



Naturverträglich nutzbare Biomasse

Anforderungen des NABU an eine naturverträgliche Biomassennutzung – Vertiefung Bioenergie

Biomasse wird für die Energieerzeugung verwendet und zunehmend stofflich genutzt. Welche Biomassearten naturverträglich genutzt werden können und welche nicht, wird in dieser Hintergrundinformation erläutert.



Kontakt

NABU Team Energie & Klima
Dr. Claudia Werner
Referentin für Biomasse und Bioenergie

Tel. +49 (0) 174 9211 771
claudia.werner@NABU.de

Hintergrund

Biomasse, vor allem aus Holz und Energiepflanzen, wird als Rohstoff für Bau, Industrie und Energieerzeugung eingesetzt. Aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes ist Biomasse jedoch in erster Linie Lebensraum für viele Pflanzen- und Tierarten, sie ist Nahrung und Kohlenstoffspeicher. Ohne Biomasse gäbe es keine Böden, die Wasser filtern und speichern. Bäume reinigen und kühlen die Luft und reichern sie mit Sauerstoff an. Zudem sind Wälder wichtige Kohlenstoffspeicher für den Klimaschutz, denn Bäume und Waldböden vermögen große Mengen an Kohlenstoff über lange Zeiträume zu speichern.

Zur Erreichung der Klimaziele sollen Kohle, Öl und Gas in der Energieversorgung und in stofflichen Verarbeitungsprozessen zum Teil durch Biomasse ersetzt werden. Mit dem Inkrafttreten der gesetzlichen Förderung der Bioenergie im Jahr 2000 ist die Biomassennutzung sprunghaft angestiegen und hat vielerorts zur Intensivierung der Landwirtschaft, zur Übernutzung der Wälder und zu einer generellen Verschärfung der Flächenkonkurrenz zwischen den verschiedenen Nutzungsansprüchen, häufig zu Lasten ökologisch wertvoller Lebensräume, geführt. Diese sind gerade im Hinblick auf die Folgen der Klimakrise mit zunehmenden Hitze- und Trockenperioden sowie Extremwetterereignissen wichtig, um resiliente Agrarökosysteme zu etablieren. Der Druck wird sich jedoch durch den vermehrten Bedarf für die stoffliche Nutzung weiter erhöhen.

Um die planetaren Grenzen einzuhalten, wollen wir die natürlichen Ressourcen bewahren und überall dort verbessern, wo ihr schlechter Zustand es erfordert. Die zunehmende Nachfrage an Biomasse steht dem entgegen. Welche Biomasse aus Sicht von Natur-, Umwelt- und Klimaschutz für die Nutzung zur Verfügung steht und welche Restriktionen es zu beachten gibt, wird in dieser Hintergrundinformation aufgezeigt. Hierfür werden folgende Fragen behandelt:

- Was sind die NABU-Leitbilder einer naturverträglichen Land- und Waldwirtschaft?
- Wie kann das Kaskadenprinzip eine möglichst effiziente Biomassenutzung begünstigen?
- Welche Rahmenbedingungen fördern eine naturverträgliche energetische Biomassenutzung?

Anforderungen aus Sicht des Naturschutzes

Leitbild einer naturverträglichen Landwirtschaft

Eine nachhaltige, naturverträgliche Landwirtschaft unterstützt die Artenvielfalt sowie den Aufbau und Erhalt der Böden und der Wasserressourcen. Der Öko-Landbau und andere nachhaltige Formen der Landwirtschaft setzen bereits Maßnahmen einer naturverträglichen Landnutzung um und können somit dazu beitragen, den Problemen der Biodiversitätskrise zu begegnen. Im Hinblick auf die nachhaltige Bereitstellung von Biomasse für die stoffliche und energetische Nutzung sind insbesondere folgende Anforderungen zu berücksichtigen:

- Auf Pflanzenschutzmittel muss weitgehend verzichtet werden.
- Der Düngemiteleinsatz muss reduziert werden.
- Eine schonende Bodenbearbeitung muss gewährleistet sein, breite angepasste Fruchtfolgen müssen etabliert werden.
- Die Bewirtschaftung sowie die Entnahme von Biomassen sind so zu gestalten, dass sich die Böden insbesondere unter dem Aspekt des Humusaufbaus erholen.
- Ein Mindestanteil von 10 Prozent der landwirtschaftlichen Fläche wird für Strukturelemente, wie Hecken, Brachen oder Kleingewässer, die einen Biotopverbund bilden, bereitgestellt (Oppermann et al. 2020, Meichtry-Stier et al. 2014).

Eine Flächenbindung der Tierzahlen muss gewährleistet sein. Eine schonende Bewirtschaftung und ein vielfältiges Mosaik an verschiedenen Nutzungsmustern mit vertikalen Strukturen schaffen Lebensräume und fördern somit die Biodiversität.

Konflikte des Naturschutzes mit der Biomassenutzung

Landwirtschaftliche Biomasse, die als Rohstoff für Bioenergie und stoffliche Produkte dient, z.B. Mais, Raps, Weizen und Zuckerrüben, wird in meist großflächiger Intensivkultur angebaut. Diese Intensivkulturen sind nicht naturverträglich, denn sie sind mit erheblichen negativen Auswirkungen auf Natur und Umwelt verbunden. Zur Ertragssteigerung werden hohe Mengen an Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln eingesetzt, die zu einem Verlust der ober- und unterirdischen Artenvielfalt führen. Pflanzenschutzmittel töten Tiere und Pflanzen direkt oder indirekt, indem sie die Nahrungsgrundlage der Insekten und in der Folge auch der Vögel vernichten. Der hohe Bedarf an Düngemitteln führt zu Stickstoffeinträgen in Boden und Grundwasser sowie zu Lachgasemissionen in die Atmosphäre. Aufgrund der intensiven Bodenbearbeitung wird das Klima zusätzlich durch die Freisetzung von CO₂ und Feinstaub belastet und das Bodenleben geschädigt. Durch Intensivkulturen und artenarme, auf Biomassezuwachs optimierte, großflächige Schläge gehen Lebensräume für viele Arten verloren. Die großen einheitlichen Schläge stellen Barrieren für den Austausch vieler Tier- und Pflanzenarten dar, was zum Verlust der Biodiversität führt. Die intensive Bewirtschaftung bei gleichzeitigem Entzug von Biomasse führt zu einer negativen Humusbilanz und schadet der Bodengesundheit.

Biomasse aus Intensivlandwirtschaft ist nicht naturverträglich

Zudem wird durch den Biomasseanbau die Nahrungsmittelproduktion auf ökologisch wertvolle Flächen hierzulande oder in andere Regionen der Welt verdrängt, was zu einer Ausdehnung der

landwirtschaftlichen Flächen weltweit führt. Dies wird als indirekte Landnutzungsänderung (*indirect Land Use Change* - iLUC) bezeichnet.¹

Leitbild einer naturverträglichen Waldwirtschaft

Der Schutz der Wälder als Hort der Artenvielfalt und als Kohlenstoffsенке hat für den Klimaschutz oberste Priorität. Eine ökologisch vorbildliche Waldwirtschaft trägt zur Steigerung des Artenreichtums, des Kohlenstoffspeichervermögens und der Resilienz gegenüber den Folgen des Klimawandels wie Trockenheit, Hitze und Schädlingsbefall bei.

Das Leitbild einer ökologisch nachhaltigen und naturverträglichen Waldwirtschaft ist ein mehrschichtiger, artenreicher Laubmischwald, der sich an den natürlichen Waldgesellschaften des jeweiligen Standorts orientiert und die Fähigkeit der jeweiligen Waldökosysteme zur Selbstorganisation nutzt sowie essentielle Lebensräume für viele Organismen, die bereits gefährdet sind, bietet. Hierfür sind folgende Maßnahmen einzuhalten:

- Das Waldmanagement muss insbesondere auf Naturverjüngung aller Baumarten der natürlichen Waldgesellschaft, Struktureichtum, große Biomassevorräte (einschließlich Totholz) sowie auf ein möglichst feucht-kühles Waldinnenklima abzielen.
- Ausreichende Mengen an Totholz verbleiben im Wald und dienen als Lebensgrundlage für Vögel, Fledermäuse, Moose, Flechten, Pilze und Insekten, die gemeinsam über Jahrzehnte hinweg das Holz zu Humus zersetzen. Totholz trägt zur Bodenverbesserung, zu einem besseren Nährstoffhaushalt sowie zur Artenvielfalt bei und dient auch als Wasserspeicher.
- Ein Anteil an Flächen mit natürlicher Entwicklung von mindestens 10 Prozent wird angestrebt. Derartige Naturwälder sind bedeutsam für die Artenvielfalt und für den genetischen Austausch².

Konflikte des Naturschutzes mit der Biomassenutzung

Eine nur auf Rohstoffgewinnung ausgerichtete Forstwirtschaft, die strukturarme Reinbestände und Altersklassenwälder mit durchwegs gleichaltrigen Bäumen kultiviert, steht nicht im Einklang mit Natur- und Umweltschutz. Die Artenvielfalt nimmt ab. Zudem verdichten schwere Holzerntemaschinen wertvolle Waldböden bis hin zur irreversiblen Zerstörung. In den vergangenen Jahrzehnten wurden vielerorts, teilweise auf riesigen Flächen, zuvor reich strukturierte Wälder durch Monokulturen ersetzt. Dementsprechend sind die Wälder oftmals weit von einem stabilen Ökosystem entfernt und können kaum Leistungen für das Gemeinwohl erbringen. Aufgrund der auf die Holzernte optimierten Forstwirtschaft sind unsere Wälder strukturarm. In Deutschland gibt es zu wenig mehrschichtige Wälder sowie viel zu wenig Altbäume und Totholz.

Der Bedarf an Holz für die Energieerzeugung hat maßgeblich zur Übernutzung beigetragen. So ist die Energieholzernte in der EU seit 2000 laufend gestiegen und nimmt weiterhin zu. Das Kohlenstoffspeichervermögen sowohl in der oberirdischen Biomasse als auch im Boden nimmt ab, weil Holz intensiv eingeschlagen und Totholz entnommen wird. Dabei nimmt auch bis ins hohe Alter der Bäume, weit über 100 Jahre hinaus, die Biomasse und damit das Kohlenstoffspeicher-

Wälder können bis ins hohe Alter Kohlenstoff speichern

¹ für weiterführende Informationen siehe UBA, 2015 und 2018

² Für ausführliche Informationen siehe NABU-Grundsatzprogramm Wald: https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/wald/230116-nabu-grundsatzprogramm_wald.pdf

Vermögen kontinuierlich zu, das auch in der Zerfallsphase erhalten bleibt oder nur geringfügig abnimmt (siehe Abb.1).

Grundsätzlich muss der Holzvorrat aufgebaut und der Einschlag in manchen Wäldern dementsprechend reduziert werden. Reinbestände müssen in Laubmischwälder umgebaut werden, denn standortfremde und nicht heimische Baumarten sind besonders anfällig gegenüber Hitze und Trockenheit und sterben letztendlich ab.



Abb.1: Kohlenstoffspeicherung der Entwicklungsphasen eines Buchenwaldes (Quelle Speicherwald.org; Grafik: NABU / Pia Wieland)

Holz sollte bis auf wenige Ausnahmen stofflich genutzt werden, möglichst in langlebigen Produkten, in denen der Kohlenstoff über große Zeiträume hinweg gebunden bleibt (siehe nächster Abschnitt und Abb.2). Wälder dürfen nicht länger durch eine auf Rohstoffgewinne ausgerichtete Forstwirtschaft übernutzt werden. Stattdessen müssen Ökosystemleistungen z.B. durch Vertragsnaturschutz vergütet werden.

Effiziente Biomassennutzung: Kaskadenprinzip

Biomasse aus Feldern und Wäldern ist nicht unbegrenzt verfügbar und muss als wertvolle Ressource betrachtet werden. Um mit der Biomassennutzung einhergehende negative Umweltfolgen und Nachhaltigkeitskonflikte zu begrenzen und gleichzeitig die Rohstoffeffizienz zu erhöhen, wird das Prinzip der Kaskadennutzung als möglicher Lösungsansatz in verschiedenen umweltpolitischen Strategien (u. a. auch EU Green Deal, Nationale Bioökonomiestrategie, Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II, etc.) berücksichtigt. Dem Prinzip folgend, sollte Biomasse **„so lange, so häufig und so effizient wie möglich zunächst stofflich genutzt und erst am Ende des Produktlebenszyklus energetisch verwertet werden“** (UBA 2017a, S. 7). Abb.2 zeigt schematisch am Beispiel Holz die Nutzungskaskade in einer nachhaltigen Bioökonomie. Hieraus ist ersichtlich, dass es eine Reihe an Nutzungsmöglichkeiten von Holz gibt, einschließlich Wiederverwertung und Recycling, bevor nicht mehr stofflich nutzbare Reststoffe für die Energieerzeugung verbrannt werden.



Abb.2: Schematische Darstellung des Prinzips der Kaskadennutzung von Holz in einer nachhaltigen Bioökonomie (NABU eigene Darstellung / Grafik: Pia Wieland)

Obwohl das Prinzip umweltpolitisch breit gefordert wird, wird die Kaskadennutzung in der Realität nicht umfassend umgesetzt. Der größte Teil der Biomasse wird energetisch genutzt.

Biomasse soll immer zuerst stofflich genutzt werden

Die energetische Nutzung von jeglicher Biomasse, unabhängig davon, ob sie aus der Land- und Forstwirtschaft oder als Reststoff der verarbeitenden Industrien anfällt, markiert das Ende einer Wertschöpfungs- und Stoffstromkette. Jede Tonne an Biomasse, die energetisch genutzt wird, reduziert somit das Potenzial, die Ressourceneffizienz mit Hilfe der Kaskadennutzung zu erhöhen. Dies gilt insbesondere für die energetische Nutzung von Primärbiomasse (UBA 2017b, S. 58 ff).

Durch den Ausstieg aus fossilen Energien und Kohlenstoffquellen Kohle, Gas und Öl wird der Bedarf an Biomasse steigen. Gleichzeitig müssen wir uns Gedanken zur Verfügbarkeit von Biomasse machen, die weitaus geringer als die Nachfrage ist, wenn naturschutzfachliche Restriktionen berücksichtigt werden.

Um eine effiziente und naturverträgliche Kaskade zu implementieren, sollten entscheidende Aspekte aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes berücksichtigt werden:

- Grundsätzlich sollte ein prinzipielles Umdenken dahingehend erfolgen, dass Primärrohstoffe aus der Land- und Forstwirtschaft nur in einem begrenzten Maße zur Verfügung stehen und zuerst in die stoffliche Nutzung fließen und erst nach mehreren Nutzungszyklen zur Energieerzeugung eingesetzt werden.
- Darüber hinaus sollten die Nutzungsziele eines Rohstoffes verstärkt in das Produktdesign integriert werden, sodass die Rückgewinnungs- und Wiederverwertbarkeit von Rohstoffen vereinfacht wird. Nur auf diese Weise können wirtschaftlich dauerhaft lebensfähige Wertschöpfungsnetze etabliert werden. Um möglichst lange Nutzungszyklen der Biomasse ermöglichen zu können, müssen die Systeme zur getrennten Erfassung, Sortierung, Qualitätssicherung und Verwertung Biomasse-basierter Produkte optimiert werden.

Biomassepotentiale für die Energieerzeugung

Ausgangssituation

Für den Aufbau eines klimaneutralen Energiesystems der Zukunft werden hohe Erwartungen an die Bioenergie gestellt. So soll sie die volatile Stromerzeugung aus Wind und Sonne ausgleichen sowie fossile Kraftstoffe und Energieträger für die Wärmeerzeugung ersetzen. Bioenergie zählt in der europäischen Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (Renewable Energy Directive– RED) zu den erneuerbaren Energien. Diese Richtlinie legt Anforderungen fest, die die Nachhaltigkeit der für die Energieerzeugung verwendeten Biomasse sicherstellen sollen. Allerdings sind diese Anforderungen völlig unzureichend, so dass praktisch jede Biomasse aus Intensivlandwirtschaft und Waldholz als nachhaltig gilt. Auf dieser Basis wird die energetische Nutzung seit 2000 gefördert, was zu immensen negativen Auswirkungen auf Natur, Umwelt und Klima geführt hat. Weltweit werden Bäume und ganze Wälder abgeholzt, ökologisch wertvolle Flächen in Intensivkulturen umgewandelt mit der Folge, dass die Nahrungsmittelproduktion weiter intensiviert, oder auf bislang extensiv genutzte Standorte verdrängt wird.

Die gesetzlichen Nachhaltigkeitsanforderungen an Biomasse entsprechen keinesfalls den Leitbildern einer naturverträglichen Land- bzw. Waldwirtschaft. Auch der Weltbiodiversitäts- und Weltklimarat weisen in ihrem gemeinsamen wissenschaftlichen Bericht darauf hin, dass sich die großflächige Biomassenutzung aus Intensiv- und Monokulturen für die Energieerzeugung negativ auf die Biodiversität und somit auf das Klima auswirkt (IPBES-IPCC, 2021). Der Flächenverbrauch für Bioenergie ist um ein Vielfaches höher als für Wind- und Sonnenenergie. Zudem werden durch die intensive Bodenbewirtschaftung Emissionen freigesetzt. Gleichzeitig ist die Energiedichte, vor allem von Holzbiomasse, gering, was in höheren Emissionen bei der Energieerzeugung als bei der Verwendung fossiler Energieträger resultiert (Gómez et al., 2006). Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden die Grenzen und Potentiale der energetischen Biomassenutzung aus Sicht von Natur- und Umweltschutz aufgezeigt, die als Argumentationsbasis für den politischen Dialog dienen sollen³.

Bioenergie und Naturschutz müssen zusammen gedacht werden

³ Zu den Forderungen des NABU zur naturverträglichen Umgestaltung der Bioenergie siehe NABU-Position: www.nabu.de/position-bioenergie

Bioenergie aus der Landwirtschaft und der Landschaftspflege

Energiepflanzen: Negative ökologische Auswirkungen großflächiger Intensivkulturen

Die im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) verankerte Förderung von Bioenergie aus der Landwirtschaft und die Vorgaben der Treibhausgasquote für Biokraftstoffe in der europäischen Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (RED) haben maßgeblich zu einer Ausweitung von Intensivkulturen und einer gleichzeitigen Reduktion der Brachen in der Landwirtschaft beigetragen. Der Grund liegt im geringen Energieertrag aus Biomasse, was in einem hohen Flächenbedarf resultiert. In Deutschland ist vor allem der Anbau von Mais und Raps für Bioenergie und der Anbau von Weizen und Zuckerrüben zur Gewinnung von Bioethanol seit der Förderung durch das EEG sprunghaft angestiegen. Diese großflächigen Intensivkulturen und die entstehende Flächenkonkurrenz (Flächen zur Nahrungsmittelerzeugung, für den Naturschutz, für Bioökonomie etc.) führen zu negativen Auswirkungen auf die Biodiversität, Boden- und Wasserqualität, was sich wiederum negativ auf das Klima auswirkt (siehe hierzu IPBES-IPCC, 2021).

Ein weiteres Problem, das mit der Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus in Intensivkultur verbunden ist, ist die Verdrängung des Nahrungsmittelanbaus auf ökologisch wertvolle Flächen. Die Intensivierung extensiv genutzter Grünland- und Moorflächen für den Nahrungsmittelanbau konnte bereits vielerorts festgestellt werden. Durch eine solche sogenannte indirekte Landnutzungsänderung (iLUC) entstehen erhebliche Treibhausgasemissionen, die zu einer teilweise deutlich schlechteren Treibhausgasbilanz als bei der Verwendung fossiler Energieträger führen.

**Energiepflanzen verdrängen
den Nahrungsmittelanbau**

Grundsätze der energetischen Nutzung von Biomasse aus der Landwirtschaft

Statt intensiv kultivierten Energiepflanzen können andere Substrate für die Energieerzeugung eingesetzt werden. Diese sind naturverträglich, wenn die Vorgaben des Naturschutzes eingehalten werden:

- Die Entnahme von Biomasse darf nicht zu einer negativen Humusbilanz oder zum Verlust bzw. einer Verschlechterung der Senkenfunktion führen.
- Die Entnahme von Biomasse darf nicht zu einer Verschlechterung der Biodiversitätsindikatoren, zum Beispiel Feldvogelindikator oder Schmetterlingsindikator, führen.
- Die Entnahme von Biomasse darf nicht zu einer Verschlechterung von Schutzgebieten führen.
- Die Entnahme von Biomasse darf nicht in Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion oder benötigten Naturschutzflächen zum Erhalt der Arten und Ökosystemfunktionen stehen.

Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Anbaubiomasse

Der Anbau von Biomasse ist in bestimmten Fällen mit Natur- und Umweltschutz vereinbar, insbesondere wenn diese dazu führt, Anbausysteme nachhaltiger zu gestalten, hierzu gehört unter anderem die Verbreiterung und Diversifizierung der Fruchtfolge sowie der Ersatz von Intensivkulturen durch artenreiche (mehrjährige) Blühkulturen, die der Humusanreicherung dienen und die Artenvielfalt fördern. Allerdings dürfen mindestens zehn Prozent der Fläche nicht gemäht werden, damit ausreichende Rückzugsgebiete für Insekten über den Winter zur Verfügung stehen. Hierzu können regionale Blühmischungen sowie die Fruchtfolge erweiternde Mischkulturen beispielsweise aus Getreide und Leindotter oder Kulturen wie Hanf gehören. Für trockene Regionen sind mehrjährige und tief wurzelnde Pflanzen zu empfehlen z.B. Luzerne oder Silphie. Mehrjährige Pflanzen sind zu bevorzugen, da sie den Humusaufbau fördern. Ob der Anbau eine Verbesserung oder Verschlechterung für das Ökosystem darstellt, hängt von der vorherigen Nutzung ab. Eine mehrjährige Energiepflanzen-Mischkultur ohne Pflanzenschutzmittel- und Düngereinsatz ist

aus Naturschutzsicht einer intensiven Ackerkultur vorzuziehen. Auch ist der Anbau von Blühkulturen in Kombination mit Agri-Photovoltaik prinzipiell möglich. Wenn jedoch extensives Grünland zu Gunsten einer effektiveren Biomassenutzung intensiviert oder Hochstamm-Obstbaumbestände gerodet werden, fällt die Bilanz für den Naturschutz negativ aus.

Untersaaten und Zwischenfrüchte z. B. aus Leguminosen, die nicht zur Fütterung oder als Gründüngung genutzt werden, stellen auch ein Potential zur Gewinnung von Biomasse dar, solange eine ausgeglichene Humusbilanz nachweisbar ist.

Biomasse von Moorflächen: Paludikulturen haben kaum Potenzial für Bioenergie. Die anfallenden Mengen sind gering und der Energieertrag niedrig. Sie kann besser stofflich verwertet werden, z.B. als Dämmmaterial, oder in bestimmten Fällen als Weide für nassetolerante Tiere, z.B. Wasserbüffel, dienen. Nur Nebenprodukte und überschüssige Mengen aufgrund noch fehlender Verarbeitungsstrukturen können lokal in Biogasanlagen genutzt werden. Biomasse von entwässerten Mooren sollte generell ausgeschlossen werden, da aufgrund der hohen Emissionen der Flächen eine negative Klimabilanz vorliegt.

Biomasse aus Agroforstsystemen: Die Integration von Bäumen oder Hecken in landwirtschaftliche Nutzflächen kann wichtige Beiträge zum Klimaschutz, zum Boden- und Naturschutz wie auch zur Widerstandsfähigkeit der Landschaft gegenüber Klimaveränderungen leisten. Die Pflanzung von Bäumen auf Landwirtschaftsflächen ermöglicht es, günstige mikroklimatische Bedingungen zu schaffen, Erosion und Nährstoffauswaschung zu mindern sowie Kohlenstoff im Boden anzureichern. Wo eine stoffliche Verwertung der Biomasse in Frage kommt, sollte diese vor einer energetischen Nutzung bevorzugt werden. Es gilt zu betonen, dass Agroforstsysteme von reinen, flächigen Gehölzpflanzungen der Kurzumtriebsplantagen unterschieden werden müssen, die nur als Element eines Biotopverbunds Vorteile für die Biodiversität bieten können. Wenn großflächige Energieholzplantagen angelegt werden, besteht die Gefahr, dass sie die Nahrungsmittelproduktion auf ökologisch wertvolle Flächen oder ins Ausland verdrängen (iLUC), was mit einer Abnahme von Lebensräumen und Artenvielfalt sowie mit zusätzlichen Emissionen verbunden ist. Die Anlage von Gehölzstrukturen muss an lokale Gegebenheiten angepasst sein, da das Arteninventar ökologisch wertvoller Biotope, durch Gehölzpflanzungen auch negativ beeinflusst werden kann. Dies gilt besonders für Extensivgrünland wie Feuchtwiesen und Magerrasen, Moorflächen und Gewässerufer mit lichtbedürftigen Staudengesellschaften. Auch die Verdrängung von Offenlandarten, insbesondere Vögeln wie dem Kiebitz, stellt ein Risiko dar. Eine mögliche Gefährdung von Offenlandarten kann zum Teil durch eine umsichtige Planung und angepasstes Management begegnet werden. Da die Situation regional und lokal unterschiedlich ist, sollten die Unteren Naturschutzbehörden in die Planung eingebunden werden. Es ist zu beachten, dass die Gehölzstrukturen nur abschnittsweise geerntet (auf Stamm gesetzt) werden sollten, um den Lebensraum durchgehend zu erhalten.

Schnittgut aus der Landschaftspflege kann von Flächen anfallen, auf denen die Nutzung aus wirtschaftlichen Gründen aufgegeben wurde oder werden soll. Um langfristig den typischen Offencharakter der Landschaft wiederherzustellen, den Stoffhaushalt zu entlasten und die standorttypische Biodiversität zu fördern, kann eine extensive Nutzung ökologisch und ökonomisch sinnvoll sein. Je nach Materialzusammensetzung kann sich diese Biomasse auch zur Kompostierung eignen. Inwieweit eine Kompostierung zu bevorzugen ist, muss abhängig von den regional verfügbaren Verwertungsmöglichkeiten entschieden werden. Neben Grünschnitt fallen auch Abfälle aus Baum- und Heckenschnitt an, die lokal oder dezentral direkt oder in Holzhackschnitzelkesseln verbrannt werden können. In streng geschützten Gebieten allerdings ist eine Mahd ausgeschlossen, nur in allgemein geschützten Gebieten ist eine Mahd ein bis zweimal im Jahr abhängig vom Schutzzweck möglich, jedoch ist auch hier die Nutzung des Aufwuchses primär als Futtermittel zu verwenden.

Schnittgut von Stilllegungs- und Blühstreifen kann grundsätzlich für die energetische Nutzung genutzt werden. Die Mahd darf erst ab dem 01.09 erfolgen und es dürfen maximal 70% des Aufwuchses gemäht werden.

Grünland wird in erster Linie für die Fütterung von Nutztieren und für die Beweidung benötigt⁴. Das Schnittgut kann deshalb nur in Ausnahmefällen für die Biogaserzeugung genutzt werden, wenn beispielsweise durch den vorgegebenen Mahdzeitpunkt die Futterqualität nicht ausreichend für die Milchproduktion ist und keine stoffliche Verwertung möglich ist. Die Flächen dürfen aber maximal zweimal im Jahr gemäht werden, und ein Ruheintervall von mindestens acht Wochen ist einzuhalten.

Nebenprodukte

Als *Nebenprodukte aus der Viehhaltung* bieten sich für die energetische Nutzung Gülle und Jauche an, während Festmist besser kompostiert und als Wirtschaftsdünger für die Bodenverbesserung verwendet werden sollte. Der Gülleanteil in Biogasanlagen kann erhöht werden, wenn der Gefahr der Bestandsaufstockung durch Vorgaben einer flächengebundenen Tierhaltung und durch ein deutlich verschärftes Emissionsschutzgesetz entgegengewirkt wird. Die Vorteile der energetischen Nutzung liegen auf der Seite der Emissionen, weil Bioenergie aus Flüssigabfällen zu einer verminderten Freisetzung klimawirksamer Schadstoffe (Methan) führt (WWF, 2007, S.7). Um den Energieeinsatz für den Transport der Gülle zu minimieren, ist die Biogasgewinnung in dezentralen Konversionsanlagen vorzuziehen. Die Gärrückstände können als Dünger wieder auf die Felder gebracht werden, solange sichergestellt ist, dass sie nicht mit Antibiotika belastet sind. Eine ausschließliche Ausbringung von kohlenstoffarmen Düngemitteln, wie flüssigen Gärresten oder Mineraldünger, ist hierbei zu vermeiden, um einen Verlust von Humus und Mikroporen im Boden zu verhindern. Auf eine sorgfältige Einarbeitung ist zu achten, dies gilt für alle Arten von Gärrückständen. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass genug kohlenstoffreiche Biomasse, zum Beispiel in Form von Ernterückständen, auf dem Boden verbleibt.

Auch *Nebenprodukte aus dem Ackerbau* wie Stroh und das Kraut von Hackfrüchten sind für eine energetische Verwertung geeignet. Um einen Abbau von Humus zu verhindern, sollte allerdings nur der Anteil an Stroh entnommen werden, der eine ausgeglichene Humusbilanz im gegebenen Anbausystem nicht gefährdet. Der Rest sollte auf der Fläche verbleiben (Aebischer & Ewald 2004, Wahan et al. 2021). Welche Mengen entnommen werden können, hängt sowohl vom Standort als auch vom Management und von den Wetterbedingungen zwischen den Jahren ab.

Fazit

Die energetisch verfügbaren Biomassepotentiale aus der Landwirtschaft sind begrenzt, wenn die Anforderungen des Natur- und Umweltschutzes berücksichtigt werden, und können keinesfalls die hohen Erwartungen an die Rolle von Bioenergie im Energiesystem zur Substitution fossiler Energieträger in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr erfüllen. Auch ist Biomasse aufgrund der witterungsbedingten schwankenden Ernteerträge keine uneingeschränkt zuverlässige Energiequelle.

Fachbehörden auf regionaler und kommunaler Ebene müssen verstärkt in die Genehmigungsverfahren und in die Überwachung von Bioenergieerzeugungsanlagen eingebunden werden, denn ob die Biomassenutzung naturverträglich ist, variiert von Standort zu Standort und kann nur auf regionaler/lokaler Ebene beurteilt werden. Zudem müssen Landwirte, die mehr Naturschutzflächen schaffen und das Mahdgut in Biogasanlagen einsetzen, entsprechend honoriert werden.

⁴ siehe NABU-Flächennutzungsstudie: https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/230113-nabu_flaechennutzungsstudie.pdf

Holzbiomasse aus dem Wald

Primärholz aus dem Wald

Die Bioenergieerzeugung aus Holz wird im Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) und seinen nachstehenden Verordnungen, die die europäische Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED) national umsetzen, als klimaneutral und erneuerbar im Namen des Klimaschutzes gefördert. Dabei ist Bioenergie aus dem Wald keineswegs klimaneutral, denn das im Holz über viele Jahre gespeicherte CO₂ wird bei der Energieerzeugung unmittelbar freigesetzt und aufgrund der geringen Energiedichte sind die Emissionen weitaus höher als bei fossilen Energieträgern. Waldholz ist nicht kurzfristig erneuerbar, denn Wälder sind langsam wachsende Systeme, die schonend bewirtschaftet werden müssen. Es dauert mehrere Jahrzehnte, bis der Kohlenstoff, der bei der Verbrennung von Holz zusätzlich in die Atmosphäre gelangt, wieder von neuen Bäumen aufgenommen ist. Durch die Wiederaufforstung durch Monokulturen werden die Funktion und Ökosystemleistungen des Waldes als Kohlenstoffsенке auf Dauer geschädigt. Daher steht die energetische Nutzung von Waldholz dem angestrebten Ziel der Klimaneutralität bis 2045 entgegen und ist aus Sicht von Natur- und Klimaschutz abzulehnen. Holz ist ein wertvoller Rohstoff, der nur für langfristige stoffliche Verwendungen Einsatz finden soll.

Bioenergie aus Waldholz ist nicht klimaneutral

Schad- und Totholz

Derb- und Totholz sollte besser im Wald verbleiben. Es braucht mehrere Jahrzehnte, bis es verrottet (Hararuk, O. et al, 2020). In dieser Zeit bietet es Lebensraum für viele Organismen, die im Zersetzungsprozess helfen, Humus aufzubauen. Auch flächig geschädigte oder abgestorbene Waldbestände, z.B. durch Borkenkäferbefall, sollten auf der Fläche verbleiben, um den Boden vor Erosion, Trockenheit, Hitze und Kälte zu schützen. Zudem ist die Beschattung für die natürliche Wiederbewaldung erforderlich.

Totholz verrottet langsam und bietet wertvolle Lebensräume

Fazit

Bioenergie aus dem Wald ist mit Natur-, Umwelt- und Klimaschutz nicht vereinbar. Holz sollte ausschließlich stofflich in einer Nutzungskaskade verwertet werden, um den enthaltenen Kohlenstoff so lange wie möglich zu binden. Nur die wenigen verbleibenden Reststoffe, die am Ende der Kaskade stehen und nicht mehr stofflich genutzt werden können, stehen für die Energieerzeugung zur Verfügung (siehe Abschnitt zur Kaskadennutzung). Aktuell werden jedoch zu häufig auch die stofflich verwertbaren Altholzklassen verbrannt, so dass das Recyclingpotenzial von Altholz nicht ausgeschöpft wird.

Bioabfälle

Bio- und Grüngut aus der Abfallsammlung

Im Sinne der Abfallhierarchie ist die oberste Priorität, Abfälle zu vermeiden, um das Müllaufkommen zu reduzieren. Für Abfälle, die nicht vermieden werden können, braucht es eine möglichst ressourcen- und klimafreundliche Verwertung. Bioabfälle (Biogut) aus der kommunalen Biotonne sind für die energetische Nutzung in Biogasanlagen gut geeignet. Nach der Vergärung können die festen und flüssigen Gärreste als Nährstoff- und Humuslieferant stofflich weitergenutzt werden, wenn sie nicht belastet sind und die Anforderungen an eine sorgfältige Einarbeitung befolgt werden. Die Potenziale dieser Verwertungsform sind nicht ausgeschöpft, denn es landen immer noch zu viele Bio- und Gartenabfälle in der Restmülltonne. Zwar werden diese meist verbrannt, jedoch ist die kombinierte stoffliche und energetische Verwertung aus Sicht des Ressourcen- und Klimaschutzes vorzuziehen. Eine flächendeckende Getrenntsammlung der Bio- und Gartenabfälle mit-

Bioenergie aus Abfällen hat Potential

tels einer Biotonnen-Pflicht (mit der Eigenkompostierung im Garten als einzige zulässige Ausnahme bei gesundem Verhältnis von Kompostmenge und Gartenfläche) ist daher unerlässlich für eine hochwertige Bioabfallverwertung. Weitere Potenziale stecken außerdem in der getrennten Erfassung und anschließenden energetischen und stofflichen Nutzung von Küchenabfällen aus dem gewerblichen Bereich, z.B. Kantinenabfälle. Auch nicht vermeidbare Lebensmittelabfälle aus dem Handel sind nutzbar, vorausgesetzt, die Abfälle werden vor der Entsorgung ausgepackt.

Das Grüngut umfasst Garten- und Parkabfälle von privaten und öffentlichen Flächen, die zu zentralen Sammelstellen, Wertstoffhöfen und Verwertungsanlagen gebracht werden. Ein großer Teil der Gartenabfälle wird privat kompostiert und steht somit nicht für eine energetische Nutzung zur Verfügung. Oftmals stehen Kompostmenge und Gartenfläche jedoch in keinem passenden Verhältnis zueinander, was zu Überdüngung führt. In diesem Fall muss mehr Material über die Biotonne oder die zentralen Sammelstellen entsorgt und somit einer stofflichen und energetischen Verwertung zugeführt werden. Weitere Potenziale liegen darin, das Grüngut, das derzeit im eigenen Garten verbrannt oder illegal entsorgt wird, geordnet zu entsorgen. Dies kann durch verbesserte lokale Strukturen, z.B. die Schaffung weiterer Sammelstellen, gefördert werden. Im öffentlichen Raum fallen organische Abfälle beispielsweise bei der Park- und Friedhofspflege sowie bei der Straßenunterhaltung (z. B. Böschungspflege) an. Das Verwertungspotenzial des Grünguts ist unterschiedlich. Während krautiges Material für die Vergärung in Biogasanlagen geeignet ist, werden holzige Abfälle in erster Linie verbrannt. Mit Blick auf ökobilanzielle Erkenntnisse muss vor Ort die umweltfreundlichste Entscheidung über die stoffliche und energetische Verwertung getroffen werden.

Die energetischen Potenziale weiterer Abfallströme wie Klärschlämme oder organische Abfälle aus der Industrie müssen geprüft und ausgeschöpft werden. Das energetische Potenzial des Klärschlammes sollte im Rahmen einer (Co-)Vergärung genutzt werden. Die landwirtschaftliche Ausbringung von Klärschlamm ist aufgrund der Schadstoffgehalte im Schlamm (Schwermetalle, Biozide, Mikroplastik, etc.) ökologisch stark risikobehaftet, weshalb eine Verbrennung des Klärschlammes, mit vor- oder nachgeschalteter Phosphorrückgewinnung, sinnvoll erscheint.

Schnittgut aus der Straßenpflege

Schnittgut aus der Straßenpflege sollte energetisch verwertet werden, wobei auf eine tierschonende Mahd zu achten ist. Das Schnittgut auf den Flächen zu belassen (mulchen) ist mit negativen Auswirkungen auf Tiere und Pflanzen verbunden. Die Verpilzung und Verschattung unter der Mulchdecke schaffen ein ungünstiges Milieu u.a. für Insektenlarven. Die Mulchschicht schafft Verfilzungen und damit Lichtmangel für Rosetten-Pflanzen. Auch führt sie zum Verlust der Keimfähigkeit von Lichtkeimern, zu denen viele Blütenpflanzen gehören. Die mit dem Mulchen verbundene Nährstoffakkumulation auf der Fläche zerstört den Lebensraum vieler Blütenpflanzen, die eher magere Bedingungen benötigen.

Fazit

Biomasse aus der Abfallsammlung kann zunächst energetisch (Vergärung) sowie anschließend stofflich (Kompostierung) genutzt werden. Angesichts des noch immer hohen Anteils an Bioabfällen im Restmüll besteht großes Steigerungspotenzial für die getrennte Sammlung über die Biotonne. Die Beseitigung von Hürden für die Verwertung von Schnittgut aus der Straßenpflege, beispielsweise die Einstufung des Schnittguts von Feldrainen als Abfall, dessen Verwertung mit hohen Anforderungen verbunden ist, schafft zusätzliches Biomassepotenzial.

Importierte Biomasse

Der hohe Bedarf an Bioenergie hat die Nachfrage an Ressourcen weltweit wachsen lassen, doch der Import von Biomasse ist nur eine Verlagerung der Probleme in andere Länder. Weltweit werden für die Produktion von Pellets Wälder abgeholzt, selbst vor Naturschutzgebieten wird kein Halt gemacht (siehe hierzu The Guardian, 2021). Durch die Holzverfeuerung in Großkraftwerken, beispielsweise in ehemaligen Kohlekraftwerken, erhöht sich der weltweite Druck auf die Wälder noch weiter. Der Bedarf an Pellets für ein einziges Kraftwerk könnte dabei so hoch wie die gesamte bisherige Pellet-Produktion in Deutschland sein. Diese Entwicklung muss gestoppt werden.

Biomasseimporte verlagern die Natur- und Umweltprobleme in andere Länder

Auch der Import von Biomasse aus Mono- und Intensivkulturen, beispielsweise Palmöl und Soja, ist mit Umweltproblemen in großem Ausmaß verbunden. Indonesien holzt große Teile seiner Regenwälder und Moorflächen ab oder legt sie trocken, um darauf Palmöl zu kultivieren und setzt dabei ungeheure Mengen Kohlendioxid frei, die im Boden und in den Pflanzen gebunden sind. Mit den Wäldern und Mooren verschwindet eine einzigartige Pflanzen- und Tierwelt unwiederbringlich. Daher sollte aus Sicht von Natur- und Umweltschutz der Import von Palmöl und Soja für Bioenergie umgehend unterbunden werden.

Dies gilt auch für den Import von Reststoffen wie gebrauchtem Speiseöl (Used Cooking Oil – UCO) in großem Stil. Da die Emissionseinsparung durch die Gesetzgebung mehrfachgezählt wird, ist die Nachfragerstark angestiegen, was zu Verdachtsfällen von Betrugsdelikten in großem Maßstab geführt hat (Deutscher Bundestag, 2023, Euractiv, 2019). So konnte vielerorts nachgewiesen werden, dass reines Palmöl in großem Umfang als UCO deklariert worden ist. Da eine lückenlose Überwachung nicht realisierbar ist, ist der Import von vermeintlichen Abfällen wie UCO im großen Stil aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes abzulehnen.

Der Import von Abfällen hingegen kann für die Herkunftsländer vorteilhaft sein, wenn sie keine Kapazitäten der stofflichen oder energetischen Verwertung haben. Dieser Anwendungsfall wird jedoch mit fortschreitendem Ersatz fossiler Kohlenstoffquellen an Bedeutung verlieren. Aufgrund der unterschiedlichen Bedingungen in den Herkunftsländern sollten Risiken und Chancen für jeden Einzelfall geprüft und abgewogen werden.

Fazit

Prinzipiell gilt, dass ein ökologisch nachhaltiges Energiesystem nicht auf dem Import von Biomasse basieren sollte, da die negativen Auswirkungen auf Natur und Umwelt schwer nachvollziehbar und überwachbar sind. Auch die Zertifizierung ist keine Garantie für eine nachhaltige Biomassebereitstellung.

Energetisches Biomassepotenzial – zusammenfassender Überblick

Werden die Anforderungen des Natur- und Umweltschutzes berücksichtigt, sind die Biomassepotentiale begrenzt. Bioenergie aus Intensivkulturen sowie Holzbiomasse aus dem Wald, ist keinesfalls im Einklang mit einer nachhaltigen naturverträglichen Biomasseverwendung. Die untenstehende Tabelle gibt einen Überblick über die energetischen Biomassepotentiale und welche Bedingungen des Naturschutzes daran geknüpft sind.

Tab.: Potentiale und Bedingungen der energetischen Nutzung von Biomasse

Energetisch verfügbare Biomasse	Bedingungen
Biomasse aus der Landwirtschaft	
Mischkulturen, mehrjährige Blühkulturen	<ul style="list-style-type: none"> nur, wenn die Flächen aufgewertet werden 10% ungenutzte Flächen bereitstellen
Untersaaten / Zwischenfrüchte	<ul style="list-style-type: none"> Humusaufbau muss gewährleistet sein

	<ul style="list-style-type: none"> • Anderwärtige Verwertungen zur stofflichen Nutzung oder Fütterung müssen ausgeschlossen werden
Biomasse von Moorstandorten	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Biomassenutzung aus Landwirtschaft auf entwässerten Mooren • Biomasse aus Paludikulturen kann genutzt werden, stoffliche Nutzung ist vorzuziehen, nur lokale energetische Nutzung überschüssiger Mengen
Biomasse aus Agroforstsystemen	<ul style="list-style-type: none"> • Als Strukturelement eines Agroforstsystems • Als Element eines Biotopverbundsystems • Keine großflächigen Energieholz-Plantagen • Nur wenn keine Gefährdung von Offenlandarten besteht
Nebenprodukte aus der Viehhaltung	<ul style="list-style-type: none"> • Gülle, Jauche, wenn es nicht mit einer Aufstockung des Viehbestandes einhergeht und aus flächengebundener Tierhaltung stammt • Keine Ausbringung belasteter Gärreste auf den Acker • Düngung muss an die Nährstoffbedarfe der Pflanze angepasst sein
Ernterückstände aus dem Ackerbau	<ul style="list-style-type: none"> • Stoffliche Nutzung ist vorzuziehen (max. 20% dürfen entnommen werden) • Energetische Nutzung nur, wenn Humusbildung gewährleistet ist • Gärreste müssen auf dem Acker ausgebracht werden
Schnittgut von Brachen und Blühflächen	<ul style="list-style-type: none"> • Mahd erst ab dem 01.09 • mindestens 30% des Aufwuchses nicht mähen
Grünland	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Konkurrenz zu extensiver Beweidung und Futtermittel • Max. zweischürige Mahd • Ruheintervall von mindestens acht Wochen
Schnittgut aus der Landschaftspflege	<ul style="list-style-type: none"> • Vorrang der Nutzung durch Beweidung und Futtergewinnung bzw. stoffliche Nutzung • Zeitpunkt und Häufigkeit der Mahd muss am Schutzziel ausgerichtet sein • Max. zweischürige Mahd
Holzbiomasse	
Holzernte-Restholz	<ul style="list-style-type: none"> • Ausreichende Mengen müssen im Wald verbleiben • Nur lokale Nutzung feiner Zweige, Rinde
Reststoffe aus der Holzindustrie	<ul style="list-style-type: none"> • Nur Stoffe, die nicht mehr stofflich verwertet werden können
Bioabfälle	
Bioabfälle aus dem Haushalt	<ul style="list-style-type: none"> • Getrennsammeln ist erforderlich (Biotonne)
Bioabfälle aus Gewerbe und Handel	<ul style="list-style-type: none"> • Getrennsammeln erforderlich • Verpackungen müssen entfernt werden
Importierte Bioabfälle	<ul style="list-style-type: none"> • Nur wenn die Abfälle nicht im Herkunftsland verwertet werden können • Eine Einzelfallprüfung ist erforderlich
Grüngut aus Garten und Park	<ul style="list-style-type: none"> • Nur überschüssige Mengen, ansonsten kompostieren
Schnittgut aus der Straßenpflege	<ul style="list-style-type: none"> • Schnittgut von landwirtschaftlichen Wirtschaftswegen nicht in Bioabfallvergarungsanlagen, wenn möglich

Schlussfolgerungen

Naturschutz und Klimaschutz zusammendenken: Naturschutz ist Klimaschutz – auf die Wechselwirkungen weisen der Weltbiodiversitätsrat und der Weltklimarat hin. Die natürlichen Ressourcen müssen bewahrt und verbessert werden. Diesem Grundsatz sollte sich jegliche Biomassenutzung unterordnen.

Effizienter Umgang mit den Ressourcen: Die Biomassepotentiale sind begrenzt und erfordern eine schonende Verwendung. Die Einsparung von Ressourcen und Energie steht an oberster Stelle. Zudem sind eine funktionierende Kreislaufwirtschaft und Kaskadennutzung notwendig, um die wertvolle Ressource Biomasse optimal auszuschöpfen.

Nachhaltige Biomassenutzung im Einklang mit Natur- und Umweltschutz: Es gibt Synergien zwischen Naturschutz und Biomassenutzung, beispielsweise die Verwertung des Mahdguts von Naturschutzflächen. Die Bioenergiepolitik sollte sich auf diese Nutzungsoptionen fokussieren. Biomassenutzungen, die im Konflikt mit Naturschutz und somit Klimaschutz stehen, dürfen nicht gefördert werden.

Abkürzungsverzeichnis

BECCS – BioEnergy Capture and Storage / Abscheidung und Speicherung von CO₂ aus Bioenergie

EEG – Erneuerbare-Energien-Gesetz

iLUC – *indirect Land Use Changes* / indirekte Landnutzungsänderungen

RED – *Renewable Energy Directive* (EU) / Erneuerbare-Energien-Richtlinie

UCO – *Used Cooking Oil* / gebrauchtes Speiseöl

Literatur / Quellenangaben

Aebischer & Ewald (2004), Managing the UK Grey Partridge *Perdix perdix* recovery: population change, reproduction, habitat and shooting IBIS – International journal of avian science, 146 (2) 181 - 191 (<https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2004.00345.x>)

BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2021): Waldbericht der Bundesregierung 2021.

Deutscher Bundestag (2023): Möglicherweise gefälschte Zertifikate für fortschrittliche Biokraftstoffe. – Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Fraktion der CDU/CSU – Drucksache 20/7103.

Euractiv (2019): Industry source: one third of used cooking oil in Europe is fraudulent. - <https://www.euractiv.com/section/all/news/industry-source-one-third-of-used-cooking-oil-in-europe-is-fraudulent/>

Gómez et al. (2006): „IPCC uidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Chapter 2“, 2006. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf.

Greenpeace (2019): Waldkrise In Deutschland – Lösungen

Hararuk, O., Kurz, W. A. & Didion, M. (2020): Dynamics of dead wood decay in Swiss forests. *For. Ecosyst.* 7, 36 (2020). doi.org/10.1186/s40663-020-00248-x

IPBES-IPCC (2021): Co-sponsored workshop biodiversity and climate change - scientific outcome

Mechtry-Stier et al., (2014) Impact of landscape improvement by agri-environment scheme options on densities of characteristic farmland bird species and brown hare (*Lepus europaeus*) *Agriculture, Ecosystems & Environment* 189, 101-109 (<https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.038>)

Oppermann et al. (2020): Sicherung der Biodiversität in der Agrarlandschaft, Institut für Agrarökologie und Biodiversität (IFAB)

The Guardian (2021): Carbon-neutrality is a fairy tale': how the race for renewables is burning Europe's forests. <https://www.theguardian.com/world/2021/jan/14/carbon-neutrality-is-a-fairy-tale-how-the-race-for-renewables-is-burning-europes-forests>.

UBA (2015): Umweltprobleme der Landwirtschaft - eine Bilanz, Texte 28/2015.

UBA (2017)a: Biomassekaskaden: Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis (Kurzfassung).

UBA (2017)b: Biomassekaskaden: Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis (Langfassung).

UBA (2018): Umwelt und Landwirtschaft – Daten zur Umwelt.

UStG (2021): Umsatzsteuergesetz. - https://www.gesetze-im-internet.de/ustg_1980/UStG.pdf.

Wahdan, S.F.M., Hossen, S., Tanunchai, B., Sansupa, C., Schädler, M., Noll, M., Dawoud, T.M., Wu, Y.T., Buscot, F., Purahong, T. (2021): Life in the wheat litter: Effects of future climate on microbiome and function during the early phase of decomposition. *Microbial Ecology*, in press.

WWF (2007): Methan und Lachgas - Die vergessenen Klimagase. – Kurzfassung.