Aspekte. Nennungen in RED I bzw. RED II und zusätzliche aus der Literatur abgeleitete Kriterien und Aspekte	36
Tabelle A-1: Rohstoffe zur Produktion von Biogas für den Verkehr und fortschrittlicher Biokraftstoffe (RED II, Anhang IX). Einstufung der Flächenrelevanz und der Rohstofftypen.	68

Abkürzungsverzeichnis

AtJ	Alkohol-to-Jet
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BioKraftQuG	Biokraftstoffquotengesetz
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BtL	Biomass to Liquid
CCFM	Canadian Council of Forest Ministers
EU	Europäische Union
FFV	Flexible Fuels Vehicles
FSC	Forest Stewardship Council
IFL	Intact Forest Landscape
ILUC	Indirect Land Use Change (indirekte Landnutzungsänderung)
IRUC	Indirect Residue Use Competition (indirekte Effekte durch konkurrierende Nutzung von Reststoffen)
IUCN	International Union for Conservation of Nature
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der EU
KUP	Kurzumtriebsplantage
LADA	Land Degradation Assessment in Drylands
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft)
Mha	Millionen Hektar
Mm ³	Millionen Kubikmeter
Mt	Millionen Tonnen
Mtoe	Million ton oil equivalent (Millionen Tonnen Öläquivalente)
MW	Megawatt, Millionen Watt
NGO	Non-Governmental Organisation (Nicht-Regierungsorganisation)
RED I	Renewable Energy Directive 2009 (Erneuerbare-Energien-Richtlinie aus dem Jahr 2009, RED I)

RED II	Recast of Renewable Energy Directive (Neufassung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie aus dem Jahr 2018, RED II)
SFM	Sustainable Forest Management
THG	Treibhausgas
USD	US-Dollar
VDLUFA	Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
WTO	United Nations World Trade Organisation (Welthandelsorganisation der Vereinten Nationen)

Zusammenfassung

Fortschrittliche Biokraftstoffe stammen aus Biomasserohstoffen wie Abfällen, Reststoffen und Waldholz, von denen geringere negative Wirkungen auf Landnutzungsänderungsprozesse erwartet werden als bei Biokraftstoffen der ersten Generation wie z. B. aus Raps, Getreide oder Palmöl. Sie werden zukünftig in der EU durch die Neufassung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II) in Form von Quoten gezielt gefördert. Dieser Bericht fasst die Ergebnisse von Analyse und Bewertung der Auswirkungen fortschrittlicher Biokraftstoffpfade auf Naturschutzbelange zusammen, die im Rahmen des BfN-finanzierten Projekts „Naturschutz und fortschrittliche Biokraftstoffe“ (Verbundprojekt, FKZ 3516822800) erarbeitet wurden.

Die RED II als Neufassung der RED I aus dem Jahr 2009 stellt den rechtlichen Rahmen und die Regeln für die Nutzung von Bioenergie in der EU für den Zeitraum von 2021 bis 2030 dar. Dabei werden Nachhaltigkeitskriterien für flüssige, feste und gasförmige Bioenergie für die Nutzung im Verkehrs-, Strom- und Wärmesektor festgelegt. Bereits die RED I schreibt für Biokraftstoffe und flüssige Biobrennstoffe verbindliche Schutzmaßnahmen gegen Landnutzungsänderungen im Vergleich zum Stand Januar 2008 in Gebieten mit hoher Biodiversität (Primärwald, Schutzgebiete, Grünland und Wälder mit großer biologischer Vielfalt) und mit hohen Kohlenstoffvorräten (Wälder, Feuchtgebiete) vor, die für Biomasse aus der Land- und Forstwirtschaft gelten, wie z. B. Biokraftstoffe aus Raps, Palmöl und Weizen, Biogas aus Mais und Grünschnitt und fortschrittliche Biokraftstoffe aus Holz aus Kurzumtriebsplantagen oder Wäldern. Die RED II dehnt diese auf feste und gasförmige Biomasse aus.

Im Vergleich zur RED I allerdings werden die wichtigen Nachhaltigkeitsanforderungen für mögliche Landnutzungsänderungen hauptsächlich auf die Landwirtschaft begrenzt. Zudem werden genutzte Grünlandflächen mit hohem Wert für die biologische Vielfalt durch die neuen Regeln weniger strikt geschützt. Für Biomasse aus der Forstwirtschaft wird stattdessen auf allgemeine nationale Nachhaltigkeitsregeln verwiesen, und es werden nur schwache Kriterien zum Schutz der biologischen Vielfalt und des Bodens genannt. Eine betriebliche Prüfung wird nur verlangt, wenn das nationale Regelwerk nicht ausreichend ist. So fehlen hinreichend konkrete Kriterien für Naturschutzbelange und es besteht die Gefahr, dass die allgemeinen nationalen Nachhaltigkeitsregeln pauschal als Einhaltung von Nachhaltigkeitsregeln interpretiert werden könnten.

Im Verkehrssektor, wie auch dem Strom- und Wärmesektor, setzt die RED II verstärkt Anreize für den Einsatz von Biomasse, die voraussichtlich die Nutzung von Biomasse aus Wäldern und von landwirtschaftlichen Reststoffen wie Stroh erhöhen werden. Gleichzeitig gelten die Nachhaltigkeitsanforderungen aber nur für die Nutzung von fester Biomasse in Anlagen zur Strom- und/oder Wärmeerzeugung mit einer Nennleistung ab 20 MW. Für Biogas liegt dieser Grenzwert bei einer Nennleistung von 2 MW. Diese Regelungen sind aus Naturschutzsicht deshalb als unzureichend einzustufen. Mitgliedstaaten wird aber die Möglichkeit eingeräumt, zusätzliche Nachhaltigkeitskriterien für feste und gasförmige Bioenergie einzuführen, die über die genannten Anforderungen hinausgehen.

Ein Review existierender Potenzialstudien zeigte, dass Naturschutzrestriktionen von Potenzialstudien in vielen Fällen nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt werden bzw. ihre Anwendung nicht hinreichend nachvollziehbar dokumentiert wurde. So fehlt oft die Berücksichtigung von naturräumlichen Unterschieden (Relevanz des Anbaustandortes), Entnahmeraten durch unterschiedliche Bewirtschaftungsformen, Forstzertifizierung, Ökolandbau und/oder ökologischer Vorrangflächen, konkurrierende Nutzungen (stofflich vs. energetische Nutzung), Schutz von Wasser, Schutz vor invasiven Arten oder indirekte Landnutzungseffekte. Dabei ist die mangelnde Verfügbarkeit von Daten oft ein angegebener Grund, warum Naturschutzaspekte unberücksichtigt bleiben, was aber nur z. T. zutreffend ist. Die Vergleichbarkeit von Potenzialstudien, gerade im Hinblick auf die unterschiedliche

Berücksichtigung von Naturschutzaspekten, wird immer schwierig sein, da – abhängig von der Fragestellung – Systemgrenzen unterschiedlich festgelegt und Randbedingungen verschieden definiert werden. Ein Ziel zukünftiger Studien muss es sein, existierende Datenlücken zu schließen. Zudem liegt ein Mehrwert für zukünftige Potenzialanalysen in einer höheren Plausibilität und Realitätsnähe durch eine stärkere Berücksichtigung von Naturschutzaspekten, aber auch in einer besseren Einordnung und Nachvollziehbarkeit dazu, wie sie integriert wurden.

Die Verfügbarkeit von Biomasse spielt eine entscheidende Rolle für die Betrachtung zukünftig relevanter Technologiepfade bezüglich der Produktion von fortschrittlichen Biokraftstoffen. Für die hier schwerpunktmäßig untersuchten ligno-zellulosehaltigen Biomasserohstoffe bieten sich aktuell im Wesentlichen vier Konversionspfade: die biochemische Route, die anaerobe Vergärung, die Pyrolyse-Route und die Synthesegas-Route. Trotz der unterschiedlichen chemisch-physikalischen Ansätze für den Aufschluss der Ausgangsbiomasse ist allen Technologiepfaden gemein, dass existierende Konversionsanlagen derzeit eine geringe Rohstoffflexibilität aufweisen. Dies erfordert die Bereitstellung von homogener, ligno-zellulosehaltiger Biomasse mit relativ engen Spezifikationen und ganzjähriger Verfügbarkeit. Die gegebenen Anforderungen erfüllen am ehesten Ernterückstände wie Stroh, entkernte Maiskolben oder Bagasse als Produktionsrückstand sowie potenziell Holz aus Kurzumtriebsplantagen oder aus der forstlichen Nutzung. Allerdings ist das Aufkommen dieser Biomassearten mit starken saisonalen Schwankungen verbunden, so dass ggf. größere Rohstoffmengen gelagert oder über größere Entfernungen transportiert werden müssen. Abfälle oder andere inhomogene Biomasserohstoffe oder Mischungen sind für die Konversion zu fortschrittlichen Biokraftstoffen aus Ligno-Zellulose tendenziell weniger geeignet, aber Biogastechnologien können eine Rolle spielen. Es ist noch unklar, welche Technologie sich als wirtschaftlichste durchsetzen wird. Diese wiederum bestimmt, welche Biomasserohstoffe Verwendung finden werden.

In zwei Vertiefungsstudien wurden mögliche Auswirkungen auf Naturschutzbelange für Stroh und Waldholz als Biomasserohstoff für fortschrittliche Biokraftstoffe näher untersucht. Im Hinblick auf Stroh besteht im Bereich der Bodenbiodiversität zum Teil noch erheblicher Forschungsbedarf. So konnten im Zusammenhang mit der Frage nach den ökologischen Konsequenzen einer Strohentnahme eine Reihe von Wissenslücken und Unsicherheiten identifiziert werden. Ungeklärt sind z. B. Fragen nach der adäquaten Messung von Biodiversität, den unterschiedlichen Betroffenheitsgraden von verschiedenen Arten und der Bedeutung von funktioneller Biodiversität. Trotz offener Fragen ist davon auszugehen, dass sich eine Strohentnahme ohne Ausgleich durch anderen organischen Dünger oder eine Anpassung der Bewirtschaftungsform negativ auf die Biodiversität auswirken wird. Im Hinblick auf Waldholz wurden anhand von kurzen Fallstudien in Kanada, Rumänien und Nigeria mögliche Auswirkungen einer verstärkten Holznutzung auf Naturschutzaspekte diskutiert. Dabei stellen Primärwälder bzw. sehr naturnahe Wälder, die gemessen an ihrer Bedeutung in diesen Ländern im sehr geringfügigen Umfang dauerhaft vor forstlichen Eingriffen geschützt sind, besonders sensible Flächen dar. Sowohl Kanada als auch Rumänien haben eine Forstgesetzgebung, die die Kriterien der RED II für die nachhaltige forstwirtschaftliche Produktion im Wesentlichen widerspiegelt. Allerdings setzt dies voraus, dass die Einhaltung der Gesetze gesichert ist. Institutionen, die mit der Prüfung der forstwirtschaftlichen Aktivitäten betraut sind, müssen deshalb ökonomisch und weisungsunabhängig von den Institutionen der Forstnutzung sein.

Um Naturschutzbelange bei der Nutzung fortschrittlicher Biokraftstoffe zukünftig besser einordnen und berücksichtigen zu können, wurden auf Grundlage der Analysen Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für unterschiedliche Akteure herausgearbeitet. Auf Ebene der weiteren Ausgestaltung der RED II und ihrer rechtlichen Umsetzung sind politische Entscheidungsträger auf EU-Ebene, aber auch in Mitgliedstaaten (in Deutschland insbesondere das Bundesministerium für Umwelt (BMU), Bundesamt für Naturschutz (BfN) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)) zu nennen. Bei der Ausgestaltung und Umsetzung werden auch

naturschutzrelevante Aspekte berührt. Wichtige Akteure stellen zudem Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dar, die zu Themen der Biomassebereitstellung (insbesondere Biomassepotenziale) und ihrer Verwendung forschen oder Indikatoren für die Nachhaltigkeitsbewertung und die Bewertung von Auswirkungen auf Naturschutzbelange entwickeln und bereitstellen. In der konkreten Umsetzung der RED II kommt in der energetischen Nutzung von Biomasse den Zertifizierungssystemen und den Anlagenbetreiberinnen und -betreibern eine hohe Bedeutung zu, da sie stark beeinflussen, welche Biomasse mit welchen Implikationen für den Naturschutz letztlich genutzt wird.

Handlungsempfehlungen für Akteure des BMU und des BfN

Die sich ergebenden Gestaltungsmöglichkeiten im Rahmen ausstehender Rechtsakte der RED II auf EU-Ebene sollten genutzt werden (Durchführungsrechtsakte zu Empfehlungen zu den Nachweisen für die Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien zur forstlichen Nutzung und LULUCF (RED II Art. 29.8) und Durchführungsrechtsakte zur Präzisierung der Bestimmungskriterien des natürlichen Grünlands mit großer biologischer Vielfalt (RED II Art. 29.3)).

Eine kritische Begleitung der Aktivitäten zu Revisionsfristen und anstehenden Bewertungen der Bioenergienutzung ist wichtig, um zukünftige Änderungen zu Ungunsten von Naturschutzbelangen zu verhindern. Möglichkeiten der Gestaltung ergeben sich durch Art. 29.14 der RED II, der es erlaubt, zusätzliche Nachhaltigkeitskriterien für Anlagen in Deutschland einzuführen, die feste und gasförmige Biomasse-Brennstoffe einsetzen.

Um den Druck auf die Flächen zu verringern, sollten Politikmaßnahmen zur Umsetzung der RED II in Deutschland generell so ausgestaltet werden, dass eine möglichst geringe zusätzliche Nachfrage nach Biomasse entsteht. Im Wärmesektor kann die Zielsetzung der RED II vergleichsweise einfach über Effizienzmaßnahmen (z. B. energetische Sanierung von Gebäuden) und andere Erneuerbare Energien statt Biomasse erreicht werden. Bestehende Marktanreizprogramme für die Biomassenutzung sind zu hinterfragen. Die Bundesregierung sollte im Hinblick auf fortschrittliche Biokraftstoffe keine Anreize setzen, die eine Nachfrage über die verpflichtenden Quoten hinaus stimulieren.

Eine Reihe von Politikprozessen auf EU-Ebene adressiert den Landnutzungssektor oder nimmt auf ihn Einfluss (z. B. die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) und LULUCF-Verordnung). Hier gilt es, die Kohärenz zwischen EU-Regulierungswerken zu erhöhen, ohne eine Reduktion der in den jeweiligen Bereichen erreichten Standards zu bewirken.

Handlungsempfehlungen für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Biomassepotenzialforschung

Aus Sicht von Naturschutzbelangen sind Potenzialanalysen nur dann aussagekräftig, wenn Datensätze zu Naturschutzbelangen (z. B. globale Karten zu Primärwäldern und Grünland) und Restriktionen zum Schutz der biologischen Vielfalt (z. B. Ausschlussflächen, ökologische Vorrangflächen) und Bodenfruchtbarkeit (z. B. maximale Strohentnahme) in Potenzialanalysen einbezogen werden.

Die Analyse bestehender Potenzialstudien zeigte, dass bestehende Studien Schwachpunkte aufweisen. Diese Defizite sollten in zukünftigen Potenzialstudien adressiert werden. Datenverfügbarkeit ist ein häufiger Grund für die Nichtberücksichtigung von Naturschutzbelangen in Potenzialstudien. Zukünftige Studien sollten deshalb darauf abzielen, bestehende Datenlücken zu schließen. Informationen, die durch Fernerkundung z. B. durch Satelliten ermittelt werden, werden immer stärker verfügbar.

Handlungsempfehlungen für Akteure in Zertifizierungssystemen

Zertifizierungssystemen kommt bei der praktischen Umsetzung der RED II eine wichtige Rolle zu. So könnten deutliche Schwachstellen der RED II abgemildert werden (z. B. Schutz von Primärwald, Wälder mit großer biologischer Vielfalt und Torfmoor mit Bezug zum Referenzjahr 2008 im Rahmen der forstwirtschaftlichen Nutzung etc.)

Voraussetzung für die Zertifizierung von Anlagen sollte die Vorlage eines nachhaltigen Biomasse-einsatzplans sein, aus dem eindeutig hervorgeht, welche Anteile der Biomasse importiert bzw. regional gewonnen werden sollen. Für die regional gewonnene Biomasse sollte die Vorlage eines regional angepassten Biomasse- und Flächennutzungskonzepts verlangt werden, welches in einem Stakeholderprozess erarbeitet wurde.

Handlungsempfehlungen für Anlagenbetreiberinnen und -betreiber

Die Recherche und Analyse zu fortschrittlichen Biokraftstoffpfaden ergab, dass a) Anlagen zur Konversion von ligno-zellulosehaltigem Material (im Vergleich zu Anlagen zur Konversion von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen) deutlich höhere spezifische Investitionskosten aufweisen, b) daraus lange Abschreibeziträume (oft >10 Jahre) für die Konversionsanlagen resultieren und c) der Anteil der Biomasse-Rohstoffe an den Produktionskosten mit 40-70 % recht hoch ist. Empfohlen wird u. a.:

- Die Erstellung einer Biomassepotenzialanalyse zur Sicherstellung der Biomasseverfügbarkeit am geplanten Standort bzw. umgekehrt die Auswahl des Standortes auf Basis vorhandener, räumlich möglichst hoch aufgelöster Informationen über Biomassepotenziale muss die Grundlage der Anlagenplanung sein.
- Die Einbindung von regionalen Stakeholdern (Land- und Forstwirten, Naturschützern, Behörden etc.) sollte bereits in der Planungsphase erfolgen, um das nachhaltig erschließbare Biomassepotenzial (bzw. Flächenpotenzial) gemeinsam zu erarbeiten.
- Anlagenbetreiberinnen und -betreiber sollten auf Holzbiomasse zurückgreifen, die einem hohen Zertifizierungsstandard entspricht und garantiert, dass kein Holz aus Primärwäldern bzw. aus naturnahen Wäldern stammt.
- Holzbiomasse aus Reststoffen, beispielsweise aus lokalen Sägewerken oder aus Pflegearbeiten und Durchforstung, sollte präferiert werden.

Summary

Advanced biofuels are produced from biomass raw materials including organic waste, residues and wood. Such feedstocks are expected to have less negative impact on land-use change processes than first-generation biofuels derived from rapeseed, cereal crops or palm oil. The revision of the EU Renewable Energy Directive (RED II) seeks to specifically promote advanced biofuels with quotas. The present report summarises the results of the analysis and assessment of the impacts of advanced biofuel pathways on nature conservation carried out on behalf of the German Federal Agency for Nature Conservation in the project "Nature Conservation and Advanced Biofuels" (Funding ID: FKZ 3516822800).

As an amendment of RED I from 2009, RED II sets out the legal framework and regulations for the use of bioenergy in the EU for the period from 2021 to 2030. It further defines sustainability criteria for the use of liquid, solid and gaseous bioenergy in the transport, electricity and heat sectors. RED I already established binding protective measures to prevent land use change in reference to the year 2008 in areas with high biodiversity (primary forests, protected areas, grasslands and forests with high biological diversity) and areas with high carbon stocks (forests, wetlands). These measures were applicable to biomass from agriculture and forestry, e.g. biofuels derived from rapeseed, palm oil and wheat, biogas from maize and green waste and advanced biofuels produced from woody biomass from short-rotation coppice and forests. RED II now further extends these measures to include solid and gaseous biomass.

However, a comparison of RED I and RED II reveals that key sustainability requirements addressing potential land use change are now mainly limited to agriculture. Moreover, the protection level of grassland areas with a high biodiversity value is notably reduced under the amended directive. Biomass from forestry is now subject to general national sustainability regulations only, with an outline of weak criteria for biodiversity and soil protection. Operational audits are merely required if national regulations are insufficient. Thus, sufficiently defined criteria, addressing nature conservation concerns, are lacking. In consequence, there is a risk that the existence of general national sustainability regulations could be interpreted as blanket compliance without adequate monitoring.

RED II boosts incentives for the use of biomass in the transport sector, as well as in the electricity and heat sectors. In consequence, an increase in the use of woody biomass extracted from forests and agricultural residues such as wheat straw is expected. At the same time, RED II restricts the application of sustainability requirements to the use of solid biomass in plants for electricity and/or heat generation with an output capacity greater than 20 MW. For biogas, the output capacity threshold is 2 MW. Therefore, these regulations appear to be inadequate from a nature conservation perspective. However, Member States are given the option of introducing additional sustainability criteria for solid and gaseous bioenergy that go beyond the above-mentioned requirements.

A literature review of existing potential studies revealed that restrictions or limits to existing potentials arising from nature conservation concerns are often ignored. When conservation aspects are considered, the documentation of their application is either insufficient or incomplete. For instance, differences in the natural environment (e.g. relevance of the specific site), changing harvest rates due to different forms of management, forest certification, consideration of organic farming and/or ecological priority areas, competing use (material vs. energy use), protection of water, protection against invasive species and indirect land use effects are often not taken into account. Lack of data is often the reason given why nature conservation aspects are omitted from an analysis, an explanation that is only partly justified. Comparisons of individual potential studies will always be difficult because there is also often a lack of consistency in the consideration of conservation concerns, i.e. system boundaries and constraints are defined differently depending on the individual research question.

One goal of future studies should be to close existing data gaps. Furthermore, future potential analyses should seek more realistic models and strive for higher plausibility by placing a stronger focus on nature conservation aspects. This includes more transparency on classification and integration into the modelling process.

The availability of biomass feedstocks plays a pivotal role in the identification of future relevant technology pathways for the production of advanced biofuels. For the lignocellulosic biomass feedstocks explored here, four main conversion pathways are currently available: the biochemical route, anaerobic fermentation, the pyrolysis route and the synthesis gas route. Despite the different physico-chemical approaches for the processing of the raw biomass, all technology pathways share the limitation that existing conversion plants currently operate with a low degree of raw material flexibility. This requires the provision of homogeneous, lignocellulosic biomass with relatively narrow specifications and year-round availability. The given requirements are most likely to be met by harvest residues such as straw, corn cobs or bagasse as production residues, as well as potentially woody biomass from short-rotation coppice or from forestry. However, the availability of these types of biomass strongly fluctuates across seasons, so that larger quantities of raw materials may have to be stored or transported over longer distances. Waste or other heterogeneous biomass feedstocks or blends tend to be less suitable for conversion into advanced lignocellulosic biofuels. It is still unclear which technology will prevail as the most economically viable. This in turn determines which biomass feedstocks will be used.

Two case studies explored the use of straw and forest wood as biomass feedstocks for advanced biofuels and associated impacts on nature conservation in more detail. In the case of straw, there is still a considerable need for research in the field of/concerning soil biodiversity. The investigation of ecological consequences of straw extraction revealed a number of knowledge gaps and uncertainties. Some fundamental aspects such as the question of adequate metrics and methodology for measuring biodiversity, the different degrees to which different species are affected and the importance of functional biodiversity are still unclear. Despite open questions, it can be assumed that straw removal without compensation with other organic fertilisers or adaptation of cultivation practices will have a negative impact. For forest wood, short case studies in Canada, Romania and Nigeria illustrated possible impacts of increased wood use on nature conservation. Primary forests or intact secondary forests are particularly sensitive because despite the fact that they are very important biodiversity assets, their status of protection is low. The forestry legislation of both Canada and Romania essentially reflects the criteria of RED II for sustainable forestry production. However, the underlying assumption here is compliance with and enforcement of these laws. Institutions entrusted with the auditing of forestry practices must therefore be economically independent of the institutions responsible for forestry management.

To better classify and consider nature conservation concerns arising from the future use of advanced biofuels, conclusions and recommendations for action for various stakeholders were developed based on the analyses. With regard to further development of the RED II and its subsequent legal implementation, political decision-makers at EU level, but also in Member States (in Germany in particular the Federal Ministry for the Environment (BMU), the Federal Agency for Nature Conservation (BfN) and the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL)) are addressed here. Design and implementation are likely to include aspects relevant for nature conservation. Key stakeholders are scientists conducting research on topics such as biomass supply (in particular biomass potentials) and use, or the development of indicators for sustainability assessment and the assessment of impacts on nature conservation. In addition, certification systems and plant operators play a major role in the actual implementation of the RED II and its implications for the energetic use of biomass. Both may strongly influence which types of biomass are ultimately used, thus determining which nature conservation concerns are the most pressing.

Recommendations for action for stakeholders at the BMU and the BfN

The options for legislative design within the framework of pending legal acts of the RED II at EU level should be used, i.e. implementing acts for recommendations on the documentation of compliance with the sustainability criteria for forest use and LULUCF (RED II Art. 29.8) and implementing acts for the specification of the criteria defining natural grassland with high biological diversity (RED II Art. 29.3).

Critical monitoring of the efforts on revision deadlines and upcoming assessments of bioenergy use is crucial to prevent future change with detrimental consequences for nature conservation concerns. For instance, Art. 29.14 of the RED II allows the stipulation of additional sustainability criteria for plants in Germany that process solid and gaseous biomass fuels.

To reduce the pressure on cultivation areas, policy measures to implement the RED II in Germany should be designed with the ultimate goal to create as little additional demand for biomass as possible. In the heat sector, the objective of the RED II can be achieved with relative ease through efficiency measures (e.g. energy refurbishment of buildings) and renewable energies other than biomass. Existing market incentive programmes for biomass use should be examined and perhaps reconsidered. The Federal Government should not promote incentives for advanced biofuels that stimulate demand beyond the mandatory quotas.

A number of policy processes at EU level address or influence the land use sector (e.g. the Common Agricultural Policy (CAP) and the LULUCF Regulation). The aim here is to increase coherence between EU regulatory bodies without reducing the standards achieved in the respective individual sectors.

Recommendations for action for scientists engaged in biomass potential research

From a nature conservation perspective, potential analyses are only meaningful if data sets reflect nature conservation concerns (e.g. global maps of primary forests and grasslands), and restrictions arising from efforts to protect biodiversity (e.g. excluded areas, ecological priority areas) and soil fertility (e.g. maximum straw extraction) are factored into the analyses.

The analysis of published potential studies carried out here revealed that existing studies are often incomplete. The identified flaws should be addressed in the future. Data availability is a common reason for not taking nature conservation concerns into account in potential studies. Therefore, future studies should seek to close existing data gaps. For instance, information obtained by remote sensing, e.g. from satellites, is becoming increasingly available.

Recommendations for action for stakeholders in certification systems

Certification systems are likely to play a major role in the implementation of RED II. Thus, obvious weaknesses of the RED II may be alleviated (e.g. protection of primary forests, high biodiversity forests and peat bogs observing the reference year 2008 for all forestry use etc.).

The prerequisite for the certification of plants should be the submission of a sustainable biomass use plan that clearly documents which shares of the biomass will be imported or produced regionally. A regionally adapted concept for biomass and land use should be required for all regionally produced biomass and developed in an inclusive stakeholder process.

Recommendations for action for plant operators

Research and analysis of technological pathways for advanced biofuels showed that a) plants for the conversion of ligno-cellulosic material (compared to plants for the conversion of food and feed crops) have considerably higher specific investment costs, b) this results in longer amortisation periods (often >10 years) for the conversion plants and c) with a share of 40-70%, the cost for biomass feedstocks out of the total production costs is quite high. Recommendations for plant operators include:

- A biomass potential analysis should be carried out to ensure the availability of biomass at the planned site or, conversely, the selection of the site should be based on reliable information on biomass potentials with the highest spatial resolution available.
- The involvement of regional stakeholders (farmers and forest managers, nature conservationists, local or regional authorities, etc.) should already be established at the planning stage to jointly develop sustainable biomass potentials (or area potential).
- Plant operators should make use of woody biomass that meets a high certification standard and guarantees that no wood is harvested from primary forests or near-natural forests.
- Woody biomass arising from residues, e.g. from local sawmills or from forestry maintenance work and thinning, should be given preference.

1. Einleitung

1.1. Was sind Hintergrund und Motivation der Studie?

Einem vermehrten Einsatz von nachhaltig erzeugter Biomasse zur energetischen und stofflichen Nutzung sind generell Grenzen gesetzt. Neben biophysikalischen Grenzen des Pflanzenwachstums gibt es Nutzungskonkurrenzen und Zielkonflikte, z. B. im Kontext einer naturverträglichen Landnutzung, die die Biomassepotenziale reduzieren. Die EU-Richtlinie für Erneuerbare Energien (RED I¹) stellt den rechtlichen Rahmen und Regeln für die Nutzung von Bioenergie in der EU. Die 2009 eingeführten Regeln der RED I gelten nur bis zum Jahr 2020, wenn die Richtlinie ausläuft. Für den Zeitraum von 2021 bis 2030 hat die Europäische Kommission im Dezember 2018 als Neufassung die RED II² verabschiedet. Sie hat zum Ziel (i) *"... die bestehenden Nachhaltigkeits- und Treibhausgaseinsparungskriterien für Biokraftstoffe im Verkehr auf feste und gasförmige Biomasse in Wärme und Strom auszudehnen"*, und (ii) *"... Nachhaltigkeitsanforderungen für Forstbiomasse zu entwickeln und gleichzeitig Emissionen aus dem Landnutzungssektor in nationale Verpflichtungen im Rahmen des Pariser Abkommens einzubeziehen"* (siehe erste Fassung der RED II im Jahr 2016³).

Die RED I schreibt verbindliche Schutzmaßnahmen gegen Landnutzungsänderungen in Gebieten mit hoher Biodiversität und Kohlenstoffvorräten vor. Diese Regeln gelten für alle Arten von Biokraftstoffen. Dazu gehören Biokraftstoffe der ersten Generation aus landwirtschaftlicher Anbaubiomasse, aber auch Biogas für den Verkehr und fortschrittliche Biokraftstoffe.

Die Neufassung der RED adressiert nun auch die Nutzung von Bioenergie für Strom und Wärme. Sie setzt dabei verstärkt Anreize für den Einsatz von Biomasse im Verkehrssektor wie auch im Strom- und Wärmesektor, so dass sich voraussichtlich die Nutzung von Biomasse aus Wäldern erhöhen wird. Dabei ist der Schutz von Wäldern, aber auch von Grünland mit einer hohen Biodiversität in der RED II schwächer ausgestaltet als in der RED I. Zahlreiche Studien liegen vor, die beschreiben, welche Biomassepotenziale für die Herstellung von fortschrittlichen Biokraftstoffen erschließbar sind. Aufgrund z. T. sehr unterschiedlicher Methoden zur Potenzialherleitung und Annahmen zu Naturschutzbelangen sowie anderen Einschränkungen sind die Ergebnisse allerdings oft nur schwer oder gar nicht vergleichbar. Eine allgemeine Beobachtung ist, dass vor allem die Berücksichtigung von Naturschutzaspekten sehr unterschiedlich behandelt bzw. oft vernachlässigt wird. Die Auswirkungen auf Naturschutzbelange hängen neben den Potenzialen für die Biomasseproduktion auch davon ab, welche Umwandlungspfade genutzt werden, um aus Biomasse Biokraftstoff herzustellen. Neben diesen technischen Bedingungen für die Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen sind auch rechtliche Fragen relevant, wenn es um die möglichen Auswirkungen auf Naturschutzbelange geht.

Ziel der Studie war es, eine Analyse und Bewertung von Auswirkungen der fortschrittlichen Biokraftstoffpfade auf Naturschutzbelange vorzunehmen. Dabei stand vor allem die Auswirkung auf Biodiversität, sowie eine Analyse der verschiedenen Wirkmechanismen der neuen Biokraftstoffpfade auf Naturschutzaspekte im Vordergrund. Ein weiteres Ziel der Studie war es, die künftige Relevanz

¹ Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. RED I. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=EN>.

² Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung). RED II. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>.

³ Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). RED proposal 2016. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_en_act_part1_v7_1.pdf.

der fortschrittlichen Biokraftstoffe vor dem Hintergrund der verschiedenen Politikziele und der technisch-ökonomischen Entwicklungstrends intensiv zu beleuchten. Die Einbringung von Vorschlägen zur Weiterentwicklung der RED und die Ableitung von konkreten Handlungsempfehlungen war ein klares Ziel der Studie. Folgende Forschungsarbeiten wurden erbracht:

- Zunächst fand eine Bewertung ausgewiesener Biomassepotenziale in existierenden Studien mit einem Fokus auf fortschrittliche Biokraftstoffe statt, die im Arbeitspaket 1 des Projekts durchgeführt wurde. Die Analyse wurden eng abgestimmt mit dem parallel bearbeiteten UBA-Vorhaben zu Abfall- und Reststoffpotenzialen⁴. Ziel war es, bereits vorliegende Studienergebnisse von Potenzialanalysen und deren Annahmen vor dem Hintergrund von Nutzungskonkurrenzen und möglicher Konfliktfelder zwischen Ausbau- bzw. Nutzungszielen einerseits und Zielen des Naturschutzes andererseits kritisch zu reflektieren.
- Die technischen Anforderungen von zukünftig relevanten fortschrittlichen Biokraftstoffpfaden wurden in Arbeitspaket 2 untersucht. Dabei wurde der Frage nachgegangen, welche fortschrittlichen Biokraftstoffpfade als zukünftig wichtig und mengenmäßig relevant gelten und welche davon aus naturschutzfachlicher Sicht potenziell negative Auswirkungen haben könnten.
- Die Untersuchung von konkreten Auswirkungen der verstärkten Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffpfaden auf naturschutzfachliche Belange (Arbeitspaket 3 und 4) wurden anhand von zwei Vertiefungsstudien dargestellt, zum einen zur Nutzung des Reststoffes Stroh aus der Landwirtschaft, zum anderen zu forstwirtschaftlichen Biomassenutzungen. Diese dienen dazu, mit Hilfe von aktueller Literatur, Gesprächen mit Expertinnen und Experten sowie Erfahrungsberichten, Wissenslücken herauszuarbeiten und Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen abzuleiten.
- Die Berücksichtigung von Naturschutzaspekten in der Neuauflage der RED berührt auch rechtliche Fragestellungen (Arbeitspaket 5). Aufbauend auf den Arbeiten in den Arbeitspaketen 1 bis 5 wurden Vorschläge zur Weiterentwicklung der RED I entwickelt und konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet (Arbeitspaket 6). Im Dezember 2018 wurde bereits die Neuauflage der RED vom Europäischen Parlament verabschiedet. Aufgrund dieser politischen Rahmenbedingungen versuchte das Projekt, durch Workshops und ein Arbeitspapier die Ergebnisse der Studie bereits früh in den Verhandlungsprozess einzubringen.

1.2. Wie werden fortschrittliche Biokraftstoffe definiert und welchen Bezug haben sie zu Naturschutzbelangen?

Als fortschrittliche Biokraftstoffe gelten Biokraftstoffe aus Biomasserohstoffen, die nicht mit Nahrungsmittelfeldfrüchten in Konkurrenz stehen, die niedrige Auswirkungen durch indirekte Landnutzungsänderungen (ILUC) zeigen und die ein hohes Reduktionspotenzial für Treibhausgase (THG) erzielen.

Im Anhang IX der RED II werden Feldfrüchte, Rohstoffe und Brennstoffe aufgelistet, die als Biomasserohstoff für fortschrittliche Biokraftstoffe angesehen werden. Im Rahmen dieser Studie wurden jedoch nur die naturschutzfachlich relevanten Biomasserohstoffe betrachtet. Insgesamt gesehen handelt es sich dabei in erster Linie um:

- „lignozellulosehaltiges Material“, das aus Lignin, Zellulose und Hemizellulose besteht (Biomasse aus Wäldern, holzartige Energiepflanzen, Reststoffe und Abfälle aus der forstbasierten Wirtschaft). Säge- oder Furnierrundholz sind aber in Anhang XI der RED II ausgeschlossen.

⁴ Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor), Forschungskennzahl 3716 43 102

- „zellulosehaltiges Non-Food-Material“, das überwiegend aus Zellulose und Hemizellulose besteht und einen niedrigeren Lignin-Gehalt als lignozellulosehaltiges Material hat (Reststoffe von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen wie Stroh, Energiegräser wie Weidelgras, Rutenhirse, Miscanthus und Pfahlrohr sowie Zwischenfrüchte). Nahrungsmittel- und Futterpflanzen selbst sind aber als Rohstoff für fortschrittliche Biokraftstoffe ausgenommen.

Im Zusammenhang mit Auswirkungen auf Belange des Naturschutzes ist herauszustellen, dass bei dem Einsatz der unterschiedlichen Biomasserohstoffe für fortschrittliche Biokraftstoffe unterschiedliche Risiken bestehen. Dabei ist das Risiko höher, je stärker ein Flächenbezug zur Biomasseproduktion besteht. Generell können die Risiken wie folgt gruppiert werden:

- Primäre Biomasse (Anbaubiomasse): Für die Produktion des Biomasserohstoffs wird eigene Fläche für den Anbau oder den Bau von Infrastruktur in Anspruch genommen.
- Ernterückstände: Der Biomasserohstoff fällt als Reststoff bei der Produktion eines anderen Produkts auf den Anbauflächen an. Er kann dort verbleiben oder entnommen werden.
- Produktionsrückstände: Der Biomasserohstoff fällt als Reststoff im Aufarbeitungsprozess an. Es besteht kein direkter Flächenbezug.
- Biogene Abfälle: Der Biomasserohstoff fällt als Abfall im Aufarbeitungsprozess an. Es besteht kein direkter Flächenbezug.

Nach diesen Kategorien können Biomasserohstoffe klassifiziert und ein Zusammenhang mit ihrer Nutzung und Naturschutzbelangen, bzw. mit einem Risiko für den Naturschutz, hergestellt werden. Für die Biomasserohstoffe der Kategorie Primäre Biomasse und Ernterückstände bestehen dabei deutlich höhere Risiken für Naturschutzbelange als für Biomasse aus Produktionsrückständen und Abfällen.

Im Hinblick auf die Nutzung von Holz aus Wäldern bietet die Definition der Biomasserohstoffkategorie „anderes ligno-zellulosehaltiges Material“ sehr viel Interpretationsspielraum. Sofern es sich nicht um Säge- oder Furnierrundholz handelt, kann Waldholz gemäß Anhang IX der RED II uneingeschränkt berücksichtigt werden. Welche Holzsortimente als Säge- oder Furnierrundholz Verwendung finden, wird jedoch durch den Markt entschieden. Rein technisch definierte Kriterien für die Abgrenzung gibt es hier nicht.

2. Die Neufassung der RED und Implikationen für Naturschutzaspekte

2.1. Was ist neu in der RED II im Vergleich zur RED I?

2.1.1. Der Startpunkt: RED I und ILUC-Richtlinie

Mit der RED I wurden Nachhaltigkeitsanforderungen aufgestellt, die für Biokraftstoffe und flüssige Biobrennstoffe zu erfüllen sind, wenn sie zur Anrechnung auf nationale Ziele oder der verpflichtenden Nutzung erneuerbarer Energien herangezogen oder finanziell gefördert werden. Dies bezieht sich insbesondere auf Biokraftstoffe, die zur Erfüllung der Beimischungsquote in Deutschland nach dem Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG⁵) eingesetzt werden (z.B. 6,25 % in 2009, 8,0 % in 2015). Dabei unterscheiden RED I – und auch die RED-Novelle – die in Abbildung 2-1 dargestellten Flächenkategorien, die sich deutlich überlappen.

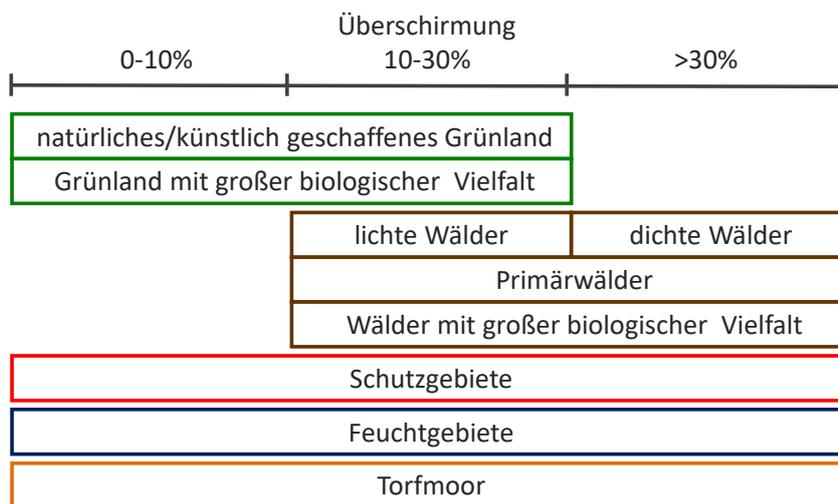


Abbildung 2-1: Flächenkategorien der RED I bzw. RED II in Abhängigkeit vom Überschirmungsgrad durch Bäume.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an RED II.

Um Risiken für die biologische Vielfalt zu minimieren, darf Biomasse zur Herstellung von Biokraftstoffen und flüssigen Biobrennstoffen (Abbildung 2-2):

- nicht von Primärwaldflächen stammen (RED I Art. 17.3(a)),
- nicht aus Schutzgebieten stammen, es sei denn die Ernte steht im Einklang mit den Schutzziele (RED I Art. 17.3(b)),
- nicht von natürlichen Grünlandflächen (inklusive Savannen) stammen⁶,
- nicht von nicht-natürlichen Grünlandflächen (inklusive Savannen) stammen, es sei denn, dass sie zur Erhaltung des Grünlandstatus erforderlich ist⁷,
- nicht von Feuchtgebieten- und Waldflächen stammen, wenn der Status der Flächen dadurch geändert wird (Verbot einer Landnutzungsänderung; Ausnahme: Erlaubnis bei lichten Wäldern, wenn das Kriterium zur Treibhausgasmindeung erreicht wird) (RED I Art. 17.4),

⁵ Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften. BioKraftQuG. <https://npl.ly.gov.tw/pdf/5518.pdf>.

⁶ Natürliches Grünland würde auch ohne Eingriffe von Menschenhand Grünland bleiben. Es besitzt eine große biologische Vielfalt, wenn seine natürliche Artenzusammensetzung sowie ökologische Merkmale und Prozesse intakt sind (RED I Art. 17.2(c)(i)).

⁷ Künstlich geschaffenes Grünland würde ohne Eingriffe von Menschenhand kein Grünland bleiben. Es besitzt eine große biologische Vielfalt, wenn es artenreich und nicht degradiert ist (RED I Art. 17.2(c)(ii)). Diese Definition wurde in der Grünland-Verordnung ausführlich ausgestaltet. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1307&from=EN>.

- nur von Torfmoorflächen stammen, die nicht weiter entwässert wurden (RED I Art. 17.4) und
- von Ackerflächen in der EU stammen, wenn die Cross-Compliance-Regeln der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) beim Anbau eingehalten werden (RED I Art. 17.6).

Diese flächenbezogenen Nachhaltigkeitskriterien sind zum Referenzzeitpunkt Januar 2008 zu prüfen. Es ist hervorzuheben, dass die Kriterien nach RED I Art. 17 für land- und forstwirtschaftliche Biomasse gelten. Aus diesem Grund wurde z. B. in RED I Art. 17.4 kein Nutzungsverbot von Wäldern, sondern ein Walderhaltungsgebot eingefügt, um eine nachhaltige Biomassenutzung von Waldflächen für Kraftstoffe der zweiten Generation zu ermöglichen. Außerdem muss eine THG-Minderung von mindestens 35 % gegenüber fossilem Benzin bzw. Diesel erreicht werden (Neuanlagen ab 2017: 50 %).

Im Jahr 2010 veröffentlichte die Kommission zudem eine Empfehlung⁸, wie Mitgliedstaaten auch für feste und gasförmige Biomasse Nachhaltigkeitskriterien entwickeln sollten. Für die oben genannten flächenbezogenen Parameter wird empfohlen, diese 1:1 zu übernehmen. Zudem wurden Ergänzungen für die THG-Bilanzierung vorgeschlagen.

Insbesondere um negative Auswirkungen auf die THG-Emissionen und die Biodiversität aus indirekten Landnutzungsänderungen (ILUC⁹) zu minimieren, wurde im Jahr 2015 die RED I mit der sogenannten ILUC-Richtlinie¹⁰ um neue Regelungen ergänzt. Dazu zählt, dass in einem Mitgliedstaat angerechnete Biokraftstoffe im Jahr 2020 zu maximal 7 % aus „Getreide und sonstigen Kulturpflanzen mit hohem Stärkegehalt, Zuckerpflanzen, Ölpflanzen und als Hauptkulturen vorrangig für die Energiegewinnung auf landwirtschaftlichen Flächen angebauten sonstigen Pflanzen“ hergestellt werden dürfen. Gleichzeitig sollen fortschrittliche Biokraftstoffe¹¹ mit einem geringen Risiko für indirekte Effekte und einer hohen THG-Minderung mit einer Quote von 0,5 % im Jahr 2020 eingesetzt werden. Die hierfür erlaubten Rohstoffe sind im Anhang IX der ILUC-Richtlinie gelistet. Dazu zählen Abfälle und Reststoffe ohne Flächenbezug wie Gülle, Mist, Biomasse-Anteile von Industrieabfällen und Reststoffe der Holzindustrie sowie land- und forstwirtschaftliche Reststoffe mit Flächenbezug und Stammholz aus dem Wald (ohne Säge- und Furnierholz; Tabelle A-1).

2.1.2. Neufassung: RED II

Aufbauend auf dem Kommissionsentwurf von November 2016 wurde im Dezember 2018 die Neufassung der RED (RED II) verabschiedet, die nun alle Formen von Bioenergie berücksichtigt. Ein Fokus liegt in der RED II auf der Nutzung von Biomasse im Verkehrssektor und im Bereich Wärme- und Kältenutzung. Für den Verkehrssektor wird festgelegt, dass in Mitgliedstaaten der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch bis 2030 mindestens 14 % betragen muss (RED II Art. 25.1). Für die geplante Entwicklung der Nutzung bis 2030 soll jeder Mitgliedstaat einen Zielpfad festlegen. Um negative indirekte Effekte wie indirekte Landnutzungsänderungen durch Biokraftstoffe zu reduzieren, werden folgende Strategien verfolgt:

⁸ Bericht der Kommission an den Rat und das europäische Parlament über Nachhaltigkeitskriterien für die Nutzung fester und gasförmiger Biomasse bei Stromerzeugung, Heizung und Kühlung. European Commission 2010. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52010DC0011&from=EN>.

⁹ Wird eine bestehende Flächennutzung durch den Anbau von Biomasse für Bioenergie auf andere Flächen verdrängt, nennt man dies indirekte Landnutzungsänderung (iLUC = indirect land use change).

¹⁰ Richtlinie (EU) 2015/1513 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. September 2015 zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG über die Qualität von Otto- und Dieselmotorkraftstoffen und zur Änderung der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. ILUC Richtlinie. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L1513&from=EN>.

¹¹ „Fortschrittliche Biokraftstoffe“ sind Biokraftstoffe, die aus in Anhang IX Teil A aufgeführten Rohstoffen hergestellt werden (RED II Art. 2; Tabelle A-1)

1. Als Unterquote gilt, dass fortschrittliche Biokraftstoffe im Jahr 2022 mindestens 0,2 %, im Jahr 2025 mindestens 1 % und bis 2030 mindestens 3,5 % erreichen (RED II Art. 25.1 und Anhang XI). Fortschrittliche Biokraftstoffe dürfen mit dem Doppelten ihres Energiegehalts auf die Quote angerechnet werden. Dies gibt einen Anreiz, sie einzusetzen, und halbiert faktisch die absolute Menge an fortschrittlichen Biokraftstoffen, um die Quote von 3,5 % zu erreichen. Im Jahr 2030 entspricht diese Quote bei Doppelzählung 4,9 Mtoe (= 205 PJ). Theoretisch kann daraus ein Biomasseeinsatz von 42 Mm³ Stammholz oder 52 Mm³ Waldrestholz (Hennenberg et al. 2017) oder 30 Mt Stroh (Fehrenbach et al. 2019) abgeleitet werden, wenn die Quote allein durch die jeweiligen Biomassetypen bedient würde.
2. Der Anteil an Biokraftstoffen aus Nahrungs- und Futtermitteln darf höchstens 1%-Punkt über dem Anteil anderer erneuerbarer Energien im Verkehrssektor liegen und maximal 7 % erreichen (RED II Art. 26.1). Mitgliedsstaaten dürfen diese Grenze reduzieren (z. B. auf 4 %) und gleichzeitig die 14%-Quote anpassen (z. B. auf 11 %).
3. Biokraftstoffe aus Feldfrüchten mit einem hohen Risiko für indirekte Landnutzungsänderungen dürfen nicht über den Anteil im Jahr 2019 steigen. Ab 31. Dez. 2023 sinken sie dann stufenweise bis zum 31. Dez. 2030 auf 0 % (RED II Art. 26.2).¹² Wird aber nachgewiesen, dass eine Feldfrucht mit einem hohen Risiko für ILUC explizit unter Bedingungen angebaut wurde, die ein geringes Risiko für indirekte Landnutzungsänderungen darstellen (z. B. Anbau auf seit 5 Jahren ungenutzten Flächen oder Anbau durch Kleinbauern; siehe Details in RED II), so handelt es sich um Biomasse mit geringem Risiko indirekter Landnutzungsänderungen, und sie darf als Ausnahme für Bioenergie im Rahmen der RED II genutzt werden.

Um die Quote von 14 % an erneuerbaren Energien im Verkehrssektor im Jahr 2030 zu erreichen, ist die Quote von 3,5 % fortschrittliche Biokraftstoffe (wegen Doppelzählung absolut 1,75 %) verpflichtend zu erfüllen. Für die verbliebenen Anteile können bis zu 7 % Biokraftstoffe aus Nahrungs- und Futtermitteln zur Anwendung kommen, was eine kostengünstige Option darstellt. Noch fehlende erneuerbare Energieanteile im Verkehrssektor können über weitere Mengen an fortschrittlichen Biokraftstoffen wie erneuerbarem Strom oder strombasierte Kraftstoffe (Power-to-Liquids) gedeckt werden.

Im Bereich Wärme und Kälte wird in der RED II ein Anstieg erneuerbarer Energien um 1,3 Prozentpunkte pro Jahr angestrebt (RED II Art. 23.1).¹³ Dies bedeutet, dass in Deutschland der relative Anteil an erneuerbaren Energien im Wärmesektor von einem Anteil von 12,9 % im Jahr 2017 (FNR 2018) bis 2030 um 13 Prozentpunkte auf in Summe ca. 26 % ansteigen soll. Dieser Anstieg kann insbesondere durch eine Steigerung des Einsatzes anderer Erneuerbare Energien statt Biomasse oder durch Abwärme aus fossilen Energiequellen¹⁴ sowie durch Effizienzmaßnahmen¹⁵ erreicht werden (RED II Art. 23.4).

¹² Dies stellt kein Nutzungsverbot dar, sondern erlaubt keine Berücksichtigung der Bioenergie für Quoten, Treibhausgas-minderungsziele und Förderungen.

¹³ Wird in einem Mitgliedsstaat Abwärme und -kälte nicht genutzt, ist eine niedrigere Steigerungsrate von 1,1 % zu erreichen.

¹⁴ Die Anrechnung von Abwärme oder -kälte auf die Steigerungsrate ist auf einen Anteil von 40 % beschränkt.

¹⁵ Der absolute Anteil an erneuerbaren Energien bleibt konstant, steigt aber relativ zum Gesamtenergieverbrauch an.

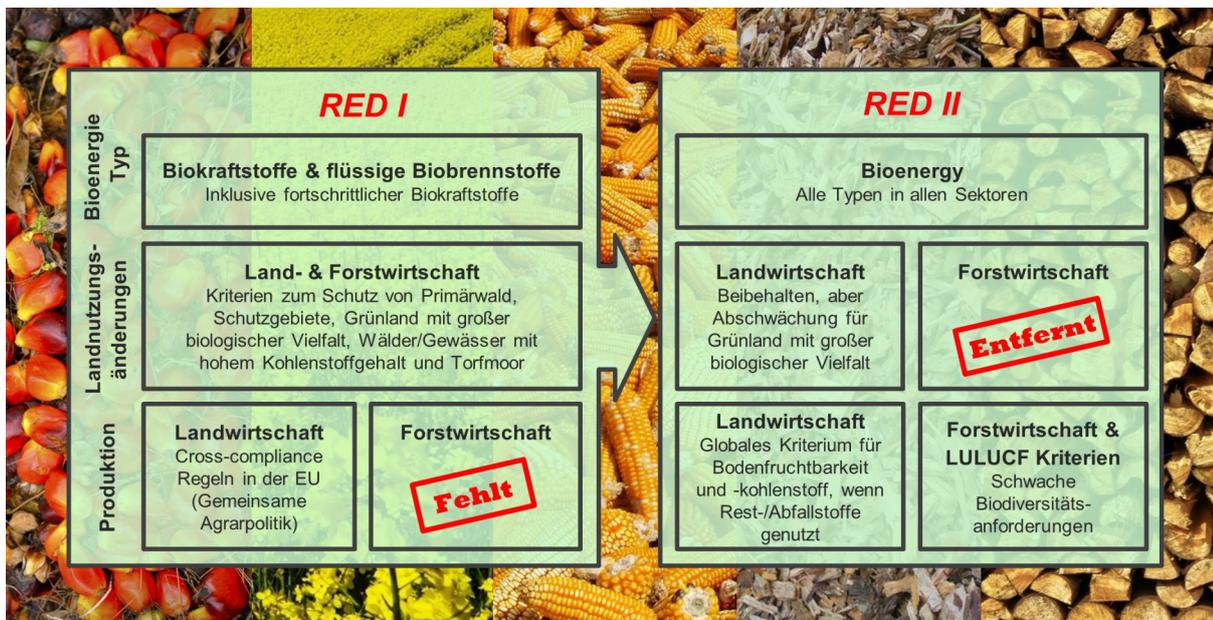


Abbildung 2-2: Übersicht über die Änderungen land-bezogener Nachhaltigkeitskriterien von RED I zu RED II.

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Hennenberg et al. (2018) Fotos: <https://pixabay.com>.

In der RED II sind wie in der RED I Nachhaltigkeitsanforderungen und Kriterien für die Treibhausgas-einsparung bei der Nutzung von Biomasse zu erfüllen. Im Zuge der Einbeziehung aller Formen der Bioenergie wurde die Struktur der Nachhaltigkeitsanforderungen deutlich verändert (siehe Abbildung 2-2):

- Anders als in der RED I gelten nun getrennte Kriterien für land- und forstwirtschaftliche Bio-masse.
- Für landwirtschaftliche Biomasse wurden die Nachhaltigkeitsanforderungen aus der RED I übernommen und weiterentwickelt (RED II Art. 29.5). Es wurde die Kategorie „Wald mit großer biologischer Vielfalt oder andere bewaldete Flächen“ eingefügt. In der Kategorie „Grünland mit großer biologischer Vielfalt“ muss nun eine Flächengröße von mindestens einem Hektar erreicht werden, und bei künstlich geschaffenem Grünland muss die zuständige Behörde eine große biologische Vielfalt festgestellt haben. Werden landwirtschaftliche Abfälle und Reststoffe genutzt, ist einer Beeinträchtigung der Bodenqualität und des Kohlenstoffbestands des Bodens durch Überwachungs- oder Bewirtschaftungspläne zu begegnen.
- Für forstliche Biomasse wurden neue Kriterien zusammengestellt: die Erntetätigkeit muss legal sein, eine Walderneuerung nach der Ernte muss stattfinden, Schutzgebiete sind geschützt, bei der Ernte ist auf die Erhaltung der Bodenqualität und der biologischen Vielfalt zu achten und durch die Erntetätigkeiten müssen die langfristigen Produktionskapazitäten des Waldes erhalten oder verbessert werden (RED II Art. 29.6). Hinzu kommen Anforderungen für Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF; RED II Art. 29.7).

Die Nachhaltigkeitsanforderungen müssen für feste Biomasse-Brennstoffe nur erfüllt werden, wenn eine Anlage die Gesamtfeuerleistungswärmeleistung von ≥ 20 MW aufweist. Bei gasförmigen Biomasse-brennstoffen liegt diese Grenze bei 2 MW Biokraftstoffe. Flüssige Biobrennstoffe müssen hingegen immer die Nachhaltigkeitsanforderungen erfüllen.

Im Hinblick auf die Treibhausgaseinsparung wurden die Kriterien verschärft. Im Verkehrssektor muss bei Altanlagen eine Minderung von 50-60 % und bei Neuanlagen von 65 % erreicht werden. Bei der Elektrizitäts-, Wärme- und Kälteerzeugung aus Bioenergie ist eine Einsparung von 70 %

(Neuanlagen von Januar 2021 bis Dezember 2025) bzw. von 80 % (Neuanlagen ab Januar 2026) gefordert, Altanlagen benötigen aber keinen Nachweis der THG-Einsparung. Wichtig ist zudem, dass für zahlreiche Bioenergiepfade sogenannte Standardwerte in der RED II gelistet sind. Liegt die THG-Einsparung des Standardwertes über dem Mindestwert, muss keine eigene THG-Bilanz erstellt werden. Für den Einsatz von Holzhackschnitzeln für die Wärmeproduktion und einer Transportdistanz unter 10.000 km liegt dieser Wert über der geforderten THG-Minderung von 70 %, und die THG-Minderung gilt trotz langer Transportwege als erfüllt.

Die Struktur der Nachweisführung zur Einhaltung der Nachhaltigkeitsanforderungen wird in der RED II in ähnlicher Weise wie in der RED I umgesetzt (z. B. nationale Nachweissysteme oder freiwillige internationale Zertifizierungssysteme).

2.2. Welche rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen bestehen für die Berücksichtigung von Naturschutzbelangen bei der Neuauflage der RED?

Ausgehend vom Vorschlag der EU-Kommission zur Weiterentwicklung der RED I wurde im Dezember 2018 die Neufassung der RED vom EU-Parlament beschlossen. Dieser Prozess wurde vom Projektteam mit wissenschaftlichen Arbeiten und Ad-hoc-Analysen zu neuen Textvorschlägen begleitet. Die Arbeiten mündeten in ein Arbeitspapier (Hennenberg et al. 2017), das den Weiterentwicklungsbedarf herausstellte (Arbeitspapier D). Hervorgehoben wurden:

- die hohen Grenzwerte für Biomasseanlagen (20 MW bei fester Biomasse, 2 MW bei Biogasanlagen), die keinen Nachhaltigkeitsnachweis erbringen müssen,
- die unzureichenden Nachhaltigkeitskriterien für forstliche Biomasse, mit denen keine Risikominimierung für naturschutzfachliche Belange erreicht werden kann sowie
- die starke Verschlechterung des Schutzes von Grünland mit großer biologischer Vielfalt (Details zu diesen Punkten in Kapitel 2.4).

Das Papier diente als Input für einen Workshop in Brüssel mit Vertretern der EU-Kommission, dem EU-Parlament, Vertretern aus Mitgliedstaaten, der Bioenergiewirtschaft und Nicht-Regierungsorganisationen (NGOs). Die oben genannten Grenzwerte wurden von Seiten der EU-Kommission und der Bioenergiewirtschaft als angemessen gesehen, da z. B. bei Hackschnitzel ca. 75 % der eingesetzten Holzmenge berücksichtigt wird. Dem wurde von NGO-Seite entgegengehalten, dass bei der Betrachtung des gesamten Energieholzsektors nur 25 % des Energieholzes einen Nachhaltigkeitsnachweis liefern muss. Im Hinblick auf Nachhaltigkeitskriterien wurde von der EU-Kommission die Trennung in land- und forstwirtschaftliche Produktion mit dem Argument verteidigt, dass die RED I die forstwirtschaftliche Produktion nicht adressiert. Dem stimmten Interessensvertreter der NGOs und das Öko-Institut nicht zu. Auch die Ausgestaltung der Nachhaltigkeitskriterien für die forstwirtschaftliche Produktion wurde heterogen diskutiert. Von der Bundesregierung wurde die Notwendigkeit unterstrichen, Primärwald vor einer forstlichen Nutzung zu schützen. In Bezug auf die Verfügbarkeit von Holz für die energetische Verwendung wurde herausgestellt, dass bei der Potenzialbewertung auch zukünftige Nachfragen anderer Sektoren (z.B. chemische Industrie) berücksichtigt werden müssen und eine Kaskadennutzung anstatt einer direkten energetischen Nutzung anzustreben sei.

In der RED II ändern sich die rechtlichen Rahmenbedingungen im Vergleich zur RED I nicht wesentlich. Mit einigen Änderungen der Nachhaltigkeitsanforderungen werden in der RED II lokale

Schutzgüter adressiert, die im Konflikt mit dem Recht der Welthandelsorganisation der Vereinten Nationen (WTO) stehen könnten¹⁶:

- Für landwirtschaftliche Abfälle und Reststoffe sind „Beeinträchtigungen der Bodenqualität“ als lokales Schutzgut zu begegnen (RED II Art. 29.2).
- Für forstliche Biomasse wird die Einhaltung der lokalen Schutzgüter „Legalität der Ernte“ und „Erhaltung der Bodenqualität“ verlangt (RED II Art. 29.6).

Des Weiteren ist hervorzuheben, dass die RED II mit zahlreichen Durchführungsrechtsakten und delegierten Rechtsakten die Präzisierung und Ausarbeitung von bestimmten Aspekten nach Verabschiedung der RED II vorsieht. Im Hinblick auf naturschutzrelevante Themen sind hier folgende Rechtsakte zu nennen:

- Richtlinie zu Kriterien für die Bestimmung von biogenen Rohstoffen mit einem hohen und geringen Risiko indirekter Landnutzungsänderungen (RED II Art. 26.2). Dies wurde bereits mit einem delegierten Rechtsakt der Kommission¹⁷ ausgearbeitet.
- Aufnahme weiterer Rohstoffe in Anhang IX (siehe Tabelle A-1), die für die Produktion fortschrittlicher Biokraftstoffe genutzt werden können (delegierter Rechtsakt; RED II Art. 28.6).
- Durchführungsrechtsakte zur Präzisierung der Bestimmungskriterien des natürlichen Grünlands mit großer biologischer Vielfalt (RED II Art. 29.3).
- Durchführungsrechtsakte zu Empfehlungen zu den Nachweisen für die Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien zur forstlichen Nutzung und LULUCF (RED II Art. 29.8).

Zudem ist hervorzuheben, dass den Mitgliedstaaten eingeräumt ist, zusätzliche Nachhaltigkeitskriterien für feste und gasförmige Biomasse-Brennstoffe einführen zu dürfen (RED II Art. 29.14).

2.3. Welche Naturschutzrisiken können mit fortschrittlichen Biokraftstoffen verbunden sein?

Die größten Risiken für die biologische Vielfalt hängen mit der Zerstörung von Lebensräumen (z. B. Umwandlung von Grünland in Ackerland) oder mit einer Minderung der Habitatqualität (z. B. erhöhter Düngung und Pestizideinsatz, Entnahme von Reststoffen) zusammen (Groom et al. 2012). Daher gehen von Rest- und Abfallstoffen, deren Nutzung keinen direkten Zusammenhang mehr mit der Fläche hat, geringere Risiken für die biologische Vielfalt aus. Im Anhang IX der RED II sind zahlreiche solcher biogenen Rohstoffe gelistet wie z. B. Gülle und Mist, Biomasse im Hausmüll, Biomasse-Anteil in Industrieabfällen/-reststoffen etc. Die Risiken sind aber deutlich höher für Rohstoffe mit Flächenbezug (Tabelle A-1), da es beim Anbau zur Minderung der Habitatqualität und bei einer Flächenausdehnung für den Anbau zusätzlich nachgefragter Biomasse zur Zerstörung von Lebensraum kommen kann. Zu den Rohstoffen zählen:

- Ligno-zellulosehaltiges Material wie Kurzumtriebsplantagen (KUP), Waldrestholz und Stammholz (ohne Furnier und Sägeholz)
- Zellulosehaltiges Non-Food-Material wie Rest- und Abfallstoffe (z. B. Stroh), grasartige Energiepflanzen, Zwischenfrucht, Untersaaten und Klee gras-Mischungen

¹⁶ Globale Schutzgüter wie Klima und Biodiversität dürfen nach WTO-Recht von der EU in Drittländern adressiert werden, um negative Auswirkungen in der EU zu vermeiden. Lokale Schutzgüter wie Boden, Gewässer und soziale Aspekte hingegen betreffen nur die Drittstaaten selbst und dürfen nicht von der EU reglementiert werden (Hermann et al. (2009)).

¹⁷ Commission delegated Regulation (EU) .../... supplementing Directive (EU) 2018/2001 as regards the determination of high indirect land-use change-risk feedstock for which a significant expansion of the production area into land with high carbon stock is observed and the certification of low indirect land-use change-risk biofuels, bioliquids and biomass fuels. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=PI_COM%3AAres%282019%29762855.

In der vorliegenden Studie liegt ein vorrangiger Fokus auf biogenen Rohstoffen aus Anhang IX der RED II, für die noch ein Flächenbezug und damit aus naturschutzfachlicher Sicht ein Risiko besteht. Hierzu zählen insbesondere landwirtschaftliche Reststoffe (z. B. Stroh, Zeller et al. 2012), Waldrestholz und Stammholz (Reise et al. 2017). Die Integration von Bioenergiepflanzen (KUP, Gräser, Zwischenfrucht etc.) in die Anbaumuster von landwirtschaftlichen Betrieben kann naturschutzfachlich als positiv eingestuft werden, wenn dadurch eine Diversifizierung der Fruchtfolgen erfolgt (Peters et al. 2010). In dem Fall, dass für den Anbau Grünland oder andere naturnahe Flächen direkt oder indirekt umgewandelt werden, bestehen durchaus Risiken. Für Algen, die zu Land in Becken oder Photobioreaktoren kultiviert werden, wird eine geringe Flächenrelevanz eingeschätzt, da ein signifikanter Ausbau dieser Produktion fraglich ist (Reinhardt und Hemmen 2019).

2.4. Welche Auswirkungen auf Naturschutzaspekte sind mit den Änderungen in der RED II zu erwarten?

Durch die Weiterentwicklung der RED I in Bezug auf Ausbauziele von Bioenergie und zu beachtende Nachhaltigkeitsanforderungen (Kapitel 2.1) können Auswirkungen auf naturschutzfachliche Belange erwartet werden. Diese Auswirkungen werden im Folgenden für land- und forstwirtschaftliche Biomasse analysiert (Hennenberg et al. 2018).

2.4.1. Landwirtschaftliche Bioenergie-Nutzung und Naturschutzrisiken

Die Quote für fortschrittliche Biokraftstoffe in der RED II kann zu einer vermehrten Nutzung von **landwirtschaftlichen Reststoffen**, insbesondere von Stroh führen (Kapitel 2.1.2). Als Nachhaltigkeitsanforderung für die landwirtschaftliche Nutzung wird lediglich genannt, dass einer Beeinträchtigung der Bodenqualität und des Kohlenstoffbestands des Bodens durch Überwachungs- oder Bewirtschaftungspläne begegnet werden soll. Kriterien mit Blick auf die biologische Vielfalt werden nicht herangezogen. So birgt diese verstärkte Nutzung ein erhöhtes Risiko für die biologische Vielfalt. Dies wird in Kapitel 5 vertieft.

Der Schutz von **Grünland mit großer biologischer Vielfalt** (RED II Art. 29.3(c); Abbildung 2-1) wurde in der RED II gegenüber der RED I stark geschwächt. Zum einen ist eine Grünlandfläche (natürlich sowie künstlich geschaffen) laut RED II nur dann auf ihre biologische Vielfalt zu prüfen, wenn sie größer als 1 ha ist. Alle kleineren Flächen dürfen z. B. zu Ackerland umgebrochen werden, es sei denn, sie liegen in einem Schutzgebiet. Für künstlich geschaffenes Grünland gilt zudem, dass die zuständige Behörde eine große biologische Vielfalt festgestellt haben muss. Ist dies laut einer Prüfung nicht der Fall, darf eine künstlich geschaffene Grünlandfläche ohne weitere Prüfung auf ihren Wert für die biologische Vielfalt genutzt bzw. umgewandelt werden. Diese beiden Änderungen zum Grünland stehen sehr deutlich im Gegensatz zum Vorsorgeprinzip, und es besteht ein sehr großes Risiko, dass Grünlandflächen mit großer biologischer Vielfalt vermehrt für den Anbau von Bioenergie genutzt und sie dadurch ihren Wert für die biologische Vielfalt verlieren werden (Ausnahme: Grünland mit einer Überschilderung von 10-30 %, siehe unten).

Der neu eingefügte Schutz von Wäldern mit großer biologischer Vielfalt (RED II Art. 29.3(b); Abbildung 2-1) bedeutet im Hinblick auf landwirtschaftliche Biomasse keinen wesentlichen zusätzlichen Schutz dieser Wälder, da bereits in der RED I dichte Wälder *per se* Wälder bleiben müssen (nun RED II Art. 29.4(b); Abbildung 2-1). Lichte Wälder mit großer biologischer Vielfalt (Überschilderungsgrad von 10-30 %) gelten nach der Grünland-Verordnung als Grünland (z. B. Savannen) und waren in RED I über Grünland mit großer biologischer Vielfalt adressiert. Diese ist nun in RED II über das Kriterium Wälder mit großer biologischer Vielfalt weiterhin erreicht.

Im Fall der Nutzung von Biogas für Strom, Wärme und Kälte brauchen die Nachhaltigkeitsanforderungen nur für Biomasse, die in großen Anlagen mit einer Gesamtfeuerungsleistung von zwei

MW und mehr eingesetzt wird, angewandt werden. Damit darf für den Betrieb kleinerer Anlagen z. B. Grünland mit großer biologischer Vielfalt intensiviert oder umgebrochen werden.

RED II sieht vor, dass die Berücksichtigung von Feldfrüchten mit einem hohen Risiko für indirekte Landnutzungsänderungen nicht steigen und von 2023 bis 2030 auf null sinken soll (RED II Art. 26.2). Nach dem delegierten Rechtsakt der Kommission zu ILUC wird nur Palmöl als eine solche Risiko-Feldfrucht ausgewiesen. Aktuell ist eine deutliche Ausweitung der Anbaufläche von Palmöl zu beobachten mit entsprechenden Risiken für die biologische Vielfalt (z. B. Zerstörung von Primärwald)¹⁸. Eine Verringerung der Palmölnutzung kann diese Risiken abmildern. Da dieser Rechtsakt aber „Schlupflöcher“ wie die Erlaubnis von Palmöl von Kleinbauern aufweist, ist die Wirksamkeit der Regulierung abzuwarten.

2.4.2. Forstwirtschaftliche Bioenergie-Nutzung und Naturschutzrisiken

Mit der Quote für fortschrittliche Biokraftstoffe in der RED II sowie den Anreizen für Wärme- und Kältenutzung wird der Einsatz von **forstwirtschaftlicher Biomasse** (Waldrestholz und Stammholz ohne Furnier- und Sägeholz) attraktiver werden (Kapitel 2.1.2). Die Nachhaltigkeitsanforderungen für die Nutzung forstwirtschaftlicher Biomasse sind in der RED II mit Blick auf die biologische Vielfalt nur sehr schwach ausgearbeitet. Die möglichen Auswirkungen auf die biologische Vielfalt werden für Beispielländer in Kapitel 5 vertieft analysiert.

Die Kriterien zu **Flächen mit hohem Wert hinsichtlich der biologischen Vielfalt** mit Bezug zum Referenzzeitpunkt Januar 2008 werden in der RED II nicht mehr auf forstwirtschaftliche Biomasse angewandt. Kriterien zu Primärwald (RED II Art. 29.3 a), Wald mit großer biologischer Vielfalt (RED II Art. 29.3 b) und Torfmoor (RED II Art. 29.5) werden bei einer forstwirtschaftlichen Nutzung nicht berücksichtigt (RED II Art. 26.6). Zwar ist der Erhalt von Schutzgebieten sicherzustellen (RED II Art. 29.6). Da aber kein Referenzzeitpunkt genannt wird, dürfen Schutzgebiete, deren Status aberkannt wurde, ebenfalls ohne Nachhaltigkeitsprüfung genutzt werden. Als bedeutendste Auswirkung ist aber zu betonen, dass außerhalb von Schutzgebieten Biomasse nun aus Primärwäldern stammen darf. Auch eine Nutzung von Wäldern mit großer biologischer Vielfalt ist, ohne ihren Erhalt sicherstellen zu müssen, erlaubt, da dieses neue Kriterium sich nur auf landwirtschaftliche Biomasse bezieht (anders als in Hennenberg et al. 2012 gefordert). Ebenso Auswirkungen einer forstlichen Nutzung auf Torfböden und deren Entwässerungsstatus sind nicht zu berücksichtigen. In der Summe ist der Schutz von Flächen mit hohem Wert hinsichtlich der biologischen Vielfalt bezüglich der forstwirtschaftlichen Biomassennutzung als sehr niedrig einzustufen. Dies birgt hohe Risiken für die Biodiversität, insbesondere in Primärwäldern und Wäldern mit großer biologischer Vielfalt.

Laut RED II Art. 29.6 soll bei der **Ernte auf die Erhaltung der biologischen Vielfalt** geachtet werden, um Beeinträchtigungen möglichst gering zu halten. Dieses Kriterium ist sehr schwach ausformuliert, insbesondere da es nur den Zeitpunkt der Ernte und nicht das Waldmanagement als Ganzes berücksichtigt. Entsprechend gering ist der Effekt dieses Kriteriums für den Schutz der biologischen Vielfalt einzustufen.

Die **LULUCF-Kriterien**, die in RED II Art. 29.7 genannt werden, adressieren im Kern Risiken, welche durch die forstwirtschaftliche Nutzung erhöhte Treibhausgasemissionen verzeichnen, die nicht in der nationalen THG-Berichterstattung berücksichtigt werden. In Bezug auf den Schutz der biologischen Vielfalt erscheinen die Kriterien als nicht zielgerichtet, um mögliche negative Auswirkungen zu vermeiden.

¹⁸ Berichtsentwurf der Europäischen Kommission über den Stand der Produktionsausweitung relevanter Lebens- und Futtermittelpflanzen weltweit, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/20190212_draft_report_-_post-isc_final.pdf

Der Anreiz zum Ausbau **erneuerbarer Energien im Wärmesektor** ist in der RED II relativ hoch¹⁹ und damit auch der Anreiz, vermehrt Bioenergie in diesem Bereich zu nutzen. Um die Ziele der RED II im Wärmesektor zu erreichen, können Mitgliedsstaaten aber ausgestalten, in welchem Umfang die Nutzung von Bioenergie, insbesondere von Holz, oder andere Optionen wie Effizienzmaßnahmen, Solarenergie oder Wärmepumpen genutzt werden. Hervorzuheben ist, dass die als schwach zu bewertenden Nachhaltigkeitsanforderungen für forstwirtschaftliche Biomasse (siehe oben) nur für Anlagen ab einer Gesamtfeuerungswärmeleistung von 20 MW angewandt werden müssen. Nach einer Abschätzung in Hennenberg et al. 2017 wird so nur etwa 25 % der bestehenden energetischen Nutzung forstwirtschaftlicher Biomasse in der EU einen Nachhaltigkeitsnachweis unter der RED II führen müssen. Dies birgt das Risiko indirekter Effekte innerhalb der energetischen Holznutzung: zertifizierte forstwirtschaftliche Biomasse kann in großen Feuerungsanlagen genutzt werden, hingegen nicht zertifizierte forstwirtschaftliche Biomasse in kleineren Feuerungsanlagen.

2.5. Fazit zur Neufassung der RED und Implikationen für Naturschutzaspekte

Die Änderungen in der Neufassung der RED mit Implikationen für den Naturschutz lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED I) berücksichtigte lediglich Biokraftstoffe und flüssige Biobrennstoffe. In ihrer Neufassung, der RED II, sind nun alle Formen der Bioenergie berücksichtigt, also auch feste und gasförmige.
- Im Zuge der Neufassung wurden in der RED II die Nachhaltigkeitsanforderungen für land- und forstwirtschaftliche Biomasse getrennt ausgearbeitet. In der RED I galten für alle Biomasseherkünfte die gleichen Kriterien.
- Für die landwirtschaftliche Biomasse gelten im Grundzug weiterhin die Kriterien der RED I, allerdings wurde der Schutz von Grünland mit großer biologischer Vielfalt stark geschwächt. Positiv ist zu sehen, dass Feldfrüchte mit einem hohen Risiko für indirekte Landnutzungsänderungen (aktuell Palmöl) bis 2030 in der Nutzung reduziert werden sollen.
- Für die forstwirtschaftliche Biomassenutzung sind die neuen Nachhaltigkeitskriterien aus Naturschutzperspektive sehr schwach ausgestaltet. Effektiv adressiert wird lediglich der Schutzstatus in Schutzgebieten. Außerhalb der Schutzgebiete ist aber eine Nutzung in Primärwäldern und Wäldern mit großer biologischer Vielfalt möglich, und in Wirtschaftswäldern sind naturschutzfachliche Aspekte nur sehr unkonkret genannt. Hinzu kommt, dass nur forstliche Biomasse, die in großen Anlagen (≥ 20 MW) genutzt wird, die Nachhaltigkeitsanforderungen erfüllen muss.
- In der RED II wird der Einsatz von fortschrittlichen Biokraftstoffen und von Biomasse im Wärmesektor angereizt. Für Rohstoffe wie landwirtschaftliche Reststoffe, Waldrestholz und Stammholz werden deutliche Risiken für naturschutzfachliche Belange erwartet.

¹⁹ Im Entwurf der EU-Kommission von 2016 war mit 10 Prozentpunkte bis 2030 ein sehr starker Anstieg der erneuerbaren Energien im Wärme- und Kältesektor vorgesehen, der in der abschließenden RED II deutlich geringer ausfällt.

3. Naturschutzkriterien in Biomassepotenzialstudien

RED I und RED II enthalten Nachhaltigkeitsanforderungen für Biokraftstoffe und flüssige Biobrennstoffe (RED I Art. 17.1), RED II berücksichtigt zudem Nachhaltigkeitsanforderungen für feste und gasförmige Bioenergie (RED II Art. 29.1). Die Nachhaltigkeitsanforderungen adressieren insbesondere den Erhalt der biologischen Vielfalt und die Minderung von THG-Emissionen (Kapitel 2). Die Regelungen der RED II stimulieren eine zusätzliche Nutzung von erneuerbaren Energien. Im Hinblick auf die Nutzung von Biomasse ist im Verkehrssektor durch die Quote von 3,5 % ein Anstieg des Anteils fortschrittlicher Biokraftstoffe am Energieverbrauch zu erwarten (siehe Kapitel 2.1.2). Unter Berücksichtigung der Doppelzählung von fortschrittlichen Biokraftstoffen beläuft sich die EU-weite Menge an fortschrittlichen Biokraftstoffen im Jahr 2030 auf ca. 4,8 Mtoe (= 201 PJ). Würde diese Menge allein durch Holz- bzw. Strohbiomasse zur Verfügung gestellt werden, entspräche dies umgerechnet einem Bedarf an biogenen Ressourcen von 42 Mm³ Stammholz bzw. 52 Mm³ Waldrestholz oder 30 Mt Stroh. Im Wärmesektor ist dagegen mit einem geringeren Anstieg zu rechnen, weil die Quoten niedrig sind und neben dem Einsatz erneuerbarer Energien auch durch Energie aus Abwärme oder durch Effizienzmaßnahmen erreicht werden können.

Gemäß Anhang IX der RED II (siehe Tabelle A-1) können Abfall- und Reststoffe, aber auch Energiepflanzen und Waldholz als Rohstoff für fortschrittliche Biokraftstoffe eingesetzt werden. Wie in Kapitel 2.4 ausgeführt, kann sich die Nutzung dieser Rohstoffe negativ auf den Erhalt der biologischen Vielfalt auswirken. Zwei zentrale naturschutzfachlich bedeutende Fragen in diesem Zusammenhang sind:

- Wie hoch werden Potenziale für biogene Rohstoffe eingeschätzt, die für die Produktion von fortschrittlichen Biokraftstoffen nach dieser Definition genutzt werden könnten?
- In welchem Umfang sind naturschutzfachliche Restriktionen in Potenzialberechnungen berücksichtigt und welche Aspekte decken diese ab?

3.1. Wie hoch sind Potenziale von biogenen Rohstoffen zur Produktion von fortschrittlichen Biokraftstoffen?

Im Jahr 2017 wurden 8,5 % des deutschen Endenergieverbrauchs im Wärme-, Strom- und Kraftstoffbereich aus Biomasse bereitgestellt (BMWi 2018). Vor allem im Bereich der Kraftstoffherstellung gibt es viele Technologien, die noch in der Entwicklung sind. Klepper & Thrän (2019) gehen davon aus, dass die zukünftigen Nutzungspfade von Bioenergie von vielen verschiedenen Faktoren abhängen. Dazu zählen die Entwicklung von nicht-biomassebasierten erneuerbaren Energiearten, bzw. die Weiterentwicklung bestehender erneuerbarer Energieträger und Speichertechnologien in den verschiedenen Anwendungsbereichen, aber auch grundlegende Veränderungen in der Energienachfrage (z. B. Verkehrswende), bzgl. der Akzeptanz und Weiterentwicklung von Bioenergie-technologien und der internationalen Klimapolitik (z. B. Ziele zur CO₂-Reduktion im Flugverkehr). Vor allem ist die Nutzung von Biomasse zu Energie- und anderen Zwecken aufgrund zahlreicher Restriktionen limitiert: für primäre Biomasse sind es die verfügbare Anbaufläche, die Produktionsbedingungen inklusive Naturschutzrestriktionen und resultierende Erträge, sowie konkurrierende Nutzungen. Letztere spielen auch für biogene Reststoffe eine Rolle, deren Aufkommen vorrangig durch vorgeschaltete Prozesse bestimmt ist.

Eine große Anzahl von Studien bewerten die Biomassepotenziale (siehe Überblick in Fehrenbach et al. 2019 und AEE 2014) und präsentieren eine beträchtliche Bandbreite an verfügbaren Potenzialmengen. Die Ergebnisse variieren nicht nur von Studie zu Studie, sondern auch innerhalb der Studien, abhängig von den Narrativen der jeweiligen Szenarien. Neben den Annahmen zu landwirtschaftlichen Erträgen, zur konkurrierenden Nutzung, angenommenen Einschränkungen aus

ökonomischen oder ökologischen Gründen, trägt auch die Definition betrachteter Biomassestoffströme zu großen Unterschieden in Potenzialstudien bei.

Unterschiede ergeben sich auch dadurch, dass verschiedene Potenzialbegriffe verwendet werden: das theoretische Potenzial ergibt sich aus dem physikalischen Angebot der Biomasse. Es stellt damit eine Obergrenze des verfügbaren Angebots dar. Das technische Potenzial beschreibt die Menge an Biomasse, die nach dem aktuellen Stand der Technik nutzbar ist. Berücksichtigung finden hier z. T. neben technischen Aspekten wie Wirkungsgraden auch ökologische Restriktionen (wie z. B. Naturschutzgebiete). Das wirtschaftliche Potenzial entspricht der Menge an Biomasse, die wirtschaftlich genutzt werden kann, d. h. es wird von bestehenden Energiepreisen und dem damit verbundenen Energiesystem beeinflusst. Das nachhaltige Potenzial beinhaltet die Menge an Biomasse, die unter definierten ökologischen Randbedingungen für die weitere Nutzung zur Verfügung stehen (Fritsche et al. 2004). Eine allgemeine Beobachtung ist aber auch, dass die Berücksichtigung von konkreten Naturschutzaspekten im nachhaltigen Potenzial ebenfalls stark variiert bzw. oft vernachlässigt wird. Der überwiegende Teil der betrachteten Studien stellt auf ein technisches Potenzial ab, die getroffenen Annahmen zu den ökologischen und naturschutzbezogenen Rahmenbedingungen können sich aber deutlich unterscheiden.

Die Analyse von Potenzialstudien zeigt, dass oft Ergebnisse vorangegangener Studien genutzt und neu interpretiert bzw. ergänzt werden. In Deutschland ist als eine grundlegende Studie Fritsche et al. (2004) zu nennen, in der umfassend Biomassepotenziale für Abfälle, Reststoff und Anbaubiomasse in der Land- und Forstwirtschaft berechnet wurden. Diese Ergebnisse wurden z. B. von Nitsch et al. (2012) und Öko-Institut et al. (2015), Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB 2017), Koch et al. (2018) aufgegriffen und vor allem die Menge an landwirtschaftlicher Anbaubiomasse neu bewertet. Potenziale des landwirtschaftlichen Reststoffs Stroh wurden von Zeller et al. (2012) detailliert analysiert, und forstliche Biomassepotenziale wurden in Mantau et al. (2012) dargestellt, aktualisiert in Mantau et al. (2018). Fraunhofer IWES et al. (2015) nutzen diverse Quellen, die z. T. aufeinander aufbauen, und leiten neue Biomassepotenziale ab. Übersichtsstudien speziell zu Abfall- und Reststoffen wurden zuletzt durch Brosowski et al. (2015) und Fehrenbach et al. (2019) erstellt. Letztere untersuchten die Verfügbarkeit von biogenen Abfall- und Reststoffen anhand von über 50 Potenzialstudien. Eine Auswahl zentraler Biomassepotenzialstudien in Deutschland werden mit Fokus auf die für Naturschutzbelange relevanten Reststoffe in Abbildung 3-1 zusammengestellt.

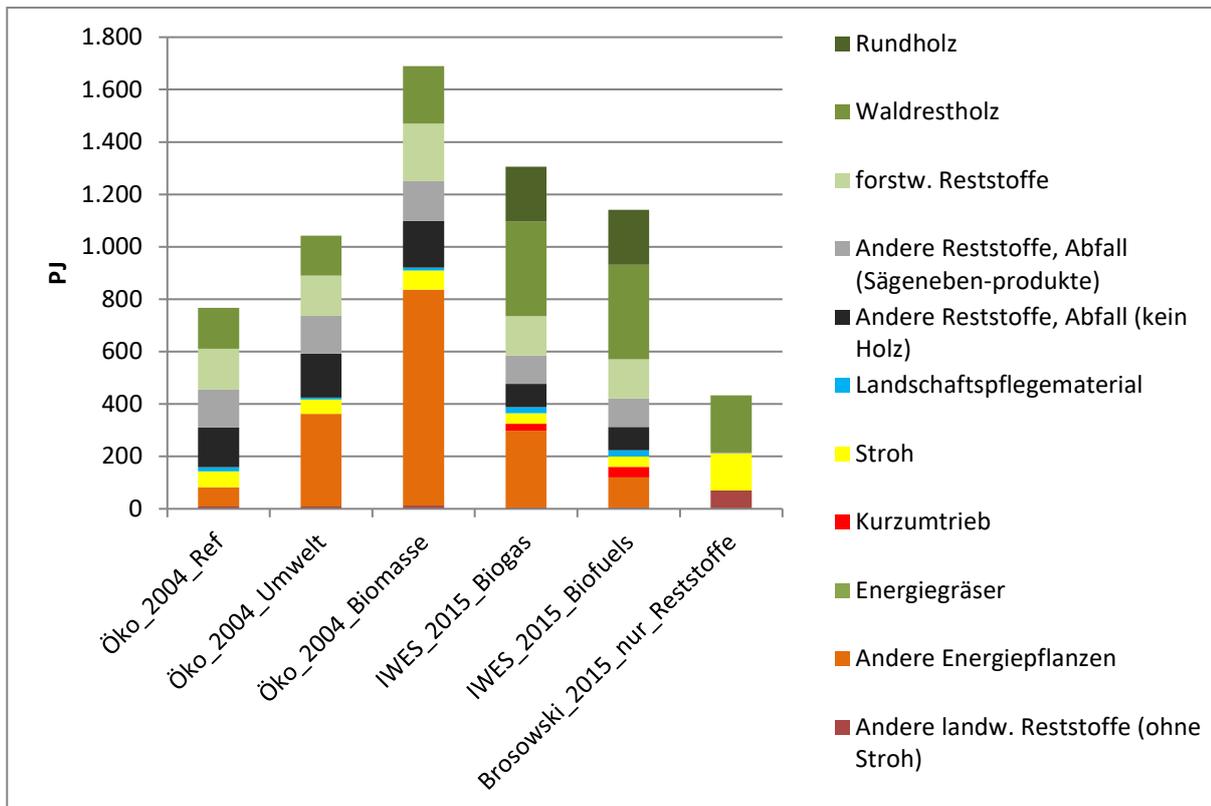


Abbildung 3-1: Biomassepotenziale zur energetischen Nutzung laut ausgewählter Potenzialstudien für das Jahr 2020.

Quelle: Eigene Darstellung nach Fritsche et al. (2004) Fraunhofer IWES et al. (2015) Fehrenbach et al. (2019).

3.2. Welche Rolle spielen naturschutzfachliche Restriktionen in Potenzialstudien?

Die untersuchten Studien verwenden zur Berücksichtigung von Naturschutzbelangen sehr unterschiedliche Methoden. In Tabelle 3-1 sind naturschutzrelevante Aspekte und Kriterien aus der RED I bzw. RED II und aus der Literatur zusammengestellt. In den meisten Studien werden Anforderungen in Schutzgebieten, die Erhaltung kohlenstoffreicher Flächen und Annahmen zu Erträgen berücksichtigt. Dies ist darin begründet, dass die notwendigen Daten grundsätzlich verfügbar sind. Schutzgebietsdaten liegen z. B. global in der World Database on Protected Areas²⁰ vor. Kohlenstoffreiche Flächen wie Wälder sind in Karten gut dokumentiert, und Ertragsdaten werden national und international berichtet (z. B. FAOSTAT). Ertragssteigerungen, die oft in Studien auf Basis historischer Trends angenommen werden, sind im Lichte sich stärker ändernder Klimabedingungen zu hinterfragen. Der Aspekt der Nutzungskonkurrenzen (energetisch, stofflich, Nahrungsmittel, Futtermittel) kann zwar als gut dokumentiert angesehen werden (z. B. Input-Output-Tabellen wie Exiobase²¹), er fließt aber meist nicht vollständig in Potenzialstudien ein. Torfmoorflächen werden – obwohl Daten grundsätzlich verfügbar sind (z. B. Harmonized World Soil Database²²) – meist nicht in Potenzialstudien berücksichtigt (Tabelle 3-1).

In der Forstwirtschaft werden Aspekte wie Holzentnahmeraten und Nutzung heimischer/standortangepasster Arten berücksichtigt. In der Landwirtschaft werden Entnahmeraten von Reststoffen (z. B.

²⁰ <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/our-work/quality-and-effectiveness/world-database-protected-areas-wdpa>

²¹ <https://www.exiobase.eu/index.php>

²² <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>

Stroh) auf nationaler Ebene in Deutschland in Bezug auf Potenzialanalysen meist berücksichtigt. Die benötigten Daten finden sich z. B. in der Bundeswaldinventur (BWI)²³ oder zu Stroh in Zeller et al. (2012). In internationalen Studien, die Deutschland berücksichtigen, ist dies oft aber nicht der Fall. Die Relevanz des Anbaustandortes wird nur zum Teil bei Potenzialberechnungen in der Land- und Forstwirtschaft herangezogen (Tabelle 3-1).

Weitere Aspekte und Kriterien, zu denen Daten nur zum Teil verfügbar sind, werden meist nicht in Potenzialstudien berücksichtigt. Dies betrifft insbesondere Aspekte und Kriterien zu nicht gesetzlich geschützten Flächen, die sich aber durch eine hohe Bedeutung für den Naturschutz auszeichnen, den Gewässerschutz und den Schutz vor negativen Auswirkungen durch die Kultivierung von invasiven Arten (Tabelle 3-1). Insbesondere gesetzlich nicht geschützte Flächen, die aber eine hohe Bedeutung für die biologische Vielfalt haben, sind nur teilweise erfasst. In Europa sind Karten zu *High Nature Value Farmland*²⁴ und globale Karten zu *Key Biodiversity Areas*²⁵ oder der Verbreitung von gefährdeten Arten (Jenkins et al. 2013) zu nennen.

Andere Aspekte werden nicht in Potenzialstudien adressiert, weil nur unzureichend Daten vorliegen (Schutz vor Luftschadstoffen, Habitatstrukturen) oder sie in der Struktur von Potenzialstudien nur schwer integrierbar sind (generell nachhaltige landwirtschaftliche Bewirtschaftung nach Cross-Compliance-Regeln, ILUC; Tabelle 3-1).

Naturschutzbelange haben nicht immer notwendigerweise einen konkreten Flächenbezug, der anhand entsprechender Datensätze in Potenzialstudien eingebracht werden kann. Dies betrifft z. B. den Schutz bedrohter Arten, die auf Habitate angewiesen sind, die außerhalb von Schutzgebieten und schutzwürdigen Gebieten liegen. In Potenzialstudien können derartige Aspekte indirekt über eine Extensivierung der Landnutzung und damit reduzierten Erträgen adressiert werden. Hier kann die Berücksichtigung der Anforderungen des *Forest Stewardship Council*-Standards (FSC)²⁶ oder des Ökolandbaus (EU-Verordnung²⁷) hilfreich sein, was aber nur vereinzelt für Potenzialermittlung zugrunde gelegt wird.

Generell zeigte die Analyse, dass die Rahmgestaltung der Potenzialfestlegungen meist nicht vor dem Hintergrund von Naturschutzaspekten festgesetzt wurde. Auch Fragen der Datenverfügbarkeit spielten bei der Auswahl (soweit angegeben) keine Rolle. Überwiegend wurde in Potenzialstudien von politischen Zielen, wie z. B. dem Energiekonzept der Bundesregierung ausgegangen und daher Kriterien angelegt, die der Zielerreichung dienen. Zudem stellen Fehrenbach et al. (2019) fest, dass in den betrachteten Studien nur eine begrenzte Anzahl ähnlicher Restriktionen berücksichtigt wurde, z. B. der Derbhohldurchmesser im Forst oder die Humusbilanz im Ackerbau.

Die Berücksichtigung der genannten Naturschutzkriterien ist potenzialwirksam, d. h. ihre Berücksichtigung kann das berechnete Potenzial reduzieren, z. B. da Flächen verstärkt aus der Nutzung genommen werden oder Erträge durch eine Extensivierung sinken. Hervorzuheben sind zudem Restriktionen, die sich gegenseitig verstärken. So berücksichtigen Fehrenbach et al. (2019) zur Bestimmung von Waldholzpotenzialen den Ausschluss von Säge- und Furnierholz und kleinteiliger Sortimente (Holz <7 cm verbleibt im Wald, Ewald et al. 2017) in Kombination mit einem Abzug des für eine stoffliche Nutzung geeigneten Holzanteils. Das so resultierende energetisch nutzbare

²³ <https://bwi.info/>

²⁴ <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/high-nature-value-farmland>

²⁵ <http://www.keybiodiversityareas.org>

²⁶ <https://info.fsc.org>

²⁷ Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007R0834&from=DE>.

Waldholzpotenzial liegt mit 20 Mm³ in der Größenordnung der aktuell in Deutschland genutzten Menge an Scheitholz (18,6 Mm³) und deutlich unter der genutzten Energieholzmenge (inklusive Altholz gut 65 Mm³; Mantau et al. 2018). Zusätzliche Holznachfragen, die mit der RED II stimuliert werden (Kapitel 2.1.2), erhöhen daher den Nutzungsdruck auf Wälder.

Auch Potenziale zu biogenen Reststoffen von Ackerflächen sind stark durch die angelegten Kriterien beeinflusst. Einig sind sich die Studien, dass zum Schutz des Bodenkohlenstoffs ein angemessener Umgang mit der Entnahme von Reststoffen stattfinden muss. Überschätzungen des Potenzials können u. a. bei landwirtschaftlichen Reststoffen (v. a. Stroh) auftreten. Dies liegt z. B. daran, dass unterschiedliche Auffassungen bezüglich der Entnahmeraten von Stroh von der Fläche bestehen. Auch ist das angenommene Stroh-Korn-Verhältnis ein relevantes Kriterium für die Berechnung der Strohmenge. Außerdem können deutliche Ertragsschwankungen z. B. aufgrund von Niederschlagsdefiziten auftreten²⁸. Fehrenbach et al. (2019) weisen daher darauf hin, dass die grundsätzlich auf mittleren Erträgen beruhenden Potenziale keinesfalls verlässlich zur Verfügung stehen.

²⁸ Siehe <https://www.agrarheute.com/markt/futtermittel/heu-stroh-extrem-teurer-547353>; abgerufen am 22.9.2019.

Kriterium/Aspekt	In RED genannt (X)	Datenverfügbarkeit	Berücksichtigung in untersuchten Potenzialstudien
Ausnahme von Schutzgebieten	X	Erfüllt: Daten vorhanden	Erfüllt: meistens berücksichtigt
Schutz von kohlenstoffreichen Flächen	X	Erfüllt: Daten vorhanden	Erfüllt: meistens berücksichtigt
Erhalt/Änderung von Erträgen	--	Erfüllt: Daten vorhanden	Erfüllt: meistens berücksichtigt
Konkurrierende Nutzungen (energetisch, stofflich, Nahrungsmittel, Futtermittel)	--	Erfüllt: Meist gut dokumentiert	Bedingt erfüllt: meist berücksichtigt, ggf. aber nicht vollständig (insbesondere neue Nutzungen)
Schutz von Torfmooren	X	Erfüllt: Daten vorhanden	Eher nicht erfüllt: meist nicht berücksichtigt
Entnahmeraten landwirtschaftlicher Reststoffe (z. B. Stroh)	--	Bedingt erfüllt: Daten z. T. verfügbar	Bedingt erfüllt: national meist genutzt
Entnahmeraten im Wald (z. B. Mindestdurchmesser, Habitatbäume, Entnahme von Waldrestholz)	--	Bedingt erfüllt: Daten z. T. verfügbar	Bedingt erfüllt: national meist genutzt
Nutzung heimischer/standortangepasster Arten	--	Bedingt erfüllt: Daten z. T. verfügbar	Bedingt erfüllt: bei Wald national meist genutzt
Relevanz des Anbaustandortes	--	Bedingt erfüllt: Daten z. T. verfügbar	Bedingt erfüllt: z. T. berücksichtigt
Schutz von Primärwaldflächen	X	Bedingt erfüllt: Daten z. T. verfügbar	Eher nicht erfüllt: meist nicht berücksichtigt
Schutz von Flächen, die nicht gesetzlich geschützt sind (z. B. <i>Key Biodiversity Area</i> , <i>High Nature Value Farmland</i>)	--	Bedingt erfüllt: Daten z. T. verfügbar	Eher nicht erfüllt: meist nicht berücksichtigt
Ausnahme von Grünlandflächen mit großer biologischer Vielfalt	X	Bedingt erfüllt: Daten z. T. verfügbar	Eher nicht erfüllt: meist nicht berücksichtigt
Schutz von Wasser	--	Bedingt erfüllt: Daten z. T. verfügbar	Eher nicht erfüllt: meist nicht berücksichtigt
Schutz vor invasiven Arten	--	Bedingt erfüllt: Daten z. T. verfügbar	Eher nicht erfüllt: meist nicht berücksichtigt
Schutz von Luft	--	Nicht erfüllt: Daten kaum vorhanden	Nicht erfüllt: nicht berücksichtigt
Habitatstrukturen	--	Nicht erfüllt: Daten fehlen	Nicht erfüllt: nicht berücksichtigt
Generell nachhaltige landwirtschaftliche Bewirtschaftung	X	Kriterium in Potenzialstudien nicht sinnvoll anwendbar	
Indirekte Landnutzungsänderung	--	Kriterium in Potenzialstudien nicht sinnvoll anwendbar	

Tabelle 3-1: Naturschutzrelevante Kriterien und Aspekte. Nennungen in RED I bzw. RED II und zusätzliche aus der Literatur abgeleitete Kriterien und Aspekte

Quelle: Eigene Darstellung.

3.3. Fazit zu Naturschutzkriterien in Biomassepotenzialstudien

Die Ergebnisse von Potenzialstudien sind stets abhängig von der Festlegung der Systemgrenzen und der Definition der Randbedingungen. Zur Einordnung der Potenziale ist es notwendig, dass alle getroffenen Annahmen und definierten Randbedingungen transparent dokumentiert werden. Die Anwendung von Restriktionskriterien, z. B. in Bezug auf den Naturschutz oder Nutzungskonkurrenz, führt immer dazu, dass Potenziale reduziert werden.

Die Analyse hat gezeigt, dass Angaben zu naturschutzbedingten Restriktionskriterien oft fehlen, nicht aktuell oder nicht hinreichend dokumentiert sind. Bestehende Datenlücken sollten daher in zukünftigen Studien soweit wie möglich geschlossen werden. Die Vergleichbarkeit der untersuchten

Potenzialstudien wurde dadurch erschwert, dass gerade im Hinblick auf Naturschutzkriterien auch weitergehende Effekte unberücksichtigt bleiben, wie:

- Naturräumliche Unterschiede (Relevanz des Anbaustandortes, Entnahmeraten durch unterschiedliche Bewirtschaftungsformen),
- Extensivierung zum Erreichen von Naturschutzzielen (z. B. über Anforderungen aus der Forstzertifizierung oder des Ökolandbaus, Berücksichtigung ökologischer Vorrangflächen),
- Berücksichtigung konkurrierender Nutzungen (stofflich vs. energetische Nutzung),
- Berücksichtigung Flächen mit einer großen biologischen Vielfalt außerhalb von Schutzgebieten,
- Schutz von Wasserkörpern (z. B. Reduzierung der Düngegabe, Pufferzonen entlang von Gewässern).

Im Folgenden sind die Erkenntnisse zu Naturschutzkriterien in Biomassepotenzialstudien noch einmal in Thesen zusammengefasst:

- Potenzialanalysen gehen immer von gesetzten Annahmen aus und werden daher immer mehr oder weniger stark variieren. Eine transparente Darstellung der Annahmen und Kriterien ist daher sehr zu empfehlen. Insbesondere die Unterscheidung in bereits genutzte Potenziale bzw. noch zur Verfügung stehende Potenziale ist relevant, um zukünftige Stoffströme zu identifizieren bzw. auch sektorspezifisch priorisieren zu können.
- Es besteht somit kein Anspruch auf „Richtigkeit“, entscheidend ist dagegen vielmehr die Plausibilität der Annahmen und Setzungen. Beispielhaft genannt seien hier Restriktionskriterien wie die Strohentnahmerate im Hinblick auf die Humusbilanz des Bodens und die Nutzungskonkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Strohnutzung.
- Maßgeblich ist die Transparenz und Nachvollziehbarkeit aller Annahmen und die genaue Anwendung von Kriterien. Nur so kann das quantitative Mengengerüst nachvollzogen werden.
- Insbesondere die Naturschutzkriterien stellen sich im Rahmen von Biomassepotenzialstudien besonders komplex dar; es gibt jedoch gute Beispiele (Ewald et al. 2017), die z. B. richtungsweisend für den schwer bilanzierbaren Bereich der Holzpotenziale zur Energienutzung sind.
- Entscheidend für den Mehrwert künftiger Biomassepotenzialanalysen ist eine Vereinheitlichung auf technischer Seite, d. h. die Umrechnung der Stoffströme in Energieeinheiten. Viele Potenzialstudien legen nur Energieeinheiten (z. B. PJ) vor. Dies erschwert die Transparenz und Nachvollziehbarkeit erheblich. Ob mit einer Angabe von z. B. 10 Mio. t Stroh derselbe Wert verstanden wird wie 185 PJ, erschließt sich erst, wenn genaue Angaben zu Heizwert und Wassergehalten beigefügt sind. Es wird daher empfohlen, stoffstromspezifische Daten anzuwenden, so dass die Herleitung der energetisch verfügbaren Potenziale nachvollziehbar wird. Das Methodenhandbuch zur stoffstromorientierten Bilanzierung der Klimaeffekte im Rahmen des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“ (Thrän und Pfeiffer 2013) stellt hierzu einen guten Startpunkt dar, der im Hinblick auf Naturschutzbelange aber erweitert werden sollte.

4. Technologiepfade für die Produktion fortschrittlicher Biokraftstoffe

4.1. Welche bestehenden und potenziellen Technologiepfade für die Herstellung fortschrittlicher Biokraftstoffe existieren?

Die Produktionspfade für fortschrittliche Biokraftstoffe unterscheiden sich individuell im Bedarf an Biomasse, deshalb hängen Konsequenzen und potenzielle Konflikte mit dem Naturschutz davon ab, welche Biokraftstoffpfade zukünftig zum Einsatz kommen. Biomasserohstoffe sind nicht universell einsetzbar, daher bestimmt der Konversionspfad die Art der in Frage kommenden Biomasserohstoffe und umgekehrt. Dementsprechend können sich je nach Wahl der Technologie unterschiedliche naturschutzrelevante Auswirkungen ergeben. Im Folgenden werden zunächst fortschrittliche Biokraftstoffpfade beschrieben und die zukünftig quantitativ bedeutsamsten identifiziert. Schließlich wird eine Einschätzung der naturschutzfachlichen Relevanz der wichtigsten Pfade vorgenommen, die sich auch indirekt ergeben kann. Bereits heute haben sich einige Biokraftstoffe aus Abfall und Reststoffen auf dem europäischen Markt etabliert, dominiert von Biodiesel aus gebrauchtem Speiseöl und tierischen Fetten. Die Nutzung von Altspeisefetten und -ölen erzielt derzeit über 80 % der Emissionseinsparungen, mit steigender Tendenz (BLE 2017). Allerdings gehören diese nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (38. BImSchV Anlage 1²⁹) nicht zu den fortschrittlichen Biokraftstoffen. Für die hier schwerpunktmäßig betrachteten ligno-zellulosehaltigen Biomasserohstoffe bieten sich im Wesentlichen vier Konversionspfade an: die biochemische Route, die anaerobe Vergärung, die Pyrolyse-Route und die Synthesegas-Route. Nähere Informationen finden sich u. a. in FNR 2012, Thrän et al. 2015, IRENA 2016, IEA 2017 und Naumann et al. 2019. Arbeitspapier A stellt die im Folgenden kurz diskutierten Pfade in größerem Detail dar.

4.1.1. Biochemische Route

Für diesen Konversionspfad kommen grundsätzlich alle Arten von trockener, ligno-zellulosehaltiger Biomasse in Frage. Nach mechanischer Vorbehandlung werden drei Fraktionen aufgetrennt: Zellulose, Hemi-Zellulose und Lignin. Eine Reihe von Aufschlussverfahren stehen zur Verfügung, wobei die Wahl des Verfahrens maßgeblich die Qualität der drei Fraktionen bestimmt. Trotz unterschiedlicher Verfahren und technischer Fortschritte in den vergangenen Jahren stellt der Ligno-Zellulose-Aufschluss weiterhin eine Herausforderung dar und ist teilweise mit massiven technischen Problemen behaftet. Dazu gehören Verunreinigungen, schwere Korrosion der Anlage, Bildung von Inhibitoren und geringe Pumpfähigkeit der aufgeschlossenen Ligno-Zellulose, welche mehrere Großanlagen lahm legten. Das derzeit verbreitetste Aufschlussverfahren ist die Thermodruckhydrolyse. Aus den dabei gewonnenen C5- und C6-Zuckern wird derzeit überwiegend Ethanol hergestellt. Weltweit umfassen die installierten Produktionskapazitäten für Ethanol aus Ligno-Zellulose etwa 3,4 Mm³ (= 2,7 Mt), von denen etwa 2,4 Mm³ (= 1,9 Mt) in Betrieb sind (Naumann et al. 2019). International treten neben der Europäischen Union vor allem die USA, China und Brasilien als Akteure bei der Entwicklung und Markteinführung auf. Andere Konversionspfade und Biokraftstoffe, ausgehend von der sogenannten Zuckerplattform wie Butanol, sind aktuell selten. Die biochemische Route steht derzeit noch vor einer Reihe von technischen Herausforderungen; so müssen Vorbehandlung und Hydrolyse individuell an den Biomasserohstoff angepasst werden, daneben kämpft die biochemische Route mit dem hohem Energieaufwand, den hohen Enzymkosten und der Bildung von Inhibitoren.

²⁹ Achtunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV): Verordnung zur Festlegung weiterer Bestimmungen zur Treibhausgasminderung bei Kraftstoffen vom 8. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3892), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 21. Mai 2019 (BGBl. I S. 742) geändert worden ist. https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_38_2017/BJNR389200017.html

4.1.2. Anaerobe Vergärung

Analog zur biochemischen Route steht am Anfang dieses Konversionspfads ebenfalls der Aufschluss der ligno-zellulosehaltigen Biomasserohstoffe. Hier wird ebenfalls in erster Linie die Thermodruckhydrolyse als Aufschlussverfahren eingesetzt, allerdings wird für die anaerobe Vergärung im kommerziellen Maßstab derzeit nur Stroh eingesetzt. Als Produkt entsteht Biomethan, das im Vergleich zu Ethanol aus Ligno-Zellulose einen Naturschutzvorteil hat: Gärreste aus der Biomethanproduktion können in die Landwirtschaft zur Humusbildung und zum Bodenschutz zurückgeführt werden, während die Lignin-Fraktion im Ethanolprozess normalerweise zur internen Energiebereitstellung verbrannt wird. Die technischen Herausforderungen der anaeroben Vergärung sind analog zu denen der biochemischen Route (Kapitel 4.1.1).

4.1.3. Pyrolyse-Route

Bei der Pyrolyse findet die kontrollierte thermische Zersetzung von kohlenstoffhaltigen Rohstoffen wie Biomasse in eine feste (Kohle), flüssige (Öl) und gasförmige Fraktion statt. Dafür kommt jegliche Art von trockener Biomasse in Frage. Allerdings bestimmen sowohl der Biomasserohstoff als auch die Prozesstemperatur die Ausbeute und die Qualität des entstehenden Pyrolyseöls. Die gasförmige Fraktion kann (z. T. gemeinsam mit der festen Fraktion) zur Bereitstellung der Prozessenergie genutzt werden. Daher sind Pyrolyse-Anlagen energie-autark. Das entstehende Produkt Pyrolyseöl ist sehr sauer, hat eine hohe Viskosität und einen hohen Wassergehalt, sodass Lagerung, Transport und Weiterverarbeitung erschwert sind. Es wird aber bereits in verschiedenen Anlagen kommerziell zur Wärme- und Stromerzeugung eingesetzt. Außerdem kann es über Hydrierung oder durch katalytische Prozesse als Kraftstoff aufbereitet werden oder in konventionellen Erdöl-Raffinerien mitverarbeitet werden. Schließlich kann Pyrolyseöl auch vergast und zu Synthesegas umgewandelt werden. Dieser Einsatz hat den Vorteil, dass sehr heterogene Biomasserohstoffe in ein vergleichsweise homogenes Zwischenprodukt umgewandelt werden, welches die technischen Anforderungen zur Vergasung leichter erfüllt als der Biomasserohstoff selbst. Zu den technischen Herausforderungen der Pyrolyse-Route gehören die Erhöhung der Pyrolyseölausbeute, Stabilisierung des Pyrolyseöls und die Kostenreduktion bei der Aufbereitung zum Kraftstoff.

4.1.4. Synthesegas-Route

Bei diesem thermochemischen Prozess werden kohlenstoffhaltige Rohstoffe (Kohle, Erdgas oder Biomasse) in Synthesegas (Syngas), eine Mischung aus Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid, umgewandelt. Der Prozess benötigt hohen Druck und hohe Temperaturen. Die Zusammensetzung des Synthesegases hängt von Ausgangsmaterial und Prozessbedingungen ab. Während diese Route für die konventionellen Rohstoffe Kohle und Erdgas voll etabliert ist, gestaltet sich die Vergasung von Biomasse ungleich schwerer. Die Anforderungen sind hoch: die meisten Vergaser benötigen qualitativ hochwertige, homogene Biomasserohstoffe mit technisch engen Spezifikationen (Partikelgröße und Feuchtegehalt). In Deutschland verbleibt derzeit nur die bioliq®-Demonstrationsanlage am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) (Produktion ca. 1.000 t/a). Wenn die mehr oder weniger aufwändige und komplexe Gasaufbereitung und -reinigung angepasst an die Art der nachfolgenden Konversion gelingt, kann allerdings ein breites Produktspektrum bedient werden. Zu den möglichen Produkten zählen Methanol (bzw. Ottokraftstoff via *Methanol-to-Gasoline*- / MtG-Prozess), Dimethylether (DME), Fischer-Tropsch-Kraftstoffe (FT-Kraftstoffe), Alkohole und Synthetic/Substitute Natural Gas (SNG). Die Technologie zur Produktion von Biomass-to-Liquid (BtL)-Kraftstoffen sowie SNG befindet sich derzeit trotz umfangreicher Forschung und Entwicklung noch im Pilot-/ Demonstrationsstadium. Die größten technischen Herausforderungen der Synthesegas-Route liegen in der Robustheit der Vergaserkonzepte und dem Energieaufwand bei der Gasreinigung, da geringste Verunreinigungen die Synthese stören.

4.1.5. Zwischenfazit

Zusammenfassend betrachtet zeigt sich, dass Ethanol der derzeit wichtigste fortschrittliche Biokraftstoff aus Ligno-Zellulose (insbesondere aus Stroh, Bagasse oder Waldrestholz) auf dem europäischen Markt ist. Für Ethanol existieren sowohl Demonstrationsanlagen als auch erste kommerzielle Anlagen. Die meisten anderen fortschrittlichen Kraftstoffpfade – mit Ausnahme von Biomethan aus Rest- und Abfallstoffen – befinden sich in Europa derzeit noch im Forschungs-, Entwicklungs- und Pilotanlagen-Stadium. Biochemische und thermochemische Routen benötigen sehr homogene Biomasserohstoffe, daher ist eine echte Rohstoffflexibilität für den Einsatz eines breiten Spektrums von Biomasse in der Praxis derzeit nicht gegeben. Die Pyrolyse-Route ist hier die flexibelste. Eine weitere Herausforderung bei allen Routen besteht in der saisonalen Verfügbarkeit von Biomasserohstoffen, z. B. Ernterückständen. Diese müssen dann bei spezialisierten Konversionsanlagen gelagert werden, was potenziell mit Investitionskosten, Lagerverlusten, erschwerter Weiterverarbeitung und verminderter Konversionseffizienz verbunden sein kann. Alternativ müssten die Konversionsprozesse so weiterentwickelt oder flexibilisiert werden, dass saisonal mehrere Biomasserohstoffe eingesetzt werden können.

4.2. Welche Technologiepfade werden in Zukunft voraussichtlich quantitativ von Bedeutung sein?

Bislang spielen fortschrittliche Kraftstoffpfade in Europa quantitativ eine untergeordnete Rolle, wobei Biodiesel aus gebrauchtem Speiseöl und tierischen Fetten die Ausnahme darstellt. Obwohl das Potenzial von ligno-zellulosehaltiger Biomasse groß ist, befinden sich derzeit nur geringe Mengen von Biodiesel bzw. hydriertes Öl aus Tallöl sowie Ethanol aus Ligno-Zellulose auf dem Markt. Es ist aber zu erwarten, dass ligno-zellulosebasierte Pfade zukünftig an Bedeutung gewinnen werden, sobald die derzeit hohen Kosten für die Herstellung von fortschrittlichen Biokraftstoffen reduziert werden können. Die Quotenanforderungen werden ebenfalls einen Anreiz bieten, jedoch bestehen auch technisch-regulatorische Begrenzungen (z. B. E10, B7).

Der derzeit technisch am weitesten entwickelte Pfad für fortschrittliche Biokraftstoffe aus Ligno-Zellulose ist Ethanol, gefolgt von Biomethan aus Stroh. Die Entwicklung für Methanol aus Synthesegas ist ebenfalls recht weit fortgeschritten, allerdings außerhalb Europas. Die Pyrolyse-Route befindet sich nur bei Verwendung des Bioöls zur Strom- und Wärmeerzeugung an der Schwelle zur Marktreife, die Kraftstoff-Pfade dagegen haben einen geringeren Reifegrad. Allerdings bestätigt sich bisher generell die Beobachtung, dass fast alle ersten kommerziellen Anlagen zur Herstellung fortschrittlicher Biokraftstoffe entweder mit z. T. massiven technischen Problemen kämpfen oder bereits wieder stillgelegt wurden.

Neben den nach wie vor beträchtlichen technischen Herausforderungen, die die Produktion von fortschrittlichen Biokraftstoffen schwierig oder unwirtschaftlich gestalten, bestehen in Europa auch marktseitige Restriktionen. Für Biodiesel und Bioethanol gibt es obere Beimischungsgrenzen. Die maximal beimischbaren Ethanolmengen (E10, E5) werden aktuell bereits vollständig durch konventionellen Bioethanol aus Zucker- und Stärkepflanzen ausgefüllt, so dass für Ethanol aus Ligno-Zellulose erst der Markt ausgeweitet werden müsste, um Konkurrenz zu vermeiden. Andernfalls ist zu erwarten, dass es keinen Anreiz gibt, in fortschrittliches Bioethanol zu investieren, obwohl dies der einzige marktreife fortschrittliche Biokraftstoff ist. So könnte z. B. ein neues Benzin auf Basis einer E20/E25-Mischung mit hoher Oktanzahl eingeführt werden. Alternativ wären mehr Flexible Fuel

Vehicles (FFV) mit E85 denkbar, oder der Betrieb von Bussen und Lkw mit ED95³⁰ und der Einsatz von Alcohol-to-Jet (AtJ) im Flugverkehr.

Ein weiterer Faktor, der die Verbreitung von fortschrittlichen Biokraftstoffen deutlich einschränken könnte, liegt in den Kosten. Biokraftstoffe sind generell teurer als fossile Kraftstoffe. Prognosen zufolge könnten die fortschrittlichsten Biokraftstoffpfade bei Ölpreisen über 100 US-\$ pro Barrel ab 2030 oder 2045 in der Lage sein, direkt mit Benzin und Diesel zu konkurrieren (IRENA 2016). Fortschrittliche Biokraftstoffe sind dabei viel teurer als konventionelle Biokraftstoffe der ersten Generation. Anlagen für fortschrittliche Biokraftstoffe benötigen deutlich höhere spezifische Investitionen als Anlagen für herkömmliche Biokraftstoffe, weil sich die Biomasserohstoffe in ihren Eigenschaften von Energiepflanzen unterscheiden. Die Investitionskosten für Ethanol aus Ligno-Zellulose sind doppelt so hoch wie für Ethanol aus Zuckerrohr bzw. fünfmal höher als für Ethanol aus Körnermais. Es wird aber erwartet, dass alle Konversionspfade in der Lage sind, steile technologische Lernkurven zu durchlaufen, d.h. relativ schnell in größerem Maßstab etabliert werden können, da so deutliche Kostendegressionen erzielt werden können. Dadurch erscheint es möglich, die spezifischen Investitionskosten von derzeit 2.000 bis 7.000 US-\$/kW_{Biokraftstoff} auf 700 bis 2.000 US-\$/kW_{Biokraftstoff} zu senken (IRENA 2016). Auf die Gewinnung des Ausgangsmaterials entfallen bei den meisten Konversionspfaden 40 bis 70 % der Produktionskosten unter Annahme von typischen Kosten für Holz oder landwirtschaftliche Reststoffe. Wenn die Lernkurven und die Effizienz steigen, kann sich der Beitrag der Rohstoffkosten zu den Gesamtkosten mit der Zeit verschieben.

Im Hinblick auf die möglichen Einsparungen von Treibhausgas-Emissionen erzielen alle fortschrittlichen Biokraftstoffpfade in Referenz zu Fossilbrennstoffen eine THG-Emissionseinsparung von 60 bis 95 % (IRENA 2016). Damit erfüllen sie die geforderten Mindesteinsparungen.

4.3. Welche direkten und indirekten naturschutzfachlichen Effekte können sich aus der Verwendung bestimmter Technologiepfade ergeben?

Die Herstellung fortschrittlicher Biokraftstoffe aus Stroh und anderen Ernterückständen aus der Landwirtschaft sowie Ernte- und Produktionsrückständen aus der Forstwirtschaft erhöht die Nachfrage nach diesen Biomasserohstoffen. Gleichzeitig erfüllen Getreidestroh bzw. Waldrestholz bei Verbleib auf der Fläche ökologisch relevante Funktionen, die sich dann vermindern und die Qualität der Ökosysteme beeinflussen können. Direkte Effekte einer verstärkten Entnahme von Stroh, dem heute anteilmäßig häufigsten Reststoff von landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland (Zeller et al. 2012), werden in Kapitel 5.4 beleuchtet. Die Diskussion direkter Effekte einer erhöhten Nutzung von forstwirtschaftlicher Biomasse erfolgt in Kapitel 5.5.

Die verstärkte Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffen könnte mit Anreizregelungen (Doppel-/Mehrfachzählung) für bestimmte Biokraftstoffpfade zu Marktverzerrungen, Ineffizienzen und Verlagerungseffekten führen, insbesondere wenn diese Anreize nicht einheitlich von allen EU-Mitgliedsstaaten umgesetzt werden. Dies könnte die Konsequenz haben, dass bereits genutzte Rohstoffe bzw. Reststoffe ihrer bisherigen Nutzung entzogen werden (z. B. aufgrund der höheren Zahlungsbereitschaft des Kraftstoffsektors) und durch andere Rohstoffe (fossil oder biogen) ersetzt werden müssen. Diese unerwünschten indirekten Effekte wurden bereits von Rettenmaier et al. (2012) als „Indirect Residue Use Competition“ (IRUC) bezeichnet. Handelt es sich um Rohstoffe mit starkem Flächenbezug, d. h. primäre Rohstoffe und Ernterückstände, dann sind Auswirkungen auf Naturschutzbelange zu erwarten, in einigen Fällen jedoch erst mit zeitlicher Verzögerung. Damit sind die in dieser Studie schwerpunktmäßig betrachteten Biomasserohstoffe Stroh und andere Ernterückstände aus der Land- und Forstwirtschaft betroffen. Für Stroh ist das nachhaltig nutzbare Potenzial

³⁰ ED95 ist ein auf Ethanol basierender Biotreibstoff für darauf angepasste Dieselmotoren. Er besteht aus 95 % Ethanol, Zündverbesserer, Schmiermittel und Korrosionsschutz.

vermutlich noch nicht ausgeschöpft, obwohl sich die Berechnung als komplex erweist (siehe Kapitel 5.4).

Aus Naturschutzsicht relevante indirekte Effekte treten bei einigen Nutzungen nicht sofort auf. Erst wenn a) das nachhaltig nutzbare Potenzial des betrachteten Biomasserohstoffs komplett ausgeschöpft ist und b) auch die nachhaltig nutzbaren Potenziale aller biogenen Substitute ausgeschöpft sind, machen sich Auswirkungen für den Naturschutz bemerkbar. Wenn beispielsweise das gesamte nachhaltig nutzbare Strohpotenzial für die Produktion fortschrittlicher Biokraftstoffe verwendet und somit der bisherigen Einstreu-Nutzung entzogen werden würde, könnte dies durch den Einsatz von Sägenebenprodukten als Einstreu kompensiert werden. Erst wenn deren nachhaltig nutzbares Potenzial ausschöpft wäre und es zu einer Übernutzung käme, würden sich Auswirkungen für den Naturschutz bemerkbar machen. Indirekte Effekte drohen also insbesondere bei einer hohen Nachfrage nach den hier untersuchten ligno-zellulosehaltigen Biomasserohstoffen, für die eine Vielzahl von Substitutionen und Verlagerungseffekten denkbar ist. Für stoffliche Biomassenutzungen, die mit der Petrochemie konkurrieren, könnte die Rohstoffversorgung zum Problem werden, da bei Nichterfüllung der Biokraftstoffquote Strafzahlungen drohen und folglich die Zahlungsbereitschaft des Kraftstoff- und Energiesektors wesentlich höher ist. Hier besteht das Risiko, dass auf nicht nachhaltig erzeugte Biomasse zurückgegriffen werden könnte. Es bestehen zwar verpflichtende Nachhaltigkeitskriterien für die energetische Biomassenutzung, nicht jedoch für die stoffliche Nutzung und auch nicht für die Nahrungs- und Futtermittelerzeugung. Daher sollten Nachhaltigkeitskriterien auf jegliche Form der Biomasseerzeugung ausgeweitet werden, unabhängig von der späteren Nutzung der Biomasse (energetisch, stofflich, Ernährung).

4.4. Fazit zu Technologiepfaden für die Produktion fortschrittlicher Biokraftstoffe

Nach den Vorgaben und Anreizen in der RED II (siehe Kapitel 2.1.2) ist davon auszugehen, dass sich fortschrittliche Biokraftstoffe stärker etablieren. Im Hinblick auf fortschrittliche Biokraftstoffe aus ligno-zellulosehaltigen Biomasserohstoffen, die hier schwerpunktmäßig betrachtet wurden, lässt der aktuelle Stand der Technik eine gesteigerte Nachfrage nach Ernterückständen (und ggf. Produktionsrückständen) erwarten, wobei die verfügbaren Potenziale dieser Materialien begrenzt sind (siehe Kapitel 3). Ein Überschreiten der Potenziale würde in jedem Fall Konflikte generell mit Nachhaltigkeitskriterien sowie auch mit Naturschutzbelangen provozieren (siehe Kapitel 5).

Die verfügbaren Konversionstechniken weisen alle eine technisch bedingte geringe Rohstoffflexibilität auf. Das weiteste Spektrum zeigt dabei die Pyrolysetechnik. Insgesamt werden jedoch homogene, ligno-zellulosehaltige Biomasserohstoffe mit relativ engen Spezifikationen (z. B. Feuchtegehalt), die ganzjährig bereitgestellt werden müssen, benötigt. Da jedoch viele Ernterückstände saisonal anfallen, müssen ggf. große Rohstoffmengen (zwischen-)gelagert werden, ggf. nach vorheriger Haltbarmachung und/oder Erhöhung der Energiedichte bei größeren Transportentfernungen.

Die gegebenen Anforderungen erfüllen am ehesten Ernterückstände wie Stroh, entkernte Maiskolben oder Bagasse als Produktionsrückstand. Abfälle oder andere inhomogene Biomasserohstoffe oder Mischungen bieten sich eher weniger für die Konversion zu fortschrittlichen Biokraftstoffen aus Ligno-Zellulose an. Alternativ müssten für inhomogene Biomasserohstoffe speziell angepasste technologische Konzepte entwickelt werden.

Nach derzeitigem Kenntnisstand sind die nachhaltig nutzbaren Potenziale der oben genannten Biomasserohstoffe sowie ihrer biogenen Substitute teilweise noch nicht ausgeschöpft, obwohl sich in der Literatur dazu keine einheitlichen Zahlen finden lassen. In der Folge können negative Auswirkungen einer Übernutzung auf Naturschutzbelange möglicherweise erst mit zeitlicher Verzögerung auftreten. Grundsätzlich ist zu erwarten, dass sich die wirtschaftlichste Technologie durchsetzen wird. Diese wiederum bestimmt, welche Biomasserohstoffe Verwendung finden können. Für die

aussichtsreichsten Ausgangsmaterialien Stroh und forstwirtschaftliche Biomasse ergeben sich dadurch eine Reihe von Risiken, die in den Fallstudien in Kapitel 5 untersucht werden.

5. Auswirkungen der RED II-Anreize zur Biomassenutzung auf Naturschutzaspekte

5.1. Welche allgemeinen Auswirkungen hat eine verstärkte Biomassenutzung für den Naturschutz?

In Kapitel 2 wurde festgestellt, dass die Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen mit Flächenbezug (insbesondere Stroh, Waldrestholz und Stammholz) zur Produktion von fortschrittlichen Biokraftstoffen sich negativ auf die biologische Vielfalt und Bodenfruchtbarkeit auswirken kann.

Auf landwirtschaftlichen Flächen ist die Zufuhr von organischem Material die Quelle für Bodenkohlenstoff, und beide zusammen erfüllen zahlreiche Funktionen: Das organische Material stellt die Nahrungsgrundlage und das Habitat für die Bodenflora und –fauna dar. Im Zuge seiner Zersetzung wird Bodenkohlenstoff in den Boden eingearbeitet (z. B. durch Regenwürmer), und dadurch wird die Bodenstruktur (z. B. Bodenstabilität und -porosität), Wasserspeicherkapazität und Bodenfruchtbarkeit (z. B. pH-Wert und Kationenaustauschkapazität) verbessert (Dominati et al. 2010; Govers et al. 2017; Bünemann et al. 2018). Aufgrund dieser positiven Effekte kommt im Rahmen von Bodenschutzmaßnahmen der erhöhten Zufuhr von organischer Substanz (z. B. Mulchen mit landwirtschaftlichen Reststoffen) eine bedeutende Rolle zu (Bünemann et al. 2018, LADA³¹). Die vermehrte Entnahme von landwirtschaftlichen Reststoffen birgt im Gegenzug das Risiko, dass die Bodenfruchtbarkeit und Bodenflora und –fauna beeinträchtigt werden.

In Waldökosystemen kann eine hohe Entnahmerate von Biomasse über ähnliche Wirkungsgefüge zu Risiken für die Bodenfruchtbarkeit und die Bodenflora und –fauna führen (Thiffault et al. 2011; Ranius et al. 2018). Von besonders großer Bedeutung ist aber, dass durch eine bestehende und insbesondere durch eine zusätzliche Holzentnahme für den Naturschutz wertvolle Habitate abnehmen, die z. B. in Deutschland bereits heute in zu geringem Umfang zur Verfügung stehen (Reise et al. 2017). Dieses Risiko für Naturschutz-Aspekte besteht in gleicher Weise in Wäldern in anderen Regionen der Welt (Ranius et al. 2018; Hennenberg et al. 2012).

Vor diesem Hintergrund wurden zunächst Fachgespräche und darauf aufbauend vertiefende Arbeiten zu landwirtschaftlichen Reststoffen und zu forstwirtschaftlicher Biomasse durchgeführt, die im Folgenden dargestellt werden.

5.2. Ergebnisse des Fachgesprächs zu landwirtschaftlichen Reststoffen

Zur Umsetzung der Ziele des Naturschutzes im Bereich des Bodenschutzes nimmt das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) Bezug auf das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG), wonach der standorttypische Humusgehalt erhalten bleiben soll. In einem Fachgespräch am 18.4.2018 in Leipzig wurde mit geladenen Expertinnen und Experten der Bodenökologie sowie der Humus- und Bodenkohlenstoffbilanzierung Fragen nachgegangen, die sich aus der Nutzung von Stroh für die Verarbeitung zu fortschrittlichen Biokraftstoffen aus naturschutzfachlicher Sicht ergeben. Insbesondere wurde diskutiert, welche Bedeutung die Bodenhumusversorgung, vornehmlich die aus Stroh und sonstigen entnehmbaren landwirtschaftlichen Reststoffen, für die biologische Vielfalt hat. Aus bodenökologischer Sicht zeigte sich eindeutig, dass die Bodenhumusversorgung ein zentraler Aspekt für viele Bodenfunktionen ist. Dauerversuchsflächen in Sachsen belegen einen hohen Einfluss der Humusversorgung auf die Artenvielfalt der Bodenorganismen. Allerdings lassen sich die Ergebnisse nicht einfach skalieren, so dass Aussagen zu diesem Zusammenhang auf Landschaftsebene schwierig sind. Auch eine Definition des aus Sicht der Biodiversität „optimalen“ Humusgehalts ist auf der derzeitigen Datenlage nicht möglich. Die Forschung hat diese Frage noch nicht hinreichend

³¹ LADA (Land Degradation Assessment in Drylands project) report, chapter 4:
http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/kagera/Documents/LADA_manuals/part1_b.pdf;

aufgegriffen, weil andere Aspekte in Bezug auf Artenvielfalt in der Landwirtschaft im Moment drängender scheinen.

Nicht nur eine geringe, auch eine hohe Zufuhr an organischer Substanz kann problematisch sein, weil dies mit hohen Nährstoffgehalten in der organischen Substanz verbunden sein kann, die bei der Zersetzung und Einarbeitung durch Bodenorganismen freigesetzt werden und zu starken ‚Nährstoffauswaschungen‘ führen können. Bei Stroh ist allerdings durch das hohe Kohlenstoff/Stickstoff-Verhältnis (C/N) das Risiko gering (im Vergleich z. B. zu Rapsstroh oder Rübenblatt). Ergebnisse von Dauerversuchen zeigen, dass sich mit Modellen die tatsächliche Entwicklung von Bodenkohlenstoffgehalten gut vorhersagen lässt, z. B. bei gezielten Änderungen der Bewirtschaftung auf unterschiedlichen Standorten. Humusbilanzmethoden (z. B. VDLUFA 2014) eignen sich nicht oder nur bedingt dafür, absolute Aussagen zu Bodenkohlenstoff- und Humusgehalt zu treffen, da sie nur auf die Veränderung der Humusgehalte abzielen. Langfristig stellt sich standort- und bewirtschaftungs-spezifisch immer ein Gleichgewicht des Bodenkohlenstoffs ein. Jede Änderung der Entnahmeraten von Stroh wird damit auch zu einem geringeren Bodenkohlenstoffgehalt führen. Naturschutzfachlich relevanter für die Vielfalt von Bodenorganismen ist meist die Vielfalt der angebauten Pflanzenarten und Sorten.

Eine zentrale Wissenslücke besteht nach Ansicht der Expertinnen und Experten bei den Auswirkungen der Strohnutzung auf die Biodiversität. Vielfach liegen zwar indirekte Indikatoren mit Bezug auf chemisch-physikalische Bodenparameter vor, wie z. B. die Verfügbarkeit von organischem Kohlenstoff, das C/N-Verhältnis, die Bodenluft, -wasser sowie die Verfügbarkeit von organischer Substanz. Es fehle aber an Wissensträgern, die Einzelbeobachtungen zur Entwicklung eines Monitorings zusammenfassen können. In vielen Vorhaben werden wertvolle Daten generiert, aber nicht als potenzielle Datenbasis für ein Monitoring betrachtet. Für ein Monitoring müssten die Daten und Methoden außerdem mehr auf die Vielfalt der Nutzungsarten Bezug nehmen.

5.3. Ergebnisse des Fachgesprächs zu forstwirtschaftlicher Biomasse

Mit einem Schwerpunkt auf Waldbiomasse beschäftigte sich am 29.3.2017 ein Fachgespräch in Leipzig mit Expertinnen und Experten zu Waldökologie- und Nachhaltigkeitsbewertungen. Zu Beginn wurde vor allem die Definition von fortschrittlichen Biokraftstoffen in Anhang IX der RED-Novelle und ILUC-Richtlinie auf der Basis von biogenen Rohstoffen diskutiert (Tabelle A-1). Eine klare definitorische Trennung von Säge-, Industrie- und Restholz ist aus Sicht der Expertinnen und Experten schwierig, da je nach Nachfrage entnommenes Holz diesen Kategorien zugeordnet wird.. Es gibt in Deutschland keine geeigneten Statistiken, die die Holzentnahme und die Verwendung zusammenbringen. Als hilfreicher Ansatz werden zwar die Güteklassen der Holzsortimente (A, B, C, D) gesehen, nach welchen das Holz im Wald ausgehalten und sortiert wird. Die Preissituation, nach welcher für sägefähiges Holz mehr bezahlt wird, stellt in der Regel sicher, dass A- und B-Holz in Säge- oder Furnierwerke, C- und D-Holz hingegen als Industrieholz (Stammholz) für Platten oder Papier verwendet wird. Doch zeigten Hinweise aus der Praxis, dass auch heute schon Rundhölzer energetisch genutzt werden³². Eindeutig dagegen steht die Sachlage für Waldrestholz oder Kronentopholz, das zurzeit nur energetisch verwendet wird (wenn nicht im Wald belassen).

Die Expertinnen und Experten wiesen darauf hin, dass es momentan kein allgemeingültiges Messverfahren für die Erfassung und Darstellung von Naturschutzaspekten bei der Bestimmung nachhaltiger forstlicher Biomassepotenziale gibt. Hilfreich wären hier Mindeststandards für Studien bzgl. der Kriterien, die berücksichtigt werden sollten inklusive möglicher Datenquellen. Im Workshop wurde auch auf Ergebnisse der Studie „Energiewende und Waldbiodiversität“ eingegangen (Ewald et al. 2017). Das Vorhaben machte deutlich, dass die bestehenden Monitoringsysteme auf Bundesebene

³² Siehe u.a. <http://www.biokraftwerk-schkoelen.de/energieholz>

bisher nicht aufeinander abgestimmt und daher nur begrenzt für ein Monitoring der Auswirkungen einer verstärkten Energieholznutzung geeignet sind. Indikatoren für ein solches System müssten auf robusten und verlässlichen Daten beruhen, aus dauerhaft abgesicherten Monitoring-Programmen stammen, standardisiert erhoben werden und für bundesweite Aussagen verwendet werden können.

Im Hinblick auf Biomassepotenziale im Wald stellten die Expertinnen und Experten dar, dass sich zusätzliche Potenziale nur bei Aktivierungen im Kleinprivatwald und ggf. im Kommunalwald erschließen ließen, da Holz aus dem Staatswald und Großprivatwald bereits sehr stark oder sogar zu stark genutzt wird. Insgesamt würde ein höherer Bedarf an Holz ohne zusätzliche Mobilisierung wahrscheinlich durch Importe bedient werden. In diesem Zusammenhang wurde die Möglichkeit eines konkreten Bezugs der RED II auf Waldzertifizierungssysteme diskutiert. Dabei wurde die Notwendigkeit, Kriterien der Systeme im Sinne des Biodiversitätsschutzes zu verschärfen (z. B. hinsichtlich Derbholzgrenze oder Vollbaumnutzung), und die Schwierigkeiten der WTO-Kompatibilität solcher Anforderungen hervorgehoben.

5.4. Ergebnisse der Vertiefungsstudie zu landwirtschaftlichen Reststoffen

Wie aus den Analysen zu Reststoffpotenzialen (Kapitel 3) und verfügbaren Technologien (Kapitel 4) geschlossen wurde, bietet sich Stroh als Biomasserohstoff für die Herstellung von Bioethanol und Biomethan als ein möglicher Pfad an. Im Rahmen einer Vertiefungsstudie (Arbeitspapier B) wurden die im Fachworkshop (Kapitel 5.2) diskutierten und offen gebliebenen Fragen untersucht. Die wesentlichen Ergebnisse werden hier zusammengefasst.

5.4.1. Was wurde in der Vertiefungsstudie untersucht?

Grundsätzlich beansprucht der Anbau von Feldfrüchten den Boden in vielfältiger Weise. Da die meisten Fruchtarten dem Boden Humus entziehen, werden bei der Produktion anfallende Reststoffe auf der Fläche belassen oder organische Substanz zugeführt, um die Humusbilanz des Bodens auszugleichen. Für eine gute landwirtschaftliche Praxis spielt die Humusbilanz traditionell somit eine wichtige Rolle bei der nachhaltigen Aufrechterhaltung der Produktivität landwirtschaftlicher Böden. Neben der Ertragssicherung bzw. -steigerung beeinflusst der Humusgehalt eine Reihe von Bodenfunktionen, z. B. Verfügbarkeit von Nährstoffen, Wasserspeicherkapazität, Erhöhung der Strukturstabilität und Porosität mit verbesserter Widerstandskraft des Bodens gegen Erosion. Darüber hinaus stellt Humus eine Kohlenstoffsенke und gleichzeitig die Nahrungsgrundlage für Lebensgemeinschaften von Mikroorganismen und Bodentieren dar. Bodenorganismen betreiben sowohl Aufbau als auch Zersetzung von Humus und damit die Ökosystemdienstleistung Bodenbildung. So halten sie Kohlenstoff- und Nährstoffkreisläufe im Boden aufrecht und stabilisieren das Bodengefüge. All diese Funktionen spielen eine maßgebliche Rolle für die Landwirtschaft und den Pflanzenbau. Der tatsächliche Einfluss der Verfügbarkeit von Getreidestroh auf die Bodenbiodiversität ist jedoch weitgehend unbekannt.

Zur Klärung dieser Frage untersucht eine Vertiefungsstudie zu landwirtschaftlichen Reststoffen im Folgenden die Wirkungszusammenhänge zwischen Strohentnahme und Biodiversität der Bodenlebewesen. Methodisch wurde zunächst eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Dabei wurden drei Kernthemen beleuchtet: a) Strohentnahme und Humusbilanz, b) Humusbilanz und Biodiversität im Boden und c) zusätzliche Einflussfaktoren auf die Biodiversität im Boden. Ergänzend wurden im nächsten Schritt eine Reihe von Expertinnen und Experten mit verschiedenen Forschungsschwerpunkten ausgewählt und im Rahmen strukturierter Leitfadeninterviews entsprechend des Untersuchungsgegenstandes befragt. Der Humusgehalt als Indikator für einen guten Bodenzustand einerseits und als Kohlenstoff- und Energiequelle für Bodenorganismen andererseits wurde besonders betrachtet. Die im Laufe der Studie identifizierten Wissenslücken und wissenschaftlichen Unsicherheiten sowie der daraus resultierende Forschungsbedarf wurden zusammengeführt und die

potentiell negativen Auswirkungen der Strohentnahme auf die Bodenökologie aufgezeigt. Schließlich wurden die gewonnenen Erkenntnisse als Fazit in Form von Thesen zusammengefasst.

5.4.2. Wie ist der Stand der Forschung?

Humus ist grundsätzlich definiert als die in den Boden integrierte organische Bodensubstanz (VDLUFA 2014). Diese organische Substanz im Boden unterliegt als Bestandteil des globalen Kohlenstoffkreislaufs kontinuierlichen Abbauprozessen. Somit ist die ausgleichende Zufuhr von Pflanzenresten entscheidend. In der Landwirtschaft kann Stroh in Form von Ernterückständen oder als Teil des organischen Düngers als Ausgangsstoff dienen. Allerdings existiert keine monokausale Beziehung zwischen Strohentnahme bzw. -zugabe und dem lokalen Humusgehalt. Dennoch gibt es Ansätze und eine Reihe von Dauerfeldversuchen, die sich mit den Auswirkungen verschiedener Substratzugaben auf den Humusgehalt beschäftigen und die Komplexität der verschiedenen Einflussfaktoren abbilden.

Strohentnahme und Humusbilanz

Der Gehalt der organischen Substanz im Boden ist nicht konstant. Der Humuskörper eines Bodens besteht aus Huminstoffen und Streuresten, deren Anteil von der Vegetation und den Standorteigenschaften abhängig ist. Letztere bestimmen die Leistung der Bodenorganismen beim Abbau der organischen Substanz zu CO₂ und H₂O. Dabei werden die enthaltenen Nährstoffe im Prozess der fortschreitenden Mineralisierung pflanzenverfügbar gemacht. Alle im System verbleibenden organischen Substanzen, die noch nicht mineralisiert wurden, gehören zur organischen Bodensubstanz, sodass Humus aus Stoffen unterschiedlicher Abbaugrade besteht. Zugleich findet Stabilisierung statt, d. h. die organische Substanz wird unterschiedlich stark im Mineralboden festgelegt und somit einstweilen vor dem mikrobiellen Abbau geschützt. Aus diesen gegenläufigen Prozessen entstehen drei sogenannte „Pools“ von organischer Substanz (die labile, intermediäre und stabile Humusfraktion), die für eine schnelle, langsamere oder sehr langsame Umsetzung zur Verfügung stehen. Bei gleich bleibender Zufuhr von organischem Material wird ein Gleichgewicht zwischen dem Abbau der organischen Substanz und Anlieferung erwartet (Amelung et al. 2018).

In Deutschland stellt Getreidestroh anteilmäßig den häufigsten landwirtschaftlichen Reststoff dar und gilt gleichzeitig als wichtigster organischer Dünger auf landwirtschaftlichen Flächen (Zeller et al. 2012). Wie viel Stroh für den Ausgleich der Humusbilanz auf dem Acker verbleiben muss und wie hoch in Konsequenz das nachhaltige energetische Nutzungspotential von Stroh ist, unterliegt allerdings sehr komplexen Zusammenhängen und kann nicht eindeutig beziffert werden.

Einflussfaktoren auf die Humusbilanz

Die Auswirkungen von verschiedenen Düngevarianten u. a. auf den Humusgehalt werden in Deutschland in etlichen landwirtschaftlichen Dauerfeldversuchen mit Laufzeiten von teilweise über 100 Jahren untersucht. Über die Gesamtheit der Dauerfeldversuche konnte eine Reihe von Einflussfaktoren identifiziert werden, die eine grundsätzliche Rolle für den organischen Kohlenstoffgehalt des Bodens spielen (z. B. Stickstoffdüngung, Bodenart, Lufttemperatur; z. B. Körschens et al. 2013; 2014). Die Ergebnisse der Dauerfeldversuche zeigen die Komplexität der Zusammenhänge zwischen Substratzugabe und Humus- bzw. Kohlenstoffgehalten auf. Die verfügbaren Studien gehen davon aus, dass durch die Zugabe von Stallmist oder Stroh, ggf. in Kombination mit Stickstoff in mineralischer oder organischer Form, höhere Gehalte an organischem Kohlenstoff im Boden erzielt werden als mit alleiniger mineralischer Düngung. Organische Substanz kann durch einen hohen Tonanteil im Boden stabilisiert werden, der Einfluss der Lufttemperatur ist jedoch strittig.

Zusammenhänge zwischen Humusbilanz und Bodenbiodiversität

Ein Großteil der globalen Biodiversität sind Bodenorganismen, die dort eine Reihe von Ökosystemdienstleistungen erfüllen (Barrios 2007). Bodenorganismen werden anhand ihres Körperdurchmessers in Mikro-, Meso-, Makro- und Megafauna unterteilt, während Bakterien, Pilze und Archaeen als Mikroorganismen zusammengefasst werden (Amelung et al. 2018). All diese Bodenorganismen sind Teil eines komplexen Nahrungsnetzes, sodass sich die Abundanzen der Arten gegenseitig beeinflussen. Funktionelle Leistungen von Bodenorganismen sind die Beteiligung an Nährstoffkreisläufen durch die Zersetzung von organischem Material (hauptsächlich Stickstoff und Kohlenstoff, aber auch andere Nährstoffe wie Phosphor), die Beeinflussung der Bodenstruktur durch Aggregatbildung und Durchmischung sowie der biologische Pflanzenschutz im Boden. Allerdings ist grundsätzlich zur Bedeutung und Bewertung der Biodiversität der Bodenorganismen wenig bekannt, und erhebliche Forschungslücken erschweren die Einschätzung.

Eine zentrale Herausforderung ist die Quantifizierung von Biodiversität, die als Artendiversität, genetische Diversität oder funktionelle Diversität gemessen werden kann. Es gibt verschiedene Verfahren, die alle zeit-, arbeits- und z. T. kostenintensiv sind. Eine gängige Methode zur Quantifizierung von Bodenmikroorganismen ist die Messung ihres Kohlenstoffgehaltes mit der Fumigation-Extraktionsmethode. Dabei wird eine Bodenprobe zunächst mit Chloroform behandelt (fumigiert), das in die Bodenporen eindringt und vorhandene Mikroorganismen durch Aufschluss der Zellen tötet. Im zweiten Schritt erfolgt die Auftrennung (Extraktion) des gelösten organischen Kohlenstoffs. Ribotyping³³ liefert Informationen über die genetische Diversität, und über ihre Atmungsraten kann die Leistung von Bodenorganismen verglichen werden (Ottow 2011).

Die Auswirkungen der Verfügbarkeit von organischem Kohlenstoff auf die Bodenbiodiversität lassen sich nicht in linearen Zusammenhängen beschreiben. Vielmehr zeichnen sich Böden mit qualitativ hochwertiger Zufuhr an organischer Substanz durch komplexe Nahrungsnetze sowie eine hohe funktionelle Redundanz von Bodenorganismen aus. Solche Verhältnisse deuten auf eine höhere Stabilität der vom Boden geleisteten Ökosystemleistungen hin und entsprechen außerdem der politischen Zielsetzung, die biologische Vielfalt zu erhalten.

Neben den oben betrachteten Aspekten gibt es eine Reihe weiterer Einflussfaktoren, die für die Bodenbiodiversität maßgeblich sein können. Zu diesen gehören u. a. Bodenfeuchte, Zugabe von mineralischen oder organischen Düngern, pH-Wert, Behandlung mit Agrochemikalien und die Auswahl der Fruchtfolge. Besonders relevant ist außerdem die landwirtschaftliche Bodenbearbeitung, die die chemisch-physikalischen Eigenschaften des Bodens und somit den Lebensraum von Bodenorganismen z. T. gravierend verändern kann.

5.4.3. Welche Auswirkungen der Strohentnahme sind bekannt?

Sowohl die Auswertung der Literatur als auch die vertiefende Befragung der Fachexpertinnen und -experten bestätigen einen Zusammenhang zwischen Strohentnahme und Beeinträchtigung der Bodenökologie. Eine gesteigerte Strohentnahme beeinflusst besonders die Nahrungsverfügbarkeit und das Mikroklima. Damit sind Organismen aller trophischen Stufen in komplexen Wirkungskaskaden betroffen. Die zu erwartenden Effekte sind allerdings schwer vorhersagbar und variieren für individuelle Organismengruppen, da es sich nicht um strikt additive oder subtraktive Prozesse handelt. Es ist zu erwarten, dass eine Strohentnahme sich sowohl quantitativ als auch qualitativ auf die Bodenbiodiversität auswirkt. Die Messung solcher Effekte ist allerdings eine Herausforderung, weshalb häufig das Vorkommen von Schlüsselorganismen wie Regenwürmer (*Anneliden*), Springschwänze

³³ Ribotyping ist eine molekularbiologische Methode zur ribosomalen Typisierung und damit zur Identifikation von Bakterien.

(*Collembolen*), Milben (*Acarī*) oder Fadenwürmer (*Nematoden*) ausgewertet wird. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass im Stroh der leicht abbaubare Anteil an Kohlenstoff als Nahrungsquelle entscheidender für Bodenorganismen ist, als der schwer abbaubare Anteil (Joschko et al. 2015). Daraus folgt, dass der als Humus stabilisierte Kohlenstoff im Boden deutlich weniger von Bodenorganismen als Nahrung genutzt wird und von daher keinen geeigneten Indikator für Bodenbiodiversität darstellt.

Das Mikroklima wird vor allem durch die Art der Strohbewirtschaftung maßgeblich beeinflusst, d. h. Stroh kann als Mulchschicht auf der Oberfläche verbleiben oder in den Boden eingearbeitet werden. Grundsätzlich wird der Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Bodenbiodiversität deutlich betont und generell als entscheidender als die möglichen Konsequenzen einer Strohentnahme angesehen. Während nach aktuellem Wissensstand davon auszugehen ist, dass sich der Verbleib von Getreidestroh positiv bzw. stabilisierend auf die Biodiversität der Bodenlebewesen auswirkt, spielen Intensität und Invasivität der Bodenbearbeitung klar die wesentlichere Rolle für ihre Abnahme.

5.4.4. Fazit zur Vertiefungsstudie zu landwirtschaftlichen Reststoffen

Wie während der Rechercharbeiten deutlich wurde, besteht im Bereich Bodenbiodiversität zum Teil noch erheblicher Forschungsbedarf. So konnten im Zusammenhang mit der Frage nach den ökologischen Konsequenzen einer Strohentnahme eine Reihe von Wissenslücken und Unsicherheiten identifiziert werden. Einige grundsätzliche Aspekte sind ungeklärt, z. B. die Frage nach der adäquaten Messung von Biodiversität, den unterschiedlichen Betroffenheitsgraden von verschiedenen Arten und der Bedeutung von funktioneller Biodiversität. Darüber hinaus ist der Zusammenhang zwischen Strohentnahme, Humusbildung und Biodiversität der Bodenlebewesen nicht abschließend geklärt. Unterschiedliche Einflussfaktoren, z. B. Strohzugabe im Vergleich zur Art der Bodenbearbeitung, bedürfen einer Gewichtung. Außerdem zeichnen sich Interessenskonflikte im Spannungsfeld zwischen Biodiversitätsförderung und Pflanzenbau ab, denen aufgrund der geringen Datenlage nicht eindeutig zu begegnen ist. Trotz all dieser offenen Fragen ist davon auszugehen, dass sich eine Strohentnahme ohne Ausgleich durch anderen organischen Dünger negativ auf das Bodenleben auswirkt. Lokale Standortbedingungen (Bodenart, Bodenbewirtschaftung) spielen eine wesentliche Rolle für die lokale Bodenbiodiversität. Daher wäre eine Anpassung der Bewirtschaftungsform ggf. geeignet, um eine Strohentnahme zu kompensieren und sollte womöglich standortspezifisch ausgleichend eingesetzt werden. Abschließend gibt die Studie Empfehlungen, wie diese unterschiedlichen Parameter im konkreten Fall einbezogen werden können.

Im Folgenden sind die Erkenntnisse der Vertiefungsstudie zu landwirtschaftlichen Reststoffen noch einmal zusammengefasst:

- Eine Strohentnahme reduziert das Nahrungsangebot und wirkt sich über mehrere trophische Ebenen negativ auf die Populationsdichte der Bodenorganismen aus. Als Folge wird eher die Biomasse der Bodenorganismen als die Biodiversität reduziert.
- Unabhängig von der Strohbewirtschaftung ist die Bodenbiodiversität in landwirtschaftlich genutzten Böden im Allgemeinen geringer als in Grünland oder Wald.
- Bei Stroh ist der leicht abbaubare Anteil an Kohlenstoff als Nahrungsquelle für Bodenorganismen entscheidend.
- Bodenorganismen können den als Humus stabilisierten Kohlenstoff im Boden nicht nutzen, daher ist Humus kein geeigneter Indikator für Bodenbiodiversität.
- Je nach Boden- und Organismenart hat die Art der Bodenbearbeitung deutlich stärkeren Einfluss auf die Diversität der Bodenlebewesen als die Strohzufuhr bzw. die Strohbewirtschaftung.

5.5. Ergebnisse der Vertiefungsstudie zu forstwirtschaftlicher Biomasse

5.5.1. Was wurde in der Vertiefungsstudie untersucht?

In einer Vertiefungsstudie zu forstwirtschaftlicher Biomasse (Arbeitspapier C) wurde untersucht, welche potenziellen Risiken für Biodiversität und Bodenfruchtbarkeit im Wald bei einer vermehrten Holzentnahme bestehen. Außerdem wurden die Kriterien der Nachhaltigkeitsanforderungen aus dem Artikel 29.6 der RED II dahingehend überprüft, ob sie die Biodiversität im Wald schützen und die Waldbodenqualität erhalten können.

Dafür wurde jeweils ein Beispielland aus der borealen (**Kanada**), gemäßigten (**Rumänien**) und tropischen Klimazone (**Nigeria**) hinsichtlich seiner forstwirtschaftlichen Rahmenbedingungen und aktuellen Naturschutzkonflikte mit der Forstwirtschaft untersucht. Die Auswahl der Beispielländer erfolgte unter anderem aufgrund ihres Waldreichtums, Primärwaldaufkommens und negativer Netto-Waldbilanzen.

Die Analyse basierte auf Experteninterviews und Literaturrecherchen. Für Kanada wurden folgende Experten interviewt: Professor John L. Innes von der University of British Columbia, Dekan der forstwissenschaftlichen Fakultät und Leiter des „Sustainable Forest Management Laboratory“, und Professor Gary Q. Bull von der University of British Columbia, Leiter der Abteilung für „Forest Resource Management“. Für Rumänien wurden Interviews mit Matthias Schickhofer, Journalist und Aktivist, Dr. Martin Mikolas, Wissenschaftler an der Fakultät für Forstwirtschaft und Holzwissenschaften der Universität Prag, und Professor Rainer Luick, Fachgebiet Natur- und Umweltschutz der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg durchgeführt. Für Nigeria wurde ausschließlich Literatur analysiert, da keine Expertinnen und Experten für Interviews gefunden werden konnten.

5.5.2. Was hat die Risikoanalyse der Beispielländer ergeben?

Kanada: Charakterisierung der Forstwirtschaft

Die dominierende Vegetationszone ist die boreale (Nadel-)Waldzone, in der Feuer ein wichtiger natürlicher Faktor in der Walddynamik ist (Fischer 2003), gefolgt von zyklisch auftretenden Insektenkalamitäten (Gauthier et al. 2015). Insgesamt erstrecken sich die Wälder in Kanada auf ca. 347 Mha (FAO 2015).

Im Jahr 1992 wurde durch das Canadian Council of Forest Ministers (CCFM) die Einführung von Richtlinien für ein nachhaltiges Forstmanagement (Sustainable Forest Management, SFM) beschlossen, die die ökonomische, ökologische und soziale Funktion der Wälder erhalten sollen. Die Entwicklung wird regelmäßig durch sechs Kriterien und 46 Indikatoren nachvollzogen. Die rechtliche Umsetzung erfolgt hauptsächlich auf der Ebene der zehn Provinzen und drei Territorien Kanadas, da die Wälder zu 90 % unter deren Verwaltung stehen. Die Holzernte findet auf ca. 40 % der kanadischen Waldfläche statt (Venier et al. 2014) und wird hauptsächlich von Holzfirmen durchgeführt, die Lizenzen von den örtlichen Regierungen erwerben mussten. Dafür muss die Holzfirma prinzipiell einen Forstmanagementplan erstellen und mit Stakeholdern aus den Bereichen Wirtschaft, Umwelt und der indigenen Bevölkerung abstimmen. Die Ausgestaltung dieses Prozesses unterscheidet sich in den Provinzen und Territorien.

Das verbreitetste Ernteverfahren ist der Kahlschlag, der in seiner Dimension stark variieren kann, z. B. von 80 ha bis 1.916 ha in Ontario (OMRF 2014). Die Regeneration eines Waldbestandes ist Pflicht und muss entweder natürlich oder durch Pflanzungen erfolgen. Die Kontrolle über die Einhaltung der Gesetze findet gewöhnlich auf mehreren Ebenen statt und wird nach Einschätzung der Experten konsequent verfolgt. Probleme für die kanadische Forstwirtschaft sind vor allem die

ökonomischen Verluste durch Feuer und Insekten, wodurch die kanadischen Wälder zur Kohlenstoffquelle werden können (Canadian Forest Service 2018).

Kanada: Risiken für den Erhalt der Biodiversität und Bodenqualität

Kanada hat in der Periode zwischen 2000 und 2013 insgesamt 14.2 Mha an intakter Waldfläche (Intact Forest Landscape, IFL), aufgrund von Fragmentierung und Degradierung, verloren (Potapov et al. 2017). Davon lassen sich ca. 60 % auf forstwirtschaftliche Aktivitäten zurückführen (Smith & Cheng 2016). Kahlschläge werden kontrovers diskutiert, und als deren Rechtfertigung werden häufig die zum natürlichen Zyklus gehörenden großflächigen Feuer in borealen Wäldern angeführt (Simberloff 2001). Durch Kahlschlag gehen jedoch wichtige Habitatstrukturen, wie liegendes und stehendes Totholz und späte Sukzessionsphasen der Wälder verloren (Boucher et al. 2015; Kuuluvainen und Gauthier 2018). Dadurch fehlt es an Nahrungsressourcen und Lebensraum für Pilze, Moose, Flechten und Invertebraten, die wiederum wichtige Nahrung von vielen Vogel- und Säugetierarten sind (Hannon und Drapeau 2005; Bouchard und Pothier 2011; Venier et al. 2014). Kahlschläge haben außerdem negative Effekte auf die Verfügbarkeit von Stickstoff im Boden. Im Vergleich dazu stellt die Entnahme von einzelnen Bäumen eine geringere Gefahr für die Verfügbarkeit von z. B. Bodenstickstoff dar (Jerabkova et al. 2011). Beide Interviewpartner wiesen darauf hin, dass einer der größten Naturschutzkonflikte im Zusammenhang mit Forstwirtschaft der Schutz von Karibus (*Rangifer tarandus caribou*) ist. Diese Rentierart ist auf intakte, große boreale Urwälder spezialisiert (Kivinen et al. 2010) und reagiert sehr empfindlich auf Störungen, die auch durch andere anthropogene Einflüsse verursacht werden, wie Bergbau, Infrastrukturmaßnahmen und Ölförderung (Venier et al. 2014). Das International Boreal Conservation Science Panel forderte bereits im Jahr 2013, dass 50 % einer Region dauerhaft vor der industriellen Entwicklung geschützt werden und große Schutzgebietsnetzwerke etabliert werden sollten. Bei der Planung und Etablierung von borealen Waldschutzgebieten muss vor allem eine großräumige, zusammenhängende Fläche berücksichtigt werden, in der die natürliche Dynamik von Feuer, Insektenkalamitäten und Sturmschäden so wirken kann, dass alle Stadien der Sukzession präsent sein können, um das weite Spektrum der natürlichen Biodiversität erhalten zu können (Andrew et al. 2014). Im Jahr 2006 waren nur insgesamt 7 % der kanadischen Wälder geschützt (Statistics Canada 2018).

Kanada: Mögliche Ursachen und Risiken einer Intensivierung der Forstwirtschaft

Laut Aussagen der Interviewpartner ist die langfristige Strategie Kanadas darauf ausgerichtet, energieintensive Produkte vermehrt durch Holzprodukte zu ersetzen. Dies geschieht bereits im heimischen Bausektor (Canadian Forest Service 2018), soll sich aber auch im Ausland, vor allem in China und Japan, weiter durchsetzen. In dem Zusammenhang finden bisher kaum Debatten darüber statt, wie dieses Ziel umgesetzt werden soll und ob das aktuelle Holzaufkommen zukünftig erhöht werden müsste.

Im Bericht des Canadian Forest Service (2018) wird auch darauf hingewiesen, dass bereits der Ausbau von Zellstoffproduktionsstätten zu Bioraffinerien erforscht wird, um neue Bioprodukte herstellen zu können. Nach Einschätzung der Experten wird ebenfalls ein möglicher positiver Trend in der Verwendung von Holzpellets und fortschrittlichen Biokraftstoffen erwartet, der nicht zwingend für einen Anstieg im Holzaufkommen Kanadas sorgen wird. Bisher würden diese Produkte ausschließlich aus den Abfällen der Sägewerke produziert und seien daher an den Markt für Sägeholz gekoppelt. Beide Interviewpartner geben an, dass es durchaus noch Potenzial für eine Steigerung der Pelletproduktion gibt, da zukünftig keine Ernteresthölzer in British Columbia mehr am Straßenrand verbrannt werden sollen.

Rumänien: Charakterisierung der Forstwirtschaft

Rumänien hat eine Waldfläche von 6,9 Mha und befindet sich in der Vegetationszone der sommergrünen Laubwälder, die von Buchenwäldern dominiert wird (Fischer 2003; Veen et al. 2010). Im Jahr 2017 wurden 24.679 ha rumänische Buchenurwälder in das UNESCO-Welterbe der „Alten Buchenwälder und Buchenurwälder Karpaten und anderer Regionen Europas“³⁴ aufgenommen.

Nach dem Zusammenbruch der Sowjetunion 1989 kam es in Rumänien zu einer großen Privatisierungswelle, die bis heute 51 % der Wälder umfasst (Abrudan 2012; Romsilva 2018). Die übrige Waldfläche befindet sich im Staatsbesitz und wird seit 1996 vom nationalen Forstamt *Romsilva* gemanagt, das dem Ministerium für Umwelt, Wasser und Forst unterstellt ist. Außerdem verwaltet Romsilva die meisten Schutzgebiete, die etwa 45 % des gesamten nationalen Waldfonds ausmachen (Romsilva 2019). Das nationale Forstamt ist landesweit für die Einhaltung der Waldgesetze verantwortlich und prüft Waldmanagementpläne (Abrudan 2012). Im Artikel 5 der rumänischen Forstgesetzgebung³⁵ werden Grundsätze einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung definiert, in denen beispielsweise der natürliche Waldtyp zu fördern und die biologische Vielfalt des Waldes sicherzustellen sei. Kahlschläge von bis zu drei Hektar sind nur in fichten- und kieferdominierten Beständen zulässig (Schulze et al. 2014).

Alle drei interviewten Experten sind sich darüber einig, dass Korruption und der damit verbundene illegale Holzeinschlag die derzeit schwerwiegendsten Probleme im rumänischen Forstsektor sind. Die Ursachen für die Probleme sehen die Interviewpartner vor allem im System der nationalen Forstverwaltung, aber auch im ökonomischen Druck, der von den großen Holzverarbeitungskonzernen ausgeht. Verschiedene staatliche Gegenmaßnahmen, wie die verpflichtende digitale Registrierung aller Holztransporte, scheitern an korrupten Beamten und Firmen. Darüber hinaus wiesen alle drei Interviewpartner darauf hin, dass ein bestehender strenger Schutzstatus eines Gebietes kein Hindernis darstellt, dort intensiv Holz einzuschlagen. So wurden im Maramures Naturpark 500 ha große Kahlschläge dokumentiert (Knorn et al. 2012; Munteanu et al. 2008), und der illegale Holzeinschlag in Schutzgebieten wird immer weiter fortgesetzt, wie der aktuelle Bericht von Euronatur zeigt (Schickhofer und Schwarz U. 2019). Die Richtlinien der International Union for Conservation of Nature (IUCN) der Kategorie II zum Management von Nationalparks werden nur in einem der 13 Nationalparke Rumäniens erreicht (Euronatur und Agent Green 2017).

Rumänien: Risiken für den Erhalt der Biodiversität und Bodenqualität

Am meisten bedroht sind die noch vorhandenen naturnahen Wälder bzw. Urwälder. Derzeit sind lediglich ca. 2 % der rumänischen Wälder streng geschützt, und mit Hilfe des „Nationalen Katalogs von Urwäldern und Quasi-Urwäldern“ kommen zusätzlich noch ca. 1 % der Wälder in die Schutzgebietskulisse (Mikoláš et al. 2019). Bei den rumänischen Wäldern handelt es sich um einige der größten Urwälder Europas, bzw. um Wälder, die bisher nur sehr geringem menschlichem Einfluss ausgiebig waren (Ibisch et al. 2016; Mikoláš et al. 2017). Allein im zentralrumänischen Fagaras-Gebirge gibt es noch immer ungefähr 1000 ha große, sehr naturnahe, bzw. ursprüngliche Wälder. Schätzungen zufolge könnten mehr als 30 % der Waldbiodiversität (u. a. Vögel, Insekten, Pilze, Flechten, Moose) bedroht sein, wenn die urwaldtypischen Strukturen (z. B. hohe Totholzmassen, Mikrohabitate, alte Sukzessionsstadien) verloren gehen (Siitonen 2001; Mikoláš et al. 2019).

³⁴ UNESCO - Ancient and Primeval Beech Forests of the Carpathians and Other Regions of Europe
<http://whc.unesco.org/en/list/1133>

³⁵ Codul Silvic actualizat 2016. Legea 46/2008, republicat http://euroavocatura.ro/legislatie/1227/Codul_Silvic_actualizat_2016_Legea_46_2008_republicata

In einer Studie zum Auerhuhn in Rumänien wurde belegt, dass Abholzungen im Zeitraum von 1985 bis 2010 die Lebensraumkonnektivität um 33 % senkten (Mikoláš et al. 2017). Da die Erntemaßnahmen zu großen Teilen mit schweren Traktoren und durch ungelernete Arbeiter erfolgen, sind Waldbodenschäden durch Verdichtung und Erosion sehr massiv. Teilweise werden die Holzstämme innerhalb der Fluss- und Bachläufe aus dem Wald gezogen, was zur Zerstörung von Habitatstrukturen der Fließgewässer führt.

Rumänien: Mögliche Ursachen und Risiken einer Intensivierung der Forstwirtschaft

Alle drei Interviewpartner halten eine weitere Intensivierung der Forstwirtschaft in Rumänien für sehr wahrscheinlich. Dem europäischen Bedarf an billigen Holzprodukten kann Rumänien aufgrund seines Waldreichtums, seiner niedrigen Lohnkosten und der Möglichkeit, Gesetzgebungen umgestraft zu umgehen, nachkommen. Professor Luick sieht jedoch keine Gefahr darin, dass die rumänischen Wälder vermehrt für die Beschaffung von Holzenergie eingeschlagen werden könnten, da die Infrastruktur dafür zu ungünstig und kein lukrativer Export von Pellets und Hackschnitzeln möglich sei. Zu einer anderen Einschätzung kommen dagegen Matthias Schickhofer und Martin Mikolas. Sie sehen im wachsenden globalen und inländischen Bedarf an Holzenergie eine wesentliche Gefahr für die Wälder in Rumänien. Es gab bereits einen Bericht der NGO Agent Green, der die illegale Verarbeitung von Holzstämmen aus dem Nationalpark „Rodna“ zu Hackschnitzeln dokumentiert (Save Paradise Forest 2019). Die EU solle die Verwendung von Energieholz aus Rumänien deshalb nicht fördern. In der Slowakei haben EU-Förderungen bereits zu dramatischen Waldverlusten geführt (Bankwatch Mail 2014), die sich in Rumänien noch einmal wiederholen können.

Nigeria: Charakterisierung der Forstwirtschaft

Der Bundesstaat Nigeria befindet sich an der Atlantikküste Westafrikas und ist mit Abstand das bevölkerungsreichste Land und auch die größte Volkswirtschaft Afrikas. Die rund 7 Mha Wald verteilen sich entlang der Küstenregion als Mangrovenwälder, gefolgt von tropischen Regenwäldern im Landesinneren, an denen sich die Feucht- und Trockensavannen im Norden anschließen. Die 36 Bundesländer und die Hauptstadt Abuja haben jeweils ihre eigenen Forstgesetzgebungen, die in einem andauernden Prozess aktualisiert werden (Nigerian Ministry of Environment 2006). Laut FAO (2015) gehört Nigeria zu den fünf Ländern mit der höchsten Netto-Waldverlustrate zwischen 2010 und 2015 und hat seit 1990 insgesamt 59 % seiner Waldfläche verloren. Zwischen 2010 und 2015 schrumpfte die Waldfläche jährlich um 410.000 ha, was der höchsten globalen Verlustrate von 5 % entspricht. Dabei gingen jährlich 6.800 ha Primärwälder verloren. Im Gegenzug wurden rund 18.400 ha Wald neu gepflanzt.

Nigeria: Risiken für den Erhalt der Biodiversität und Bodenqualität

Viele Arten sind aufgrund des menschlichen Nutzungsdrucks in den Wäldern gefährdet, wie z. B. Leoparden (*Panthera pardus*), Afrikanische Elefanten (*Loxodonta africana*) und der Westafrikanische Schimpanse (*Pan troglodytes verus*). Im größten noch zusammenhängenden Tieflandregenwald Nigerias, dem südöstlich gelegenen *Cross River National Park* leben die extrem gefährdeten Cross-River-Gorillas (*Gorilla gorilla diehli*) (Enuoh und Ogogo 2018).

2015 befanden sich 35,9 % (2,5 Mha) der nigerianischen Wälder in Schutzgebieten (FAO 2015). Im südlichen Nigerdelta verloren von 1984 bis 2011 Schutzgebiete jedoch rund 40 % an Tieflandregenwäldern, 30 % an Feuchtwäldern und 11 % der Mangroven (Ayanlade und Drake 2016). Insgesamt ist die Primärwaldfläche Nigerias von ursprünglich 1,5 Mha im Jahr 1990 auf 20.000 ha im Jahr 2015 geschrumpft (FAO 2015).

Die Hauptursache für die Entwaldung in der Nigerdeltaregion, rund um die Stadt Sapele, war die kommerzielle Holznutzung, da sich hier das Zentrum der Holzindustrie in Nigeria befindet. Außerdem breiten sich immer mehr Siedlungen und landwirtschaftliche Flächen für eine stetig wachsende Bevölkerung aus (Enuoh und Ogogo 2018). Laut einem Bericht des nigerianischen Bundesministeriums für Umwelt ist die Ausbreitung der Landwirtschaft zu 80 % verantwortlich für die vergangene und bestehende Entwaldung (Nigerian Ministry of Environment 2006). Ein weiterer wichtiger Motor für die Entwaldung und Degradierung der Wälder ist die Verwendung von Feuerholz und Holzkohle (Enuoh und Ogogo 2018; Köhl et al. 2015). Für rund 76 % der nigerianischen Haushalte ist Holz die primäre Energiequelle (Babanyara und Saleh 2010). Ayanlade und Drake (2016) fanden außerdem heraus, dass die Entwaldung durch den Bau von Straßen vorangetrieben wurde, da dieser erst den Zugang zu den Wäldern ermöglichte.

Nigeria: Mögliche Ursachen und Risiken einer Intensivierung der Forstwirtschaft

Bisher ist kein entschiedenes Einlenken der nigerianischen Politik für ein effektives Forstmanagement in Sicht, weshalb die Entwaldung und Degradierung der Wälder wohl noch weiter anhalten wird (Enuoh und Ogogo 2018). Die Abhängigkeit der Bevölkerung von Holz als Energieträger ist weiter ungebrochen, wenn die Regierung nicht in Alternativen wie z. B. Solarenergie investiert (Ben-Iwo et al. 2016). Zukünftig könnte sich der Nutzungsdruck auf die nigerianischen Wälder weiter durch die Verwendung von Holzbiomasse als Beimischung zu fossilen Kraftstoffen erhöhen: Die Regierung hat bereits beschlossen, dass bis 2020 Biokraftstoffe zu 100 % aus heimischer Produktion stammen sollen. Aktuell befinden sich drei von vier Erdölraffinerien in der Nigerdeltaregion Nigerias, wo ein hohes Holzbiomassepotenzial vorliegt, das theoretisch für die Biokraftstoffproduktion verwendet werden könnte (Ben-Iwo et al. 2016).

Aus der Literatur ließ sich kein Hinweis darauf finden, dass Feuerholz oder Holzpellets zukünftig aus Nigeria nach Europa exportiert werden sollen, jedoch war Nigeria der viertwichtigste Exporteur von Holzkohle (18.529 Tonnen) für den deutschen Markt in 2017 (Statistisches Bundesamt 2018).

Bisher ist die Forstwirtschaft in Nigeria nicht nachhaltig, da sie vor allem dazu führt, dass die Wälder dauerhaft verschwinden. Tropische Regenwälder sind aufgrund ihrer Ökologie besonders empfindlich gegenüber jeglicher Holzentnahme. So zeigen Untersuchungen in Brasilien, dass ein Einschlag von bis zu 20 % der Fläche in den tropischen Primärwäldern bereits zu einem massiven Verlust verschiedenster Arten führt (Barlow et al. 2016). Da tropische Primärwälder die weltweit bedeutendsten Biodiversitätshotspots darstellen, sollten sie von der Energieholzentnahme ausgeschlossen werden. Der Ausbau von Forststraßen in Primärwaldgebiete führt häufig dazu, dass diese leichter zugänglich werden und sich das Risiko für einen großflächigen Holzeinschlag, auch zum Zweck der Energieholzgewinnung, erhöht (Kormos et al. 2018).

5.5.3. Fazit zur Vertiefungsstudie zu forstwirtschaftlicher Biomasse

Kanada, Rumänien und Nigeria tragen eine hohe globale Verantwortung für die in ihrem Land noch vorhandenen Primärwälder bzw. sehr naturnahen Wälder. Jedoch sind diese Wälder in allen Ländern, gemessen an ihrer Bedeutung, im sehr geringfügigen Umfang dauerhaft vor forstlichen Eingriffen geschützt. In den Tropen befinden sich noch die größten Flächen an Primärwäldern, und gleichzeitig finden hier auch die größten Verluste statt (62 Mha Primärwald seit 1990; Morales-Hidalgo et al. 2015). Die besondere Bedeutung von Primärwäldern für die Entfaltung der natürlichen Biodiversität und zum Schutz für den Boden ist vielfach belegt (Gibson et al. 2011; Kormos et al. 2018). Dieser Bedeutung werden die Kriterien des Artikel 29 der RED II nicht gerecht, denn Holzbiomasse aus Primärwäldern wird nicht prinzipiell ausgeschlossen. Zusätzlich sollte die RED II dahingehend erweitert werden, dass für die Bewertung des Klimaschutzpotenzials Effekte der

Holznutzung auf die THG-Senkenleistung einbezogen werden (Hennenberg et al. 2019; Searchinger et al. 2018).

Sowohl Kanada als auch Rumänien haben eine Forstgesetzgebung, die die Kriterien des Artikels 29.6 der RED II im Wesentlichen widerspiegelt. Das Beispiel aus Rumänien hat jedoch gezeigt, dass die Einhaltung der Gesetze aktuell nicht gesichert ist. Daher sollten Institutionen, die mit der Prüfung forstwirtschaftlicher Aktivitäten betraut sind, sowohl ökonomisch unabhängig, als auch weisungsunabhängig von den Institutionen der Forstnutzung sein.

In Kanada, Rumänien und Nigeria finden Kahlschläge statt, die sich negativ auf die Biodiversität und Bodenqualität auswirken können (Keenan und Kimmins 1993). In RED II Art. 29.6 wird vorgeschrieben, dass bei der Holzernte auf die Erhaltung der Bodenqualität und die biologische Vielfalt zu achten sei. Dies ist zwar ein wesentliches Kriterium, das oben beschriebene Kahlschläge theoretisch ausschließt, jedoch noch immer sehr viel Interpretationsspielraum für die Exportländer lässt. Daher werden folgende ergänzende Kriterien für RED II Art. 29.6 empfohlen (siehe auch Hennenberg et al 2012):

Zur Sicherung der Waldbodenqualität:

- Keine Vollbaumnutzung,
- Keine Wurzelentnahme,
- Die Bodennährstoffversorgung muss sichergestellt sein durch Belassen von ausreichend lebender und toter Holzbiomasse auf der Erntefläche,
- Reduzierung des Ausbaus von Forstwegen.

Zur Sicherung der natürlichen Biodiversität:

- Identifizierung aller Primärwälder (Stichjahr 2008) durch eine kompetente, unabhängige Institution und deren gesetzlicher Schutz vor forstwirtschaftlicher Nutzung,
- Identifizierung aller Sekundärwälder (Stichjahr 2008) hoher ökologischer Qualität und natürlicher Biodiversität durch eine kompetente, unabhängige Institution und deren Schutz vor Degradierung und Fragmentierung aufgrund von forstwirtschaftlicher Nutzung,
- Schutz und Entwicklung von biodiversitätsrelevanten Habitatstrukturen auf der forstwirtschaftlich genutzten Fläche,
- Schutz und Entwicklung der heimischen und standortgerechten Baumarten auf der forstwirtschaftlich genutzten Fläche.

6. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Im Rahmen der nationalen Umsetzung der RED II sind verschiedene Akteure auf unterschiedlichen Ebenen beteiligt bzw. adressiert. Auf Ebene der weiteren Ausgestaltung der RED II und ihrer rechtlichen Umsetzung sind politische Entscheidungsträger auf EU-Ebene, aber auch in Mitgliedstaaten (in Deutschland insbesondere das Bundesministerium für Umwelt (BMU), Bundesamt für Naturschutz (BfN) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)) zu nennen. Bei der Ausgestaltung und Umsetzung werden auch naturschutzrelevante Aspekte berührt.

Wichtige Akteure stellen zudem Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dar, die zu Themen der Biomassebereitstellung (insbesondere Biomassepotenziale) und ihrer Verwendung forschen oder Indikatoren für die Nachhaltigkeitsbewertung und die Bewertung von Auswirkungen auf Naturschutzbelange entwickeln und bereitstellen. In der konkreten Umsetzung der RED II kommt in der energetischen Nutzung von Biomasse den Zertifizierungssystemen und den Anlagenbetreiberinnen und -betreibern eine hohe Bedeutung zu, da sie stark beeinflussen, welche Biomasse mit welchen Implikationen für den Naturschutz letztlich genutzt wird. Im Folgenden werden Schlussfolgerungen für diese Akteure separat gezogen und spezifische Handlungsempfehlungen gegeben.

6.1. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für Akteure des Bundesumweltministeriums (BMU) und des Bundesamtes für Naturschutz (BfN)

Mit der RED II sind für die nächste Dekade die Rahmenbedingungen zur Nutzung von Bioenergie weitestgehend abgesteckt. Dabei ist festzuhalten, dass die Nachhaltigkeitsanforderungen im Vergleich zur RED I schwächer ausgestaltet sind und so Risiken aus Naturschutzsicht bestehen. Hier sind vorrangig mögliche negative Auswirkungen durch eine Intensivierung der Nutzung von Stamm- und Restholz aus Wäldern und landwirtschaftlichen Reststoffen von Ackerflächen sowie eine verstärkte Umwandlung von Grünland zu nennen. Jedoch besteht auf Ebene der Mitgliedstaaten ein gewisser Gestaltungs- und Handlungsspielraum, der von Seiten des BMU und BfN für die Berücksichtigung von Naturschutzaspekten genutzt werden kann. Konkrete Ansatzpunkte für eine Verbesserung von Naturschutzaspekten bei der Umsetzung der RED II sind a) Möglichkeiten durch die Nutzung von Instrumenten der RED im EU-Prozess und b) Gestaltung der Bedingungen der Biomassenutzung unter der RED II innerhalb Deutschlands und c) das Adressieren relevanter anderer EU-Prozesse, die die Nachhaltigkeit von Biomasse- und Landnutzung generell verbessern können.

6.1.1. Handlungsempfehlungen für den EU-Prozess

Die sich ergebenden Gestaltungsmöglichkeiten im Rahmen ausstehender Rechtsakte der RED II auf EU-Ebene (siehe Kapitel 2.2) sollten genutzt werden. Dazu zählen die folgenden vorgesehenen Rechtsakte:

- Durchführungsrechtsakte zu Empfehlungen zu den Nachweisen für die Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien zur forstlichen Nutzung und LULUCF (RED II Art. 29.8): Entwicklung von Empfehlungen zur Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien zur forstlichen Nutzung. Es fehlt in der RED II eine konkrete Definition von nachhaltiger Forstwirtschaft, die besonders schädliche Praktiken für den Boden und die Biodiversität bei der Ernte ausschließt. Dazu gehört beispielsweise die Vollbaumnutzung und Wurzelentnahme. Es sollte zudem sichergestellt werden, dass biodiversitätsrelevante Strukturen im Wald dauerhaft erhalten bleiben.
- Durchführungsrechtsakte zur Präzisierung der Bestimmungskriterien des natürlichen Grünlands mit großer biologischer Vielfalt (RED II Art. 29.3): Präzisierung der Kriterien zur Bestimmung von natürlichem Grünland mit großer biologischer Vielfalt.

Eine kritische Begleitung der Aktivitäten zu Revisionsfristen und anstehenden Bewertungen der Bioenergienutzung ist wichtig, um zukünftige Änderungen zu Ungunsten von Naturschutzbelangen zu verhindern. Revisionen werden laut RED II vorrangig in der Mitte der nächsten Dekade anstehen, mit möglichen Änderungen, die dann erst ab 2030 zu erwarten sind.

6.1.2. Handlungsempfehlungen innerhalb Deutschlands

Möglichkeiten der Gestaltung erben sich durch Art. 29.14 der RED II, der es erlaubt, zusätzliche Nachhaltigkeitskriterien für Anlagen in Deutschland einzuführen, die feste und gasförmige Biomasse-Brennstoffe einsetzen. Hierzu sollte eine Abstimmung mit anderen Mitgliedstaaten erfolgen, die auch zusätzliche Nachhaltigkeitskriterien anstreben.

Es sollte zudem über Politikinstrumente außerhalb der RED II aktiv national und international der Schutz der biologischen Vielfalt adressiert werden. Hier ist insbesondere zu nennen, dass Holzbiomasse aus Primärwäldern bzw. sehr naturnahen Wäldern von der energetischen Nutzung ausgeschlossen wird.

Um den Druck auf die Flächen zu verringern, sollten Politikmaßnahmen zur Umsetzung der RED II in Deutschland so ausgestaltet werden, dass eine möglichst geringe zusätzliche Nachfrage nach Biomasse entsteht. Im Wärmesektor sollte angestrebt werden, die Zielsetzung der RED II möglichst über Effizienzmaßnahmen (z. B. energetische Sanierung von Gebäuden) und andere Erneuerbare Energien statt Biomasse zu erreichen. Bestehende Marktanzreizprogramme für die Biomassenutzung sind zu hinterfragen. Die Bundesregierung sollte im Hinblick auf fortschrittliche Biokraftstoffe keine Anreize setzen, die eine Nachfrage über die verpflichtenden Quoten hinaus stimuliert.

Bei der Setzung von Anreizen sollte die Bundesregierung bedenken, dass Investitionszuschüsse oder eine verbilligte Bereitstellung von Kapital durch Darlehen oder Bürgschaften Anlagenbetreiberinnen und -betreibern wesentlich hilfreicher sind als (Unter-)Quoten für fortschrittliche Biokraftstoffe und/oder Mehrfachzahlungen. Letztere müssen erst „monetarisiert“ (d. h. in €/MJ übersetzt) werden, was Investoren nicht in gleichem Maß überzeugt wie direkte Investitionszuschüsse, Darlehen oder Bürgschaften, speziell wenn es sich um riskante Investitionen in erste kommerzielle Anlagen für fortschrittliche Biokraftstoffe handelt. Diese haben typischerweise deutlich höhere Kapitalkosten als herkömmliche Biokraftstoffe. Voraussetzungen für eine solche direkte Förderung sollte die Vorlage eines nachhaltigen Biomasseeinsatzplans sein, aus dem eindeutig hervorgeht, welche Anteile der Biomasse importiert bzw. regional gewonnen werden sollen. Für die regional gewonnene Biomasse sollte darüber hinaus ein regional angepasstes Biomasse- und Flächennutzungskonzept vorgelegt werden, welches in einem Stakeholder-Prozess erarbeitet wurde.

6.1.3. Handlungsempfehlungen bzgl. anderer relevanter EU-Prozesse

Die Regelungen der RED II beziehen sich nur auf den Teil der Biomasseproduktion in der Land- und Forstwirtschaft, der energetisch genutzt und durch die RED II angereizt wird. Die Regulierung dieses Teilstoffstroms der Biomassenutzung kann deshalb kein Garant sein für eine umfassende nachhaltige Biomasse- und Landnutzung. Ein Beispiel ist der Import von Holzkohle nach Deutschland, z. B. aus Nigeria, die größtenteils nicht reguliert ist und hohe Risiken für die Umweltintegrität in den Erzeugerländern hat.

Eine Reihe von Politikprozessen auf EU-Ebene adressiert den Landnutzungssektor oder nimmt auf ihn Einfluss. Dazu zählen z. B. die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) und auch die LULUCF-Verordnung, die Regeln für die Anrechnung von Emissionen und Festlegungen von CO₂ im Landnutzungssektor beinhaltet. Hier gilt es die Kohärenz zwischen EU-Regulierungswerken zu erhöhen, ohne eine Reduktion der in den jeweiligen Bereichen erreichten Standards zu bewirken.

6.2. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Biomassepotenzialforschung

Wissen über die Menge, Herkunft und Qualität von Biomasse, die heute und zukünftig nachhaltig verfügbar ist, ist eine grundlegende Voraussetzung, um Entscheidungen zum Ausbau von Bioenergiepfaden zu treffen. Hier kommt der Wissenschaft eine wichtige Rolle zu. Aus Sicht von Naturschutzbelangen sind aber Potenzialanalysen nur dann aussagekräftig, wenn Datensätze zu Naturschutzbelangen (z. B. globale Karten zu Primärwäldern und Grünland) und Restriktionen zum Schutz der biologischen Vielfalt (z. B. Ausschlussflächen, ökologische Vorrangflächen) und Bodenfruchtbarkeit (z. B. maximale Strohentnahme) in Potenzialanalysen einbezogen werden. Die Analyse bestehender Potenzialstudien zeigte, dass die folgenden Schwachpunkte in bestehenden Studien zu nennen sind:

- Naturschutzbelange werden unzureichend bei der Potenzialbestimmung eingerechnet.
- Die getroffenen Annahmen zu Naturschutz, Restriktionen, Erträgen etc. sind nicht transparent dokumentiert.
- Bei Verwendung von Potenzialen aus anderen Studien werden die dort getroffenen Annahmen nicht ausreichend erläutert.
- Gruppen von Rohstoffen und Reststoffen sind nicht eindeutig definiert.
- Energie- und Stoffbilanzen und vorgenommene Umrechnungen sind nicht nachvollziehbar,
- Es fehlt eine Unterteilung in bereits genutzte Stoffströme und noch zur Verfügung stehende Stoffströme (insbesondere unter Beachtung der Kaskadennutzung und Vorrang der stofflichen Nutzung).
- Es fehlt eine umfassende Berücksichtigung konkurrierender Nutzungen (bestehende und insbesondere zukünftige).
- Eine realistische Einschätzung der zukünftigen Technologieentwicklung (z. B. Nutzung von heterogenen Abfall- und Reststoffströmen) fehlt, um zu berücksichtigen, welche theoretischen Biomassepotenziale für eine energetische Nutzung oder aber auch für konkurrierende Nutzungen in Frage kommen.
- Sensitivitätsberechnungen für unsichere Annahmen werden nicht durchgeführt.

Diese Defizite sollten in zukünftigen Potenzialstudien adressiert werden. Hier stellt das Methodenhandbuch zur stoffstromorientierten Bilanzierung der Klimaeffekte im Rahmen des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“ (Thrän und Pfeiffer 2013) einen guten Startpunkt dar, der im Hinblick auf Naturschutzbelange erweitert werden sollte.

Datenverfügbarkeit ist ein häufiger Grund für die Nichtberücksichtigung von Naturschutzbelangen in Potenzialstudien. Zukünftige Studien sollten deshalb darauf abzielen, bestehende Datenlücken zu schließen. Informationen, die durch Fernerkundung z. B. durch Satelliten ermittelt werden, werden immer stärker verfügbar. Das EU-Programm Copernicus entwickelt satellitengestützte Methoden und Datensätze, die besonders auch dem Monitoring von Landnutzung dienen sollen. Daten zu Landnutzungsänderungen, dem Zustand und der Ausstattung von Flächen für eine potenzielle Nutzung sowie die Abschätzung von Erträgen können dadurch mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung erstellt werden. Zudem wird eine höhere Konsistenz durch diese Daten erreicht, um Potenziale zwischen Ländern besser vergleichen zu können.

Flächen mit hoher biologischer Vielfalt stellen eine Kategorie dar, zu der flächendeckende und konsistente Informationen nicht verfügbar sind und die auch mit Fernerkundungsinformationen nicht leicht zu erheben sind. Hierzu sind globale Kartierungen durch Felderhebungen kombiniert mit Fernerkundungsmethoden notwendig, damit diese in Potenzialstudien berücksichtigt werden können

(z. B. ähnlich den Key Biodiversity Areas³⁶). Auch für Zertifizierungssysteme können derartige Informationen für eine bessere Berücksichtigung von Naturschutzbelangen hilfreich sein.

6.3. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für Akteure in Zertifizierungssystemen

Zertifizierungssystemen kommt bei der praktischen Umsetzung der RED II eine wichtige Rolle zu. Sie dienen dazu, die Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien auf Seite der Produzenten zu garantieren. Viele freiwillige Zertifizierungssysteme gehen bereits über die Mindestanforderungen der RED I wie auch der RED II weit hinaus. Über diese Systeme zertifizierte Bioenergie erfüllt somit ein höheres Maß an Nachhaltigkeit, als die RED II verlangt. Zu nennen sind z. B. Roundtable on Sustainable Biomass (RSB), International Sustainability and Carbon Certification (ISCC) und Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO). Zertifizierungssysteme sollten ihre Verantwortung wahrnehmen und ambitioniertere Kriterien entwickeln, die über den Minimalkonsens der EU-Mitgliedstaaten hinausgehen. So könnten deutliche Schwachstellen der RED II abgemildert werden. Besonders hervorzuheben sind:

- Schutz von Primärwald, Wäldern mit großer biologischer Vielfalt und Torfmoor mit Bezug zum Referenzjahr 2008 im Rahmen der forstwirtschaftlichen Nutzung,
- Bodenschutz im Wald durch Ausschluss von Vollbaum- und Wurzelnutzung,
- THG-Bilanzen, die Änderungen der Waldbewirtschaftung berücksichtigen,
- Schutz von Grünland mit großer biologischer Vielfalt im Sinne der RED I im Rahmen landwirtschaftlicher Nutzung.

Voraussetzung für die Zertifizierung von Konversionsanlagen sollte die Vorlage eines nachhaltigen Biomasseeinsatzplans sein, aus dem eindeutig hervorgeht, welche Anteile der Biomasse importiert bzw. regional gewonnen werden sollen. Für die regional gewonnene Biomasse sollte die Vorlage eines regional angepassten Biomasse- und Flächennutzungskonzepts verlangt werden, welches in einem Stakeholderprozess erarbeitet wurde.

Zertifizierungssysteme für Bioenergie sollten ihre Struktur generell nach der ISO-Norm 13065 Sustainability criteria for bioenergy aus dem Jahr 2015 ausrichten. Diese Norm stellt einen Meta-Standard für die Entwicklung von Bioenergiestandards dar. Nach der ISO-Norm sind als Umweltthemen Treibhausgas, Wasser, Boden, Luft, Biodiversität, Energieeffizienz und Abfall zu adressieren. Als soziale Themen nennt die Norm Menschenrechte, Arbeiterrechte, Landnutzungsrechte und Landnutzungsänderung sowie Wassernutzungsrechte. Abschließend wird die ökonomische Nachhaltigkeit genannt. Vor dem Hintergrund dieser international vereinbarten Norm sollten Zertifizierungssysteme ihre Standards nicht allein an den Nachhaltigkeitsanforderungen der RED II ausrichten, die weit hinter den Themenfeldern der ISO-Norm 13065 zurückbleiben. Vielmehr sollte der umfassende Katalog an Prinzipien, Kriterien und Indikatoren der ISO-Norm sich in Zertifizierungssystemen für Bioenergie unter Berücksichtigung der ausführlichen Beispiele im Anhang der Norm wiederfinden.

6.4. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen für Anlagenbetreiberinnen und -betreiber

Die Recherche und Analyse zu fortschrittlichen Biokraftstoffpfaden (siehe Kapitel 4) ergab, dass a) Anlagen zur Konversion von ligno-zellulosehaltigem Material (im Vergleich zu Anlagen zur Konversion von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen) deutlich höhere spezifische Investitionskosten

³⁶ <https://www.biodiversitya-z.org/content/key-biodiversity-areas-kba>

aufweisen, b) daraus lange Abschreibeziträume (oft >10 Jahre) für die Konversionsanlagen resultieren und c) der Anteil der Biomasse-Rohstoffe an den Produktionskosten mit 40-70 % recht hoch ist.

Daher ist ein tragfähiges und nachhaltiges Geschäftsmodell besonders wichtig. Dies gilt insbesondere für Anlagen mit einer hohen Mindestkapazität zur Nutzung von Skaleneffekten. Beispielsweise ist das für Anlagen zur Produktion von Ethanol aus Ligno-Zellulose (≥ 250.000 t Biomasse/a) und teilweise auch für Anlagen der Synthesegas-Route der Fall. Daher sind folgende Punkte zu empfehlen:

- Die Erstellung einer Biomassepotenzialanalyse zur Sicherstellung der Biomasseverfügbarkeit am geplanten Standort bzw. umgekehrt die Auswahl des Standortes auf Basis vorhandener, räumlich möglichst hoch aufgelöster Informationen über Biomassepotenziale muss die Grundlage der Anlagenplanung sein.
- Die Einbindung von regionalen Stakeholdern (Land- und Forstwirten, Naturschützern, Behörden etc.) sollte bereits in der Planungsphase erfolgen, um das nachhaltig erschließbare Biomassepotenzial (bzw. Flächenpotenzial) gemeinsam zu erarbeiten.
- Die Entwicklung eines robusten Logistikkonzepts unter Einbindung aller Akteure in eine Wertschöpfungskette bei fairer Risikoverteilung zwischen Biomasseproduzenten und den Biokraftstoffherstellern muss erfolgen. Hier gilt es insbesondere zu beachten, dass viele Biomasserohstoffe für fortschrittliche Biokraftstoffpfade, insbesondere Ernterückstände, saisonal anfallen und daher eine Zwischenlagerung erfordern, ggf. auch eine vorherige Haltbarmachung (z. B. Trocknung). Ebenso sind mögliche Ernteauffälle zu berücksichtigen, beispielsweise durch Extremwetter oder Schädlingsbefall. Auch eine Biomassevorbehandlung zur Erhöhung der Energiedichte kann bei größeren Transportentfernungen angezeigt sein.
- Anlagenbetreiberinnen und -betreiber stehen vor der Wahl, entweder eine Konversionstechnologie anzuwenden, die eine möglichst hohe Rohstoffflexibilität besitzt, welche an die Biomassearten, deren Verfügbarkeit und die notwendige Logistik angepasst ist, oder – bei Technologien geringer Rohstoffflexibilität – einen Standort mit ausreichendem Potenzial einiger weniger, in sich homogener Biomasserohstoffe (mit relativ engen Spezifikationen, z. B. bzgl. des Wassergehalts) zu bestimmen, welche im Kampagnenbetrieb³⁷ eingesetzt werden.
- Flexibilität bzgl. des Zielprodukts, ggf. Vorsehen einer späteren Adaptions-/Umrüstmöglichkeit auf alternative Produkte. Nach Auslaufen der RED II im Jahr 2030 und/oder durch eine zunehmende Elektrifizierung von Pkws kann die Nachfrage an fortschrittlichen Biokraftstoffen zurückgehen. Interessante alternative Zielprodukte könnten z. B. Kraftstoffe sein, die geeignet sind für den Einsatz in Fluggturbinen oder Schiffsmotoren oder Plattformchemikalien in der chemischen Industrie.
- Anlagenbetreiberinnen und -betreiber sollten auf Holzbiomasse zurückgreifen, die einem hohen Zertifizierungsstandard entspricht und garantiert, dass kein Holz aus Primärwäldern bzw. aus naturnahen Wäldern stammt.
- Holzbiomasse aus Reststoffen, beispielsweise aus lokalen Sägewerken oder aus Pflegearbeiten und Durchforstung, sollte präferiert werden.

³⁷ Vollbetrieb über einen saisonalen Zeitraum, ansonsten Stillstand der Anlage.

7. Literatur

- Abrudan, I. V. (2012): A decade of non-state administration of forests in Romania, Achievements and challenges. In: *int. forest. rev.* 14 (3), S. 275–284. DOI: 10.1505/146554812802646684.
- AEE (2014): Potenziale der Bioenergie, Metaanalyse, 2014. Online verfügbar unter http://www.forschungsradar.de/fileadmin/content/bilder/Vergleichsgrafiken/Metaanalyse_Bioenergie_Potenziale/AEE_Metaanalyse_Bioenergiepotenziale_Dez14_fixed2.pdf, zuletzt geprüft am 18.01.2017.
- AGEB - AG Energiebilanzen (2017): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland. 1990 bis 2016. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V., 2017. Online verfügbar unter <http://www.ag-energiebilanzen.de/10-0-%20Auswertungstabellen.html>, zuletzt geprüft am Online verfügbar unter, zuletzt geprüft am 02.11.2017.
- Amelung, W.; Blume, H.-P.; Fleige, H.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, I.; Kretzschmar, R.; Stahr, K.; Wilke, B.-M. (2018): Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Andrew, M. E.; Wulder, M. A.; Cardille, J. A. (2014): Protected areas in boreal Canada, A baseline and considerations for the continued development of a representative and effective reserve network. In: *Environmental Reviews* 22 (2), S. 135–160. DOI: 10.1139/er-2013-0056.
- Ayanlade, A.; Drake, N. (2016): Forest loss in different ecological zones of the Niger Delta, Nigeria, Evidence from remote sensing. In: *GeoJournal* 81 (5), S. 717–735. DOI: 10.1007/s10708-015-9658-y.
- Babanyara, Y. Y.; Saleh, U. F. (2010): Urbanisation and the Choice of Fuel Wood as a Source of Energy in Nigeria. In: *Journal of Human Ecology* (31 (1)), S. 19–26, zuletzt geprüft am 28.05.2019.
- Bankwatch Mail (2014): EU funds and biomass: Slovakia risks losing sight of both the wood and the trees (60), zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Barlow, J.; Lennox, G. D.; Ferreira, J.; Berenguer, E.; Lees, A. C.; Mac Nally, R.; Thomson, J. R.; Ferraz, S. F. d. B.; Louzada, J.; Oliveira, V. H. F.; Parry, L.; Solar, R. R. d. C.; Vieira, I. C. G. et al. (2016): Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. In: *Nature* 535 (7610), S. 144–147. DOI: 10.1038/nature18326.
- Barrios, E. (2007): Soil biota, ecosystem services and land productivity. In: *Ecological Economics* 64 (2), S. 269–285. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.03.004.
- Ben-lwo, J.; Manovic, V.; Longhurst, P. (2016): Biomass resources and biofuels potential for the production of transportation fuels in Nigeria. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 63, S. 172–192. DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.050.
- BLE (2017): Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2017 Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2017. Online verfügbar unter https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Klima-Energie/Nachhaltige-Biomasseherstellung/Evaluationsbericht_2017.html.
- BMWi (2018): Erneuerbare Energien in Zahlen, Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2017. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Berlin, 2018. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2017.html>.
- Bouchard, M.; Pothier, D. (2011): Long-term influence of fire and harvesting on boreal forest age structure and forest composition in eastern Québec. In: *Forest Ecology and Management* 261 (4), S. 811–820. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.11.020.
- Boucher, D.; Grandpré, L. de; Kneeshaw, D.; St-Onge, B.; Ruel, J.-C.; Waldron, K.; Lussier, J.-M. (2015): Effects of 80 years of forest management on landscape structure and pattern in the eastern Canadian boreal forest. In: *Landscape Ecol* 30 (10), S. 1913–1929. DOI: 10.1007/s10980-015-0220-6.
- Brosowski, A.; Adler, P.; Erdmann, G.; Stinner, W.; Thrän, D. (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen, Status Quo in Deutschland (Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe, 36). Gülzow-Prüzen:

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Online verfügbar unter https://oeko-teamwork.de/uba-abfall/Freigegebene%20Dokumente/Literatur/Aktuelle%20Literatur/2015%20PM_BIOPOT_FNR%20Rest%20und%20Abfallstoffe%20DBFZ.pdf, zuletzt geprüft am 20.03.2017.
- Bünemann, E. K.; Bongiorno Giulia; Bai, Z.; Creamer Rachel E.; Deyn, G. de; Goede, R. de; Fleskens, L.; Geissen, V.; Kuyper, T. W.; Mäder, P.; Pullemann, M.; Sukkel, W.; van Groenigen Jan W. et al. (2018): Soil quality - A critical review. In: *Soil Biology and Biochemistry* (120), 2018, S. 105–125. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071718300294>, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Canadian Forest Service (2018): The State of Canada's Forests. Annual Report 2018, Natural Resources Canada. Ottawa, 2018. Online verfügbar unter <http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/39336.pdf>, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Dominati, E.; Patterson, M.; Mackay, A. (2010): A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. In: *Ecological Economics* (69), 2010, S. 1858–1868. Online verfügbar unter http://www.nfp68.ch/SiteCollectionDocuments/Dominati_NaturalCapital_and_ES_of_soils.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Enuoh, O. O. O.; Ogogo, A. U. (2018): Assessing Tropical Deforestation and Biodiversity Loss in the Cross River Rainforest of Nigeria. In: *OJF* 08 (03), S. 393–408. DOI: 10.4236/ojf.2018.83025.
- Euronatur; Agent Green (2017): Out of control. The unfolding tragedy of Romania's National parks, Background dossier, 2017. Online verfügbar unter https://www.saveparadiseforests.eu/wp-content/uploads/2017/12/BACKGROUND-DOSSIER_ROMANIAN_NATIONAL-PARKS_fin-1.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Ewald, J.; Rother, A.; Hansbauer, M.; Schumann, C.; Wilnhammer, M.; Schönfeld, F.; Wittkopf, S.; Zahner, V. (2017): Energiewende und Waldbiodiversität, Abschlussbericht (BfN-Skripten 455). BfN (Hg.), 2017. Online verfügbar unter https://www.natur-und-erneuerbare.de/fileadmin/Daten/Download_Dokumente/Skript_455_H%C3%B6ltermann_Wald_Gesamttext.pdf, zuletzt geprüft am 28.05.2019.
- FAO (2015): Land degradation and SLM typologies, Chapter 4, 2015. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/nr/kagera/tools-and-methods/lada-local-level-assessment-manuals/en/>, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Fehrenbach, H.; Hünecke, K.; Baur, F. (2019): BioRest - Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor), Abschlussbericht. ifeu; Öko-Institut; izes gGmbH. Umweltbundesamt (Hg.), 2019, zuletzt geprüft am 21.05.2019.
- Fischer, A. (2003): Forstliche Vegetationskunde, Eine Einführung in die Geobotanik 3. Aufl. Stuttgart: Ulmer.
- FNR (2012): Roadmap Bioraffinerien - im Rahmen der Aktionspläne der Bundesregierung zur stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. BMELV; BMBF; BMU und BMWi (Hg.). Berlin, 2012. Online verfügbar unter https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/roadmap-bioraffinerien.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- FNR (2018): Basisdaten Bioenergie Deutschland 2018. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hg.). Gülzow-Prüzen, 2018. Online verfügbar unter http://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Broschuere_Basisdaten_Bioenergie_2018_web.pdf, zuletzt geprüft am 15.05.2019.
- Fraunhofer IWES; ifeu; Stiftung Umweltenergierecht (2015): Interaktion EE-Strom, Wärme und Verkehr, Analyse der Interaktion zwischen den Sektoren Strom, Wärme/Kälte und Verkehr in Deutschland in Hinblick auf steigende Anteile fluktuierender Erneuerbarer Energien im Strombereich unter Berücksichtigung der europäischen Entwicklung. Fraunhofer IWES, 2015. Online verfügbar unter https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iwes-neu/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Veroeffentlichungen/2015/Interaktion_EE-Strom_Waerme_Verkehr_Endbericht.pdf, zuletzt geprüft am 25.01.2018.
- Fritsche, U.; Dehoust, G.; Jenseit, W.; Hünecke, K.; Rausch, L.; Schüler, D.; Wiegmann, K.; Heinz, a.; Hiebel, M.; Ising, M.; Kabasci, S.; Unger, C.; Thrän, D. et al. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen

- energetischen Nutzung von Biomasse. Öko-Institut e.V. (Hg.), 2004. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/236/2004-025-de.pdf>.
- Gauthier, S.; Bernier, P.; Kuuluvainen, T.; Shvidenko, A. Z.; Schepaschenko, D. G. (2015): Boreal forest health and global change. In: *Science (New York, N.Y.)* 349 (6250), S. 819–822. DOI: 10.1126/science.aaa9092.
- Gibson, L.; Lee, T. M.; Koh, L. P.; Brook, B. W.; Gardner, T. A.; Barlow, J.; Peres, C. A.; Bradshaw, C. J. A.; Laurance, W. F.; Lovejoy, T. E.; Sodhi, N. S. (2011): Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. In: *Nature* 478 (7369), S. 378–381. DOI: 10.1038/nature10425.
- Govers, G.; Merckx, R.; van Wesemael, B.; van Oost, K. (2017): Soil conservation in the 21st century: why we need smart agricultural intensification. In: *SOIL* (3), 2017, S. 45–49. Online verfügbar unter <https://www.soil-journal.net/3/45/2017/soil-3-45-2017.pdf>, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Groom, M. J.; Meffe, G. K.; Carroll, C. R. (2012): Principles of Conservation Biology, Third Edition. Sinauer Associates, I. (Hg.). Massachusetts, 2012. Online verfügbar unter https://www.sinauer.com/media/wysiwyg/tocs/GroomTOC_3e_150.pdf, zuletzt geprüft am 21.05.2019.
- Hannon, S. J.; Drapeau, P. (2005): Bird responses to burning and logging in the boreal forest of Canada, Studies in Avian Biology. In: *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep* (191), S. 97–115, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Hennenberg, K.; Böttcher, H.; Fehrenbach, H.; Bischoff, M. (2017): Short analysis of the RED 2009, the iLUC Directive 2015 and the 2016 RED proposal regarding implications for nature protection, 2017. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/OEKO-IFEU-2017-RED-proposal-evaluation.pdf>, zuletzt geprüft am 15.05.2019.
- Hennenberg, K.; Böttcher, H.; Wiegmann, K.; Reise, J.; Fehrenbach, H. (2019): Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holzprodukten. In: *AFZ-DerWald* (17), S. 36–39.
- Hennenberg, K.; Bradshaw, C. J.A.; Böttcher, H. (2018): Revised European Union renewable-energy policies erode nature protection. Correspondence. In: *Nature Ecology & Evolution*. 2018, 2018, S. 1519–1520. Online verfügbar unter <https://www.nature.com/articles/s41559-018-0659-3>, zuletzt geprüft am 15.05.2019.
- Hennenberg, K.; Wiegmann, K.; Herrera, R.; Hüneck, K.; Fritsche, U.; Markgraff, V.; Schumann, K.; Luik, R.; Krismann, A. (2012): Umsetzung der Biodiversitätsziele bei der nachhaltigen Bioenergienutzung, 2012. Online verfügbar unter https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/erneuerbareenergien/Dokumente/abschlussbericht_FINAL_09_2012_OEKO_HFR_ILN_2012_BfN_BiodivZiele.pdf, zuletzt geprüft am 24.01.2018.
- Hermann, A.; Schulze, F.; Sagemüller, I. (2009): Entwicklung von Strategien zur optimalen Nutzung von biogenen Industrierohstoffen: Nachhaltigkeitsstandards und Indikatoren zur Zertifizierung von Biomasse für den internationalen Handel (FKZ 3707 93 100), Endbericht zu den Arbeitspaketen 3 und 4. UFOPLAN-Vorhaben. Umweltbundesamt (Hg.). Darmstadt, 2009. Online verfügbar unter http://iinas.org/tl_files/iinas/downloads/bio/oeko/2010_Bio-global_AP3-4_Rechtsfragen.pdf, zuletzt geprüft am 21.05.2019.
- Ibisch, P. L.; Hoffmann, M. T.; Kreft, S.; Pe'er, G.; Kati, V.; Biber-Freudenberger, L.; DellaSala, D. A.; Vale, M. M.; Hobson, P. R.; Selva, N. (2016): A global map of roadless areas and their conservation status. In: *Science (New York, N.Y.)* 354 (6318), S. 1423–1427. DOI: 10.1126/science.aaf7166.
- IEA (2017): Technology Roadmap, Delivering Sustainable Bioenergy. Paris, 2017. Online verfügbar unter https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Technology_Roadmap_Delivering_Sustainable_Bioenergy.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- IRENA (2016): Renewable Energy Statistics 2016, 2016. Online verfügbar unter <https://www.irena.org/publications/2016/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2016>, zuletzt geprüft am 28.05.2019.

- Jenkins, C. N.; Pimm, S. L.; Joppa, L. N. (2013): Global patterns of terrestrial vertebrate diversity and conservation. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110 (28), E2602-10. DOI: 10.1073/pnas.1302251110.
- Jerabkova, L.; Prescott, C. E.; Titus, B. D.; Hope, G. D.; Walters, M. B. (2011): A meta-analysis of the effects of clearcut and variable-retention harvesting on soil nitrogen fluxes in boreal and temperate forests. In: *Can. J. For. Res.* 41 (9), S. 1852–1870. DOI: 10.1139/x11-087.
- Joschko, M.; Reinhold, J.; Barkusky, D.; Haubold-Rosar, R.; Franko, U.; Lentzsch, P. e. a. (2015): Bewertung von organischem Material zur Humusreproduktion aus der Sicht der Bodenbiologie, Abschlussbericht 2015. Leibniz Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. (Hg.), 2015.
- Keenan, R. J.; Kimmins, J. P. (1993): The ecological effects of clear-cutting. In: *Environmental Reviews* 1 (2), S. 121–144. DOI: 10.1139/a93-010.
- Kivinen, S.; Moen, J.; Berg, A.; Eriksson, A. (2010): Effects of modern forest management on winter grazing resources for reindeer in Sweden. In: *Ambio* 39 (4), S. 269–278. DOI: 10.1007/s13280-010-0044-1.
- Klepper, G.; Thrän, D. (Hg.) (2019): Biomasse im Spannungsfeld zwischen Energie- und Klimapolitik. Potenziale – Technologien – Zielkonflikte (Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft). München, 2019. Online verfügbar unter https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2019_ESYS_Analyse_Biomasse.pdf.
- Knorn, J.; Kuemmerle, T.; Volker C. Radeloff; Alina Szabo; Marcel Mindrescu; William S. Keeton; Ioan Abrudan; Patrick Griffiths; Vladimir Gancz; Patrick Hostert (2012): Forest restitution and protected area effectiveness in post-socialist Romania. In: *Biological Conservation* (146), S. 204–212, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Koch, M.; Hennenberg, K.; Hünecke, K.; Haller, M.; Hesse, T. (2018): Rolle der Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt bis 2050 unter Einbeziehung des zukünftigen Gebäudebestandes. Schlussbericht (FZK 03KB114). Öko-Institut e.V., Freiburg, Darmstadt. URL: Öko-Institut e.V., 2018. Online verfügbar unter <https://www.energetische-biomassennutzung.de/de/projekte-partner/details/project/show/Project/bio-strom-waerme-478/>.
- Köhl, M.; Lasco, R.; Cifuentes, M.; Jonsson, Ö.; Korhonen, K. T.; Mundhenk, P.; Stinson, G. (2015): Changes in forest production, biomass and carbon: Results from the 2015 UN FAO Global Forest Resource Assessment. In: *Forest Ecology and Management* (352), S. 21–34, zuletzt geprüft am 28.05.2019.
- Kormos, C. F.; Mackey, B.; DellaSala, D. A.; Kumpe, N.; Jaeger, T.; Mittermeier, R. A.; Filardi, C. (2018): Primary Forest: definition, status and future prospects for global conservation. In: *The Encyclopedia of the Anthropocene* (2), S. 31–41. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09711-6.
- Körschens, M.; Albert, E.; Armbruster, M.; Barkusky, D.; Baumecker, M.; Behle-Schalk, L.; Bischoff, R.; Čerčan, Z.; Ellmer, F.; Herbst, F.; Hoffmann, S.; Hofmann, B.; Kismanyoky, T. et al. (2013): Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics, Results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. In: *Archives of Agronomy and Soil Science* 59 (8), S. 1017–1040. DOI: 10.1080/03650340.2012.704548.
- Körschens, M.; Albert, E.; Baumecker, M.; Ellmer, F.; Grunert, M.; Hoffmann, S.; Kismanyoky, T.; Kubat, J.; Kunzova, E.; Marx, M.; Rogasik, J.; Rinklebe, J.; Rühlmann, J. et al. (2014): Humus und Klimaänderung - Ergebnisse aus 15 langjährigen Dauerfeldversuchen. In: *Archives of Agronomy and Soil Science* 60 (11), S. 1485–1517. DOI: 10.1080/03650340.2014.892204.
- Kuuluvainen, T.; Gauthier, S. (2018): Young and old forest in the boreal: critical stages of ecosystem dynamics and management under global change. In: *Forest Ecosystems* (5:26). Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0142-2>, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Mantau, U. (2012): Holzrohstoffbilanz Deutschland. In: Schatzmann, A. (Hg.): *Nikarchos II. Epigrammata* : Einleitung, Texte, Kommentar. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht (Hypomnemata, Band 188), S. 17–

124. Online verfügbar unter http://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dk041641.pdf, zuletzt geprüft am 24.01.2018.
- Mantau, U.; Döring, P.; Weimar, H.; Glasenapp, S. (2018): Rohstoffmonitoring Holz, Mengenmäßige Erfassung und Bilanzierung der Holzverwendung in Deutschland (Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe, Band 38). Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).
- Mikoláš, M.; Svitok, M.; Teodosiu M, Nagel TA, Svoboda M (2019): Land use planning based on the connectivity of tree species does not ensure the conservation of forest biodiversity. In: *Land Use Policy* (83), S. 63–65.
- Mikoláš, M.; Tejkal, M.; Kuemmerle, T.; Griffiths, P.; Svoboda, M.; Hlásny, T.; Leitão, P.; Morrissey, R. (2017): Forest management impacts on capercaillie (*Tetrao urogallus*) habitat distribution and connectivity in the Carpathians. In: *Landscape Ecology* 32 (1), S. 163–179. DOI: 10.1007/s10980-016-0433-3.
- Morales-Hidalgo, D.; Oswalt, S. N.; Somanathan, E. (2015): Status and trends in global primary forest, protected areas, and areas designated for conservation of biodiversity from the Global Forest Resources Assessment 2015. In: *Forest Ecology and Management* (352), S. 68–77, zuletzt geprüft am 28.05.2019.
- Munteanu, C. M.; Geitner, C.; Scharr, K. (2008): Consequences of historical and modern landuse on cultural landscapes and biodiversity of the Maramureş mountains, Proceeding of Bioatlas 2008 Conference Braşov. In: *Journal of EcoAgriTourism, Bulletin of Agri-ecology, Agri-food, Bioengineering and Agritourism*, S. 91–98, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Naumann, K.; Schröder, J.; Müller-Langer, F.; Oehmichen, K.; Remmele, E.; Thuneke, K.; Etzold, H.; Raksha, T.; Schmidt, P. (2019): Monitoring Biokraftstoffsektor (4. Aufl.) (DBFZ Report, 11). DBFZ (Hg.). Leipzig, 2019. Online verfügbar unter https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_11_4.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Nigerian Ministry of Environment (2006): National Forest Policy 2006. The status of the forest resources and environment in Nigeria. Online verfügbar unter <http://www.fao.org/forestry/15148-0c4ace-beb8e7e45af360ec63fcc4c1678.pdf>, zuletzt geprüft am 28.05.2019.
- Nitsch, J.; Pregger, T.; Naegler, T.; Heide, D.; Luca de Tena, D.; Trieb, F.; Scholz, Y.; Nienhaus, K. (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, 2012. Online verfügbar unter https://oeko-teamwork.de/uba-abfall/Freigegebene%20Dokumente/Literatur/Studien%20der%20Metaanalyse%20Bioenergie/04_DLR_leitstudie2011_bf.pdf, zuletzt geprüft am 20.03.2017.
- Öko-Institut; Fraunhofer ISI; Ziesing, H.-J. (2015): Klimaschutzszenario 2050, 2015. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf>.
- OMRF (2014): Annual report on forest management 2013-2014, Ontario Ministry of Natural Resources and Forestry. Online verfügbar unter <https://www.ontario.ca/page/annual-report-forest-management-2013-2014>, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Ottow, J. C. G. (2011): Mikrobiologie von Böden, Biodiversität, Ökophysiologie und Metagenomik (Springer-Lehrbuch). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Peters, W.; Schultze, C.; Schümann, K.; Stein, S. (2010): Bioenergie und Naturschutz - Synergien fördern, Risiken vermeiden. BfN (Hg.). Bonn, 2010. Online verfügbar unter https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/bfn_position_bioenergie_naturschutz.pdf, zuletzt geprüft am 21.05.2019.
- Potapov, P.; Hansen, M. C.; Laestadius, L.; Turubanova, S.; Yaroshenko, A.; Thies, C.; Smith, W.; Zhuravleva, I.; Komarova, A.; Minnemeyer, S.; Esipova, E. (2017): The last frontiers of wilderness, Tracking loss of intact forest landscapes from 2000 to 2013. In: *Science advances* 3 (1), 1-13. DOI: 10.1126/sciadv.1600821.
- Ranius, T.; Hämäläinen, A.; Egnell, G.; Olsson, B.; Eklöf, K.; Stendahl, J.; Rudolphi, J.; Sténs, A.; Felton, A. (2018): The effects of logging residue extraction for energy on ecosystem services and biodiversity: A

- synthesis. In: *Journal of Environmental Management* (209), 2018, S. 409–425. Online verfügbar unter <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717312288?via%3Dihub>, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Reinhardt, G.; Hemmen, M. (2019): Algae based biorefineries: boon or bane? Lessons learnt from a decade of research and demonstration units worldwide. Proceedings of the 5th Latin American Congress on Biorefineries. Concepción, Chile, 07.01.2019. Online verfügbar unter <https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Reinhardt-Chile-Biorefinery-keynote-2019-pdf.pdf>, zuletzt geprüft am 21.05.2019.
- Reise, J.; Hennenberg, K.; Winter, S.; Winger, C.; Höltermann, A. (2017): Analyse und Diskussion natur-schutzfachlich bedeutsamer Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur (BfN-Skripten 427). BfN (Hg.). Bonn, 2017. Online verfügbar unter <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript427.pdf>, zuletzt geprüft am 21.05.2019.
- Rettenmaier, N.; Hienz, G.; Schorb, A.; Diaz-Chavez, R.; Rutz, D.; Janssen, R. (2012): Strategies for the harmonization of environmental and socio-economic sustainability criteria. European Commission. Heidelberg, 2012. Online verfügbar unter <https://www.globalbiopact.eu/images/stories/publications/d5.5.pdf>, zuletzt geprüft am 05.06.2019.
- Romsilva (2018): Aspecte generale privind fondul forestier, proprietate publica a statului, la data de 31.12.2018. Online verfügbar unter http://www.rosilva.ro/articole/prezentare_generala__p_178.htm, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Romsilva (2019): Arri protejate. Prezentare generala. Online verfügbar unter http://www.rosilva.ro/articole/prezentare_generala__p_184.htm, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Save Paradise Forest (2019): Romania: How „woodchippers“ threaten natural forests and help with laundering of illegal logging. Online verfügbar unter <https://www.saveparadiseforests.eu/en/romania-how-woodchippers-threaten-natural-forests-and-help-with-laundry-of-illegal-logging/>, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Schickhofer, M.; Schwarz U. (2019): Inventory of Potential Primary and Old-Growth Forest Areas in Romania (PRIMOFARO). Identifying the largest intact forests in the temperate zone of the European Union. EURONATUR Foundation, 2019. Online verfügbar unter https://www.euronatur.org/fileadmin/docs/Urwald-Kampagne_Rumaenien/PRIMOFARO_24092019_layouted.pdf.
- Schulze, E. D.; Bouriaud, L.; Bussler, H.; Gossner, M., Walentowski, H., Hessenmöller, D., Bouriaud, O., Gadow, K.V. (2014): Forest management and biodiversity. In: *Web Ecology* (14), S. 3–10, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Searchinger, T. D.; Beringer, T.; Holtsmark, B.; Kammen, D. M.; Lambin, E. F.; Lucht, W.; Raven, P.; van Ypersele, J.-P. (2018): Europe’s renewable energy directive poised to harm global forests. In: *Nature communications* 9 (1), S. 3741. DOI: 10.1038/s41467-018-06175-4.
- Siitonen, J. (2001): Forest management, coarse woody debris and saproxylic organisms: Fennoscandian boreal forests as an example. In: *Ecological Bulletins* (49), S. 11–41, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Simberloff, D. (2001): Management of Boreal Forest Biodiversity - A View from the Outside. In: *Scandinavian Journal of Forest Research* 16, S. 105–118. DOI: 10.1080/028275801300090726.
- Smith, W.; Cheng, R. (2016): Canada’s intact forest landscapes updated to 2013. Ottawa. Global Forest Watch Canada (Hg.).
- Statistics Canada (2018): Human Activity and the Environment: Forests in Canada, 2018. Online verfügbar unter <https://www150.statcan.gc.ca/n1/en/pub/16-201-x/16-201-x2018001-eng.pdf?st=UMvDYbo5>, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Statistisches Bundesamt (2018): Wichtigste Lieferländer von Holzkohleimporten nach Deutschland nach Importmenge in den Jahren 2016 und 2017 (in Tonnen). Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/868169/umfrage/wichtigste-lieferlaender-von-holzkohleimporten-nach-deutschland/>, zuletzt geprüft am 28.05.2019.

- Thiffault, E.; Hannam, K.; Paré, D.; Titus, B. D.; Hazlett, P. W.; Maynard, D. G.; Brais, S. (2011): Effects of forest biomass harvesting on soil productivity in boreal and temperate forests – A review. In: *Environmental Reviews* (19), 2011, S. 278–309. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Suzanne_Brais/publication/237154406_Effects_of_forest_biomass_harvesting_on_soil_productivity_in_boreal_and_temperate_forests_-_A_review/links/00b4953236f9f7a40f000000/Effects-of-forest-biomass-harvesting-on-soil-productivity-in-boreal-and-temperate-forests-A-review.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Thrän, D.; Pfeiffer, D. (2013): Methodenhandbuch Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseffekte Methoden zur Bestimmung von Technologiekenwerten, Gestehungskosten und Klimagaseffekten von Vorhaben im Rahmen des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“ BAND 4. DBFZ, 2013. Online verfügbar unter https://www.energetische-biomassenutzung.de/fileadmin/media/4_AGs_Methoden/04_Methodenhandbuch_2013_final.pdf.
- Thrän, D.; Ponitka, J.; Arendt, O.; Volker, L.; Daniel-Gromke, J.; Stinner, W.; Ortwein, A.; Zeymer, M.; Gröngröft, A.; Müller-Langer, F.; Klemm, M.; Braun, J.; Zeug, W. et al. (2015): Focus on Bioenergie-Technologien, Fokusheft Energetische Biomassenutzung. DBFZ. Thrän, D.; Ponitka, J. und Arendt, O. (Hg.). Leipzig, 2015. Online verfügbar unter <https://katalogbeta.slub-dresden.de/id/0-827504055/>, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- VDLUFA (2014): Humusbilanzierung, Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hg.). Speyer, 2014. Online verfügbar unter https://www.vdlufa.de/download/Humus/Standpunkt_Humusbilanzierung.pdf, zuletzt geprüft am 28.05.2019.
- Veen, P.; Fanta, J.; Raev, I.; Biriş, I. A., de Smidt, J.; Maes, B. (2010): Virgin forests in Romania and Bulgaria: results of two national inventory projects and their implications for protection. In: *Biodiversity and Conservation* (19(6)), S. 1805–1819, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Venier, L. A.; Thompson, I. D.; Fleming, R.; Malcolm, J.; Aubin, I.; Trofymow, J. A.; Langor, D.; Sturrock, R.; Patry, C.; Outerbridge, R. O.; Holmes, S. B.; Haeussler, S.; Grandpré, L. de et al. (2014): Effects of natural resource development on the terrestrial biodiversity of Canadian boreal forests, Review. In: *Environmental Reviews* 2014, S. 457–490, zuletzt geprüft am 22.05.2019.
- Zeller, V.; Daniela Thrän; Martin Zeymer; Bernhard Bürzle; Philipp Adler; Jens Ponitka; Jan Postel; Franziska Müller-Langer; Stefan Rönsch; Arne Gröngröft; Claudia Kirsten; Nadja Weller; Marian Schenker et al. (2012): Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung. Deutsches Biomasseforschungszentrum; TLL; INL; Öko-Institut e.V. Leipzig, 2012, zuletzt geprüft am 20.03.2017.

Anhänge

Tabelle A-1: Rohstoffe zur Produktion von Biogas für den Verkehr und fortschrittlicher Biokraftstoffe (RED II, Anhang IX). Einstufung der Flächenrelevanz und der Rohstofftypen.

Rohstoffe	Flächenrelevanz	Primärproduktion	Produktionsreststoffe	Industriereststoffe	Abfälle
Part A					
a) Algen, sofern zu Land in Becken oder Photobioreaktoren kultiviert	gering	X	--	--	
b) Biomasse-Anteil gemischter Siedlungsabfälle, nicht jedoch getrennte Haushaltsabfälle, für die Recycling-Ziele gemäß Artikel 11 Absatz 2 Buchstabe a der Richtlinie 2008/98/EG gelten	--	--	--	--	X
c) Bioabfall im Sinne des Artikels 3 Nummer 4 der Richtlinie 2008/98/EG aus privaten Haushalten, der einer getrennten Sammlung im Sinne des Artikels 3 Nummer 11 der genannten Richtlinie unterliegt	--	--	--	--	X
d) Biomasse-Anteil von Industrieabfällen, der ungeeignet zur Verwendung in der Nahrungs- oder Futtermittelkette ist, einschließlich Material aus Groß- und Einzelhandel, Agrar- und Ernährungsindustrie sowie Fischwirtschaft und Aquakulturindustrie und ausschließlich der in Teil B dieses Anhangs aufgeführten Rohstoffe	--	--	--	--	X
e) Stroh	hoch	--	X	--	--
f) Mist/Gülle und Klärschlamm	--	--	--	X	--
g) Abwasser aus Palmölmühlen und leere Palmfruchtbündel	--	--	--	X	--
h) Tallölpech	--	--	--	X	--
i) Rohglyzerin	--	--	--	X	--
j) Bagasse	--	--	--	X	--
k) Traubentrester und Weintrub	--	--	--	X	--
l) Nussschalen	--	--	--	X	--
m) Hülsen	--	--	--	X	--
n) entkernte Maiskolben	--	--	X	X	--
o) Biomasse-Anteile von Abfällen und Reststoffen aus der Forstwirtschaft und forstbasierten Industrien, d. h. Rinde, Zweige, vorkommerzielles Durchforstungsholz, Blätter, Nadeln, Baumspitzen, Sägemehl, Sägespäne, Schwarzlaube, Braunlaube, Faserschlämme, Lignin und Tallöl	hoch	z. T.	X	X	X
p) anderes zellulosehaltiges Non-Food-Material	hoch	z. T.	X	X	X
q) anderes lignozellulosehaltiges Material mit Ausnahme von Säge- und Furnierrundholz	hoch	z. T.	X	X	X
Part B					
(a) Gebrauchtes Speiseöl	--	--	--	--	X
(b) Tierische Fette, die gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1069/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates in die Kategorien 1 und 2 eingestuft sind	--	--	--	--	X

Quelle: RED II und eigene Bewertung.

Folgende weitere Anhänge sind als separate Berichte auf der BfN-Website verfügbar:

- A. Analyse zukünftiger relevanter fortschrittlicher Biokraftstoffpfade
- B. Auswirkungen der verstärkten Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffpfaden auf naturschutzfachliche Belange - Vertiefungsstudie landwirtschaftliche Reststoffe
- C. Auswirkungen der verstärkten Nutzung von fortschrittlichen Biokraftstoffpfaden auf naturschutzfachliche Belange - Vertiefungsstudie forstwirtschaftliche Biomasse
- D. Analysepapier zur RED-Novelle (in englischer Sprache)