

## Verfügbarkeiten von Biomasse

Datenlage zu aktueller Biomassenutzung und unerschlossenen Potenzialen

## Biomasse als Erneuerbare Energie

Biomasse ergänzend zur Dekarbonisierung der Wärme und des Stroms

## Kohlenstoffbedarfe in der Industrie

Biomasse als Ersatz für fossile Kohlenstoffquellen in der Produktion



# Nachhaltiger Einsatz von Biomasse

Die Rolle von Biomasse in der Energiewende  
und in einer klimaneutralen Industrie

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Hintergrund</b>	<b>5</b>
	1.1 Motivation	5
	1.2  Biomassearten	6
	1.3 Biomasse im Spannungsfeld der Sustainable Development Goals	8
	1.4 Politische Prozesse	9
<b>2</b>	<b>Verfügbarkeit von Biomasse</b>	<b>12</b>
	2.1 Verfügbarkeit in Deutschland	12
	2.2 Verfügbarkeit in NRW	15
	2.3 Import und Export	17

<b>3</b>	<b>Einsatzfelder für Biomasse</b>	<b>19</b>
	3.1 Strukturelle Nutzung	20
	3.2 (Roh-)Stoffliche Nutzung	21
	3.3 Energetische Nutzung	28
	3.4 Technologische Möglichkeiten für negative Emissionen	36
	3.5 Ausblick zur zukünftigen Biomassenutzung	36
<b>4</b>	<b>Empfehlungen zur Biomassenutzung</b>	<b>39</b>
	4.1 Anwendungsbezogene Priorisierung	41
	4.2 Priorisierung nach Art der Biomasse	43
	4.3 Kaskaden- und Koppelnutzung	43
<b>5</b>	<b>Forderungen</b>	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>48</b>

# Unsere Kernbotschaften

- **Nachhaltige Biomasse ist eine begrenzte Ressource**, demgegenüber die möglichen Anwendungs- und Einsatzfelder und folglich die Nachfrage nach biogenen Rohstoffen schnell wachsen.
- **Die Nutzung von Biomasse ist nicht per se CO<sub>2</sub>-neutral.**
- Die verfügbare Biomasse reicht nicht aus, um alle Anwendungsfelder zu bedienen und gleichzeitig Anwendungen fossiler Rohstoffe durch den Einsatz von Biomasse zu defossilisieren. Deshalb muss der **Biomasseeinsatz priorisiert und strategisch** erfolgen. Eine Orientierung kann hier die in [Abbildung 8](#) vorgestellte „**Biomasse-Nutzungshierarchie**“ geben.
- Es besteht sowohl der Bedarf **ungenutzte Biomasse in Analysen mit einzubeziehen** als auch der Bedarf einer **Aktualisierung der Daten**, um heutige und zukünftige Biomassepotenziale zur Nutzung in allen Sektoren einschätzen zu können.
- Ergänzend zur herkömmlichen strukturellen beziehungsweise stofflichen Nutzung von Biomassen als erneuerbarer Grundstoff für langlebige Industriegüter oder als Baumaterial muss insbesondere eine **verstärkte Berücksichtigung der industriellen stofflichen Nutzung von Biomassen** beziehungsweise von biogenem Kohlenstoff in aktuell neu und auch vermehrt aufkommenden Pfaden, wie in der Chemiebranche und der Metallurgie, **in Szenarien und Prognosen** erfolgen. Anwendungen, die dekarbonisierbar sind, sollten nach Möglichkeit langfristig auch **dekarbonisiert** werden und der Biomasseeinsatz dort vermieden werden.
- Eine mehrstufige **Kaskadennutzung** von Biomasse ist zur Erhöhung der Material- und Energieeffizienz der einfachen und einmaligen Nutzung vorzuziehen.
- Anwendungen, die eine Koppelnutzung von Biomasse ermöglichen, sind zu bevorzugen.
- Für die stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse müssen die **Potenziale biogener Rest- und Abfallstoffe** erschlossen und Hürden abgeschafft werden.
- **Gezielte Förderungen** sollten die Bereitstellung sowie die Nutzung von Biomasse in zukunftsfähigen Einsatzfeldern systematisch vorantreiben. Fehlansätze und Investitionen in langfristig nicht systemdienlichen Einsatzbereichen müssen vermieden und entsprechende existierende Förderungen angepasst werden.
- Die neuen gesetzlichen Rahmenbedingungen, die sich aus der Umsetzung der RED II ergeben, bieten neue **Geschäftsmodelle außerhalb des EEG**. Diese gilt es zu entwickeln und so die effizienzoptimierte – energetische und stoffliche – Verwendung von Biomasse langfristig zu etablieren.



# 1 Hintergrund

## 1.1 Motivation

Zum Erreichen der globalen Klimaziele und zur Reduzierung fossiler Treibhausgasemissionen spielt Biomasse aufgrund ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten als Rohstoff sowie erneuerbarer Energieträger eine wichtige Rolle. Biomasse ist eine potenzielle nachhaltige Kohlenstoffquelle, zum Beispiel für den benötigten Kohlenstoff in der Metallerzeugung oder als Rohstoff für chemische Prozesse (IN4climate.NRW 2021a). Sie ist aber auch ein möglicher Brennstoff beispielsweise zur Prozesswärmebereitstellung für die wärmeintensive Industrie (IN4climate.NRW 2021b). Neben der (roh-)stofflichen und energetischen Nutzung wird Biomasse außerdem strukturell, wie als Baustoff oder in der Papierherstellung, eingesetzt.

In diesem Zusammenhang wird übergreifend auch der Begriff der Bioökonomie verwendet. Er beschreibt die nachhaltige Nutzung von Ressourcen, die Substitution von fossilen durch biologische Rohstoffe, die Nutzung von Reststoffen oder Nebenproduktströmen und den Einsatz von biotechnologischen Prozessen (Dialogplattform Industrielle Bioökonomie 2021). Die industrielle Bioökonomie wird dabei als Grundlage dafür angesehen, „dass die Industrie ihre Wettbewerbsfähigkeit steigern und gleichzeitig die ambitionierten Klimaschutzziele und weiteren Nachhaltigkeitsziele bis 2030 und darüber hinaus einhalten kann.“ (ebd.)

Biomasse hat viele Vorteile: Sie ist nachwachsend und somit regenerativ. Darüber hinaus ist sie vielseitig einsetzbar, gut lager- und speicherbar sowie in der Regel gut transportierbar. Biomasse wird zudem im Allgemeinen als „CO<sub>2</sub>-neutral“ angesehen (in [Kapitel 1.3](#) dieses Papiers wird dies genauer diskutiert). Im energetischen Kontext ist sie darüber hinaus keinen witterungsabhängigen Fluktuationen unterlegen, wie Wind- und Solarenergie. Im Jahr 2021 lieferte Biomasse (inkl. Nutzung biogener Abfälle) 9,7 Prozent des deutschen Primärenergiebedarfs und stellte mit 61 Prozent den größten Anteil innerhalb der Erneuerbaren Energien (FNR 2022a).

Allerdings ist die Verfügbarkeit von Biomasse beschränkt. Anbau- und Nutzflächen für landwirtschaftliche Erzeugnisse, Energiepflanzen, Waldgebiete etc. sind begrenzt. Die Flächennutzung in Deutschland (Gesamtfläche circa 35,8 Mio. Hektar) setzte sich 2020 aus 21,8 Prozent Siedlungs-, Verkehrs- und Wasserfläche sowie Unland<sup>1</sup>, 31,8 Prozent Waldfläche und 46,4 Prozent landwirtschaftlicher Nutzfläche zusammen (FNR 2022a). Von der landwirtschaftlichen Nutzfläche wurden circa 60 Prozent für Futtermittel, 22 Prozent für Nahrungsmittel und 16 Prozent für Energie- und Industriepflanzen beziehungsweise nachwachsende Rohstoffe (NawaRo)<sup>2</sup> verwendet (die verbleibenden zwei Prozent umfassen Brache und stillgelegtes Land). Es ist nicht zu erwarten, dass zukünftig mehr Flächen für den Anbau von Biomasse zur Verfügung stehen werden, insbesondere nach der Ankündigung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz zunehmend Flächen wie Moore zur dauerhaften Kohlenstoffbindung vorzusehen (BMUV 2022).

Nicht alle denkbaren Anwendungsfelder werden sich deshalb zukünftig durch nachhaltige Biomasse und biogenen Kohlenstoff decken lassen. Aus diesem Grund muss eine **Strategie zur effizientesten Verwendung von Biomassen** erarbeitet werden, die unter anderem einen **priorisierten Einsatz von verfügbarer Biomasse** vorsieht.

Das Ziel dieses Papiers ist es daher, grundsätzlich für diese Thematik zu sensibilisieren und gleichzeitig über sinnvolle Anwendungen von Biomasse – insbesondere auch in Zukunft – zu informieren. Das Papier dient darüber hinaus als Hilfestellung und Entscheidungsgrundlage beispielsweise im Rahmen der Ausarbeitung einer nationalen Biomassestrategie. Der Fokus des Papiers liegt dabei auf der strukturellen Nutzung (wie bei Papier und Baumaterialien), der stofflichen Nutzung in der Industrie (beispielsweise als biogene Kohlenstoffquelle zur Herstellung von Grundchemikalien und in der Metallurgie) und der energetischen Nutzung (Strom, Wärme oder Kraftstoff) von Biomasse. Das Papier blickt nicht auf den Verzehr oder Verbrauch zur Ernährungssicherung, und damit auch nicht auf die Lebens- und Futtermittelherstellung und dem damit verbundenen (landwirtschaftlichen) Biomasseinsatz, wobei diese Branchen im Allgemeinen selbstverständlich in Betrachtungen und Diskussionen (Stichworte bspw.: Ernährungssicherheit, Biodiversität, Flächenkonkurrenz: „Teller vs. Tank“) berücksichtigt werden müssen und oberste Priorität in der Nutzung entsprechender Biomassen haben. Aus der energiewirtschaftlichen und industriellen Perspektive sind die energetische und/oder stoffliche Nutzung von Abprodukten aus diesen Branchen für dieses Papier relevant.

## 1.2 Biomassearten

Unter dem Begriff Biomasse werden je nach Kontext unterschiedliche Stoffe organischer – und somit kohlenstoffhaltiger – Materie verstanden. Demnach kann Biomasse die in der Natur lebenden Pflanzen und Tiere (Phyto- und Zoomasse), daraus resultierende Rückstände, wie tierische Exkremente, und abgestorbene, jedoch nicht fossile, Phyto- und Zoomasse (wie Gülle oder Laub) umfassen. Darüber hinaus können ebenfalls alle durch eine technische Umwandlung und/oder eine stoffliche Nutzung entstandenen biogenen Stoffe unter Biomasse aufgefasst werden (Kaltschmitt et al. 2016). Dazu zählen zum Beispiel biogene Abfall- und Reststoffe, Biokohlen ([siehe Infobox auf S. 27](#)) und Pflanzenöle.

---

1 „Unland“ meint unbebaute Flächen, die land- und forstwirtschaftlich nicht genutzt werden, wie bspw. Dünen, Felsen, größere Böschungen etc., und die aus ökonomischer Sicht aufgrund ihrer Beschaffenheit nur ungenügend nutzbar sind.

2 „Industriepflanzen“ umfassen hier alle pflanzlichen Erzeugnisse zur Herstellung von Industriestärke und -zucker, Pflanzenfasern, Arznei- und Färbestoffe sowie technisches Raps-, Sonnenblumen- und Leinöl. Unter „Energiepflanzen“ **verstehen sich** neben Raps, der zur Biodiesel-/Pflanzenölproduktion verwendet wird, alle Pflanzen, die zur Bioethanol-, Biogas- und Festbrennstoffherzeugung genutzt werden. Zusammenfassend werden Energie- und Industriepflanzen bzw. land- und forstwirtschaftlich erzeugte Produkte, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel Verwendung finden, sondern stofflich oder energetisch genutzt werden, als nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) bezeichnet (FNR 2022a).

Einsatzfelder für Biomasse umfassen unter anderem die

- **strukturelle Nutzung** in Textilien, Papier, Möbel und Baumaterialien
- **(roh-)stoffliche Nutzung** in der Lebensmittelindustrie, als Kohlenstoffquelle bspw. in der Chemiebranche oder der Metallurgie und als Wirtschaftsdünger<sup>3</sup> in der Landwirtschaft
- **energetische Nutzung** zur Bereitstellung von Strom, Wärme und/oder Kraft

Im energetischen Kontext meint Biomasse vor allem Materie organischer Herkunft, die unmittelbar als Energiequelle oder nach Einsatz in Konversionsanlagen als Energieträger genutzt werden kann. Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie 2009/28/EG der EU definiert Biomasse dazu als „den biologisch abbaubaren Teil von Erzeugnissen, Abfällen und Reststoffen der Landwirtschaft mit biologischem Ursprung (einschließlich pflanzlicher und tierischer Stoffe), der Forstwirtschaft und damit verbundener Wirtschaftszweige einschließlich der Fischerei und der Aquakultur sowie den biologisch abbaubaren Teil von Abfällen aus Industrie und Haushalten“ (EU 2009).

[Abbildung 1](#) gibt einen Überblick über typische Biomassearten sowie typische Konversions- und Nutzungspfade. Die in diesem Papier betrachteten biogenen Stoffe umfassen demnach primär Anbaubiomassen, aus deren Verarbeitung resultierende Nebenprodukte und Rückstände sowie tierische Exkremente und Abfall- und Reststoffe. Anbaubiomassen werden insbesondere im energetischen Kontext auch als nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) bezeichnet und umfassen aus der Land- und Forstwirtschaft stammende Rohstoffe, die zielgerichtet für energetische oder stoffliche Anwendungszwecke außerhalb der Nahrungs- und Futtermittelindustrie eingesetzt werden (siehe auch [Fußnote 2](#)).

Nach der Produktion – beziehungsweise im Falle von organischen Abfällen oder Rückständen nach der Verfügbarmachung – von Biomasse durchläuft diese in der Regel diverse Transport-, Lagerungs- und (mechanische) Vorbehandlungsschritte, wie eine Zerkleinerung und Verdichtung. Die so verfügbare Biomasse kann anschließend auf verschiedenen Wegen und durch zahlreiche Optionen und Möglichkeiten zur gewünschten Nutzung oder zum gewünschten Endenergieträger umgewandelt werden.

Neben der direkten Nutzung von fester Biomasse ist es für viele Anwendungen sinnvoll und teilweise notwendig, zunächst die Herstellung von flüssigen, gasförmigen oder anderen festen Zwischenprodukten beziehungsweise Sekundärenergieträgern aus der verfügbaren Biomasse voranzustellen. Dazu stehen diverse Umwandlungsverfahren zur Verfügung, welche sich gemäß Kaltschmitt et al. (2020) wie folgt klassifizieren lassen:

- thermo-chemische Umwandlung
- physikalisch-chemische Umwandlung
- bio-chemische Umwandlung

Die Wahl des Umwandlungsverfahrens kann dabei auf einem oder mehreren der folgenden Kriterien basieren: Energiedichte, Handhabung, Speicher- und Transporteigenschaften, Umweltverträglichkeit der energetischen Nutzung, Potenzial zur Substitution fossiler Energieträger, Verwertbarkeit von anfallenden Rückständen, Nebenprodukten oder Abfällen (Kaltschmitt et al. 2020) oder dem vorgesehenen Einsatzzweck. Endenergieträger können dann fest (z. B. Holzpellets, Biokohle), flüssig (z. B. Bioethanol, Rapsöl) oder gasförmig (z. B. Biogas, Biomethan) sein, wobei Biomasse (und Bioenergieträger) je nach Nutzungspfad auch mehrmals ihren Aggregatzustand wechseln oder Mischzustände aufweisen kann (z. B. Gülle, Klärschlamm).

---

3 Wirtschaftsdünger meint organische Substanzen, die im Agrarsektor anfallen und vorwiegend als Düngemittel verwendet werden. Zu den Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft zählen vor allem Gülle, Jauche und Mist, während Stroh, Futterreste, Rindenmulch und sonstige Pflanzenrückstände zu den pflanzlichen Wirtschaftsdüngern zählen. Auch der nach Vergärung in einer Biogasanlage anfallende Gärrest ist den Wirtschaftsdüngern zuzuordnen.

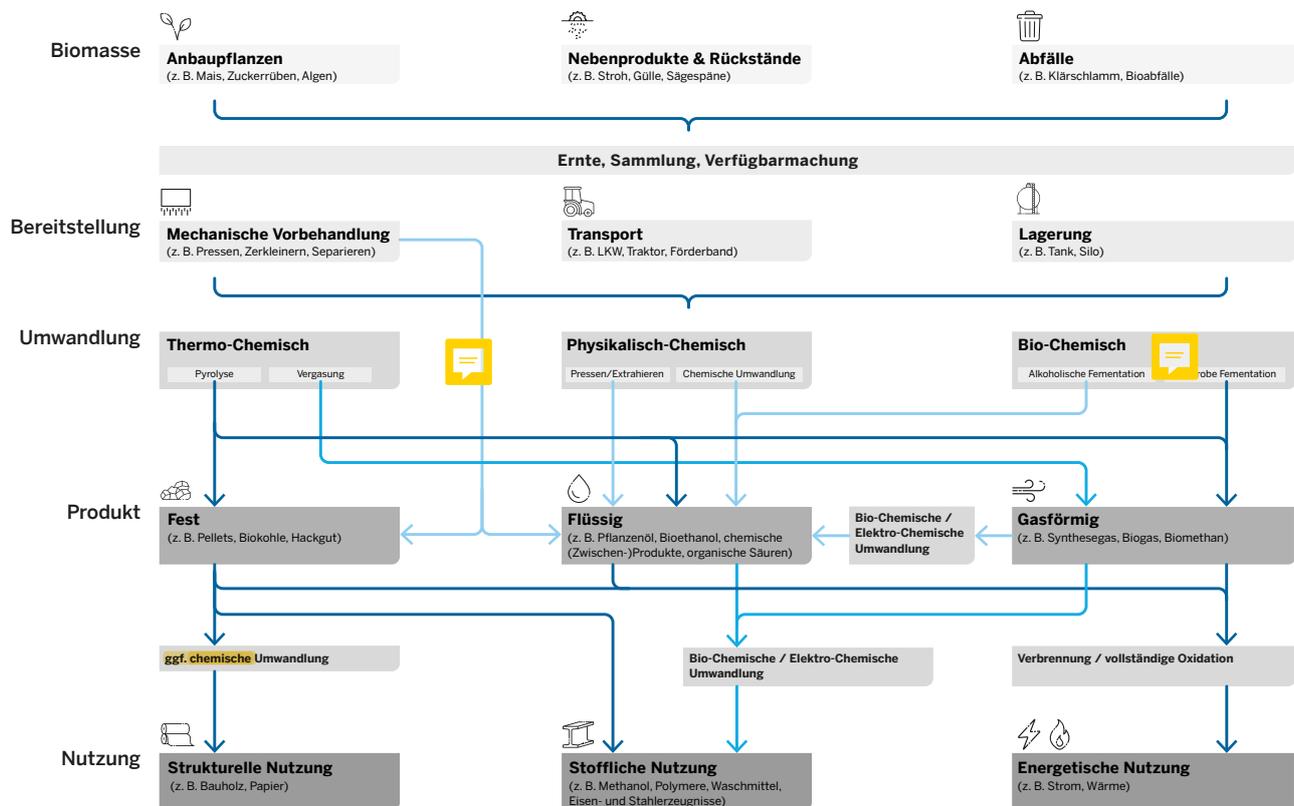


Abbildung 1: Biomassearten sowie typische Konversions- und Nutzungspfade (auf Basis von Kaltschmitt et al. (2016))

Weitere Informationen sowie technische, ökologische und ökonomische Details zu den aufgezeigten Umwandlungspfaden können in entsprechender Fachliteratur nachgeschlagen werden. Weitere Details und Informationen zur energetischen, strukturellen und (roh-)stofflichen Nutzung von Biomasse finden sich in [Kapitel 3](#).

### 1.3 Biomasse im Spannungsfeld der Sustainable Development Goals

Auf den ersten Blick handelt es sich bei Biomasse um einen nachwachsenden Rohstoff, der sowohl stofflich als auch energetisch CO<sub>2</sub>-neutral genutzt werden kann. Treibhausgas- beziehungsweise Klimaneutralität wird

jedoch durch die Nutzung von Biomasse nur schwerlich erreicht. Denn neben den durch den Transport entstehenden Emissionen müssen auch die Emissionen von beispielsweise Methan und Lachgas aus den Lieferketten, dem Anbau und der Verfügbarmachung berücksichtigt werden.

Der Wald kann zudem nur als CO<sub>2</sub>-Senke fungieren, wenn es Nettozuwächse bei der Biomasseproduktion gibt, das heißt es muss mehr CO<sub>2</sub> in Form von Biomasse gebunden werden, als durch den Holzeinschlag und die nicht stoffliche Nutzung des Holzes freigesetzt wurde (Hünecke et al. 2022). Bezogen auf die Periode 2012–2017 hat der Wald in Deutschland die Atmosphäre jährlich um rund 57 Mio. Tonnen Kohlendioxid entlastet (Riedel et al. 2019), wodurch circa sechs Prozent der nationalen CO<sub>2</sub>-Emissionen gebunden wurden (Hünecke et al. 2022). Der deutsche Wald wirkt aktuell also als CO<sub>2</sub>-Senke. Eine Analyse von Waldbewirtschaftungsszenarien zeigt jedoch, dass eine erhöhte Intensität der Waldbe-

wirtschaftung die Kohlenstoffspeicherung im Wald kurz-, mittel- und langfristig mindert (Soimakallio et al. 2022).

Der Erhalt von Wäldern, die Wiederaufforstung und eine stärkere Begrünung urbaner Regionen trägt zur Verbesserung der Boden- und Luftqualität oder auch zum Erosionsschutz bei Starkregenereignissen bei. Darüber hinaus haben sie einen klimatisierenden Effekt und spenden Schatten, was besonders vor dem Hintergrund zunehmender Hitzeperioden eine wichtige Rolle zur Klimaanpassung spielt. Da die Anbauflächen insgesamt begrenzt sind, tritt der Anbau von Biomasse zur Nutzung als Rohstoff also nicht nur in Konkurrenz mit der Lebensmittelproduktion, sondern steht auch in Konflikt mit der Klimaanpassung, der Biodiversität des Pflanzen- und Tierreichs sowie dem Lebensraum für den Menschen.

Um also eine gesamtsystemische Bewertung auch vor dem Hintergrund der Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen gerecht zu werden, müssen neben der Treibhausgas-Einsparung durch die Substitution von fossilen Rohstoffen auch die „Carbon payback time“<sup>4</sup> und CO<sub>2</sub>-Opportunitätskosten<sup>5</sup> berücksichtigt werden. Beide haben einen starken Einfluss auf die Klimabilanz und Ökosystemdienstleistung, werden jedoch häufig nicht mitdiskutiert (Bioökonomierat 2022, Fehrenbach und Bürck 2022).

## 1.4 Politische Prozesse

Die Nutzung von Biomasse ist vor dem Hintergrund der globalen Klimaziele, der damit einhergehenden Reduzierung fossiler Treibhausgasemissionen und insbesondere seit den aktuellen Entwicklungen am Energiemarkt vermehrt Gegenstand von politischen Diskussionen und Prozessen.

Mit der **Renewable Energy Directive II (RED II 2018)**, einer Novellierung der Erneuerbaren-Energien-Richt-

linie 2018/2001/EU, die auch mit der **Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV)** und der **Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV)** ins nationale Recht umgesetzt wurde, werden die Umwelt- und Klimaschutzleistungen von Biomasse adressiert. Konkret werden mit der RED II unter anderem Unterquoten für fortschrittliche Kraftstoffe ebenso wie die Obergrenze für die Verwendung konventioneller Biokraftstoffe eingeführt. Die Unterquoten zielen darauf ab, der sogenannten indirekten Landnutzungsänderungen<sup>6</sup> (kurz: ILUC, aus dem Englischen „indirect land use change“) entgegenzuwirken (Generalzolldirektion 2022). Demnach wird somit nicht nur der direkte Einfluss vom Anbau der Energiepflanzen auf die Nachhaltigkeit untersucht, sondern die gesamte Wertschöpfungskette zertifiziert. Diese Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Biomasse werden auf nationaler Ebene in den Paragraphen 4 bis 6 der BioSt-NachV definiert. Demnach darf nachhaltige Biomasse nicht auf Flächen mit hohem Naturschutzwert oder auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand angebaut werden oder von Torfmooren stammen. Der Nachweis der Stromproduktion aus nachhaltiger Biomasse wird für manche Anlagenbetreiber zum 1.1.2023 zur Voraussetzung, um weiterhin die EEG-Vergütung beziehen zu können.

Mit der **RED III**, die sich zurzeit in der Abstimmung im Europäischen Parlament befindet und voraussichtlich bis Ende des Jahres 2024 von den Mitgliedsstaaten ins nationale Recht überführt werden soll, werden die Ziele für die Nutzung von Erneuerbaren Energien, die verstärkte Integration der Energiesysteme aber auch den Klima- und Umweltschutz sowie den Schutz der Biodiversität angehoben und präzisiert (Ganssaue und Kasimir 2022).

Im **REPowerEU-Plan** (Europäische Kommission 2022) zur Umgestaltung des europäischen Energiesystems werden auch die Nutzungspfade für Biomasse vorge-

4 Die Carbon **payback time** beschreibt die Zeit, die benötigt wird, um die bei der Verbrennung von Biomasse freigesetzte Kohlendioxidmenge wieder neu zu binden (Bioökonomierat 2022).

5 Die CO<sub>2</sub>-Opportunitätskosten stellen die mittlere jährliche Kohlenstoffbindung dar, die durch die Regeneration der Vegetation der für die Produktion von Anbaubiomassee-Produkten verwendeten Fläche potenziell möglich wäre (Fehrenbach und Bürck 2022).

6 Während direkte Landnutzungsänderung die unmittelbare Umnutzung einer Fläche meint (Beispiel: Umbruchvorgänge von Waldflächen zum Raps-Anbau zur Biodieselproduktion), umfasst eine indirekte Landnutzungsänderung die Umnutzung von natürlichen Flächen (z. B. Wälder) in landwirtschaftliche Nutzflächen zur Produktion von Nahrungsmitteln, die an anderer Stelle bereits für den Anbau von Biomasse zur Energiebereitstellung oder zur stofflichen Nutzung verdrängt wurden (EnArgus 2022). Bei der indirekten Landnutzungsänderung kann es somit passieren, dass der Anbau von NawaRos auf zertifizierten Flächen zum ausweichenden Anbau von Nahrungsmittelpflanzen auf anderen ökologisch wertvollen Flächen führt.

schlagen. Vor allem als Reaktion auf die geringere Verfügbarkeit von fossilem Gas soll die Biomethanproduktion mit einem Biomethan-Aktionsplan in der EU bis zum Jahr 2030 von circa drei Milliarden heute auf 35 Milliarden Kubikmeter Biomethan gesteigert werden. Der Biomethan-Aktionsplan soll zum Abbau der Hemmnisse bei der Produktion und Nutzung von Biomethan mit den folgenden Maßnahmen beitragen:

- Aufbau einer industriellen Biogas- und Biomethanpartnerschaft zur Förderung der Wertschöpfungskette für erneuerbare Gase
- Ergreifung zusätzlicher Maßnahmen, um Biogasproduzenten zur Bildung von Energiegemeinschaften zu ermutigen
- Schaffung von Anreizen für die Aufbereitung von Biogas zu Biomethan
- Förderung der Anpassung und Einstellung der bestehenden und der Einführung neuer Infrastrukturen für den Transport von mehr Biomethan durch das EU-Gasnetz
- Behebung von Lücken in Forschung, Entwicklung und Innovation
- Erleichterung des Zugangs zu Finanzmitteln und Mobilisierung von EU-Mitteln im Rahmen von EU-Finanzierungsprogrammen (u.a. Kohäsionspolitik, gemeinsame Agrarpolitik)

Um die negativen Auswirkungen auf die Landnutzung und die Ernährungssicherheit zu vermeiden, soll die Produktion von Biomethan nachhaltig sein und primär auf der Nutzung von organischen Abfällen sowie forst- und landwirtschaftlichen Rückständen beruhen (Europäische Kommission 2022).

Die Nutzungskonkurrenz von Biomasse und Flächen ist ein Grund, warum der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen, konkret von Mais, für die Biogasproduktion im **Erneuerbaren-Energie-Gesetz (EEG)** beschränkt wird. Demnach dürfen die nach dem EEG 2021 genehmigten Anlagen maximal 45 Massenprozent Mais bei der Biogasproduktion einsetzen. Dieser sogenannte Maisdeckel wird voraussichtlich mit dem EEG 2023 weiter auf 30 Massenprozent gesenkt. Zudem wird im EEG 2023 das

Ausbauziel für die Biomasse im Jahr 2030 mit 8,4 Gigawatt (elektrisch) installierter Leistung angegeben. Dies entspricht ungefähr der aktuellen installierten Leistung der Biomasseanlagen. Obwohl hier keine quantitativen Ausbauziele geplant sind, ist die Haltung der Stromproduktion auf gleichbleibendem Niveau auf Grund der Nutzungskonkurrenzen ambitioniert.

Laut dem **Koalitionsvertrag 2021** möchte die Bundesregierung nach der Novellierung der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie diese technologieoffen und ambitioniert umsetzen. Auch deswegen wird weiter im Koalitionsvertrag angestrebt, der Bioenergie in Deutschland eine neue Zukunft zu bereiten, wozu eine nachhaltige Biomasse-Strategie erarbeitet werden soll. (SPD et al. 2021)

Laut dem **Netzentwicklungsplan** wird die aktuelle Erzeugungsleistung von Biomasse- und Biogasanlagen, die derzeit bei circa 8,8 Gigawatt liegt, bis zu den Jahren 2037 und 2045 durch die Scheidung von Anlagen aus dem Betrieb sowie die Verschiebung in andere Sektoren rückläufig sein. Bis zum Jahr 2037 wird von einem durchschnittlichen jährlichen Nettorückbau von rund 220 Megawatt ausgegangen und von 2037 bis 2045 von einem jährlichen Nettorückbau von 375 Megawatt (50Hertz Transmission et al. 2022). Die aktuelle elektrische installierte Leistung von Biomasseanlagen soll bis zum Jahr 2037 auf 4,5 Gigawatt und bis zum Jahr 2045 auf lediglich 2 Gigawatt sinken. Der Grund für diese Annahme ist unter anderem, dass laut dem Szenariorahmen die Biomassepotenziale bis zum Jahr 2037 nahezu aufgeschlossen werden und dadurch die Nutzungskonkurrenz verstärkt zum Tragen kommt (BNetzA 2022).

Umso wichtiger ist es, dass die energetisch eingesetzte Biomasse tatsächlich auch netzdienlich eingesetzt wird. Die Landesregierung NRW setzt sich im Zuge der **Energieversorgungsstrategie NRW** aufgrund der hohen Flexibilität von Biomasse im Bereich der Stromerzeugung dafür ein, dass der Anlagenbestand zur Stromerzeugung (einschließlich Gülleanlagen) gesichert, noch bestehende Ausbaupotenziale erschlossen und insbesondere ein flexibler Anlagenbetrieb verstärkt gefördert werden (MWIDE 2021a).

Auch der **Koalitionsvertrag der Landesregierung NRW 2022** strebt die systematische Erfassung der Potenziale und der Nutzung für die Energieerzeugung an. So soll eine Studie zu diesem Thema ausgearbeitet und veröf-

fentlich werden (CDU und BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN 2022). Weiter möchten die Regierungsparteien in NRW die Nutzungskonkurrenz der Bioenergie vermeiden und so den vermehrten Einsatz von Reststoffen, Bioabfällen und Gülle forcieren. Neben der verstärkten Nutzung von Gülle sollen auch andere Reststoffe wie biogene Feststoffe aus der Biotonne und industrielle Reststoffe erschlossen werden. Der verstärkte Einsatz von Biomechan, primär dann aus Reststoffen, sowie die Nutzung von heimischem Holz zur dezentralen Wärmeversorgung in effizienten Anlagen – welche im Koalitionsvertrag nicht näher spezifiziert sind – werden ebenfalls angestrebt. (CDU und BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN 2022)

Neben dem Fokus auf Reststoffe zur energetischen Nutzung orientieren sich die politischen Prozesse zudem auf den Ersatz der stofflich genutzten fossilen Kohlenstoffe durch alternative, beispielsweise biogene, Kohlenstoffe. Um Klimaneutralität zu erlangen, wird es entscheidend sein, nicht nur die Energieversorgung zu transformieren, sondern die gesamten Produktionsketten wo möglich zu defossilisieren. Das Land Nordrhein-Westfalen adressiert dieses Thema unter anderem in der **Carbon Management Strategie NRW**, in der ebenfalls die Ansätze des klimaneutralen Umgangs mit Kohlenstoff vorgestellt werden: Dekarbonisierung, Defossilisierung, Nutzung von Sekundärrohstoffen und Biomasse sowie Carbon Capture and X – wobei das X hier für Storage, Utilization oder Transport steht (MWIDE 2021b).

In der **nationalen Bioökonomiestrategie** stellen die Bundesministerien die Bedeutung der Bioökonomie für die nachhaltige und fossil-freie Ressourcenbasis heraus. Dabei kann die Nutzung von Biomasse jedoch nur zur Nachhaltigkeit beitragen, wenn diese unter Berücksichtigung ökologischer und ethischer Kriterien produziert und effizient eingesetzt wird. Die Grundpfeiler müssen daher die

verantwortungsvolle Erzeugung, Erschließung und Nutzung biogener Roh- und Reststoffe sein. In der nationalen Bioökonomiestrategie ist das Erkennen und Erschließen der Potenziale der Bioökonomie innerhalb der ökologischen Grenzen als ein Ziel für die Forschungsförderungen und die politische Rahmensetzung gesetzt worden (BMBF und BMEL 2020). Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz hat zur Umsetzung der nationalen Bioökonomiestrategie im Jahr 2018 die **Dialogplattform „Industrielle Bioökonomie“** eingerichtet, die sich an Industrie, Öffentlichkeit und Politik richtet. Ziel der Plattform ist es, Vorschläge zur Förderung der industriellen Bioökonomie, zur Gestaltung der Rahmenbedingungen, zu Nachhaltigkeit und Versorgungsstrukturen und zur Kommunikation zu erarbeiten (BMWK 2022a).

In den laufenden politischen Prozessen werden der Biomasse folglich vielfältige Einsatzfelder zugeschrieben. Das birgt die Gefahr, dass die Maßnahmen für einzelne Bereiche auf Grund der Nutzungskonkurrenzen gefährdet werden könnten. Dieses wird auch in den kürzlich erschienen Eckpunkten für eine **Nationale Biomassestrategie (NABIS)** unter gemeinsamer Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) sowie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) adressiert, so dass für die NABIS entsprechende Leitprinzipien, Maßnahmen und Instrumente abgeleitet werden müssen (BMWK et al. 2022).

Im Folgenden stellt das Papier die verschiedenen Einsatzfelder – wie insbesondere den stofflichen Einsatz von Biomasse in der Industrie – der Verfügbarkeit von Biomasse gegenüber und arbeitet Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Nutzung von Biomasse in NRW und Deutschland heraus.



# 2 Verfügbarkeit von Biomasse

Für die Ableitung der zukünftigen Nutzung für Biomasse ist es zunächst notwendig die Verfügbarkeit von Biomasse in Deutschland und NRW sowie die Importmöglichkeiten zu kennen. Im Folgenden wird daher die verfügbare Datenlage analysiert und zusammengefasst.

## 2.1 Verfügbarkeit in Deutschland

Die Einschätzung der quantitativen Verfügbarkeit von Biomasse hängt stark von den ausgewählten Kriterien ab. Da es keine Standards für die Berechnung des Biomassepotenzials gibt, werden in verfügbaren Studien

verschiedene Kalkulationsmethoden verwendet (Brosowski et al. 2016). Zudem wird die Biomasse unterschiedlich kategorisiert (Brosowski et al. 2016, Szarka et al. 2021) und die Bewertung der Nachhaltigkeit von Biomasse nach unterschiedlichen Kriterien durchgeführt (Fehrenbach 2021). Studien zum Biomassepotenzial in Deutschland kommen insbesondere wegen des unterschiedlichen Umgangs mit Anbaubiomasse zu unterschiedlichen Ergebnissen (Fehrenbach 2021). Das heißt die Berechnungen unterliegen unterschiedlichen Annahmen, ob Anbaubiomasse nachhaltig ist und damit berücksichtigt wird und, wenn ja, wieviel Fläche inländisch für eine nachhaltige Biomasseproduktion zur Verfügung steht (Fehrenbach 2021).

Diese unterschiedliche Methodik zeigt sich auch in den in diesem Diskussionspapier ausgewerteten Studien, so dass die Ergebnisse der Studien im Detail nur schwierig vergleichbar sind und im Folgenden vor allem auf die Ergebnisse des Gesamt-Biomassepotenzials und nicht einzelner Stoffströme eingegangen wird. Zudem werden in nur wenigen Quellen Daten zur Verfügbarkeit zum Potenzial ungenutzter Biomasse vorgestellt, sondern vielmehr Daten zur Menge von genutzter Biomasse, zumeist für das Jahr 2015. Daher werden zur Einschätzung des Biomassepotenzials auch die Daten zur Nutzung hinzugezogen.

Viele Studien betrachten das Biomassepotenzial vor dem Hintergrund der energetischen Nutzung, nicht aber für die stoffliche Nutzung (z. B. Thrän et al. 2019, Prognos et al. 2020, Koch et al. 2018, Fehrenbach et al. 2018). Banse et al. (2020), Brosowski et al. (2019), Fehrenbach et al. (2017) und die Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR 2022b) betrachten die Biomasse sowohl vor dem Hintergrund der energetischen als auch stofflichen Nutzung. Daten aus Brosowski et al. (2019) sind detailliert in Bringezu et al. (2020) grafisch und als Online-Datenbank (DBFZ o. J.) aufbereitet.

Thrän et al. (2019) und Fehrenbach et al. (2018) untersuchten jeweils das **technische Biomassepotenzial aus biogenen Rückständen und Reststoffen sowie Abfällen für die energetische Nutzung**. Zwar unterscheiden sich die beiden Studien teilweise in ihren Annahmen, kommen jedoch zu ähnlichen Ergebnissen: In Deutschland standen Abfall- und Reststoffe zur Verfügung, die 247 Terawattstunden (entspricht ca. 60,4 Mio. Tonnen Trockenmasse) (Status Quo 2019) (Thrän et al. 2019) beziehungsweise 255 Terawattstunden (Fehrenbach et al. 2018) entsprechen. Wald(rest)holz, Industrierestholz, Stroh, Mist, Gülle und Altholz machen den Großteil des Biomassepotenzials von biogenen Rest- und Abfallstoffen aus (Thrän et al. 2019, Fehrenbach et al. 2018). Diese Biomassepotenziale werden aber schon größtenteils genutzt (Fehrenbach et al. 2018).

## » Das bisher ungenutzte und demnach zusätzlich erschließbare Potenzial aus Abfall- und Reststoffen liegt laut eines Studienvergleichs in einem Bereich zwischen 24 Terawattstunden und 93 Terawattstunden,

wobei sich die Bandbreite auch hier durch unterschiedliche Daten- und Berechnungsgrundlagen sowie Annahmen begründet (dena 2022). Das Forschungsprojekt BEPASO berichtet außerdem von einem Potenzial an bisher ungenutzten biogenen Rest- und Abfallstoffen von ca. 31 Mio. Tonnen Trockenmasse (Banse et al. 2020). Dieses zusätzliche Potenzial werde hauptsächlich von Waldrestholz (etwa 38 Prozent), tierischen Exkrementen (etwa 29 Prozent) und Getreidestroh (etwa 27 Prozent) bestimmt (Banse et al. 2020) und passt von der Größenordnung her zu den Potenzialen aus den von der dena (2022) gegenübergestellten Studien.

Zusätzlich zu den Rest- und Abfallstoffen wurden im Jahr 2020 in Deutschland **nachwachsende Rohstoffe** zu 3,62 Mio. Tonnen stofflich und 67,3 Mio. Tonnen energetisch eingesetzt (FNR 2022b). Holz wurde zu 60 Mio. Tonnen in Deutschland eingesetzt (Fehrenbach et al. 2017). Während nur ein kleiner Teil des Waldholzes als Energieholz vermarktet wird, wird bei Mitbetrachtung von Nebenprodukten der Holzverarbeitenden Industrie sowie Altholz ca. 50 Prozent des Holzes in Deutschland energetisch verwertet (Fehrenbach et al. 2017, FNR 2018). Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. stellt die Einsatzmengen von NawaRos in Deutschland auf ihren Webseiten statistisch detailliert dar (FNR o. J.).

Sowohl bei den Rest- und Abfallstoffen als auch bezüglich des gesamten Biomasseangebots lagen 2015/2016 ca. 70 Prozent in fester Form vor (Koch et al. 2018, Prognos et al. 2021).

Abbildung 2 zeigt zusammengefasst das Biomassepotenzial aus Abfall- und Reststoffen im Status Quo und die prognostizierten Biomassepotenziale aus Abfall- und Reststoffen für 2030 und 2050. Wie bereits oben diskutiert, zeigen die Studien aufgrund ihrer unterschiedlichen

Annahmen verschiedene Biomassepotenziale als Ergebnis. Das genutzte Biomassepotenzial aus Rest- und Abfallstoffen im Status Quo (2014 – 2020) ergibt im Mittel 112 Terawattstunden. Eine größere Abweichung hat das prognostizierte Biomassepotenzial aus Rest- und Abfallstoffen, welches in 2050 im Mittel 271 Terawattstunden ergibt. Insgesamt gehen die Studien von einem konstanten bis steigenden Biomassepotenzial aus Rest- und Abfallstoffen bis 2050 im Vergleich zum Status Quo aus.

## Potenzial biogener Rest- und Abfallstoffe

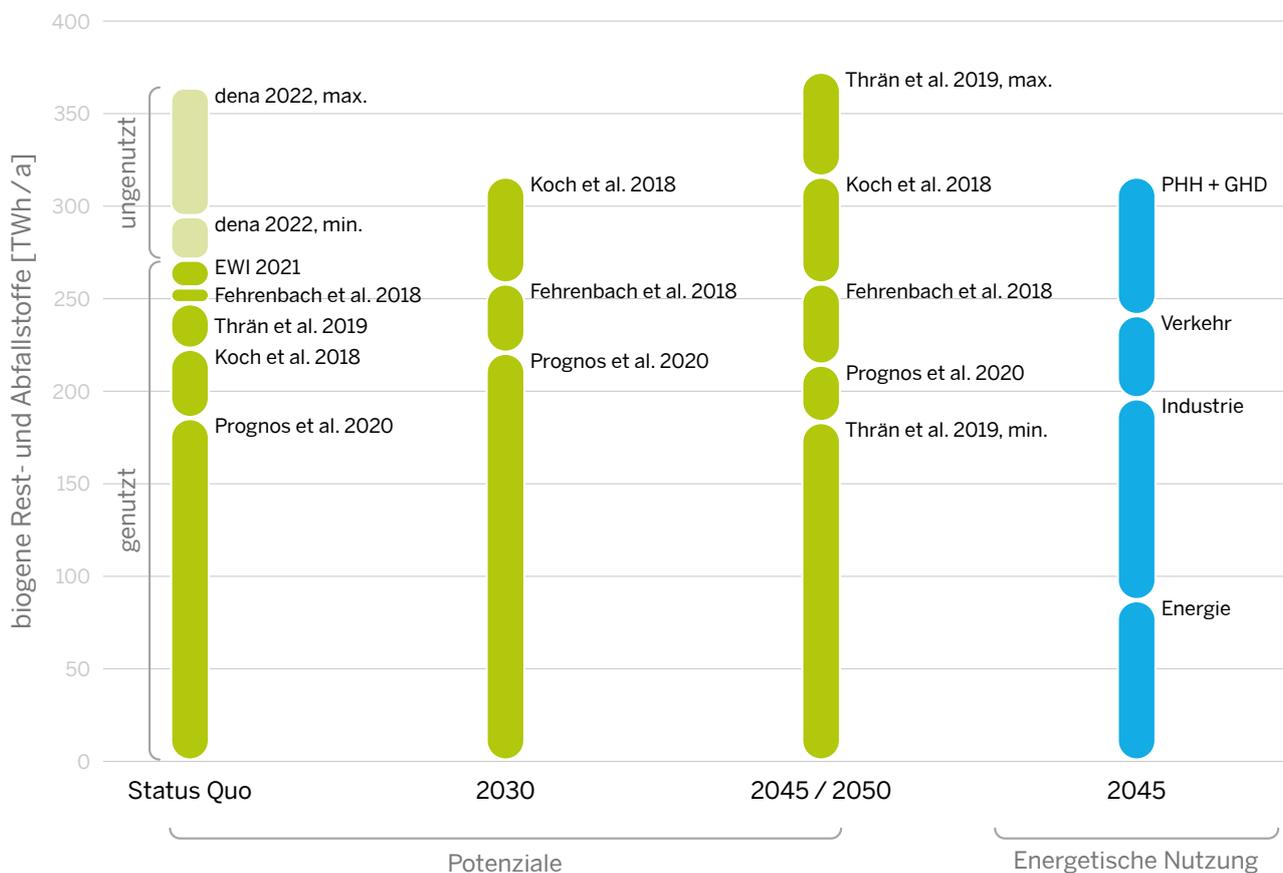


Abbildung 2: Biomassepotenzial aus Rückständen, Rest- und Abfallstoffen für die energetische Nutzung im Status Quo (2014 / 2015, 2018, 2020), prognostizierte Reststoff- und Abfall-Biomassepotenzial zur energetischen Nutzung (2030, 2045/2050) in Deutschland nach (dena 2022, EWI 2021, Fehrenbach et al. 2018, Koch et al. 2018, Prognos et al. 2021, Thrän et al. 2019) (grün) und prognostizierte Bioenergienachfrage in 2045 gemittelt nach (BCG 2021, dena 2021a, Luderer et al. 2021, Prognos et al. 2021) (blau)

Koch et al. (2018) prognostizieren (basierend auf den Zahlen von (Brosowski et al. 2015)) einen Anstieg des Potenzials sowohl der festen als auch gasförmiger Biomasse bis 2030. Zwischen 2030 und 2050 bleibe das Biomassepotenzial in etwa konstant. Der Anstieg des Biomassepotenzials ergebe sich aus der vollständigen Erschließung des bislang ungenutzten Reststoffpotenzials an fester Biomasse (vor allem Waldrestholz, nicht stofflich genutztes Stammholz, Landschaftspflegematerial und Stroh) sowie Gülle und Siedlungsabfällen (Koch et al. 2018).

Die Summe an Anbaubiomasse zur energetischen Nutzung steige aufgrund der Flächennutzungsdiskussion nur gering und verbleibe in etwa bei 100 Terawattstunden (Koch et al. 2018). Prognos et al. (2021) nehmen an, dass das Angebot von gasförmiger und flüssiger Biomasse abnimmt, jedoch ein zusätzliches Angebot an fester Biomasse von ca. 50 Terawattstunden bis 2030 und ca. 100 Terawattstunden bis 2050 aus Anbaubiomasse von Kurzumtriebsplantagen zur Verfügung gestellt werden wird. Auch in einem für die Leitstudie „Aufbruch Klimaneutralität“ (dena 2021a) angefertigtem Gutachten des Energiewirtschaftlichen Instituts an der Universität zu Köln (EWI) wird ein Anstieg des gesamten heimischen Biomassepotenzials von circa 270 Terawattstunden im Jahr 2018 auf bis zu 331 Terawattstunden im Jahr 2040 und circa 315 Terawattstunden pro Jahr in den Folgejahren bei gleichbleibenden Anbauflächen für Bioenergie-Rohstoffe prognostiziert, was auch hier auf die steigende Verfügbarkeit von fester Biomasse zurückgeführt wird (EWI 2021).

Zusätzlich zu dem gezeigten Biomassepotenzial aus Rest- und Abfallstoffen steige die Holzbereitstellung in Deutschland laut Fehrenbach et al. (2017) kontinuierlich auf knapp 70 Mio. Tonnen Holz (entspricht ca. 360 Terawattstunden<sup>7</sup> bei rein energetischer Nutzung) bis 2050 an. Laut Thrän et al. (2019) gebe es in 2050 ein Nutzungspotenzial von 42 Terawattstunden Scheitholz.

Bisherige Studien umfassen hauptsächlich die reine energetische Nutzung. Allerdings hat die stoffliche Nutzung von Biomasse einen Einfluss auf die für energetische Nutzungen verfügbaren Rohstoffmengen sowie die dazu einsetzbaren Konversionstechnologien. Was im Wesentlichen zwei Effekte bedingt: Zum einen kann es zu

einer Verknappung des Angebots und somit zu höheren Preisen führen. Zum anderen kann die stoffliche Nutzung aber auch zu einem verstärkten Anfall an Rückständen, Reststoffen und Nebenprodukten führen (Thrän et al. 2019). Dies muss in einer systemischen Sichtweise einbezogen werden.

Es besteht daher sowohl der Bedarf, ungenutzte Biomasse in Analysen mit einzubeziehen, als auch der Bedarf einer Aktualisierung der Daten, um heutige und zukünftige Biomassepotenziale zur Nutzung in der Energiewirtschaft und Industrie einzuschätzen.

## » Besonderer Bedarf besteht in der Einbeziehung der stofflichen Biomasse-nutzung in Szenarien und Prognosen,

was in den nachfolgenden Kapiteln näher erläutert und herausgestellt wird.

## 2.2 Verfügbarkeit in NRW

Die Biomassepotenziale in NRW wurden zuletzt im Jahr 2014 mit der Potenzialstudie LANUV-Fachbericht 40 - Teil 3 Biomasse-Energie untersucht. Dabei wurden die machbaren Gesamtpotenziale (Ausbaupotenzial plus bereits produzierte Energiemengen) aus NRW stammender Biomasse in den drei Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Abfallwirtschaft ermittelt. Die Ergebnisse sind in [Abbildung 3](#) dargestellt und ergaben, dass große Teile der Potenziale zur energetischen Nutzung von Biomasse in NRW bereits genutzt werden. Dies gilt vor allem für Biomasse aus der Abfallwirtschaft. Auch in Bezug auf die Biomasse aus der Forstwirtschaft ergab sich, dass diese zu einem großen Anteil bereits zur Wärmeerzeugung verwendet wird. Vor allem bei der Strom- und Wärmeproduktion aus den Nebenprodukten der Landwirtschaft ergaben sich jedoch Potenziale, die mit geeigneten Maßnahmen unter der Beachtung der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes gehoben werden könnten (LANUV 2014).

<sup>7</sup> Umrechnung mit Heizwert für Waldholz nach (Fehrenbach et al. 2018)

## Biomassepotenziale der Land-, Forst- und Abfallwirtschaft in NRW 2014

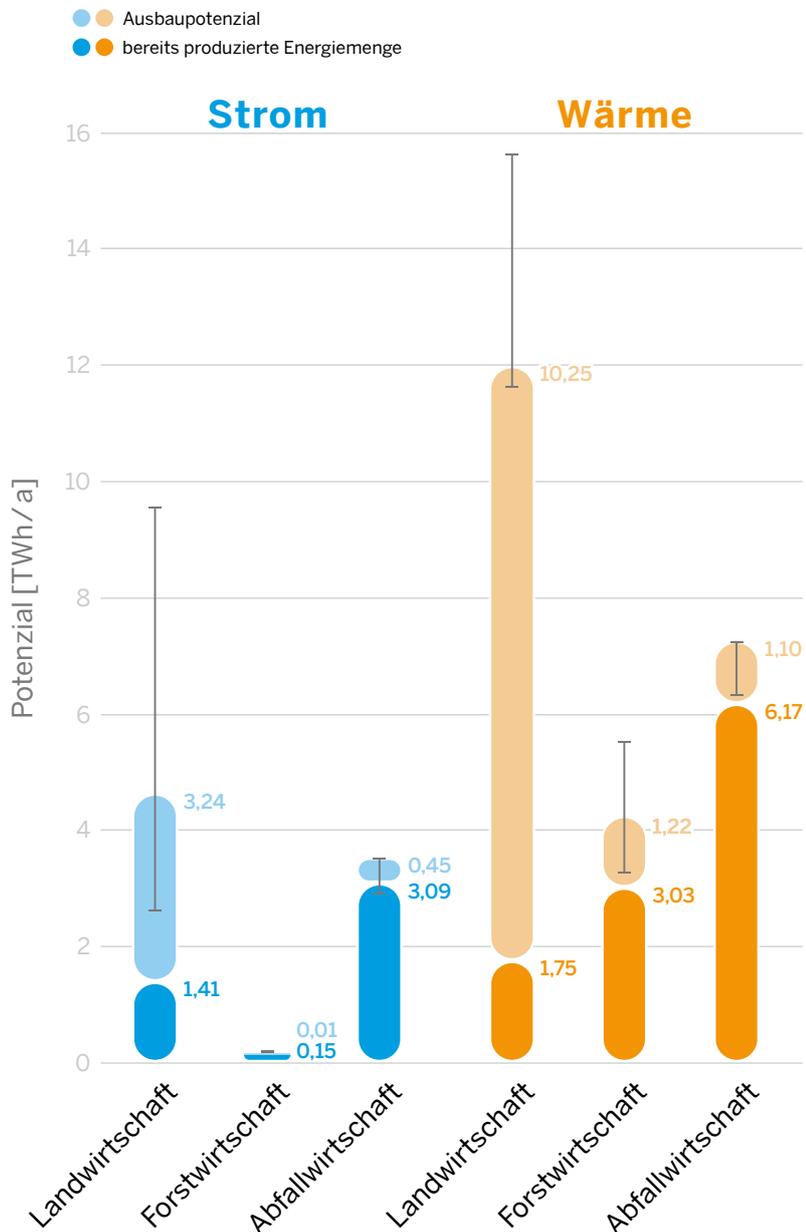


Abbildung 3: Gesamtpotenzial aus NRW stammender Biomasse im Jahr 2014 der Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Abfallwirtschaft im Leitszenario inkl. Fehlerbalken, die jeweils das Minimal- (unteres Ende) und Maximalszenario (oberes Ende) indizieren, und davon bereits zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzte Biomasse in NRW (LANUV 2014)

Die in der Studie aufgezeigten Potenziale sind auch im Energieatlas NRW (unter [www.energieatlas.nrw.de](http://www.energieatlas.nrw.de)) in der „Planungskarte Biomasse“ verfügbar und können sowohl für Strom als auch für Wärme bis auf Kreisebene dargestellt werden. Es findet jedoch keine fortlaufende Aktualisierung der Daten statt.

Seit der Veröffentlichung der Studie wurden die Nutzungspfade weiterentwickelt sowie weitere Potenziale erschlossen. Das Umweltbundesamt (Wolf et al. 2020) gibt für NRW ein jährliches Potenzial an Rohholz von 6,2 Mio. Kubikmeter für die Jahre 2013 bis 2052 an.

» Die tatsächlichen aktuellen Potenziale von Biomasse, die unter den neuesten regulatorischen und technischen Bedingungen verfügbar wären, sind auf NRW-Ebene allerdings nicht bekannt.

Da NRW relativ zu den anderen Bundesländern eine geringere Flächenverfügbarkeit für Biomasseanbau und gleichzeitig eine hohe Dichte an Bevölkerung und Industrie aufweist, wird NRW voraussichtlich auf Biomasse aus anderen Regionen Deutschlands, vor allem aus Gegenden mit höherem Biomassepotenzial, wie ländliche und bewaldete Regionen, angewiesen sein. Die Ermittlung der eigenen aktuellen Potenziale sowie langfristig verfügbarer lokaler und nachhaltiger Biomasse ist aus diesem Grunde besonders wichtig.

## 2.3 Import und Export

Die Anbauflächen für Biomasse in Deutschland, die sich etwa auf 17 Mio. Hektar belaufen, können nicht für die ganzheitliche und nachhaltige Versorgung mit Nahrungsmitteln, biogenen Rohstoffen und Bioenergie ausreichen. So werden laut einer Studie des Bioökonomierats weltweit insgesamt 50 Mio. Hektar Fläche zum Anbau biologischer Rohstoffe für die Versorgung von Deutschland genutzt. Dies beinhaltet nicht nur Biomasse für die Energieproduktion, sondern Flächen unter anderem für den Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln sowie für die stoffliche Nutzung von zum Beispiel Baumwolle und Holz (Bioökonomierat 2022).

Die Rolle von Importen ist somit bei der Betrachtung der Wertschöpfungsketten für Biomasse aus deutscher und NRW-Perspektive essenziell. Viele der Biomasseimporte dienen nicht primär der energetischen Verwertung, werden jedoch weiter in der Wertschöpfungskette energetisch, wie in Form von Wirtschaftsdünger oder nach vorhergehender stofflicher Nutzung als Altholz, verwertet.

Importe und Exporte von Biomasse sind durch die weitgedehnten Wertschöpfungsketten sehr komplex. Dadurch lassen sich Bilanzen lediglich für ausgewählte Biomassearten abbilden. Nachfolgend werden daher beispielhaft nur Holzbrennstoffe, Wirtschaftsdünger und Biomassen zur Kraftstoffproduktion näher angeführt.

### Holzbrennstoffe

Beim Handel mit fester Biomasse spielen Holz sowie Holzbrennstoffe eine dominante Rolle. Die Nutzung von Holz in Deutschland beruht größtenteils auf den eigenen Ressourcen. So betrug im Jahr 2020 die Summe der verwendeten Holzenergieprodukte im Inland circa

22 Mio. Tonnen, was nur geringfügig die Inlandsproduktion von circa 21,62 Mio. Tonnen übersteigt (Hennenberg et al. 2022). Die Handelsbilanz mit Holz ist ebenfalls nahezu ausgeglichen. Im Jahr 2020 wurden 2,566 Mio. Tonnen Holz importiert und gleichzeitig 2,186 Mio. Tonnen exportiert, was ein Handelssaldo von 0,291 Mio. Tonnen darstellt (Hennenberg et al. 2022).

Die Handelsbilanz von Holzbrennstoffen ist mit Ausnahme der Holzpellets mit einem negativen Saldo und somit mit höheren Importen als Exporten verbunden. Dies gilt vor allem für Altholz, das jedoch neben der energetischen Verwertung zu etwa 17 Prozent der stofflichen Verwertung unter anderem in Spanplatten zugefügt wird (Hennenberg et al. 2022). Die Produktionskapazitäten von Pelletwerken übersteigen deutlich den Verbrauch in Deutschland (DEPI 2022). So wurden bei einer Produktion von 2,755 Mio. Tonnen Holzpellets im Jahr 2020 rund 0,5 Mio. Tonnen in andere Länder exportiert (Hennenberg et al. 2022). Laut dem DEPI (2022) hält dieser Bilanzüberschuss weiter an. Demnach wurde der Verbrauch von Holzpellets im Jahr 2021 auf 2,9 Mio. Tonnen gesteigert, gleichzeitig wurden aber auch die Produktion auf 3,355 Mio. Tonnen sowie die Produktionskapazitäten auf 3,625 Mio. Tonnen ausgebaut. Die Prognose für das Jahr 2022 rechnet mit einem weiteren Ausbau der Produktion sowie mit gesteigertem Verbrauch.

Brennholz bildet mit der Produktion in Deutschland von rund 9,8 Mio. Tonnen zwar die größte Gruppe der produzierten Holzbrennstoffe, diese werden jedoch fast ausschließlich im Inland verwertet (Hennenberg et al. 2022). Auch die Importe spielen bei Brennholz nur eine marginale Rolle. Laut dem Bericht aus den Projekten BioSINK und BioWISE (Hennenberg et al. 2022) beruht die Versorgung mit Holzrohstoffen zur Energieversorgung daher fast ausschließlich auf der heimischen Produktion. Die Rolle der Importe ist dabei sogar rückläufig, sodass die Rolle des Außenhandels weiter abnimmt.

Die Prognosen der Holzpotenziale und deren Verfügbarkeit für den heimischen Energiemarkt lassen sich jedoch auf Grund der aktuellen Lage und der rasant steigenden Nachfrage nach erneuerbarer Wärme nur schwer prognostizieren.

## Wirtschaftsdünger

Wirtschaftsdüngerimporte spielen regional eine wichtige Rolle. So tragen vor allem die Importe aus den Niederlanden nach Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen zur Importbilanz bei. Diese Importe haben jedoch eine abnehmende Bedeutung, da seit 2016 die Mengen um rund 50 Prozent abgenommen haben. Im Jahr 2016 erreichten die Importe ihren Höchststand. Seitdem wurde trotz der zunehmenden Bedeutung von Wirtschaftsdüngerimporten aus anderen Bundesländern sowie aus anderen Mitgliedsstaaten der EU, rund 4.000 Tonnen Stickstoff, das entspricht 25 Prozent, weniger nach NRW gebracht. Demgegenüber wurden die Exporte um etwa 2.200 Tonnen Stickstoff ausgedehnt, so dass die Nettoimporte um 6.100 Tonnen Stickstoff abnahmen. Da auch die Exporte von Wirtschaftsdünger aus NRW in den vergangenen Jahren gestiegen sind, reduzierten sich die Nettoimporte an organischen Nährstoffen in Nordrhein-Westfalen von 2016 bis 2020 um insgesamt 60 Prozent beim Stickstoff und um 65 Prozent beim Phosphor. (LWK 2021)

## Biomassen zur Kraftstoffproduktion

Insgesamt wurden in Deutschland im Jahr 2020 circa 168.100 Terajoule beziehungsweise circa 46,7 Terawattstunden an Biokraftstoffen verzeichnet, wovon 72,5 Prozent aus Anbaubiomassen und 28,5 Prozent aus Rest- und Abfallstoffen gewonnen wurden. Etwa 85,6 Prozent dieser Ausgangsrohstoffe wurden importiert, wobei circa 32,4 Prozent aus Europa (ohne Deutschland) und etwa 42,2 Prozent aus Asien stammten. Weitere Importe mit Anteilen von circa jeweils zwei bis drei Prozent entfielen auf Mittelamerika, Südamerika, Australien und Nordamerika. (BLE 2021)

Innerhalb Europas waren 2020 die Ukraine, Polen, Ungarn, Bulgarien, Schweden, Frankreich und Rumänien die Hauptherkunftsländer der für die Biokraftstoffproduktion importierten Rohstoffe. Die wichtigsten aus Europa stammenden Stoffe waren dabei biogene, nicht näher spezifizierte Rest- und Abfallstoffe, Raps und Mais, wobei der Anteil der Rest- und Abfallstoffe im Vergleich zum Vorjahr um 27 Prozent stieg und damit fast ein Drittel der europäischen Gesamtmenge ausmachte. Die aus Asien stammenden Ausgangsstoffe umfassten zu beinahe drei Vierteln Palmöl (circa 147 Prozent Steigerung im Vergleich zum Vorjahr) und zu einem Viertel Rest- und

Abfallstoffe (circa 36 Prozent Steigerung im Vergleich zum Vorjahr). Während aus Südamerika vor allem Soja, Zuckerrohr und Rest- und Abfallstoffe importiert wurden, wurde aus Mittelamerika überwiegend Palmöl aus den Anbauländern Honduras und Guatemala importiert. Aus Nordamerika wurden hingegen zu in etwa gleichen Anteilen Rest- und Abfallstoffe sowie Raps importiert. Raps stellt zudem fast ausschließlich alle aus Australien stammenden Importe dar. (BLE 2021)

# 50 Mio.

Hektar weltweit zum Anbau biologischer Rohstoffe für die Versorgung von Deutschland

Die Beispiele zeigen, dass die Rolle Deutschlands hinsichtlich Importen und Exporten je nach Biomassearten und Einsatzzweck variiert. Demnach lässt sich nicht pauschal sagen, ob Deutschland ein Netto-Importeur oder Netto-Exporteur von einzelnen Biomassearten ist. Darüber hinaus zeigt sich, dass sowohl Import- als auch Exportmengen innerhalb eines Jahres sehr variabel sind und dynamisch an die Märkte angepasst werden (müssen). Eine Prognose zu zukünftigen Verfügbarkeiten und etwaigen Importabhängigkeiten ist daher schwierig, wobei letztere minimiert und daher in Nutzungsszenarien mitgedacht werden sollten.

Die Prognosen der Holzpotenziale und deren Verfügbarkeit für den heimischen Energiemarkt lassen sich jedoch auf Grund der aktuellen Lage und der rasant steigenden Nachfrage nach erneuerbarer Wärme nur schwer prognostizieren.



# 3 Einsatzfelder für Biomasse

Biomasse als Rohstoff und Energieträger kann in einer ganzen Reihe von Anwendungen eingesetzt werden (vgl. [Abschnitt 1.2](#)). Bei der Wahl des Biomassenutzungspfades sollte jedoch immer auch das Potenzial der Nutzung von Biomasse als CO<sub>2</sub>-Senke berücksichtigt werden (vgl. [Abschnitt 1.3](#)). Wenn der gebundene Kohlenstoff aus der Biomasse durch die Nutzung wieder in die Atmosphäre freigesetzt wird (z. B. bei der energetischen Nutzung), bleibt dieses Potenzial ungenutzt. In diesem Kapitel werden die verschiedenen Einsatzfelder für Biomasse deshalb genauer beleuchtet.

Im Fokus stehen dabei Einsatzfelder für Biomasse in der Industrie und zur Energieerzeugung. Die Landwirtschaft und Nahrungsmittelindustrie, welche in 2016 rund 250 Mio. Tonnen Biomasse eingesetzt haben (Hünecke et al. 2022), werden im Weiteren nicht betrachtet. Dabei wird allgemein anerkannt, dass die hier gezeigten Einsatzfelder nicht in Konkurrenz mit der Bereitstellung von Nahrungsmitteln treten dürfen.

## 3.1 Strukturelle Nutzung

Biomasse findet unter anderem in Textilien, Papier, Möbeln und Baumaterialien strukturelle Anwendung. In Form von Naturfasern findet sie überdies Anwendung bei der Herstellung von Tauen, Seilen, Netzen und Tüchern für die Schifffahrt, technischen Vliese und im Gewebe für Naturdämmstoffe, Spezialpapiere oder naturfaserverstärkte Kunststoffe.

In der **Textilindustrie** wird Biomasse beispielsweise in Form von Pflanzenfasern (wie Baumwolle oder Jute) oder als Fasern tierischen Ursprungs (wie Wolle) vor allem für die Herstellung von Bekleidung und Haushaltswäsche verwendet. Im Bereich Heimtextilien wurden in Deutschland in 2020 rund 148 Kilotonnen Fasern verarbeitet (Statista 2022a).

In der **Papierindustrie** wird bereits ein großer Anteil des Rohstoffbedarfs (67 Prozent) durch Altpapier gedeckt (VDP 2021). 2015 wurden 9,9 Mio. Tonnen Trockenmasse Recyclingmaterial in der deutschen Papierindustrie eingesetzt (Szarka et al. 2021). In NRW wäre es technisch möglich, einen größeren Anteil des Bedarfes über Altpapier zu decken, allerdings ist die Verfügbarkeit dieses Sekundärrohstoffes begrenzt. Auch lässt sich das heutige Produktportfolio aus technischer Sicht nicht allein aus Altpapier herstellen und es werden auch zukünftig Frischfasern benötigt. Denn die stetige Verkürzung der Fasern bei jeder Anwendung führt zu einem Downcycling und schließlich reicht die Qualität der Fasern nur noch für die Produktion von Wellpappe oder Toilettenpapier aus. Nach der Nutzung als Toilettenpapier werden die Fasern der energetischen Verwertung zugeführt. Im Jahr 2020 wurden in der Papierindustrie 5.358 Kubikmeter Rundholz und 3.807 Kubikmeter Sägenebenprodukte zusätzlich zu Altpapier eingesetzt. Dieses Faserholz wurde zu Zellstoff (1.571 Kilotonnen) und Holzstoff (684 Kilotonnen) und schließlich mit 14.133 Kilotonnen Altpapier zu 21.353 Kilotonnen Papier, Karton und Pappe weiterverarbeitet. Zell- und Holzstoff werden netto zu 2.459 Kilotonnen importiert (VDP 2021). Zwischen 2020 und 2045 wird eine rund zehnpromtente Steigerung der Produktion von Papier und Zellstoff prognostiziert (Prognos et al. 2021). Unter Annahme gleichbleibender Anteile von Rundholz und Sägenebenprodukte würden demnach in 2045 5.894 Kubikmeter Rundholz und 4.188 Kubikmeter Sägenebenprodukte für die Papier- und Zellstoffproduktion benötigt.

Zusätzlich benötigte die Papierindustrie im Jahr 2020 circa 808 Kilotonnen Papierstärke (FNR 2022b), die bei der Papierherstellung zur Behandlung der Papieroberfläche (Leimung bzw. Imprägnierung) und Stärkung eingesetzt wird. Papierstärke wird in der Regel vor allem aus Kartoffel-, Mais- und Weizenstärke hergestellt.

Bei alternativen **Baumaterialien** handelt es sich beispielsweise um Holz, Lehm oder biobasierte Werkstoffe wie Stroh, Bambus oder Hanf. Gemäß der „Charta für Holz 2.0“ (BMEL 2021) werden mehr als die Hälfte aller Fertigprodukte aus Holz (ohne Papier) im Bauwesen eingesetzt, was diesen somit zum wichtigsten Einsatzort für Holzprodukte macht<sup>8</sup>. Zwei Drittel des im Bauwesen eingesetzten Holzes werden für die Modernisierung und Sanierung von Gebäuden eingesetzt, wie bei der energetischen Gebäudesanierung. Auch beim Neubau von Gebäuden spielt Holz als Baumaterial eine immer größer werdende Rolle. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern hat sich der Anteil von Häusern in Holzbauweise vom Jahr 2000 (12,3 Prozent) bis 2019 (20,3 Prozent) um etwa 60 Prozent erhöht (ebd.). Rund 25 Prozent des erfassten Altholzes (circa 1,6 Mio. Tonnen) konnten 2016 stofflich verwertet werden und wurden vor allem in der Spanplattenindustrie eingesetzt (Schütze et al. 2021). Die künftige Nutzung alternativer Baumaterialien steht daher im Zusammenhang zur Entwicklung des Haus- und Wohnungsbaus, ihr Einsatz steigt allerdings nicht proportional. Zu erwarten ist alles in allem, dass im Bereich des Haus- und Wohnungsbaus der Einsatz alternativer Baumaterialien im Vergleich zu dem der klassischen Baumaterialien überproportional steigen wird (RWI 2021).

Die werkstoffliche Verwendungen von nachwachsenden Rohstoffen in der chemischen Industrie wie naturfaserverstärkte Kunststoffe oder Strukturpolymere machen nur einen relativ geringen Anteil an der gesamtstofflichen Nutzung von NawaRos aus (FNR 2022b).

<sup>8</sup> Zertifizierungssysteme wie PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes), Naturland oder FSC (Forest Stewardship Council) dienen dabei der Zertifizierung der Nachhaltigkeit von Holz.

## 3.2 (Roh-)Stoffliche Nutzung

Die stoffliche Gesamteinsatzmenge nachwachsender Rohstoffe in Deutschland betrug im Jahr 2020 circa 3,62 Mio. Tonnen (FNR 2022b). Dabei wurden sowohl heimische als auch importierte biogene Rohstoffe eingesetzt (siehe auch [Abschnitt 2.3](#)). Das Produktspektrum der stofflich genutzten NawaRo ist sehr breit. Pflanzenöle, Zucker, Stärke und Chemiezellstoff sind die bedeutendsten nachwachsenden Rohstoffe in Deutschland und werden in unterschiedlichen Anwendungsbereichen der Prozessindustrie, vor allem der chemischen Industrie, zur Herstellung biobasierter Zwischen- und Endprodukte eingesetzt (FNR 2022b). Bis auf Papierstärke (circa 66,4 Prozent der genutzten Stärke in 2020) und Naturfasern wurden im Jahr 2020 alle in Abbildung 4 dargestellten NawaRos, ausschließlich in der chemischen Industrie

eingesetzt (FNR 2022b). Von der in der deutschen Prozessindustrie verwendeten Gesamtmenge nachwachsender Rohstoffe (ohne Papier und Holz) wurden somit etwa 72 Prozent (rund 2,6 Mio. Tonnen) in der Chemieindustrie verarbeitet. Dabei machen tierische und pflanzliche Öle und Fette mit etwa 32 Prozent den überwiegenden Anteil aus, während der Anteil von Kohlenhydraten (Zucker, Stärke, Chemiezellstoff) in Summe etwa 25 Prozent beträgt. Zu den sonstigen NawaRos zählen gemäß FNR (2022b) unter anderem Wachse, Harze, Gerbstoffe, Glycerin, Naturkautschuk und Kork. Nachfolgend wird daher hauptsächlich auf die Chemiebranche als Hauptanwender der stofflichen Nutzung von NawaRos eingegangen. Zudem wird die zunehmende Rolle von Biomasse als nachhaltige Kohlenstoffquelle in der Metallurgie dargestellt. Weitere Informationen und Zahlen zu den stofflichen Einsatzmengen nachwachsender Rohstoffe und deren Aufteilung auf diverse (weitere) Anwendungsbereiche können FNR (2022b) entnommen werden.

### Stoffliche Einsatzmengen nachwachsender Rohstoffe

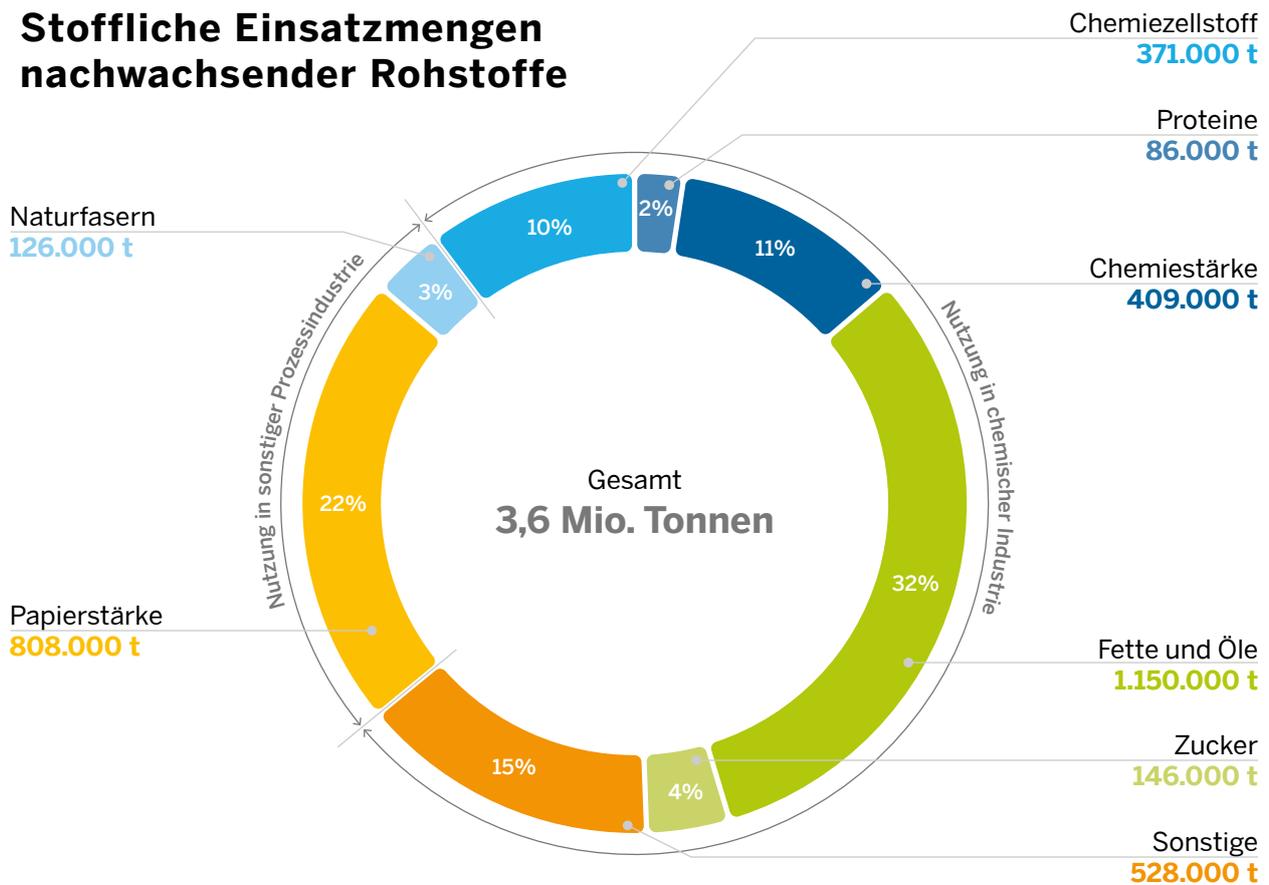


Abbildung 4: Einsatzmengen nachwachsender Rohstoffe zur stofflichen und strukturellen Nutzung in der deutschen Prozessindustrie im Jahr 2020 (vorläufige Angaben; ohne Papier und Holz; in Anlehnung an (FNR 2022b))

## Biomasse als Rohstoff in der chemischen Industrie

Die chemische Industrie setzte 2017 20,8 Mio. Tonnen Rohstoffe stofflich ein (VCI 2020). 87 Prozent des Bedarfes wurde dabei durch fossile Rohstoffe (Naphtha/Erdöl-derivate, Erdgas und Kohle) gedeckt (VCI 2020). In 2020 wurden circa 2,6 Mio. Tonnen nachwachsende Rohstoffe stofflich in der chemischen Industrie in Deutschland eingesetzt (FNR 2022b). Sie haben sich überall dort erhalten oder durchgesetzt, wo technische und ökonomische Vorteile gegenüber fossilen Einsatzstoffen bestehen. Hierzu gehören Fein- und Spezialchemikalien und chemische Intermediate, Pharmaerzeugnisse, Polymeradditive sowie Funktionspolymere (FNR 2022b). Das sind meist spezielle, aber äußerst vielfältige Anwendungen, von der Herstellung von Kunststoffen und Fasern über Waschmittel, Kosmetika, Farben und Lacke, Druckfarben, Klebstoffe, Baustoffe, Hydrauliköle und Schmiermittel bis hin zu Arzneimitteln (VCI 2020).

Für Biokunststoffe bestand im Jahr 2016 eine weltweite Produktionskapazität von 2,05 Mio. Tonnen (IfBB 2017). Die Produktion von Bio-PET machte 2016 mit rund 800 Kilotonnen weltweit den Großteil aus. 264 Kilotonnen Bio-Kunststoffe wurden 2016 in Europa hergestellt (IfBB 2017).

Biomasse kann auf unterschiedlichen Produktionsrouten zu einem chemischen Produkt umgesetzt werden. Beispielsweise kann in der Grundstoffchemie zur Produktion von Methanol, Ammoniak und Wasserstoff eingesetztes Erdgas grundsätzlich durch Biomethan substituiert werden, ohne dass eine Anpassung von Produktionsschritten notwendig ist und ohne dass sich die anwendungstechnischen Produkteigenschaften, also die Qualität der Produkte, ändern (Völler 2017). In Bioraffinerien lässt sich durch biochemische Prozesse aus Holz und verholzter Biomasse grundsätzlich die gesamte Palette an chemischen Produkten, die heute durch die Petrochemie geliefert wird, herstellen (Schütze et al. 2021). Zukünftig könnten bisher nicht verwendbare oder energetisch genutzte Holzfraktionen mithilfe von Bioraffinerien und weiterer innovativer Verfahren der Bioökonomie zu chemischen Produkten und Kraftstoffen umgewandelt werden (Schütze et al. 2021). Vorteil der Nutzung von Biomasse in der heutigen **Petrochemie** ist, dass sie so der nachgelagerten Chemiebranche zukünftig **nachhaltige Kohlenstoffquellen** anbieten kann, indem fos-

sile Primärrohstoffe durch nachhaltige Biomasse, Rezyklate und perspektivisch durch CO<sub>2</sub> ersetzt werden (IN4climate.NRW 2021a).

Die Nutzung von Biomasse in der Chemie für die Herstellung von Basischemikalien über die Vergasung (z. B. Methanol) oder Nutzung für nachhaltige Kraftstoffe (vgl. [Infobox Biokraftstoffe Seite 35](#)) steht jedoch im Konflikt mit dem Anspruch, die Strukturen und besonderen Eigenschaften von Biomasse möglichst energieeffizient zu nutzen (MWIDE 2021b, Banse et al. 2020). Die Nutzung von Biomasse nicht terrestrischen Ursprungs (u. a. Algen) kann daher an Bedeutung als Kohlenstoffquelle für die Chemieindustrie zunehmen (Banse et al. 2020). Während jedoch die Produkte aus Bioraffinerien in etablierten Prozessrouten eingesetzt werden können, werden bei direkter Nutzung von Biomasse für beispielsweise Polymere und Spezialchemikalien neue Prozesse benötigt.

Insbesondere können zukünftig fossilbasierte Kunststoffe durch biobasierte Polymere ersetzt werden. Da so einige Strukturen der Biomasse erhalten bleiben können, verringert sich der Energieaufwand im Vergleich zur Zerlegung in Basischemikalien und dem anschließenden Aufbau zu konventionellen Kunststoffen. Im Bereich der biobasierten Polymere wird Bio-Polyethylen bereits im großen Maßstab in Brasilien produziert (European Bioplastics 2018). Die Produktion von Bio-Polypropylen und Bio-Polyvinylchlorid hat einen hohen TRL erreicht (European Bioplastics 2018).

Auch können Biokohlen (siehe Infobox Seite 27) aufgrund ihrer Eigenschaften als Aktivkohlen und damit als Adsorbentien beispielsweise in der chemischen Industrie, der Abwasserbehandlung und Trinkwasseraufbereitung sowie zur (Rauch-)Gasaufbereitung genutzt werden.

Die vom VCI beauftragte Roadmap für die chemische Industrie (DECHEMA und FutureCamp 2019) umfasst bei den Grundchemikalien Methanol, Ammoniak, Harnstoff, Ethylen, Propylen, Chlor sowie die Aromate Benzol, Toluol und Xylol und Butadien, da diese zwei Drittel der Emissionen der chemischen Industrie ausmachen (DECHEMA und FutureCamp 2019). Die Roadmap beschreibt einen Rohstoffmix einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland in 2050, der zu 27,8 Prozent aus Biomasse bestehen wird, was 56 Terawattstunden pro Jahr beziehungsweise 11,4 Mio. Tonnen Biomasse pro

Jahr entspricht (siehe Fußnote 9) (DECHEMA und FutureCamp 2019). Der Hochlauf der Biomassenutzung in der Chemiebranche findet laut VCI-Roadmap allerdings bereits bis 2040 statt und entspricht mehr als einer Vervielfachung der bisherigen Mengen. Die Steigerung um 8,5 Mio. Tonnen pro Jahr von insgesamt 8,9 Mio. Tonnen pro Jahr fällt allein auf die Produktion von Naphtha aus der Biomassevergasung und Fischer-Tropsch-Synthese, das dann weiter zu High-Value-Chemicals weiterver-

arbeitet wird. Der Rest entfällt auf die Methanolsynthese auf Basis von Biomassevergasung (DECHEMA und FutureCamp 2019). 15 Prozent des Methanols und 10 Prozent des Naphthas werden laut Roadmap im Jahr 2050 über Biomassevergasung hergestellt (DECHEMA und FutureCamp 2019). Als verwendete Biomasse wird für beide Routen Holz angenommen. Andere Nutzungsformen von Biomasse in der chemischen Industrie werden in der Roadmap nicht diskutiert.

### Biomasseeinsatz und Rohstoffmix in der chemischen Industrie

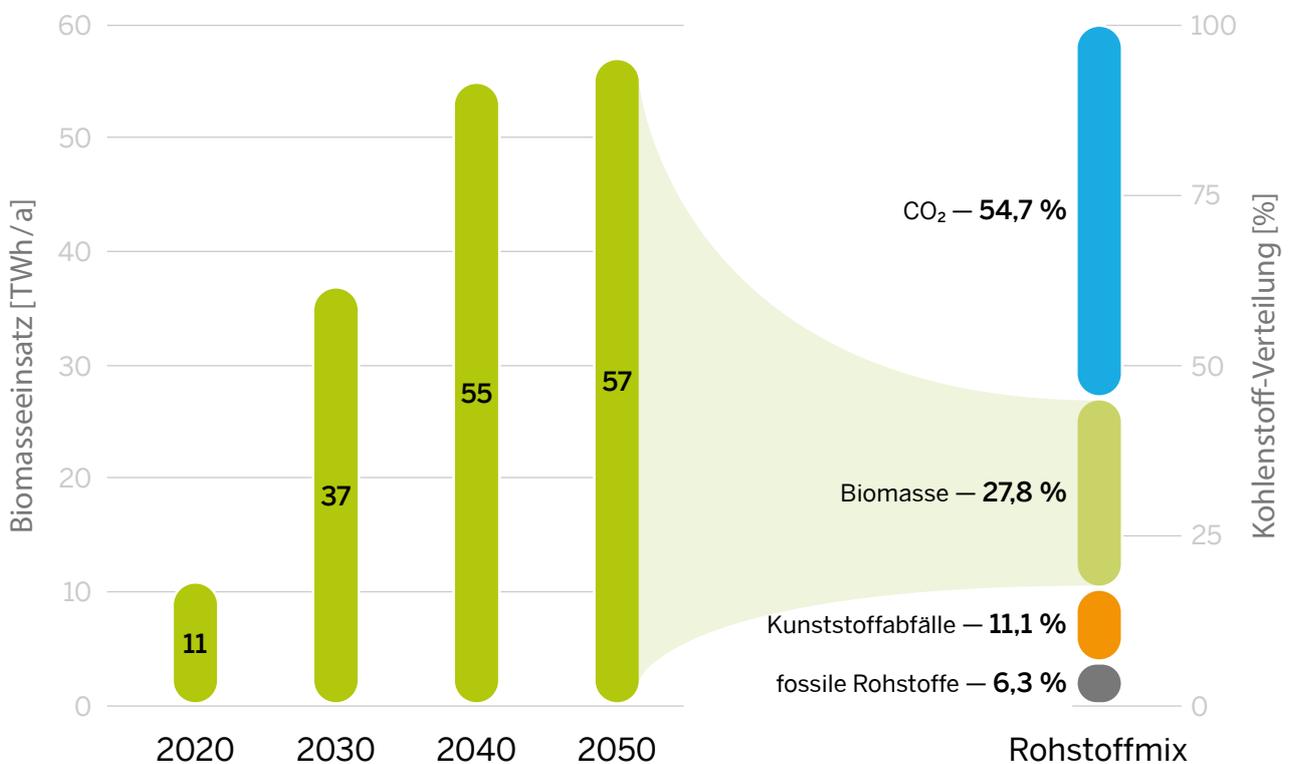


Abbildung 3: Prognostizierte Entwicklung der Biomassenutzung und prognostizierter Rohstoffmix der chemischen Industrie in Deutschland 2050 bezogen auf den Kohlenstoffgehalt<sup>9</sup> (DECHEMA und FutureCamp 2019), Pfad 3, Treibhausgasneutralität)

9 Für trockene Biomasse wird gem. DECHEMA und FutureCamp (2019) ein Kohlenstoffgehalt von 50 Prozent angenommen, für Kunststoffe 80 Prozent und für fossile Rohstoffe 86 Prozent (basierend auf Methylen (CH<sub>2</sub>)). Die Rohstoffmengen liegen gemäß Prognose bei 11,4 Mio. Tonnen Biomasse, 2,8 Mio. Tonnen Kunststoffabfälle, 1,5 Mio. Tonnen fossile Rohstoffe und 41 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>.

## Biomasse als alternative Baumaterialien

Neben der strukturellen Nutzung von Biomassen als Baumaterial (wie Holz und Stroh, s.o.), können insbesondere Biokohlen aufgrund ihrer stofflichen Eigenschaften (unter anderem sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit, Wasseraufnahmekapazität bis zu einem 6-fachen des Eigengewichtes) zur Isolierung und Regulierung der Luftfeuchtigkeit in Gebäuden als alternative Baumaterialien verwendet werden (Schmidt 2011). Durch Zumischung von bis zu ca. 50 Prozent Biokohlen können so in Verbindung mit Lehm, aber auch mit Kalk- sowie Zementmörtel, konkurrenzfähige isolierende, atmungsaktive Innen- und Außenputze hergestellt werden (Schmidt 2011). Aufgeschäumte Biokohle-Produkte können darüber hinaus Dämmfunktionen übernehmen oder als Verpackungsmaterialien dienen.

## Biomasse als Kohlenstoffquelle in der Metallurgie

Die Herstellung und Weiterverarbeitung von Metallen ist in Deutschland einer der wichtigsten Wirtschaftszweige. Von Eisen-, Stahl- und Temperguss wurden im Jahr 2021 in Deutschland rund 3,1 Mio. Tonnen produziert (Statista 2022b). Im Jahr 2020 wurden in Deutschland insgesamt rund 2,2 Mio. Tonnen Nichteisen(NE)-Metalle sowie NE-Legierungen erzeugt (Statista 2022c). Dazu gehören Aluminium aus Erz, Aluminium aus Recyclingmaterial, raffiniertes Kupfer, Kupfergusslegierungen, raffiniertes Blei und Zink, Feinzinkgusslegierungen, Zinn sowie Zinn- und andere Zinklegierungen (Statista 2022c). Die Nichteisen-Metalle sind unverzichtbar für den Industriestandort NRW und Deutschland. Hauptabnehmer sind die Bau-, Elektrotechnik- und Elektronikindustrie, der Maschinen- und Anlagenbau, die Chemieindustrie sowie der Fahrzeugbau (BGR 2021).

Heute ist in vielen metallurgischen Prozessen Kohlenstoff als Hilfsmittel unter anderem zur Reduktion der metallischen Erze (zum Beispiel in der Eisen- und Stahl- sowie der Kupfer- oder Aluminiumherstellung) oder zur Einstellung der gewünschten Materialeigenschaften (wie in der Eisen- und Stahlherstellung) erforderlich, der überwiegend durch den Einsatz fossiler Kohlen bereitgestellt wird. Die prozessspezifischen Anforderungen und die jeweilige Substituierbarkeit durch Biomasse(-karbonisate) wurden von Weber et al. (2016) untersucht. Die Ergebnis-

se zeigen, dass dies in fast allen Bereichen der Metallurgie möglich ist, in einzelnen Anwendungen scheint dies zum jetzigen Kenntnisstand jedoch schwierig.

Der Einsatz von Biomasse bzw. Biokohlen (siehe [Infobox Seite 27](#)) als Kohlenstoffquelle in metallurgischen Prozessen ist noch Gegenstand der Forschung und wird je nach Verfahren, Einsatzzweck und anvisiertem Endmetall im Labormaßstab bis hin zu Pilotanlagen getestet.

Beispiele von heutigem Kohlenstoffeinsatz in metallurgischen Prozessen sind nachfolgend für die Stahlerzeugung, Gießerei-Industrie und Aluminiumproduktion angeführt.

## Beispiel Stahlerzeugung

In 2021 produzierte Deutschland eine Rohstahlmenge von ca. 40,1 Mio. Tonnen (Statista 2022d). Die Hauptprozesse der Stahlindustrie umfassen die Primär- und Sekundärstahlerzeugung, sowie die nachgelagerten Prozesse der Sekundärmetallurgie zur Nachbehandlung des Stahls durch Zugabe und Entfernung bestimmter Stoffe.

Bei der **Sekundärstahlerzeugung** mittels Elektrolichtbogenofen wird Kohlenstoff (in Form eines festen Kohlenstoffträgers) unter anderem zur Basisaufkohlung (heute über Chargenkohle) und Schaum Schlackenbildung (heute über Blaskohle) benötigt (Weber et al. 2016). Die Schaum Schlacke erhöht die Effizienz und schützt Feuerfestmaterial und Grafitelektroden vor übermäßigem Verschleiß. Da im Elektrolichtbogenofen sehr hohe Temperaturen zwischen 2.000 und 3.000 °C herrschen, ist hierbei perspektivisch auch der Einsatz von belasteter Biomasse wie Altholz möglich. Gefährliche Verunreinigungen, zum Beispiel durch PAK (Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe), werden bei solch hohen Temperaturen gespalten. Der Ersatz von fossilem Kohlenstoff durch Biokohlen scheint bis zu 100 Prozent (vollständige Substitution) möglich. Derzeit wird versuchsweise der Einsatz von biogenen Pellets mit einem Kohlenstoffgehalt von etwa 48 Prozent getestet. Die aus Grafit bestehenden Elektroden im Elektrolichtbogenofen lassen sich nach heutigem Kenntnisstand weder substituieren noch existieren ausgereifte Ansätze zur Entwicklung alternativer, zum Beispiel inerte, Elektroden, sodass hier bis 2045 von unvermeidbarer CO<sub>2</sub>-Entstehung aus dem Abbrand der Elektroden ausgegangen werden muss

(IN4climate.NRW 2021c). Ob sich die Emission über CO<sub>2</sub>-Abscheidung effizient verhindern lassen, ist unklar, da der prozentuale Anteil im Abgas sehr niedrig ist.

Auch für die **Primärstahlroute** wird zukünftig Kohlenstoff benötigt. Die Transformation zur klimaneutralen Erzeugung sieht zwar die Umstellung der kohlebasierten Hochofenroute auf perspektivisch mit grünem Wasserstoff betriebenen Direktreduktionsanlagen (DR-Anlagen) vor. Das dort erzeugte direktreduzierte Eisen, auch Eisenschwamm genannt, ist fest und muss für die Weiterverarbeitung eingeschmolzen werden. Dies kann in Elektrolichtbogenöfen oder in ebenfalls strombetriebenen Einschmelzern, die mit den DR-Anlagen kombiniert werden, erfolgen (thyssenkrupp Steel Europe o. J.). Im Elektrolichtbogenofen wäre dann weiterhin analog zur Sekundärroute Kohlenstoff zur Schaumslaggenbildung und in Form von Elektroden notwendig. Ebenso in Einschmelzern sind heute und voraussichtlich auch zukünftig noch Kohlenstoff-Elektroden erforderlich, um mit dem eingebrachten Kohlenstoff die Schmelztemperatur zu senken und gleichzeitig den passenden Kohlenstoffgehalt für die zur Weiterverarbeitung erforderliche Roheisenqualität herzustellen. Das dadurch erzeugte Produkt ist dem heutigen Roheisen ähnlich und kann daran anschließend in bestehenden Anlagen der Sekundärmetallurgie weiterverarbeitet werden.

Rohstahl beinhaltet definitionsgemäß maximal zwei Prozent Kohlenstoff, so dass bei idealer Stoffumsetzung zur Herstellung von einer Tonne Stahl mindestens etwa 0,02 Tonnen Kohlenstoff benötigt werden. Dies entspricht bei einer ersten sehr groben Überschlagsrechnung<sup>10</sup> etwa 0,025 Tonnen aus Holz hergestellter Biokohle zur Herstellung einer Tonne Rohstahl oder 1,0025 Mio. Tonnen Biokohle für die im Jahr 2021 produzierte Rohstahlmenge. Bei einer Feststoffausbeute<sup>11</sup> von 30 Prozent sind dies etwa 0,083 Tonnen beziehungsweise circa 3,35 Mio. Tonnen (Alt-)Holz, die zur Herstellung entsprechender Biokohlen benötigt würden.

10 Die Überschlagsrechnung basiert auf der Annahme von pyrolytisch hergestellter Biokohle mit Holz als Ausgangsmaterial, deren fixer Kohlenstoffgehalt nach der Pyrolyse bei 500 °C, einer Verweilzeit von 30 Minuten und einer Aufheizrate von 10 Kelvin pro Minute bei ca. 80 Massenprozent liegt (Weber et al. 2016). Gemäß DIN 51720 umfasst der fixe Kohlenstoffanteil den bei Erhitzung auf 900 °C im Feststoff verbleibenden Kohlenstoffanteil, der nicht in die Gasphase übergeht.

11 Die Feststoffausbeute beschreibt das Verhältnis von eingesetzter Masse zur Masse des Produkts (hier: Biokohle). Diese liegt gemäß UBA (2016) für thermochemisch aus Holz hergestellte Biokohle unter den in Fußnote 8 genannten Prozessbedingungen schätzungsweise bei ca. 30 Prozent.

Wenn der Rohstahl nach der Erzeugung eine für den vorgesehenen Einsatzzweck abweichende qualitative Zusammensetzung aufweist, kann diese im Rahmen der **Sekundärmetallurgie** angepasst werden. So können Elemente wie Schwefel und Phosphor abgeschieden, bestimmte Legierungselemente eingebracht, die Schmelze homogenisiert und der gewünschte Kohlenstoffgehalt eingestellt werden. Bei einer Erhöhung des Kohlenstoffgehalts spricht man von Aufkohlung<sup>12</sup>. Erfolgt dies auf einen Anteil von größer als zwei Prozent, spricht man nicht mehr von Stahl, sondern von Gusseisen. Im Gegensatz zur Schaumslaggenbildung sind zum Zwecke der Aufkohlung höhere Reinheiten der Kohlenstoffquelle erforderlich (bis zu 99 Prozent C-Gehalt) und es dürfen keine Störstoffe, wie Schwefel oder Phosphor, enthalten sein. Eine vollständige Substitution der heutigen fossilen Quellen für die Aufkohlung von Rohstahl wurde bislang nicht erprobt, wobei Biokohlen dazu grundsätzlich in Betracht kommen.

## Beispiel Gießerei-Industrie

In deutschen Gießereien werden heute circa zwei Terawattstunden Gießereikoks eingesetzt (dena 2021b). Den größten Anteil an der Produktionsmenge machen mit etwa 62 Prozent Eisengießereien aus, die das Flüssig-eisen in koksbeheizten Kupolöfen produzieren (dena 2021b). Grobstückiger Gießereikoks, sogenannter Satz-koks, dient beim Schmelzprozess sowohl als Energieträger als auch Aufkohlungsmittel, da Stahlschrott mit niedrigerem Kohlenstoffgehalt neben Roheisen- und Kreislaufmaterial die Basis der metallischen Charge ist. Durch das Einblasen, zum Beispiel von Braunkohlekoksstaub, kann der Kupolofen energetisch optimiert und dadurch der Satz-koksbedarf gesenkt werden. Somit besteht zukünftig einerseits die Möglichkeit, Gießereikoks teilweise durch biogene Energieträger, wie Biokoks oder Biokohle ([siehe Infobox](#)) in Brikettform, zu substituieren, andererseits kann durch das Einblasen von biogenem Kohlestaub in den Kupolofen der Schmelzprozess weiter defossilisiert werden. Je nach Werkstoff ist im fertigen Rohguss ein Kohlenstoffgehalt von über drei Prozent zu erreichen. Deshalb wird nicht nur in Kupolöfen, sondern auch in elektrischen Schmelzaggagaten, wie Induktions-

12 Aufkohlung bezeichnet das Einbringen, d. h. Anreichern, von Kohlenstoff in den Werkstoff (z. B. Stahl und Eisen) und gewünschte Werkstoffeigenschaften, wie Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit, zu erzeugen und ein Härten zu ermöglichen.

öfen, Aufkohlungsmittel (Petrolkoks) eingesetzt. Somit muss auch dort perspektivisch Kohlenstoff in den Prozess, beispielsweise über Biokohle, eingebracht werden.

## Beispiel Aluminiumproduktion

In Deutschland wurden 2020 rund 529.000 Tonnen, 2019 rund 507.900 Tonnen Primäraluminium und circa 548,5 Tonnen Sekundäraluminium hergestellt (BGR 2021). Pro Tonne Primäraluminium werden 0,45 Tonnen Kohlenstoff-Anode zur Reduktion des Aluminiumoxids benötigt (IAI 2018). Die Kohlenstoff-Anode besteht je nach Zusammensetzung ihrer Ausgangsmaterialien aus rund 90 Prozent Kohlenstoff. Angelehnt an die Prognosen, dass NE-Metalle nur eine sehr geringe Steigerung der Produktion bis 2045 erfahren (Prognos et al. 2021), wird hier vereinfacht angenommen, dass die Produktion von Aluminium in Deutschland konstant bleibt. Zudem wird pessimistisch angenommen, dass die Entwicklung der inerteren Anode bis 2045 noch nicht ausgereift ist und daher die Aluminiumproduktion in Deutschland vollständig auf dem Einsatz von biogenen Kohlenstoff-Anoden basiert. Unter diesen Annahmen wäre ein biogener Kohlenstoffbedarf der Aluminiumproduktion 2045 von 214.245 Tonnen notwendig. In Anlehnung an die zuvor getroffenen Annahmen ([siehe Fußnoten 10 und 11, Seite 25](#)) entspricht dies bei ausschließlicher Bereitstellung des Kohlenstoffs aus Biokohlen circa 267,8 Kilotonnen Biokohle beziehungsweise etwa 893 Kilotonnen Holz.

## Biomasse als Kohlenstoffquelle in der Siliziumherstellung

Je nach Reinheitsgrad wird elementares Silizium oder auch Rohsilizium in diversen industriellen Prozessen verwendet. In der Metallurgie wird es beispielsweise als Legierungsbeisatz oder Desoxidant für Stähle (Ferro-silizium) und in der chemischen Branche zur Herstellung von Silikonen eingesetzt, während hochreines Silizium in mikroelektronischen Herstellungsprozessen von Halbleitern und Computerchips Verwendung findet. Nach entsprechender Aufreinigung wird Silizium außerdem als Haupt-Werkstoff in der Solarzellen-Produktion verwendet (Solarsilizium und Polysilizium) – global betrachtet waren im Jahr 2020 rund 95 Prozent aller produzierten Photovoltaik-Anlagen mit Silizium-Solarzellen versehen (Bett et al. 2022). 2021 belief sich die globale Silizium-

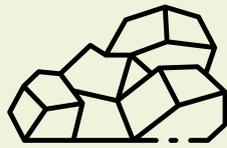
fördermenge auf circa 8,5 Mio. Tonnen, wobei China mit mehr als 70 Prozent der weltweit größte Produzent ist (Statista 2022e). Deutschland hat nur einen sehr geringen Anteil an der globalen Siliziumproduktion.

Bei der industriellen Herstellung von Rohsilizium (nicht-metallisch) in Lichtbogenöfen bei Temperaturen von über 2.000 °C wird Kohlenstoff und dementsprechend eine Kohlenstoffquelle als Reduktionsmittel benötigt (Lippelt et al. 2021). Üblicherweise ausgehend von Quarzsand oder Quarzkies wird das darin enthaltene Siliziumdioxid durch die Reduktion mit Kohlenstoff in speziellen elektrischen Lichtbogenöfen (Schmelz-Reduktionsofen) bei Temperaturen bis circa 2.000 °C zu elementarem Silizium verarbeitet. Gemäß der dahinterliegenden Reaktionsgleichung werden bei idealer Umsetzung zur Herstellung einer Tonne Rohsilizium circa 0,85 Tonnen Kohlenstoff benötigt. Typische aktuelle Kohlenstoffträger sind (Petrol-)Koks und Kohle, welche je nach Qualitätsansprüche an das Endprodukt zumindest teilweise mit biogenen Kohlenstoffträgern, wie Biokohle, substituiert werden können (Weber et al. 2016). Bei ausschließlicher Kohlenstoffbereitstellung aus Biokohle und unter den zuvor getroffenen Annahmen ([siehe Fußnoten 10 und 11, Seite 25](#)) wäre eine Menge von circa 1,06 Tonnen Biokohle beziehungsweise circa 3,5 Tonnen Holz pro Tonne Rohsilizium notwendig.

Mit Blick auf die zu erreichende Klimaneutralität 2045 und begrenzte CO<sub>2</sub>-Budgets sollte Kohlenstoff nur in solchen Prozessen durch Biomasse beziehungsweise biogenen Kohlenstoff beispielsweise aus Biokohlen substituiert werden, in denen Kohlenstoff alternativlos und unvermeidbar ist. Es gilt (wissenschaftlich) zu ermitteln, welche Prozesse dies sind. Für Verfahren, in denen sich durch wirtschaftliche Prozessumstellungen Kohlenstoff vermeiden lässt, sollte diese Alternativroute erschlossen und prioritär entwickelt und erprobt werden. Beispiele hierfür sind der Einsatz als Reduktionsmittel (in der Stahlherstellung kann die auf Koks basierende Hochofenroute auf eine Direktreduktion mit Wasserstoff umgestellt werden) oder als Hilfsmittel (perspektivisch könnten inerte Anoden die Kohlenstoff-Anoden in der Aluminiumproduktion ersetzen).

## Was ist Biokohle?

## Info!



Unter dem Begriff „Biokohle“ (biochar) versteht sich im Rahmen dieses Papiers Biomasse, die mittels thermochemischer Konversionsprozesse einen höheren relativen Kohlenstoffgehalt und somit auch einen höheren Heizwert im Vergleich zum organischen Ausgangsprodukt aufweist. Dies macht Biokohle sowohl zu einer begehrten zukünftigen nicht fossilen Kohlenstoffquelle, zum Beispiel in der Metallherstellung, als auch zu einem begehrten Brennstoff. Darüber hinaus weisen Biokohlen je nach Herstellungsverfahren große Oberflächen und poröse Strukturen auf, was diverse Einsatzbereiche und Anwendungsfälle bspw. in der Landwirtschaft als Bodenverbesserer oder als Aktivkohle in Chemie, Medizin, Trinkwasseraufbereitung, Abwasserbehandlung sowie Lüftungs- und Klimatechnik ermöglicht.

Zu den Konversionsverfahren zählen vor allem pyrolytische Prozesse (Hoch-, Mittel- und Niedertemperaturpyrolyse sowie Torrefizierung) und die hydrothermale Carbonisierung (HTC). Auch bei der Vergasung von Biomasse können Biokohlen entstehen.

Je nach Herstellungsverfahren und/oder ursprünglicher Biomasse sind diverse weitere Bezeichnungen für Biokohlen möglich, die sich auch in ihren chemischen, physikalischen und kalorischen Eigenschaften unterscheiden können. Am bekanntesten und traditionellsten sind dabei: Holzkohle, Pyrolysekohle/-koks oder auch Biokoks (Pyrochar), HTC-Kohle (Hydrochar) und Pflanzenkohle. Insbesondere der Begriff „Pflanzenkohle“ wird im deutschsprachigen Raum zunehmend verwendet, was

nach Schmidt (2011) auch zur Vermeidung der fälschlichen Annahme von Biokohle als ein bio-zertifiziertes Produkt der ökologischen Landwirtschaft dient. Nach der vom European Biochar Certificate herausgegebenen Richtlinien für die Produktion von Pflanzenkohlen (EBC 2012) handelt es sich bei Pflanzenkohle um unter bestimmten verfahrenstechnischen Randbedingungen pyrolytisch hergestellte Biomasse, wobei die dabei zu verwendenden Ausgangsstoffe auf einer EBC-Positivliste zulässiger Biomassen zur Herstellung von Pflanzenkohle gelistet sind. Die so definierte Pflanzenkohle ist aufgrund der Eingrenzung in den Ausgangsstoffen und des Herstellungsverfahrens daher quasi nur als ein Teil der hier begrifflich verwendeten „Biokohle“ zu verstehen und ist vor allem im landwirtschaftlichen Bereich etabliert (Weber et al. 2016). Weber et al (2016) nutzen zur umfassenden Beschreibung aller Biokohlen auch den Oberbegriff „Biomassekarbonisat“.

Bei der Herstellung von Biokohlen fallen neben den festen Bestandteilen außerdem gasförmige und flüssige Komponenten an, die in nachgeschalteten Prozessen genutzt werden können. Das bei der Pyrolyse anfallende Pyrolysegas kann bspw. direkt energetisch verwertet werden und dadurch einen Teil der notwendigen Prozesswärme bereitstellen oder mittels Steam-Reforming zu Wasserstoff und anderen Komponenten weiterverarbeitet werden. Anfallendes Pyrolyseöl kann nach entsprechender Aufbereitung bspw. energetisch als Kraftstoff oder grundsätzlich auch als biogene Rohstoffquelle in chemischen Anwendungen verwendet werden.

### 3.3 Energetische Nutzung

Die energetische Nutzung von Biomasse umfasst die Bereitstellung von aus biogenen Quellen gewonnenem Strom, Wärme oder Kraftstoff (Bioenergie). Die eingesetzten Biomassen müssen dazu je nach vorgesehenem Endenergieträger beziehungsweise Verwendungszweck in der Regel die in der [Abbildung 1 \(siehe Seite 8\)](#) schematisch dargestellten Bereitstellungs- und /oder Konversionsschritte durchlaufen. Erfolgt die energetische Nutzung durch Verbrennung von Biomasse, lässt sich die freiwerdende Energie prinzipiell für die Erzeugung von Strom (beispielsweise für mechanische Antriebe), aber auch für die Bereitstellung von Wärme für industrielle Prozesse oder Raumwärme nutzen, was zur Steigerung des Wirkungsgrades in der Regel kombiniert in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) erfolgt. Ergänzende Informationen zu den jeweiligen Konversionsschritten und -technologien können entsprechender Fachliteratur entnommen werden.

Im Jahr 2020 wurden deutschlandweit insgesamt etwa 67,3 Mio. Tonnen nachwachsender Rohstoffe für Bioenergie eingesetzt, wovon 91 Prozent für die Bereitstellung von Strom und Wärme verwendet wurden (FNR 2022b). Während der NawaRo-Einsatz im Jahr 2020 im Bereich Strom und Wärme im Vergleich zu 2015 (55,4 Mio. Tonnen) einen Zuwachs von circa elf Prozent hatte, nahm die NawaRo-Nutzung zur Biokraftstoff-Produktion in den gleichen Bezugsjahren um circa 21 Prozent ab (ebd.). Für die gesamten biogenen Abfall- und Reststoffe geben Brosowski et al. (2019) an, dass 2015 circa 37 Prozent der nutzbar gemachten Stoffe energetisch genutzt wurden. Gemäß Hennenberg et al. (2022) wurden im Jahr 2018 rund 60 Mio. Kubikmeter beziehungsweise circa 132 Terawattstunden Holz energetisch verwertet. Insgesamt betrug der Anteil von Bioenergie (inkl. Nutzung biogener Abfälle) im Jahr 2021 etwa 9,7 Prozent des deutschen Primärenergieverbrauchs und stellte mit 61 Prozent den größten Anteil innerhalb der Erneuerbaren Energien (FNR 2022a).

Für NRW belaufen sich die Zahlen hinsichtlich der Bioenergiebereitstellung (inkl. Deponiegas, Klärgas und Müllverbrennung) im Jahr 2021 auf einen Stromertrag von etwa 8,95 Terawattstunden (ca. 6,7 % des Bruttostromverbrauchs in NRW) und einen Wärmeertrag von circa 5,3 Terawattstunden (LANUV NRW 2021).

Um einen besseren Überblick über die jeweiligen Einsatzfelder und Anwendungen als auch über den aktuellen Einsatz von Bioenergie zu bekommen, werden diese nachfolgend gegliedert nach Endnutzungsform (Strom, Wärme, Kraftstoff) näher erörtert.

#### Strom

Im Jahr 2021 wurden insgesamt 50,5 Terawattstunden Strom aus biogenen Quellen hergestellt (Bruttostromerzeugung), wovon 66,7 Prozent aus gasförmigen Energieträgern (hier: Biogas, Biomethan, Klärgas und Deponiegas), 22,5 Prozent aus biogenen Festbrennstoffen (z. B. Holz, Stroh) und 0,6 Prozent aus biogenen flüssigen Brennstoffen (z. B. Bioethanol) stammten. Weitere 11,2 Prozent der Stromerzeugung aus Biomasse entfielen auf den biogenen Anteil von Abfällen, sowohl fest als auch flüssig (FNR 2022a). Abzüglich des Eigenverbrauchs der Strom-Erzeuger (hier: Biomasse-Kraftwerke bzw. -anlagen) wurden im Jahr 2021 davon rund 43 Terawattstunden in das deutsche Stromnetz eingespeist (Nettostromerzeugung) (Burger 2022).

Insbesondere feste Biomassen können im einfachsten Fall ohne weitere Umwandlungsschritte als Brennstoff direkt einer Feuerungsanlage zugeführt werden. Im großtechnischen Maßstab erfolgt die Verbrennung von fester Biomasse in Biomassekraftwerken, wobei gängige Anlagentypen auf „konventionellen“ Dampfkraftwerksprozessen oder Organic-Rankine-Cycle(ORC)-Prozessen basieren und in der Regel als Kraft-Wärme-Kopplungs-(KWK-)Anlage ausgeführt sind. In effizienten KWK-Anlagen werden gleichzeitig elektrische und thermische Energie beziehungsweise Strom und Wärme zur energetischen Nutzung erzeugt.

Die energetische Umwandlung von gasförmigen Biomassen (z. B. Biogas, Klärgas, Deponiegas) erfolgt überwiegend mit Hilfe von Blockheizkraftwerken (BHKW), die in der Regel am Standort der Erzeugung des Energieträgers platziert sind – zum Beispiel einer Biogasanlage nachgeschaltet. BHKWs nutzen ebenfalls das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung. Alternativ können gasförmige Biomassen (weiter) aufbereitet und als Biomethan beispielsweise ins Erdgasnetz eingespeist und entsprechend energetisch weiter genutzt werden.

In der Fortschreibung der Energieversorgungsstrategie NRW (MWIDE 2021a) heißt es: „Während die KWK-Wärmeerzeugung heute noch überwiegend auf der Stein- und Braunkohle beruht, werden künftig insbesondere Wasserstoff und Biomasse einen Großteil in NRW übernehmen.“ Bezogen auf die elektrische Leistung sind in NRW heute knapp vier Prozent der installierten KWK-Anlagen für den Einsatz biogener Energieträger (hier: Biogas, Biomasse, Biomethan, Klär- und Deponiegas) bestimmt, was einer elektrischen Anschlussleistung von 709 MW entspricht<sup>13</sup> (LANUV 2021). Biomasse-KWK-Anlagen kommen in NRW derzeit vorwiegend in den Bereichen Objektversorgung, Wärmenetze und Industrie zum Einsatz (LANUV 2021). Verknüpft man die von NRW anvisierte Steigerung der auf Bioenergie basierenden KWK mit den Ergebnissen aus (Prognos et al. 2021) (vgl. [Abbildung 7](#)), müsste der Zubau ausschließlich zur Deckung industrieller Energiebedarfe erfolgen.

Gemäß Prognos et al. (2021) wird die Stromerzeugung bis 2045 zu 100 Prozent aus Erneuerbaren Energien gespeist, wobei der Biomasseeinsatz dabei neben Windkraft, Photovoltaik und Wasserkraft eine stark untergeordnete Rolle einnehmen wird. Während der Ausbau weiterer Erneuerbarer Energien vorangetrieben wird, wird nur ein geringer Zuwachs der biogenen Nettostromerzeugung bis 2030 auf 38 Terawattstunden prognostiziert. Ab dann werde die Bioenergie kontinuierlich an Bedeutung für die Nettostromerzeugung in Deutschland verlieren und 2045 nur noch 10 Terawattstunden von insgesamt circa 990 Terawattstunden ausmachen, was dann in etwa ein Prozent des Strommixes im Netz entspricht (Prognos et al. 2021). Auch die dena-Leitstudie prognostiziert einen vergleichsweise geringen Anteil von circa 2,4 Prozent der Nettostromerzeugung aus Biomasse in 2045 (dena 2021a), während die BMWi-Langfrist-szenarien den Biomasseeinsatz zur bloßen Stromerzeugung bis 2045 überhaupt nicht mehr vorsehen (Sensfuß et al. 2021).

## Wärme

Im Jahr 2021 wurden insgesamt 171,5 Terawattstunden Wärme aus biogenen Quellen hergestellt, wovon 77,5 Prozent aus biogenen Festbrennstoffen (wie Holz und Stroh) gewonnen wurden. 11,5 Prozent wurden durch gasförmige Brennstoffe (hier: Biogas, Biomethan, Klär- und Deponiegas) und 1,7 Prozent durch flüssige Brennstoffe (wie Bioethanol) bereitgestellt (FNR 2022a). Die thermische Nutzung des biogenen Anteils von Abfällen machte weitere 9,3 Prozent der gesamterzeugten Wärme aus (FNR 2022a). Bezogen auf die thermische Leistung sind in NRW heute knapp 10,5 Prozent der installierten KWK-Anlagen für den Einsatz biogener Energieträger (hier: Biogas, Biomasse, Biomethan, Klär- und Deponiegas) bestimmt, was einer thermischen Leistung von 1.539 MW entspricht<sup>13</sup> (LANUV 2021).

Je nach Verwendungszweck kann erzeugte Wärme näher spezifiziert werden: Die für industrielle Prozesse eingesetzte Wärme wird als Prozesswärme bezeichnet und umfasst beispielsweise die für das Schmelzen, Schmieden, Brennen und Trocknen von Glas, Metall, Zement oder Papier benötigte Wärme. Unter gebäudebezogener Wärme wird hier die zur Bereitstellung von Warmwasser (für den Sanitärbereich) benötigte Wärme und Raumwärme zur Beheizung von Gebäuden verstanden. Daneben kann Wärme auch nach dem bereitgestellten Temperaturniveau klassifiziert werden: bei Temperaturen von bis zu 100 °C wird oft von Niedertemperaturwärme gesprochen, während Wärme bei höhere Temperaturen entsprechend als Mittel-, Hoch- oder Höchsttemperaturwärme bezeichnet wird.

Industrielle Prozesswärme wurde im Jahr 2020 überwiegend durch den Einsatz fossiler Energieträger, wie Erdgas, Kohle und Erdöl (bundesweiter Anteil von zusammen ca. 72 Prozent der industriellen Prozesswärmeerzeugung) bereitgestellt (BMWK 2021). Darüber hinaus sind Industrieprozesse in Deutschland für über 60 Mio. Tonnen an Treibhausgasemissionen verantwortlich (BMWK 2021). Die Umstellung auf nachhaltige Energiequellen zur Bereitstellung von Prozesswärme ist deshalb ein wichtiger Hebel auf dem Weg zur Klimaneutralität und gleichzeitig eine große Herausforderung, denn die Wärme für industrielle Prozesse wird teilweise auf sehr hohen Temperaturniveaus von bis zu 3.000 °C benötigt und je nach Prozess sind spezifische Anforderungen zu erfüllen (IN4climate.NRW 2022).

<sup>13</sup> Abfall wurde hier nicht als biogener Energieträger berücksichtigt, da der biogene Anteil des Abfalls nicht aus der betrachteten Studie hervorgeht.

Bei der direkten thermischen Nutzung von unbehandelter fester Biomasse ist das erreichbare Temperaturniveau in der Regel bei etwa 500 °C begrenzt (AEE 2017). Durch verschiedene Möglichkeiten der Biomasseaufbereitung (bspw. Pyrolyse zu Biokohle oder Pelletieren von Holzbiomasse) oder zum Beispiel die Verwendung von Biomethan können höhere Temperaturniveaus (bis über 1.500 °C) erreicht werden (IN4climate.NRW 2021b). Die Bereitstellung von biogener Prozesswärme erfolgt in der Regel durch den Einsatz in Biomasseheizkraftwerken und in effizienten Biomasseanlagen, die nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsprinzip arbeiten (siehe auch [vorheriger Abschnitt](#)). Bislang ist der Anteil jedoch sehr niedrig: So beträgt der gesamte Anteil der erneuerbaren Prozesswärmeerzeugung nur etwa sechs Prozent, worunter auch Bioenergie fällt (BMWK 2021).

Bislang werden feste Biomassen für die Wärmeerzeugung überwiegend für Prozesse unter 200 °C oder zur Gebäudebeheizung (etwa in Pelletheizungen) eingesetzt und nur in geringem Umfang für Hochtemperaturprozesse (Lenz et al. 2020). Mit Blick auf die Wertigkeit der erzeugten thermischen Energie (vgl. Infobox zu Exergie, [S. 31](#)) ist Letzteres jedoch eigentlich besonders sinnvoll. In einer Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) wurden verschiedene Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe untersucht und davon sinnvolle und geeignete Einsatzpfade abgeleitet. Die Bewertung erfolgt unter anderem nach Energieeffizienz (Gesamtwirkungsgrad und Exergie), Treibhausgasemission und Kompatibilität zur Transformation des Energiesystems. Priorisiert wird auch dort bei allen betrachteten Feuerungsanlagen die Erzeugung von Prozesswärme auf möglichst hohem Temperatur- und Druckniveau (hier in Form von Prozessdampf bei Mitteldruck<sup>14</sup>) gegenüber einer Niedertemperaturanwendung. Zu den betrachteten Feuerungsanlagen zählen Holzhackschnitzelkessel, Heizkraftwerke sowie Abfall- und Klärschlammverbrennung (Fehrenbach et al. 2018).

Dennoch sollten industrielle Wärmeprozesse, wo möglich, dekarbonisiert und dazu andere Energiequellen geprüft werden. Eine strategische Herangehensweise

bietet dabei das von IN4climate.NRW veröffentlichte „Vier-Stufen-Modell“ (IN4climate.NRW 2021b). Bioenergie zur Prozesswärmeerzeugung fällt dort in die vierte und damit letzte Stufe. In manchen Industriezweigen, die aus technischen Gesichtspunkten auch andere Prozesswärmeerzeugungstechnologien nutzen und kohlenstofffreie Energieträger einsetzen könnten, können wirtschaftliche Gründe übergangsweise für den Einsatz von Biomasse sprechen. Zum Beispiel könnten vorhandene Kohlekessel mit vergleichsweise geringem Aufwand auf Holz- oder andere biogene Pellets umgestellt werden, bis eine zukünftige Technologie aufgebaut ist. Eine Dekarbonisierung durch den langfristigen Umstieg auf erneuerbare Wärmequellen (wie Tiefengeothermie oder konzentrierende Solarthermie) oder auch Fernwärme sowie durch Elektrifizierung oder den Einsatz von Wasserstoff sind jedoch von Beginn an mitzuplanen.

Für einige Industriezweige und -prozesse jedoch kann Bioenergie auch langfristig die beste oder einzige mögliche Option darstellen. Die Nutzung für (Hochtemperatur-)Prozesswärmebedarfe empfiehlt sich insbesondere dann, wenn zusätzlich zur Wärme auch noch Kohlenstoff in den Prozess mit eingebracht werden muss, das heißt eine thermische und stoffliche Nutzung gleichzeitig – als sogenannte Koppelnutzung – erfolgen kann. Dies betrifft zum Beispiel die Eisen- und Stahlerzeugung (vgl. [Abschnitt 3.2](#)). Auf Biomassefeststoffen basierte Prozesswärmeerzeugung ist jedoch bislang für spezifische Prozesse im großtechnischen Maßstab noch nicht erprobt. Hierunter fallen zum Beispiel Kupolöfen in der Gießereiindustrie (TRL < 8), Schacht- und Drehrohröfen in der Kalkherstellung (TRL < 4 – 6) oder das Brennen von Zementklinker (zum Beispiel mittels hybrider Beheizung über Biomasse und Strom (TRL < 4)) (Fleiter et al. 2022). In solchen Einsatzfeldern gilt es die Eignung verschiedener Biomassen und Biomassequalitäten zu ermitteln, damit zukünftige Bedarfe genauer beziffert werden können.

14 Der Betrachtung liegt Prozessdampf bei einem Druck von 40 bar und einer Temperatur von 300 °C zugrunde.

## Wie viel ist Wärme „wert“? Und was ist „Exergie“?

### Info!



Energie kann nicht erzeugt oder vernichtet werden; Energie kann immer nur von einer Energieform in eine andere umgewandelt werden (Energieerhaltungssatz). Bspw. wird in einem einfachen Biomassekraftwerk aus der chemisch gebundenen Energie der Biomasse durch die Verbrennung Wärmeenergie, welche zur Wasserdampfbereitstellung genutzt wird. Der Wasserdampf wird dann zum Antrieb einer Turbine genutzt (mechanische bzw. kinetische Energie), welche mit einem Generator gekoppelt ist. Dieser wandelt die Bewegungsenergie der Turbine letztlich in elektrische Energie um.

Allerdings ist nicht jede Energieform beliebig und uneingeschränkt in andere Energieformen umwandelbar. Diese „Wertigkeit“ der Energie kann mit Hilfe der thermodynamischen Definitionen „Exergie“ und „Anergie“ beschrieben werden. Während Exergie den nutzbaren, d. h. in andere Energieformen umwandelbaren, Teil von Energie darstellt, meint Anergie den nutzlosen / nicht umwandelbaren Teil von Energie.

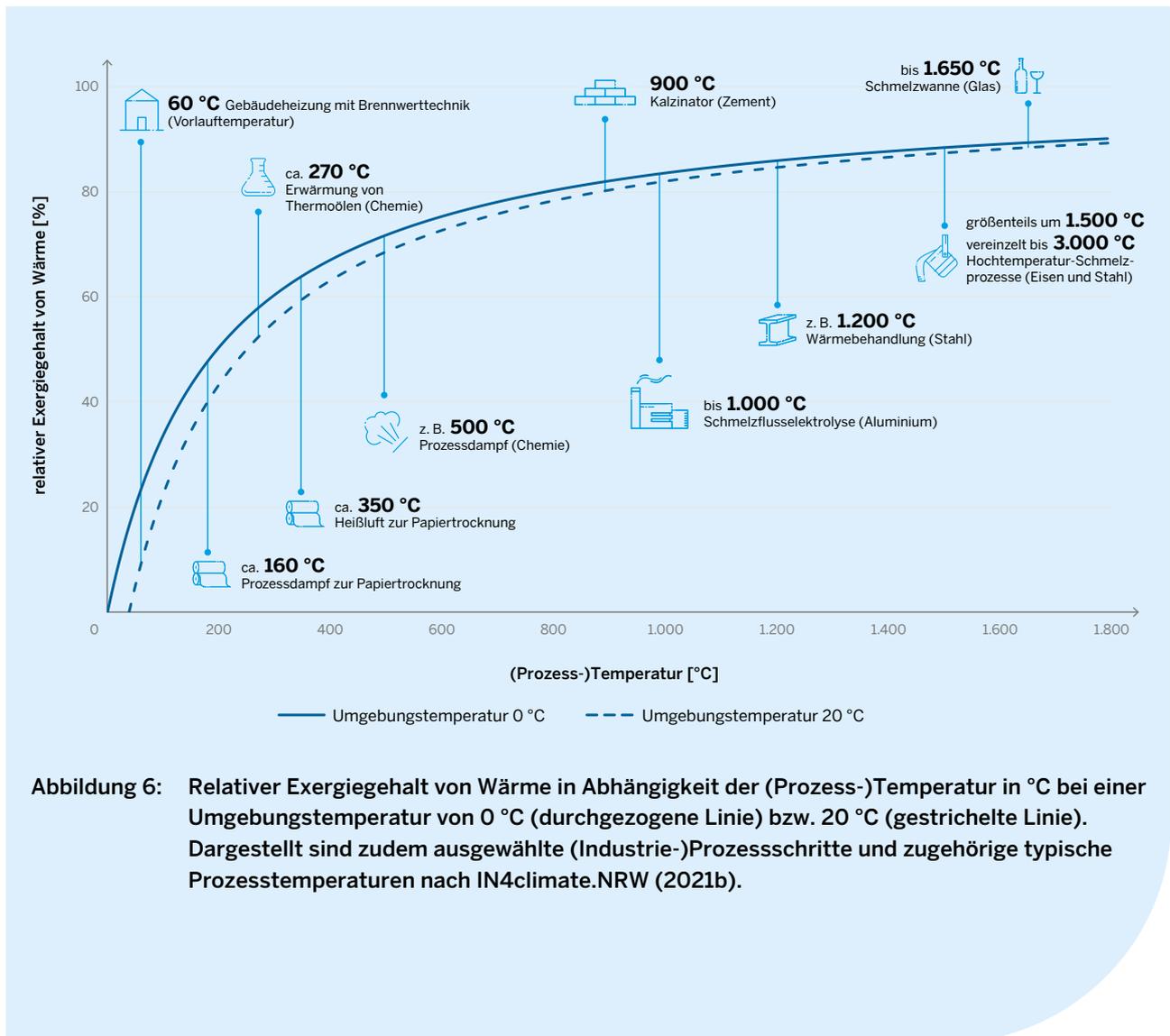
Die besonders hochwertige Energieform „Elektrische Energie“ lässt sich **bspw.** komplett in andere Energieformen überführen und besitzt somit einen exergetischen Anteil von 100 Prozent. Dadurch lässt sich Strom – zumindest in einem idealisierten Prozess – zu 100 Prozent in nutzbare Arbeit umwandeln.

Im Gegensatz dazu ist Wärme nur beschränkt in andere Energieformen umwandelbar. Der relative Exergiegehalt von Wärme wird durch

die Umgebungstemperatur bzw. konkreter durch die Differenz zwischen Prozess- und Umgebungstemperatur festgelegt. Untenstehende Abbildung zum relativen Exergiegehalt von Wärme zeigt Beispielanwendungen und ihre jeweiligen relativen Exergiegehalte.

Exergetisch betrachtet ist eine Verbrennung von Biomasse bei mehreren hundert Grad Celsius mit dem Ziel der Bereitstellung von Raumtemperaturen (Exergiegehalt von ca. acht Prozent) daher sehr ineffizient. Die Bereitstellung solcher Niedertemperaturwärme durch Energieträger mit hohem Exergiegehalt geht mit hohen „Exergieverlusten“ einher, was sich auf die Energieeffizienz des Gesamtsystems auswirkt. Exergetisch sinnvoller wäre in diesem Szenario bspw. das Ziel entstehende Heißluft zur Trocknung in der Papierherstellung bis zu 400 °C (Exergiegehalt von ca. 60 Prozent) zu nutzen, während Raumtemperaturen bspw. durch den Einsatz von Wärmepumpen und Geothermie erzielt werden könnten oder durch in der Industrie nicht mehr nutzbare Abwärme (IN4climate.NRW 2021b).

Ziel von technischen Prozessen bzw. Energieumwandlungen sollte daher stets ein geringer Exergieverlust bzw. einer hoher exergetischer Wirkungsgrad sein. Demzufolge ist eine Unterscheidung des Temperaturniveaus auf Nachfrageseite zwingend erforderlich, um exergetisch optimale Versorgungslösungen darauf abzustimmen.



**Abbildung 6:** Relativer Exergiegehalt von Wärme in Abhängigkeit der (Prozess-)Temperatur in °C bei einer Umgebungstemperatur von 0 °C (durchgezogene Linie) bzw. 20 °C (gestrichelte Linie). Dargestellt sind zudem ausgewählte (Industrie-)Prozessschritte und zugehörige typische Prozessstemperaturen nach IN4climate.NRW (2021b).

Im Jahr 2020 betrug der **gebäudebezogene Wärmebedarf** in Deutschland rund 560 Terawattstunden, was etwa 84 Prozent des gesamten Endenergiebedarfes der deutschen Haushalte entsprach (davon 68 Prozent Raumwärme und 16 Prozent Warmwasser) (BMWK 2021). Nur knapp 17 Prozent (circa 95 Terawattstunden im Jahr 2020) der Haushaltswärme wurde dabei über Erneuerbare Energien erzeugt. Im Jahr 2021 stieg der EE-Anteil auf rund 109 Terawattstunden, wovon etwa 77 Prozent durch Biomasse (überwiegend biogene Festbrennstoffe) bereitgestellt wurde (BMWK 2022b). Zur gebäudebezogenen Wärmebereitstellung, beispielsweise in privaten Haushalten, wird Biomasse bisweilen in Einzelraumfeuerungsanlagen wie Kaminöfen, Kachelöfen und Heizkaminen oder in Zentralheizungssystemen

(Holzkessel, Pelletheizung, Hackschnitzelheizung etc.) verbrannt.

Je nach Dämmstandard eines Gebäudes und verbautem Heizungsüberträger, sei es ein Heizkörper oder eine Flächenheizung, sind unterschiedlich hohe Vorlauftemperaturen für die Beheizung erforderlich. Effiziente Flächenheizungen wie Fußbodenheizungen kommen oft schon mit niedrigen Wassertemperaturen von 40 °C aus, während Heizkörper Temperaturen von 70 °C oder darüber benötigen. Wasser, das in Sanitärbereichen genutzt wird, muss mindestens 60 °C warm sein, um einen Schutz vor Legionellen-Bakterien zu gewährleisten.

Eine sehr gute Möglichkeit zur Deckung des gebäudebezogenen Wärmebedarfes stellt aufgrund dieser niedrigen Temperaturen die Versorgung über ein leitungsgebundenes Wärmenetz dar – sofern dieses aus nachhaltigen Quellen wie Geothermie oder industrieller Abwärme gespeist wird. Im Vordergrund steht dabei dann die Dekarbonisierung der Fernwärme (Stiftung Klimaneutralität et al. 2021). Zur Deckung von Spitzenlasten kann Biomasse im Wärmenetz einen sinnvollen Beitrag leisten, sollte jedoch – mit Blick auf die Wertigkeit der durch Biomasse erzeugten Energie (vgl. Infobox zur Exergie, Seite 31) – nicht flächendeckend zur Grundlast eingesetzt werden. Derzeit sind nur rund 24 Terawattstunden der deutschen Fernwärmeerzeugung aus Erneuerbaren Energien bereitgestellt und das so gut wie ausschließlich aus Biomasse (circa 97 Prozent) (BMWK 2022b).

Agora Energiewende schlägt vor, dass Wärmenetze verstärkt ausgebaut werden (bis 2030 eine Steigerung der angeschlossenen Haushalte bis 2030 um 50 Prozent auf 8 Mio. und bis 2045 um 150 Prozent auf 14 Mio.). Dabei sollen Mindestanteile für Erneuerbare Energien, also Solar- und Geothermie, und Abwärme ordnungsrechtlich festlegt und gleichzeitig der Einsatz von Biomasse für diese Nutzung auf 20 Prozent begrenzt werden. Lediglich 15 Terawattstunden der insgesamt prognostizierten 164 Terawattstunden der gesamtdeutschen Fernwärmeerzeugung kämen dann im Jahr 2045 noch aus Bioenergie, inklusive biogener Abfälle. Dies würde eine Reduzierung des Biomasseanteils an der Fernwärme zu heute um etwa 58 Prozent bedeuten – von circa 16 Prozent im Jahr 2018 zu neun Prozent im Jahr 2045. In dem betrachteten Szenario soll insbesondere der Einsatz biogener Reststoffe aus Abfällen (Müllverbrennung) im Fernwärmemix reduziert werden – von rund zehn Prozent in 2018 auf vier Prozent in 2050. Aktuell machen biogene Reststoffe etwa die Hälfte der aus biogenen Quellen stammenden Fernwärme aus. Der Anteil anderer Biomasse an der Fernwärmeerzeugung – größtenteils Verbrennung fester Biomassen – wird mit etwa zehn bis elf Prozent über die Jahre als konstant prognostiziert. Der Großteil der Fernwärmeerzeugung wird nach dieser Prognose dann mit einem Mix aus Geo- und Solarthermie, Wasserstoff, Großwärmepumpen und industrieller Abwärmenutzung gewährleistet. (Bürger et al. 2021, Prognos et al. 2021)

Auch mit Blick auf die dezentrale, nicht über ein Wärmenetz versorgte, gebäudebezogene Wärme sieht die Agenda Wärmewende (Bürger et al. 2021) eine Entwicklung hin zu Wärmepumpen, so dass bis 2050 60 Prozent der erforderlichen Wärme durch diese gedeckt werden.

Wasserstoff und andere strombasierte Brennstoffe werden in der dezentralen Wärmeversorgung nach diesem Szenario keine Rolle spielen. Allerdings wird parallel dazu eine Verdopplung des Biomasseeinsatzes zur Bereitstellung von gebäudebezogener Wärme von zurzeit fünf auf zehn Prozent prognostiziert. Die eingesetzte Biomasse soll dabei jedoch gezielt dort eingesetzt werden, wo eine Sanierung beispielsweise aufgrund baulicher Restriktionen oder aus Gründen des Denkmalschutzes nicht möglich ist oder wo sich der Einsatz von Wärmepumpen nicht eignet und wo keine Anschlussmöglichkeit an ein Wärmenetz vorliegt (ebd.). Agora Energiewende fordert, dass die Förderung von dezentralen Biomasseheizungen zurückgefahren wird, zugunsten anderer Nutzungen, beispielsweise in der Industrie. Im Szenario von Agora Energiewende, in dem ein nachhaltiges verträgliches Maß modelliert wurde, steigt die Nutzung von Biomasse im Gebäudesektor bis 2030 moderat auf rund 105 Terawattstunden (2018: circa 80 Terawattstunden) an (Agora Energiewende 2021). Es wird davon ausgegangen, dass ohne politische Steuerung der Zubau dieses Maß deutlich übersteigen würde und die aktuellen Förderinstrumente sogar entgegen einer volkswirtschaftlich optimierten Allokation der verfügbaren Biomasse massiv zur Steigerung beitragen und somit Fehlallokationen begünstigen.

Ein solch gezielter Einsatz von Biomasse wird in einer aktuellen Konzeption des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) in Form eines Zwei-Stufen-Modells als Option zur gebäudebezogenen Wärmewende vorgestellt<sup>15</sup>. Der gezielte Biomasseeinsatz zählt darin zur zweiten Stufe<sup>16</sup> und kommt nur in Frage, wenn eine anderweitig klimaneutrale Beheizung nach Stufe 1<sup>17</sup> aus zuvor genannten Gründen nicht möglich ist.

15 Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Papiers befand sich das Konzeptionspapier von BMWK und BMWSB in der öffentlichen Konsultation und ein Beschluss lag noch nicht vor.

16 Stufe 2 des Zwei-Stufen-Modells umfasst Anlagen mit dem direkten Einsatz von nachhaltig erzeugtem Biomethan, grünem Wasserstoff und dessen Folgeprodukten oder anderen grünen Gasen, nachhaltiger fester oder flüssiger Biomasse

17 Stufe 1 des Zwei-Stufen-Modells umfasst den Anschluss an ein Wärmenetz, Einbau einer Wärmepumpe mit der Wärmequelle Luft, Erdreich oder Wasser, Einbau einer Hybridheizung (elektrische Wärmepumpe mit weiterem Wärmeerzeuger), Einbau einer Stromdirektheizung und den Austausch dezentraler Warmwassererzeuger

## Kraftstoff

Aus Biomasse hergestellter Kraftstoff wird in der Regel als Biokraftstoff bezeichnet und ist vorwiegend flüssig wie Biodiesel, Bioethanol und Pflanzenöle, gelegentlich auch

gasförmig, wie Biomethan. Wie fossile Kraftstoffe sind Biokraftstoffe für den Betrieb von Verbrennungsmotoren in mobilen und stationären Anwendungen vorgesehen.



### Welche gängigen Biokraftstoffe gibt es?

#### Info!

**Biodiesel** (Fettsäuremethylester, FAME) wird durch Umesterung aus pflanzlichen oder tierischen Fetten und Ölen mit Methanol gewonnen. Die Rohstoffquellen unterscheiden sich regional. In Europa wird vorwiegend Rapsöl verwendet. Die Produktionskapazität in Deutschland liegt bei etwa vier Mio. Tonnen pro Jahr. Biodiesel darf in Deutschland fossilem Dieselmotorkraftstoff bis zu sieben Volumenprozent beigemischt werden, um die entsprechende Kraftstoffnorm zu erfüllen.

**Bioethanol** wird durch alkoholische Gärung und anschließender Destillation aus zucker- oder stärkehaltigen Pflanzen gewonnen. Das in Deutschland als Kraftstoff eingesetzte Bioethanol wurde 2019 aus Mais (63 %), Getreide (27 %), Zuckerrohr (5 %) und Zuckerrüben (2 %) hergestellt. Seit 2011 kann Bioethanol in Deutschland bis zu zehn Volumenprozent

(E10) zu konventionellem Ottokraftstoff beigemischt werden.

**Hydrierte Pflanzenöle** (HEFA) werden durch die Behandlung von Pflanzenölen mit Wasserstoff hergestellt. Anders als bei Biodiesel kann die für Dieselmotorkraftstoff geltende Kraftstoffnorm mit hydrierten Pflanzenölen auch mit einem höheren Beimischungsanteil als sieben Volumenprozent erfüllt werden.

**Biomethan** aus der Aufbereitung von Biogas kann auch als Bio-LNG im Verkehrssektor eingesetzt werden. Nach der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV 2021) werden dabei die Kraftstoffe, die auf biogenen Reststoffen basieren, beim Inverkehrbringen positiver dargestellt. Bio-LNG kann vor allem für den Schwerlastverkehr und die Binnenschifffahrt eingesetzt werden (dena 2019).

Im Jahr 2021 wurden in Deutschland rund 2,53 Mio. Tonnen Biodiesel (inkl. hydrierter Pflanzenöle), 1,15 Mio. Tonnen Bioethanol und 2.000 Tonnen reines Pflanzenöl sowie 71.000 Tonnen Biomethan verbraucht (FNR 2022a). Damit konnten 2021 (energetisch betrachtet) rund 5,7 Prozent des deutschen Gesamtkraftstoffbedarfs über Biokraftstoffe gedeckt werden (BMEL 2022). Als Ausgangsstoffe zur Biokraftstoffherstellung werden vor allem heimische und importierte nachwachsende Rohstoffe verwendet (vgl. [Kapitel 2.3](#)). Diese entsprachen im Jahr 2020 rund 5,8 Mio. Tonnen NawaRo, die für die Produktion von Biokraftstoffen in Deutschland eingesetzt wurden (FNR 2022b). Lediglich 27,5 Prozent der Biokraftstoffe wurden im Jahr 2020 (in etwa gleichbleibend zu 2019) aus Abfällen und Reststoffen produziert (BLE 2021). Die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung stellt für die Quotenanrechnung ausgewiesenen Ausgangsstoffe für Biokraftstoffe in Deutschland für 2020 detailliert dar (BLE 2021).

Für die Bereitstellung von Anbau-Biomasse für die Produktion von Biokraftstoffen werden 1,2 Mio. Hektar Anbaufläche in Deutschland verwendet (Fehrenbach und Bürck 2022). Bei gleicher Fahrleistung und Fahrzeugklasse durch Elektromobilität auf Basis von Freiflächen-Photovoltaik würden nur knapp drei Prozent dieser Fläche benötigt (Fehrenbach und Bürck 2022). Durch den Einsatz von Anbau-Biokraftstoffen anstelle von fossilen Kraftstoffen werden zwar 9,2 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart, betrachtet man jedoch die CO<sub>2</sub>-Opportunitätskosten (16 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>), ist das Potenzial der CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die Regeneration der genutzten Fläche höher (Fehrenbach und Bürck 2022). Die eingesetzte Biomasse für Biokraftstoffe sollte daher nicht aus hierfür angebauten Pflanzen gewonnen werden, sondern aus ohnehin anfallenden Reststoffen (MWIDE 2021c).

Mittelfristig werden Synthesekraftstoffe auf Basis von Biomasse (Bio-LNG, Bio-Power-to-Liquids<sup>18</sup>) einen Hochlauf erfahren, um eine CO<sub>2</sub>-Reduzierung in dem Sektor zu erzielen (Prognos et al. 2020, RED II 2018, Shell Deutschland 2021, 2022). Die RED II gibt für das

Jahr 2030 eine Unterquote von 3,5 Prozent von fortschrittlichen Biokraftstoffen<sup>19</sup> am gesamten Energieverbrauch des Verkehrssektors an (RED II 2018). Laut der Initiative Bio-LNG der dena kann die LNG-Nachfrage von rund 0,28 bis 0,56 Terawattstunden im Jahr 2020 auf 9,7 bis 32,5 Terawattstunden in 2030 ansteigen (dena 2019). Somit ergebe sich ein Potenzial von sieben Mio. Tonnen CO<sub>2eq</sub>-Einsparung bis 2030 (dena 2019).

Es spricht einiges für die Nutzung von biogenem CO<sub>2</sub> statt der Nutzung von industriellem CO<sub>2</sub>: Synthesekraftstoffe aus fossilbasiertem CO<sub>2</sub> – auch wenn es recycelt wird – haben keinen geschlossenen Kohlenstoffkreislauf und es kommt in der Nutzungsphase zu zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Im Gegensatz dazu können Synthesekraftstoffe auf Basis von Biomasse CO<sub>2</sub>-neutral sein. Allerdings gibt es zurzeit kein Marktdesign für Power-to-Liquids aus CO<sub>2</sub> aus externen Prozessen. Zudem ist noch keine CO<sub>2</sub>-Infrastruktur vorhanden. Daher setzen einige Industrieprojekte auf die Verwendung von Biomasse als C-Quelle anstatt auf eine CO<sub>2</sub>-Nutzung aus externen industriellen Prozessen. Beispielsweise will Shell für Bio-Power-to-Liquids grünen Wasserstoff und Holzreststoffe einsetzen und als Kerosin vermarkten (Shell Deutschland 2021). Die Verbrennung von Biomasse für die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen kann eine Koppelnutzung durch zusätzliche Nutzung der Wärme für Prozesswärme darstellen und zudem zu einer Kaskadennutzung führen, wenn biogene Rest- und Abfallstoffe verbrannt werden.

Langfristig sehen die Prognosen und Szenarien den Einsatz von Biokraftstoffen jedoch unterschiedlich (siehe [Abbildung 7](#)). Prognos et al. (2021) gehen von einem kompletten Ausstieg aus der Biokraftstoffnutzung im Verkehrssektor aus, wobei der Einsatz von flüssigen Biokraftstoffen einzig in schweren landwirtschaftlichen Maschinen prognostiziert wird (in der Studie selbst zum Bereich Gewerbe, Handel- und Dienstleistungen zählend). Die Modelle und Prognosen im Rahmen der BDI Klimapfade (BCG 2021) und der Ariadne-Szenarien (Kopernikus-Projekt Ariadne 2021) sehen hingegen einen Anstieg der Biomassenutzung im Verkehrssektor. Die Einsatzgebiete von Biokraftstoffen liegen dabei hauptsächlich im Schwerlastverkehr sowie im internationalen See- und Flugverkehr. Der Einsatz biogener Kraftstoffe

18 „Die Anlage entspricht der BtL-Anlage zur Produktion von Diesel bzw. Kerosin, wobei hier festgelegt wird, dass der gesamte Produktstrom als Kerosin vorliegt. Der innerhalb der Biomassevergasung entstehende Gasstrom wird hier mit Elektrolysewasserstoff umgesetzt, wodurch der stöchiometrische Kohlenstoffüberschuss in der Prozesskette in einen zusätzlichen Produktoutput umgewandelt werden kann.“ (Thrän et al. 2019)

19 Fortschrittliche Biokraftstoffe sind in Part A des Anhangs IX der RED II definiert.

ist zudem noch in anderen Anwendungsfeldern entsprechender Verbrennungsmotoren, wie in Notstromaggregaten, denkbar.

### 3.4 Technologische Möglichkeiten für negative Emissionen

Mithilfe von Biomasse können auf verschiedene Art und Weise negative Emissionen erzielt werden. Bereits die natürliche Bindung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre in Biomasse ist eine Möglichkeit negative Emissionen zu realisieren. Da für eine kontinuierliche und dauerhafte Kohlenstoffspeicherung aber eine kontinuierlich steigende Flächenbindung benötigt wird, ist diese Methode allein nicht ausreichend, um auch zukünftig diffuse und unvermeidliche THG-Emissionen zu kompensieren. Die nachhaltige Nutzung von Biomasse in Kombination mit technischen negativen Emissionen kann sowohl Kohlenstoff für die stoffliche Nutzung und Energie bereitstellen als auch die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre reduzieren.

Es gibt unterschiedliche technische Lösungen für das Erzielen von negativen Emissionen. Neben Beispielen wie der direkten Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus der Luft mit anschließender Speicherung (Direct Air Capture and Carbon Storage - DACCS) oder der beschleunigten Verwitterung mineralischer Materialien können biomassebasierte Verfahren eine signifikante Rolle spielen. Einerseits lässt sich Biomasse pyrolysieren (Erhitzen ohne Sauerstoff), wobei sich Kohlenstoff gut händelbar und mit hoher Dichte in die resultierende feste Biokohle (siehe Infobox [Seite 25](#)) speichern und beispielsweise als Bodenverbesserer dauerhaft in Böden einbringen lässt. Andererseits kann die Biomasse aber auch vollständig energetisch genutzt werden, wonach das entstehende CO<sub>2</sub> abgeschieden und gespeichert wird (BECCS).

An die Studie „Klimaneutrales Deutschland“ (Prognos et al. 2020) angelehnt, können für die Bereitstellung von Prozessdampf in der Grundstoffchemie sowie für die Bereitstellung von Hochtemperaturwärme für die Walzwerke der Stahlindustrie gezielt große Mengen biogene Energieträger (gasifizierte Biomasse) eingesetzt werden, um (in Kombination mit Carbon Capture and Storage) nega-

tive Emissionen zu erzeugen (BECCS) (IN4climate.NRW 2021a). Eine permanente chemische Bindung des CO<sub>2</sub> in Produkten kann ebenfalls zu negativen Emissionen führen. Teilweise ist hierzu noch Forschung und Entwicklung notwendig, wie zur Aufkohlung in der Eisen- und Stahlerzeugung (vgl. [Abschnitt 3.2](#)). Zukünftig könnte der Biomasseinsatz mit Produktionsrouten gekoppelt werden, bei denen eine Abscheidung von unvermeidbar entstandenem CO<sub>2</sub> erfolgt, sodass hier Synergieeffekte bezüglich der Abscheideanlage und CO<sub>2</sub>-Infrastrukturen möglich sind (IN4climate.NRW 2021a). In dem Zusammenhang bietet sich der Einsatz von fester Biomasse in Kombination mit BECCS in Öfen der Kalk- und Zementherstellung an (IN4climate.NRW 2021b), wobei der Biomasseinsatz für diese Hochtemperaturprozesse noch bis zur Marktreife entwickelt werden muss (Fleiter et al. 2022).

### 3.5 Ausblick zur zukünftigen Biomassenutzung

Die vorangehenden Abschnitte zeigen, dass aktuelle und zukünftige Nutzungspfade und Einsatzmöglichkeiten von Biomasse zunehmen und im Sinne der Defossilisierung an Bedeutung gewinnen. Im Rahmen dieses Diskussionspapiers wurde neben dem Aufzeigen entsprechender relevanter Einsatzfelder daher auch versucht, eine Datenbasis zum zukünftigen Bedarf an Biomasse für die Energiewende und zum Einsatz in klimaneutralen Industrieprozessen zusammenzufassen. Dabei hat sich gezeigt, dass die Bedarfe an Biomasse noch nicht ganzheitlich in der Literatur zusammengestellt sind. Da Biomasse bisher vor allem energetisch eingesetzt wurde, ist die Datenlage für die energetische Nutzung sehr gut. Für den Bereich der strukturellen und rohstofflichen Nutzung, die im Sinne der Abkehr von fossilen Ressourcen und der Bioökonomie immer mehr an Bedeutung gewinnt, konnten allerdings teilweise keine Prognosen für die zukünftigen Bedarfe gefunden werden. Dies ist auch damit zu begründen, dass zum Teil noch Entwicklungsbedarf in den Technologien zur Dekarbonisierung und in Produkten und Prozessen basierend auf biobasierter Kohlenstoff vorliegt. Im Bereich der (roh-)stofflichen Nutzung können daher lediglich Annahmen getroffen werden, um von zukünftigen Produktionszahlen ausgehend zumindest eine grobe Idee für die Größenordnung zukünftiger Kohlenstoffbedarfe ableiten zu können. Vor diesem Hinter-

grund war es nur möglich, exemplarisch Beispiele für die Biomassenutzung zusammenzustellen.

Die gute Datenlage hinsichtlich der energetischen Nutzung von Biomasse und die unzureichende Datenlage insbesondere zur stofflichen Nutzung verdeutlicht sich auch in den Studien zur Erreichung der Klimaneutralität in Deutschland. Während der energetische Biomasseinsatz in allen Studien umfangreich und detailliert dargestellt und mit belastbaren Daten in Szenarien und Prognosen einbezogen wird, wird die (roh-)stoffliche Nutzung biogener Stoffe zwar in einigen Studien mitdiskutiert, aber nicht in der notwendigen numerischen Detailtiefe, um konkrete Bedarfe angemessen mitzuprognostizieren. Letzteres lässt sich aber auch hier damit begründen, dass die Technologieentwicklung in vielen Anwendungen und der entsprechende Einsatz möglicher biogener Substitute noch am Anfang steht. Eine quantitative Einschätzung des stofflichen Biomasseeinsatzes ist zum jetzigen Zeitpunkt schwierig, da die Qualität der entsprechenden Substitute limitierend für die Einsatzfelder ist.

Mit hauptsächlichem Blick auf den energetischen Einsatz von Biomasse stimmen die betrachteten Studien zur Erreichung der Klimaneutralität darin überein, dass der generelle Biomassebedarf bis 2045 steigen wird, wobei es aufgrund von Nutzungskonkurrenzen und diversen Anwendungspfaden insbesondere zwischen und in den Sektoren Energie, Industrie und Verkehr jedoch zu Verschiebungen innerhalb der Sektoren kommen wird (siehe [Abbildung 7](#)). Während die Nachfrage im Energiesektor<sup>20</sup> im Großteil der Szenarien sinkt, steigt die energetische Biomassenachfrage des Industriesektors in allen Szenarien von aktuell rund 30 Terawattstunden auf etwa 65 – 170 Terawattstunden im Jahr 2045 an. Hier wird insbesondere der Einsatz fester Biomasse zur Erzeugung von Prozesswärme und zur Prozessdampfbereitstellung prognostiziert (BCG 2021, dena 2021a, Prognos et al. 2021), da die Nutzung von Biomasse gemäß BCG (2021) unter anderem die volkswirtschaftlich kosteneffizienteste Option für industrielle Wärmeerzeugung bis 500 °C ist. BCG (2021) sieht in diesem Temperaturbereich ein auf Biomassenutzung basierendes Plus von 23 Terawattstunden bis 2030 und allein in der Chemiebranche prognostizieren Prognos et al. (2021) einen

biogenen Endenergiebedarf zur Dampfbereitstellung von rund 50 Terawattstunden bis 2045. Diese Annahmen verstetigen sich auch in der Genehmigung des Szenariorahmens 2023-2037/2045 der Bundesnetzagentur (BNetzA 2022). Demnach wird Biomasse in der Zukunft primär in der Industrie zur Substituierung der fossilen Energiequellen bei Prozessen mit einem Temperaturniveau bis 500 °C eingesetzt und wird im Strombereich eine abnehmende Rolle spielen. Auch die Kurzstudie von Dotzauer et al. (2022) kommt zu dem Ergebnis, dass die Größenordnung nachhaltig verfügbarer Biomasse zur Energieerzeugung in etwa auf einem gleichbleibenden Niveau zu heute bleibt, sich der Einsatz homogener und hochkalorischer Biomassen aber bevorzugt auf den industriellen Sektor richten wird. Die Stromerzeugung muss daher verstärkt aus biogenen Rest- und Abfallstoffen erfolgen. Darüber hinaus zeigt die Studie auf, dass die Rolle von Biogas beziehungsweise Biomethan im zukünftigen Stromsystem in der flexiblen Stromproduktion zur Glättung der Residuallast und damit als Ersatz für Erdgas in der Spitzenlast eingesetzt werden sollte (Dotzauer et al. 2022).

Sowohl beim Einsatz im Energiesektor, wie in Biomasseheizkraftwerken, als auch bei der Nutzung im Industriesektor sehen die in [Abbildung 7](#) betrachtenden Studien wo möglich die Kombination mit CCS zur Erzielung von negativen Emissionen (BECCS) oder mit Carbon Capture and Utilization (CCU) zur weiteren stofflichen Nutzung des anfallenden Kohlendioxids (BECCU) vor.

Hinsichtlich des Verkehrssektors divergieren die Prognosen: Während in einigen Studien aufgrund geeigneter Alternativen eine starke Reduktion bis hin zum gänzlichen Ausstieg vom Biomasseinsatz im Verkehrssektor anvisiert wird, prognostizieren andere Modelle einen Anstieg der Biomassenutzung im Verkehrssektor bis 2045 (siehe auch [Seite 34](#)). Ein ähnliches Bild ergibt sich mit Blick auf die Biomassenutzung in Privathaushalten (PHH) und den Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungssektor (GHD).

Die behandelten Studien kommen bei der alleinigen Betrachtung des vorwiegend energetischen Biomasseinsatzes zusammenfassend alle zu der Aussage, dass Biomasse ein zentraler Faktor in allen Sektoren ist, ihre zukünftige Verwendung gut abgewogen und entsprechend priorisiert werden muss und folglich in denjenigen Sektoren eingesetzt werden, in denen sie am effizientesten und systemdienlich genutzt werden.

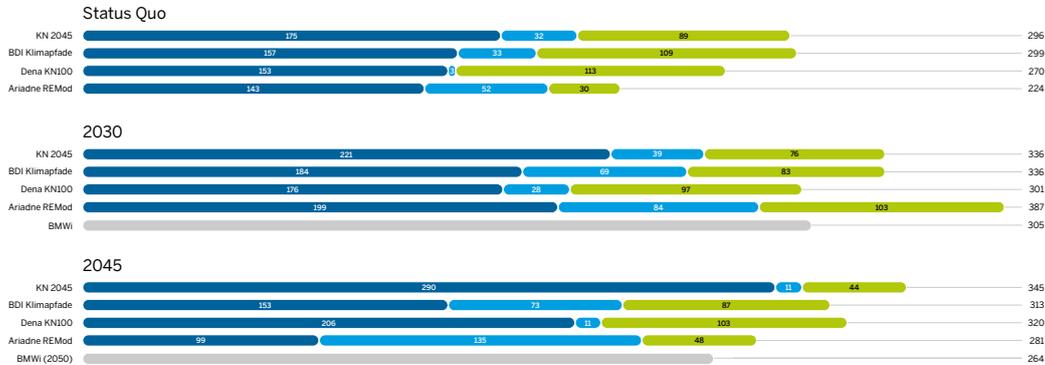
20 Der Energiesektor berücksichtigt hier vor allem die Erzeugung von Strom und Fernwärme.

# Szenarienvergleich

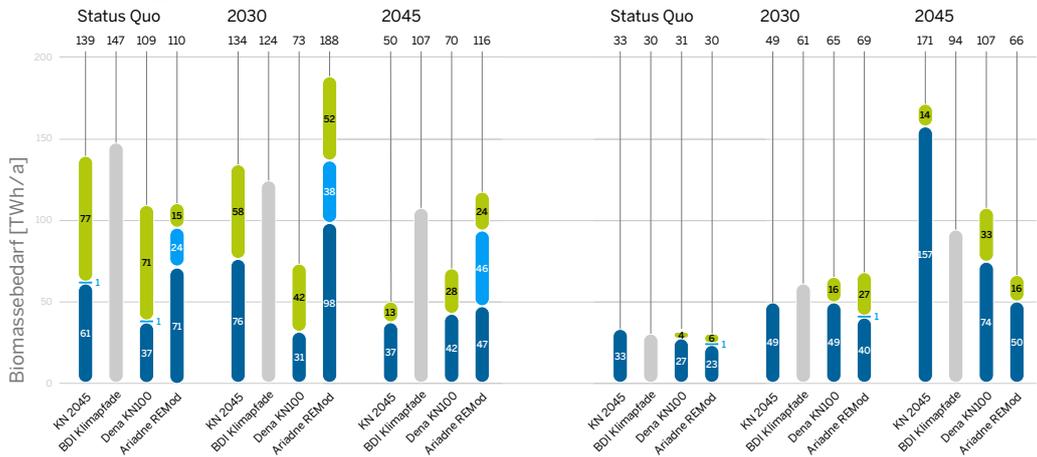
SKN / Agora KN 2045 (Status Quo: 2016) ● gasförmig  
 BDI Klimapfade (Status Quo: 2015) ● flüssig  
 Dena KN100 (Status Quo: 2018) ● fest  
 Ariadne REMod (Status Quo: 2020)  
 BMW Langfristszenarien

## Gesamt

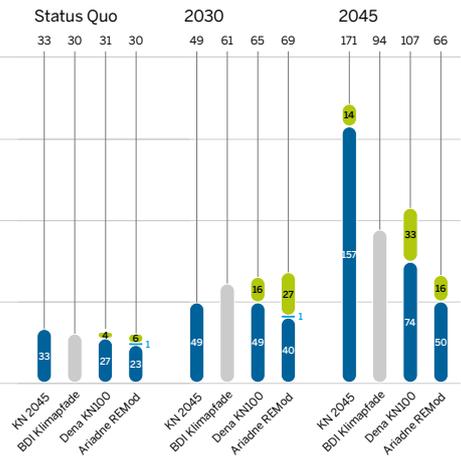
Biomassebedarf [TWh/a]



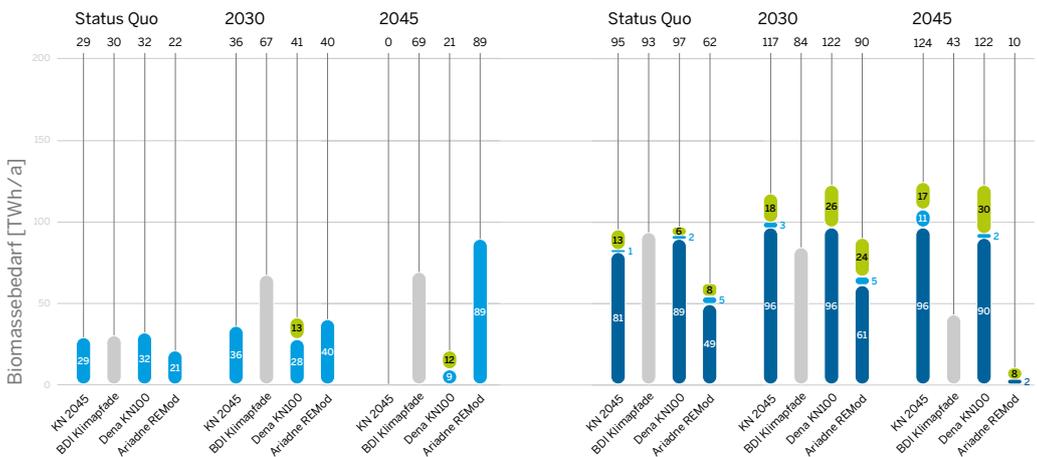
## Energie



## Industrie



## Verkehr



## PHH + GHD

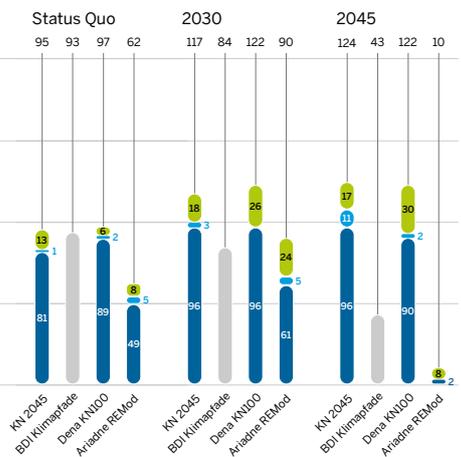


Abbildung 7: Prognostizierter Gesamt-Biomassebedarf und prognostizierter Biomassebedarf für die Sektoren Energie, Industrie, Verkehr sowie Privathaushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistung (PHH+GHD) zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2045. In Anlehnung an Ariadne (2022) wurden dabei folgende Studien und Szenarien betrachtet: Prognos et al. (2021) - Szenario Klimaneutral 2045 (KN 2045), BCG (2021) - Zielpfad, dena (2021a) - Klimaneutralität 2045 (KN 100), Luderer et al. (2021) - REMod v1.0 + FORECAST v1.0 8Gt\_Bal sowie Sensfuß, Frank; et al. (2021) - TN-Strom.



# 4 Empfehlungen zur Biomassenutzung

Der energetische Biomasseeinsatz ist aufgrund der ohnehin vielfältigen Nutzungskonkurrenzen hinsichtlich „frischer“ Anbaubiomassen und entsprechender Flächen (beispielsweise Nahrungsmittelerzeugung versus struktureller Nutzung) ausschließlich mittels biogener Rest- und Abfallstoffe vorgesehen und nur umfassend bedienbar, wenn entsprechende Potenziale mobilisiert werden (siehe Studien in [Abschnitt 3.4](#) und (Thrän et al. 2019)). Perspektivisch sollen aus den gleichen Gründen aber eben jene biogenen Rest- und Abfallstoffe auch, zumindest teilweise, für die rein stoffliche Nutzung, zum Beispiel als biogene Kohlenstoffquelle, genutzt werden. Werden nun die zur Verfügung stehenden Potenziale biogener Rest- und Abfallstoffe hinzugezogen (siehe

[Abbildung 2](#)), zeigt sich unmittelbar eine erweiterte Diskrepanz zwischen Verfügbarkeiten und Einsatzmöglichkeiten.

In [Kapitel 2](#) wurde gezeigt, dass in Deutschland im Jahr 2050 maximal 360 Terawattstunden aus Biomassen im Sinne von biogenen Rückständen, Rest- und Abfallstoffen potenziell zur Verfügung stehen. Dieses maximale Potenzial wird – nach den in [Kapitel 3](#) aufgezeigten Bedarfen – fast vollständig für die energetische Nutzung gebraucht werden, wonach ohne strategischen Ansatz keine ausreichenden Rest- und Abfallstoffmengen für die stoffliche Nutzung zur Verfügung stehen würden. Der Biomassebedarf zur energetischen Nutzung übersteigt

das aus den Studien gemittelte Biomassepotenzial aus Rest- und Abfallstoffen für 2050 von im Mittel 271 Terawattstunden (siehe [Kapitel 2](#)). Für sich etablierende und teils neue Anwendungsfelder, die in diesem Papier aufgezeigt wurden, wurden bisher keine Verfügbarkeiten untersucht und bleibt nach vorliegender Datenlage keine Menge an Rest- und Abfallstoffen übrig.

Das würde bedeuten, dass bei einer angestrebten vermehrten stofflichen Nutzung biogener Materialien zum Zwecke der Defossilisierung auch auf Anbaupflanzen und Stammholz oder Holz, das für die stoffliche und strukturelle Nutzung geeignet wäre, zurückgegriffen werden müsste, obwohl der Einsatz von Abfall- und Reststoffen technisch möglich wäre, wie bei der Produktion von Aktivkohle für die Chemieindustrie, oder sogar Synergiepotenzial hätte, wie bei der Nutzung von belastetem Altholz im Elektrolichtbogenofen der Eisen- und Stahlerzeugung. Zudem wird der Bedarf an Holz für die strukturelle Nutzung zunehmen. Es wäre also ein erhöhter Flächeneinsatz für die Bereitstellung von Biomasse in Deutschland notwendig, diese Flächen sind aber nicht verfügbar (vgl. [Kapitel 1](#)) und Deutschland wäre verstärkt auf Importe angewiesen. Hier liegt die Problematik, dass neue Importabhängigkeiten auftreten können und Nachhaltigkeitskriterien oft nur schwer überprüfbar sind. Zudem ist bereits jetzt die Nachfrage nach bestimmten, hochwertigen Biomassen hoch und die Beschaffung auf internationalen Märkten birgt die Gefahr von Lieferengpässen und starken Preisschwankungen oder -steigerungen. Es ist daher nicht nur aus Nachhaltigkeitsgründen, sondern auch im ökonomischen Interesse der Bundesrepublik sowie NRWs, diese Abhängigkeit auf ein notwendiges Minimum zu begrenzen, indem Biomassennutzung sparsam und zielgerichtet erfolgt.

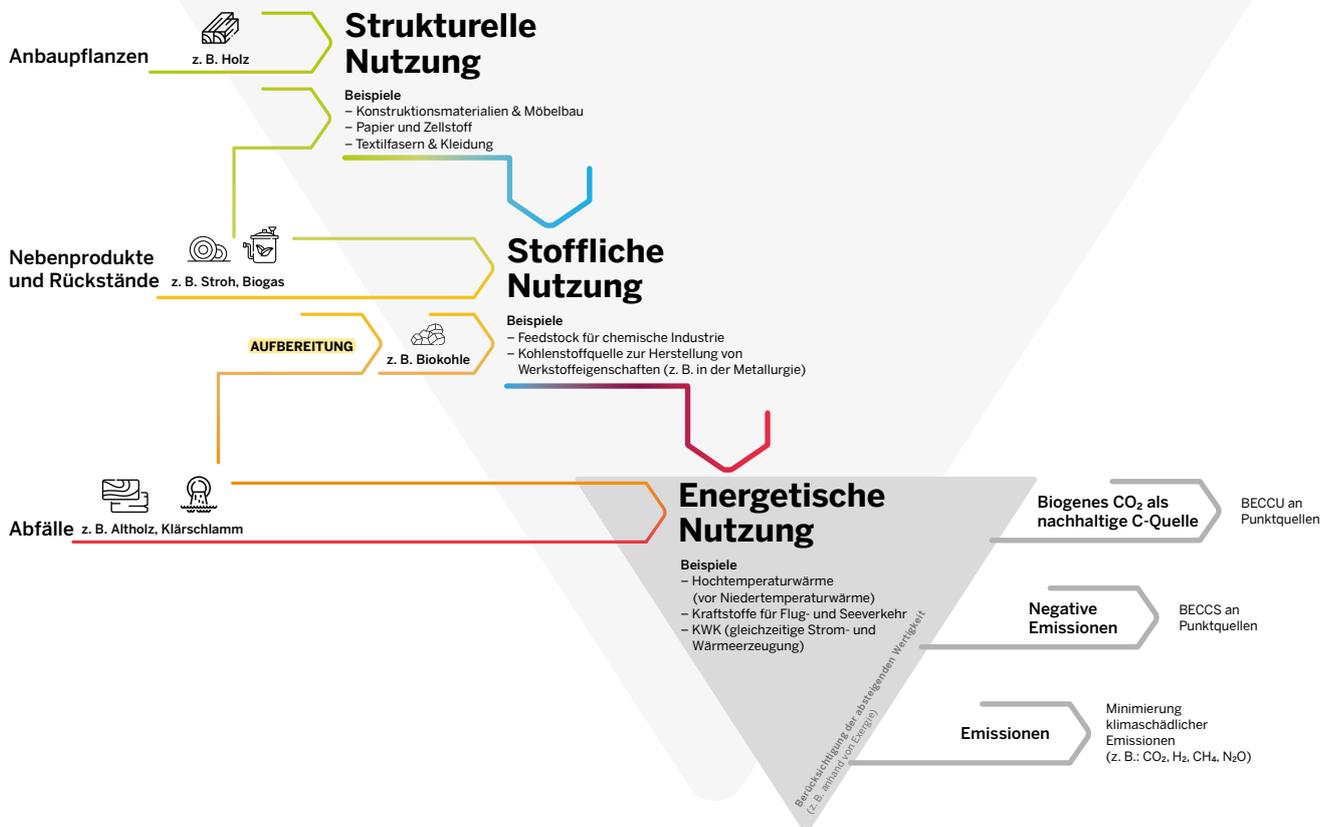
In laufenden Diskussionen wird immer wieder betont, dass nur nachhaltige Biomasse, vorwiegend Rest- und Abfallstoffe, in der Industrie Anwendung finden sollen (siehe zum Beispiel MWIDE 2021b). Damit dies für die stoffliche Nutzung eingehalten werden kann und genügend Rest- und Abfallstoffe zur Verfügung stehen, ist eine **Priorisierung des Biomasseeinsatzes** unbedingt erforderlich; perspektivisch auch eine Verschiebung der energetischen Nutzung zugunsten einer stofflichen. In diesem Zusammenhang ist es deshalb notwendig, sogenannte „no-regret“-Anwendungen von Biomasse zu identifizieren und diese gezielt und zeitnah zu fördern und gleichzeitig den Zubau von langfristig nicht idealen

Anwendungen zu reduzieren. Nur so werden „stranded assets“ und eine Übernutzung der Potenziale vermieden.

Bei der **Bewertung des Biomasseeinsatzes** darf nicht länger nur die Life Cycle Analyse der von fossilen Rohstoffen gegenübergestellt werden. Es müssen auch die Carbon payback time sowie die CO<sub>2</sub>-Oppurtunitätskosten (siehe [Fußnoten 4 und 5, Seite 9](#)) betrachtet werden. Diese sollten dann mit anderen Pfaden wie der Elektrifizierung verglichen werden. Im Hinblick auf das Ziel der Klimaneutralität sollten daher Anwendungen, die dekarbonisierbar sind, möglichst auch dekarbonisiert werden (MWIDE 2021b). Das bedeutet, dass Prozesse und Technologien ohne kohlenstoffhaltige Energieträger zum Einsatz kommen sollten, wo dies technisch, wirtschaftlich und aus infrastruktureller Sicht möglich ist. Wenn eine Dekarbonisierung nicht möglich ist, muss defossilisiert werden. Das bedeutet: Der für ein Produkt oder einen Prozess notwendige Kohlenstoff entstammt keiner fossilen Quelle, sondern einer anderen Ressource. Dabei ist zu berücksichtigen, dass alle Ressourcen – im globalen Kontext – limitiert sind und ein sparsamer Umgang damit angestrebt werden muss. Deshalb sollten die verfügbaren Ressourcen gezielt und so effizient wie möglich eingesetzt werden. Sekundärrohstoffe wie Kunststoffabfälle oder Metallschrotte sollten aus diesem Grund Vorrang haben vor Biomasse und CO<sub>2</sub> als Rohstoff (MWIDE 2021b).

Eine Priorisierung des Biomasseeinsatzes und eine Bewertung, in welchen Anwendungen welche Art von Biomasse sinnvoll, effizient und damit nachhaltig eingesetzt ist, ist komplex und hängt von vielen verschiedenen Aspekten ab. Um möglichst viele Faktoren einzubeziehen, wurden in diesem Papier zwei Arten der Priorisierung (anwendungsbezogen und rohstoffbezogen) gewählt, die jeweils zu einer Abstufung führen und nebeneinander beziehungsweise mit Wechselwirkungen zu betrachten sind und so eine möglichst ganzheitliche Orientierung und Hilfestellung zum bestmöglichen Einsatz von Biomasse geben sollen. Mithilfe einer Kaskaden- und Koppelnutzung können die Potenziale der begrenzten Ressource Biomasse möglichst effizient und lange ausgeschöpft werden. Nähere Informationen zum priorisierten Einsatz und der Kaskaden- und Koppelnutzung von Biomasse finden sich in den nachfolgenden Abschnitten. Die entwickelte „Biomasse-Nutzungshierarchie“ ([Abbildung 8](#)) fasst die Schlussfolgerungen aus der Priorisierung und effizienten Nutzung zusammen.

# Biomasse-Nutzungshierarchie



Die Grafik stellt ein vereinfachtes Schema dar und hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie berücksichtigt daher nicht jeden Einzelfall. Je nach Art der Biomasse oder Anwendung können Sonderfälle auftreten.

Abbildung 8: Biomasse-Nutzungshierarchie

## 4.1 Anwendungsbezogene Priorisierung

Der flächendeckende und pauschale Einsatz von Biomasse in allen Anwendungen, in denen Biomasse technisch eingesetzt werden könnte, muss vermieden werden. Es gilt also zu bewerten, ob und wann der Einsatz von Biomasse bezogen auf die Anwendung grundsätzlich notwendig und sinnvoll ist. Dies kann unter Berücksichtigung eines Dekarbonisierungsansatzes sowie einer „Efficiency First“-Strategie erfolgen. Dabei sollten nachfolgende Fragestellungen im Rahmen von Machbarkeitsstudien und Technologieanalysen geprüft werden:

### 1. Ist die Biomassenutzung alternativlos?

Zu prüfen ist, ob die technische Machbarkeit einer klimaneutralen Alternative für die Anwendung existiert oder entwickelt werden kann. Besonders bezogen auf die **strukturelle und stoffliche Nutzung** von Biomasse sind nachhaltige Alternativen seltener vorhanden, weshalb diese Anwendungen **prioritär** mit Biomasse versorgt werden müssen. Insbesondere zur Energiebereitstellung sollten erneuerbare Alternativen wie Wind- und Solarenergie, Geothermie und grüner Wasserstoff vorrangig und hauptsächlich eingesetzt werden. Jedoch kann es auch bei der energetischen Nutzung in Einzelfällen keine geeigneten Alternativen zu Biomasse geben. Diese gilt es

zu identifizieren, damit ihnen die entsprechend notwendige Priorität zukommen kann.

## 2. Wie ist die Wertigkeit der erzeugten Bioenergie?

Speziell in Bezug auf die **energetische Nutzung** von Biomasse ist es sinnvoll die verschiedenen Anwendungsoptionen wiederum zu priorisieren. Dies kann zum Beispiel anhand des Exergiegehalts erfolgen. Daraus ergibt sich die Empfehlung, Biomasse in Bezug auf die energetische und thermische Nutzung **vorrangig für industrielle Hochtemperaturprozesse** einzusetzen, da die Wertigkeit der erzeugten Wärmeenergie mit steigender Temperatur zunimmt (vgl. dazu die Infobox zu Exergie unter [Abschnitt 3.3, S. 28](#)). In Fehrenbach et al. (2018) heißt es dazu auch, dass „[...] Anwendungen im industriellen Bereich (Prozessdampf) der Vorzug zu geben [ist]. An zweiter Stelle rangiert die Bereitstellung von Energieträgern, welche flexibel im Verkehrsbereich (v.a. mit Eignung für Flug- und Schiffsverkehr) eingesetzt werden können. An dritter Stelle stellt sich gerade über den Biogaspfad auch der Einsatz zur Stabilisierung der Wärme- und schließlich auch der Stromversorgung [via Kraft-Wärme-Kopplung] als sinnvoll dar.“ Die Nutzung von Biomasse für (Hochtemperatur-)Prozesswärmebedarfe bietet sich **vor allem dann an, wenn zusätzlich zur Wärme auch Kohlenstoff in den Prozess mit eingebracht werden muss** (wie in der Chemiebranche und bei der Eisen- und Stahlerzeugung, vgl. [Abschnitt 3.2](#)).

## 3. Wie hoch ist die durch den Biomasseeinsatz mögliche Treibhausgas-Einsparung?

Das Potenzial zur Verdrängung fossiler Treibhausgase (THG) ist je nach Anwendung unterschiedlich. Darüber hinaus lässt sich aber auch allgemein der Ausstoß von THG abstufend bewerten, auch wenn es sich um biogene THG handelt. Besteht die Möglichkeit negative Emissionen zu erzielen, ist das besonders sinnvoll. Beispielsweise können in der Zementindustrie Holzhackschnitzel, Biomethan oder aufbereitetes Biogas eingesetzt werden (Prognos et al. 2020). Zudem werden in der Kalk- und Zementindustrie sowie in einzelnen Chemieprozessen auch zukünftig CO<sub>2</sub>-Entstehungen unvermeidbar sein (SCI4climate.NRW 2021), wodurch hier ohnehin CO<sub>2</sub>-Ab-

scheideanlagen integriert werden müssen. Empfehlenswert ist deshalb der **Biomasseeinsatz an industriellen Punktquellen** (vgl. [Abschnitt 3.4](#)) **in Kombination mit Carbon Capture-Technologien**, um CO<sub>2</sub>-Emissionen vermeiden zu können. Durch die Anbindung an Speichermöglichkeiten können auf diesem Wege negative Emissionen durch den gezielten Einsatz von Biomasse erreicht werden (BECCS). Alternativ zu dem Ziel der negativen Emissionen steht die Nutzung des biogenen CO<sub>2</sub> (BECCU), beispielsweise zur Produktion von synthetischen Kraftstoffen. Hier sollte der Biomasseeinsatz nach unterschiedlichen Kriterien, wie der notwendigen Prozesstemperatur, der Verfügbarkeit alternativer nachhaltiger Kohlenstoffquellen, der Gegebenheiten und Notwendigkeiten hinsichtlich Standort und Infrastruktur individuell und prozessabhängig geprüft werden.

Lassen sich diffuse Emissionen nicht vermeiden, sollten das Treibhauspotenzial (GWP) sowie das Ozonabbau-potenzial (ODP) mit einbezogen werden.

**Aus diesen übergeordneten Fragen resultiert stark vereinfacht folgende grundsätzliche Abstufung (siehe auch [Abbildung 8](#)):**

1. Strukturelle Nutzung
2. Stoffliche Nutzung
3. Energetische Nutzung

In der Realität müssen weiterhin noch individuelle und/oder standortbezogene Aspekte einbezogen werden, die im Einzelfall zu einer anderen praktikablen Lösung führen können. Liegt eine Alternativlosigkeit des Biomasseeinsatzes aufgrund der geografischen Lage oder örtlichen Gegebenheiten (zum Beispiel keine Anbindungsmöglichkeit an eine leitungsgebundene Infrastruktur) vor? Stellen andere standortbezogene Aspekte eine nahezu unüberwindbare Hürde für alternative Technologien dar? Oder existieren möglicherweise heute und auch zukünftig sinnvolle Wertschöpfungsketten, die zu Synergien führen, die den Einsatz von Biomasse rechtfertigen? Übergangsweise, und in einzelnen Fällen auch langfristig, können Synergien aus existierenden Lieferketten ein wichtiger Aspekt sein. So sind beispielsweise in der Papier- oder Zuckerherstellung biogene Rohstoff- und Abfallströme inklusive entsprechender Lieferbeziehungen produktbedingt vorhanden.

Es kann daher – zumindest übergangsweise – ökonomisch und ökologisch sinnvoll sein, die biogenen Reststoffe vor Ort zur Energiebereitstellung einzusetzen, da hierdurch Transportwege vermieden werden, die wiederum einen Treibhausgasausstoß verursachen würden<sup>21</sup>. Grundsätzlich sollte der energetische Einsatz von Biomasse insbesondere zur Wärmebereitstellung jedoch nur dort erfolgen, wo die Prozessanforderungen durch erneuerbare (Fern-)Wärme, eine Elektrifizierung oder den Einsatz von Wasserstoff nicht erfüllt werden können oder aufgrund von Infrastrukturhindernissen Alternativen auch langfristig nicht umgesetzt werden können.

## 4.2 Priorisierung nach Art der Biomasse

Parallel zur anwendungsbezogenen Priorisierung sollte eine Priorisierung nach Art der Biomasse erfolgen, da die verschiedenen Einsatzfelder **unterschiedliche Anforderungen an die Biomasse** haben. Für die strukturelle Nutzung wird in der Regel frische feste (Anbau-)Biomasse benötigt. Für die stoffliche Nutzung muss sichergestellt werden, dass Schadstoffe nicht im Kreislauf gehalten werden, wenn Rest- und Abfallstoffe eingesetzt werden. Die Biomasse muss also für die stoffliche Nutzung gewissen Qualitätsansprüchen, je nach Konversionstechnologie, genügen. Die energetische Nutzung stellt in der Regel keine Mindeststandards an die Biomasse. Neben der allgemeinen Priorisierung ob und wann der Einsatz von Biomasse in einer Anwendung sinnvoll ist, sollte daher auch die Art und die Nachhaltigkeit der Biomasse selbst berücksichtigt werden.

Bei der **Bewertung der Nachhaltigkeit von Biomasse** als Kohlenstoffquelle ist zwischen nachwachsenden Rohstoffen und Restbiomassen zu unterscheiden. Die Nutzung von nachwachsender Biomasse als Rohstoff für die Industrie ist häufig nur eingeschränkt nachhaltig. Bei biogenen Rohstoffen, die stofflich in industriellen Prozessen genutzt werden sollen, kann nur dann von Nach-

haltigkeit gesprochen werden, wenn diese vor allem auf Flächen angebaut werden, die aus Umwelt- und Naturschutzsicht unproblematisch sind (MWIDE 2021b). Weniger problematisch als die Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist die Verwendung von biogenen Rest- und Abfallstoffen, vorzugsweise organischer Reststoffe aus der Industrie und der kommunalen Entsorgung. Hierbei handelt es sich um eine weitgehend uneingeschränkt zukunftsfähige alternative Kohlenstoffquelle (MWIDE 2021b). Techno-ökonomische Analysen zeigen außerdem, dass Biomasse-Konversionstechnologien die geringsten Gesteungskosten, Treibhausgas-Emissionen und Treibhausgasvermeidungskosten aufweisen, wenn diese Abfall- und Reststoffe anstelle von Anbaubiomasen einsetzen (Thrän et al. 2019).

Für die alleinige energetische Nutzung ist demnach der Einsatz von nachwachsender Biomasse nicht nur bedingt nachhaltig. Aufgrund der häufig geringen Anforderungen an die Qualität der Biomasse sollten **zur Energiegewinnung vorrangig Abfallstoffe** und nicht weiter stofflich nutzbare Reststoffe eingesetzt werden. Allerdings ist dabei darauf zu achten, dass laut Abfallhierarchie gemäß §6 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes auch **bei Rest- und Abfallstoffen wenn möglich die stoffliche Verwertung stets der energetischen Verwertung vorzuziehen** ist (KrWG 2021). Demnach sollten insbesondere auch Rückstände aus der stofflichen Nutzung von Biomasse weiter energetisch genutzt werden. Eine solche Kaskadennutzung ermöglicht eine besonders effiziente Nutzung von Biomasse.

## 4.3 Kaskaden- und Koppelnutzung

Aufgrund des hohen Bedarfes an Biomasse bei gleichzeitig limitiertem Angebot an nachhaltiger Biomasse, sollte die verfügbare Biomasse nach Möglichkeit stets im Sinne einer Kaskadennutzung eingesetzt und entsprechende Anwendungen, die dieses ermöglichen, priorisiert werden. Gemäß Fehrenbach et al. (2017) wird von Kaskadennutzung gesprochen, wenn ein biogener Rohstoff zu einem biobasierten Endprodukt verarbeitet und dieses Endprodukt mindestens ein weiteres Mal stofflich oder energetisch genutzt wird. Eine einstufige Kaskadennutzung umfasst dabei die Verarbeitung eines biogenen Rohstoffes zu einem Endprodukt und die mindestens

<sup>21</sup> Eine Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) hat zum Beispiel für die Papierindustrie einen Brennstoffwechsel zu Biomasse im Vergleich zu anderen Transformationspfaden als kostengünstigste Option mit den geringsten CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten identifiziert (Schimmel und Sach 2022).

einmalige energetische Verwertung dieses Endproduktes am Ende seines Lebenszyklus, während eine mehrstufige Kaskadennutzung die stoffliche Mehrfachnutzung des Rohstoffes beziehungsweise Endproduktes vor der energetischen Endverwertung meint. Wenn möglich ist die mehrfache stoffliche Nutzung stets vorzuziehen, um so die gegebenen Potenziale umfänglicher auszuschöpfen. Biogene Materialien sollten daher möglichst lange und mehrfach im Sinne einer Kreislaufwirtschaft<sup>22</sup> eingesetzt werden, bevor sie letztlich der energetischen Verwertung zugeführt werden.

# 2,9 Mio.

Tonnen Altholz könnten durch effiziente Kaskadennutzung zusätzlich bereitgestellt werden

Die **Kaskadennutzung** von Biomasse ist der direkten energetischen Nutzung sowohl hinsichtlich ökologischer als auch ökonomischer Aspekte überlegen und vorteilhaft, weil sie, bezogen auf die gleiche Menge an Biomasse, die fünf- bis zehnfache Bruttowertschöpfung und ebensolche Beschäftigungseffekte schaffen kann (Miletzky et al. 2020, Rupp et al. 2020), und so sowohl die ökonomische als auch ökologische Effizienz des strukturellen, stofflichen und energetischen Biomasseeinsatzes steigert (Arnold et al. 2009). Die Dialogplattform Industrielle Bioökonomie (2021) verschärft dieses und formuliert in ihrem Leitbild, dass eine industrielle Bioökonomie nur erfolgreich sein kann, wenn kaskadiert zirkuläre stoffliche Nutzungswege vor die Anwendung energetischer Nutzungsoptionen von Biomasse gestellt werden. Aus den vorhergehenden Kapiteln wird darüber hinaus klar, dass die energetische Biomasseverwertung mindestens an Punktquellen stets mit CCU oder CCS (BECCU bzw. BECCS) kombiniert werden sollte, um biogenen Kohlenstoff bereitzustellen beziehungsweise Negativemissionen zu erzielen (siehe [Kapitel 3](#)).

<b>Kaskaden- nutzung</b>	
<b>Beispiel!</b>	<p>Der Papiersektor zeigt bereits die erfolgreichste und eine nahezu ideale Umsetzung einer Kaskadennutzung, während der Holzsektor ebenfalls viele positiv zu bewertende Umsetzungen jedoch mit weiteren Potenzialen zur Kaskadennutzung aufweist (Fehrenbach et al. 2017). Beim Beispiel Holz beginnt die Kaskadennutzung beim Fällen des Baumes und führt über dessen Einschnitt und Verarbeitung einzelner Bestandteile hin zu den Zielprodukten: Der Stamm wird dabei beispielsweise zu Vollholzprodukten oder Schnittholz (zum Möbelbau oder als Baumaterial, d. h. strukturelle Nutzung) verarbeitet, während Astwerk, Restholz und Sägespäne neben Altholz aus vorherigen Lebenszyklen zum Beispiel in der Holzwerkstoff-, Zellstoff- und Papierindustrie oder in Bioraffinieren eingesetzt werden können (stoffliche (Mehrfach-)Nutzung). Dabei beziehungsweise danach anfallende Rest- und Abfallstoffe werden dann letztlich häufig energetisch verwertet.</p>

<sup>22</sup> Ziel der Kreislaufwirtschaft ist dabei das Schließen eines Stoffkreislaufs des eingesetzten Rohstoffes, in dem dieser nach erstmaliger Verwendung der Wirtschaft erneut als Sekundärrohstoff zur Verfügung gestellt wird. Rückstände und Abfälle können bspw. aufbereitet werden und als neues Ausgangsmaterial für Produkte genutzt werden.

Im Allgemeinen fallen durch die stoffliche Mehrfachnutzung in mehrstufigen Kaskaden wiederum Reststoffe und Abfälle an, die weitergenutzt werden können, so dass die stoffliche Nutzung zum einen umso mehr die Kaskadennutzung ermöglicht (Thrän et al. 2019), zum anderen aber auch notwendig macht, um die limitierten Biomassepotenziale bestmöglich auszunutzen. Laut Fehrenbach et al. (2017) kann mittels einer optimierten Kaskadennutzung zudem ein erheblicher Teil an Biomasse zusätzlich zur Verfügung gestellt werden. Durch effiziente Kaskadennutzung könnten so 2,9 Mio. Tonnen Altholz zusätzlich bereitgestellt werden (Fehrenbach et al. 2017). Potenzial besteht außerdem in der intensiveren Weiterverwertung von Alttextilien (Bereitstellung von bisher 0,6 auf 1,1 Mio. Tonnen möglich), Bioabfall und insbesondere biobasierten Kunststoffen (ebd.).

Neben der Nutzung eines Hauptrohstoffes und der damit verbundenen Rückstände und Abfälle, sollten nach Möglichkeit auch alle anfallenden Nebenprodukte als solche identifiziert und entsprechend gezielt genutzt

werden. Diese Nutzung von Nebenprodukten wird auch als **Koppelnutzung** bezeichnet. Während die Kaskadennutzung die Nutzung eines Rohstoffes über mehrere Stufen hinweg beschreibt, meint die Koppelnutzung also die anderweitige Nutzung von Nebenprodukten als „neuen“ Hauptrohstoff in einer oder in mehreren weiteren Kaskaden. Heutzutage wird unter Koppelnutzung allerdings nicht nur die Nutzung von Nebenprodukten verstanden, sondern häufig auch die gleichzeitige oder parallele stoffliche und energetische Nutzung eines Rohstoffes (Arnold et al. 2009), während die stoffliche und energetische Verwertung bei der Kaskadennutzung sequenziell erfolgt.

Eine Kaskaden- und Koppelnutzung der verfügbaren Biomassen ist folglich unerlässlich, um so die Potenziale biogener Nebenprodukte und Rückstände zu erschließen und gleichzeitig möglichst viele Nutzungsfelder bedienen und so auch Potenziale im Sinne einer Circular Economy ausschöpfen zu können.

<b>Koppel- nutzung</b>	
<b>Beispiel!</b>	<p>Ein klassisches Beispiel für die Koppelnutzung ist die Nutzung von bei der Getreideernte gewonnenem Getreidestroh beispielsweise als Bau- und Dämmstoff oder zur Herstellung verschiedener Plattformchemikalien in Bioraffinieren. Ein anderes Beispiel ist die Nutzung und Weiterverarbeitung von Glycerin, das als Nebenprodukt bei der Produktion von Biodiesel anfällt. Darüber hinaus fällt heutzutage aber zum Beispiel auch der Einsatz von Biomasse in einem Chemiewerk zur Bereitstellung der notwendigen Prozesswärme bei gleichzeitiger Nutzung des biogenen Kohlenstoffes zur Herstellung einer Chemikalie unter Koppelnutzung.</p>

# 5 Forderungen

## An die Forschung

Im Bereich der stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse (Kaskaden- und Koppelnutzungen) in Hochtemperaturprozessen besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf bezüglich der **Technologie** (IN4climate.NRW 2021b). Hier ist vor allem der Einsatz von Biomasse als notwendige Kohlenstoffquelle in der Metallurgie zu nennen, wobei insbesondere die Herstellung von Biokohlen in entsprechenden Qualitäten und ihr Einsatz als Kohlenstoffquelle verstärkt erforscht werden müssen (vgl. [Abschnitt 3.2](#)). Auch der energetische Biomasseeinsatz in der Zement- und Kalkherstellung muss weiterentwickelt werden, um künftig das Potenzial für negative Emissionen optimal erschließen zu können (vgl. [Abschnitt 3.3](#) zu Prozesswärme und [Abschnitt 3.4](#)).

Weiterhin soll die Substitution des Kohlenstoffs aus Biomasse durch Kohlenstoff aus CO<sub>2</sub> aus industriellen Punktquellen oder Direct Air Capture (DAC) weiterentwickelt werden. Dadurch ließe sich der Teil des Kohlenstoffs, der stofflich in den aufgezählten Bereichen aktuell durch fossile Brennstoffe oder Biomasse gedeckt wird, ersetzen und den Druck bei der Nutzungskonkurrenz der Biomasse verringern.

Die **Datenlage** in Bezug auf Potenziale muss aktualisiert und den Bedarfen gegenübergestellt werden – für NRW wurden sie seit 2014 nicht aktualisiert. Im Rahmen dieses Papiers konnten nur grobe Schätzungen getätigt werden. Eine Lücke besteht besonders bei den Daten zu stofflichen Nutzungspfaden. Es gilt insbesondere neue und zunehmende Nutzungspfade einzubeziehen, wie den stofflichen Einsatz in der Metallurgie und Chemiebranche oder auch den Holzbau im Bausektor, um die zukünftig benötigten Biomassemengen einplanen und Anwendungen gezielt aufbauen zu können.

## An die Unternehmen

Bevor Unternehmen auf Biomasse als Ressource für die stoffliche Nutzung umstellen, sollten sie innerhalb der zur Verfügung stehenden biogenen Stoffströme Alternativen nach der hier entwickelten Biomasse-Nutzungshierar-

chie auf ihre Tauglichkeit überprüfen, um möglichst Rückstände sowie Abfall- und Reststoffe vor Anbaubiomassen zu nutzen. Auch bei der energetischen Nutzung von Biomasse sollten Alternativen sowohl auf Prozessseite als auch bei den Biomassearten erlassen und zum Beispiel in Bezug auf die Energieversorgung nach dem Vier-Stufen-Modell (IN4climate.NRW 2021b) überprüft werden.

## An die Politik

Damit die angeführten Forderungen an Forschung und Unternehmen sowie die Empfehlungen zur Biomassenutzung aus dem vorherigen Kapitel zielführend adressiert werden können, bedarf es politischer Rahmenbedingungen sowie einer zielgerichteten und beschleunigten Diskussion, Festlegung und vor allem Umsetzung notwendiger Steuer- und Politikinstrumente. Dabei sollten, basierend auf den Ausführungen in diesem Papier, nachfolgende Aspekte berücksichtigt werden

- Beseitigung der Hemmnisse zur Hebung der Potenziale biogener Rest- und Abfallstoffe, wie z. B. die Beseitigung regulatorischer Hemmnisse und der Vereinfachung und Beschleunigung der Genehmigungsverfahren von Biogasanlagen
- Einbeziehung der stofflichen und strukturellen Nutzung von Biomasse sowie die Berücksichtigung der Kaskaden- und Koppelnutzung bei der strategischen Betrachtung der Biomasseverwertung
- Vermeidung von Fehlanreizen und Investitionen in perspektivisch nicht sinnvolle Einsatzbereiche, entsprechende Anpassung existierender und Schaffung neuer Förderungen und Anreizsysteme mit dem Ziel der Biomassenutzung nur in zukunftsfähigen Einsatzfeldern (Orientierung kann die hier vorgestellte Biomasse-Nutzungshierarchie bieten).



- Verstärkte Förderung von erneuerbaren Technologien, die Teile des Biomasseeinsatzes vor allem im Bereich Wärme und Mobilität übernehmen können, wie die verstärkte Einbindung von Geothermie in Wärmenetzen oder die zunehmende Umstellung von Mobilitätsanwendungen auf elektrische Antriebe und Brennstoffzellen. Im Bereich Wärme kann hierzu das von IN4climate.NRW (2021) entwickelte Vier-Stufen-Modell orientierend herangezogen werden
- Prioritär sollte die Förderung und der Ausbau der Elektromobilität politisch unterstützt werden, für Schwerlast und Flugverkehr zudem der Einsatz von Wasserstoff und von CO<sub>2</sub>-basierten sogenannten synthetischen Kraftstoffen. Dadurch soll ab 2030, ähnlich wie bei der Wärme, Biomasse fast ausschließlich dort eingesetzt werden, wo andere Kraftstoffe aufgrund deren Eigenschaften nicht oder nur mit einem hohen Mehraufwand anzuwenden wären
- Übergeordnete Regelung des Fernwärmenetzes beispielsweise durch die Bundesregierung. So sollte die Grundlast im Fernwärmenetz soweit möglich prioritär durch industrielle Abwärme gedeckt werden, während (Biomasse-)Heizkraftwerke vor allem zur Deckung von Spitzen im Winter eingesetzt werden sollten
- Förderung von Maßnahmen zur Effizienz und gesamtsystemischen Optimierung der Bereitstellung gebäudebezogener Wärme vor dem Biomasseeinsatz. Das heißt zunächst Förderung von Maßnahmen zur Reduktion des Heizwärmebedarfes und von Vorlauftemperaturen, mittels Gebäudedämmung oder Flächenheizungen bei gleichzeitiger Etablierung einer zentralen Wärmeversorgung mit (dekarbonisierter) Fernwärme; ist der Anschluss an ein Wärmenetz nicht möglich: Förderung von kohlenstofffreien Wärmequellen (zum Beispiel Solarthermie, Geothermie, Wärmepumpe) zur individuellen/dezentralen Versorgung von (Einzel-)Gebäuden; ist auch dies beispielsweise aufgrund der Gebäudebeschaffenheit, wie Denkmalschutz, oder regionaler bzw. infrastruktureller Einschränkungen nicht möglich, Einsatz nicht-fossiler Wärmequellen (wie Pellets oder Biomethan) in effizienten Anlagen mit niedrigen Emissionen

- Verstärkte Förderung der Einsatzfelder von Biomasse, die von anderen Erneuerbaren Energien nicht oder nur mit einem deutlichen Mehraufwand abgedeckt werden können. Dabei soll die Biomasse zum Einsatz kommen, die nicht nur verfahrenstechnisch geeignet ist, sondern auch die höchste Effizienz und THG-Vermeidung aufweist. Bei der Beurteilung kann die hier vorgeschlagene Biomasse-Nutzungshierarchie herangezogen werden



- Beschleunigung der angesprochenen Forschungsthemen durch Initiierung und Ausschreibung entsprechender Förderprogramme bei gleichzeitig gezielter Förderung der Entwicklung spezifischer Technologien, zum Beispiel Biomasseeinsatz in Öfen der Eisen- und Stahl- sowie Kalk- und Zementindustrie, um diese neuen Anwendungen zeitnah zur Marktreife zu entwickeln
- Stärkung der Wertschöpfungsketten, die die mehrfache Nutzung von Biomasse vorsehen
  - Verschieben der Rahmenbedingungen zur Produktion von biogenen Kraftstoffen unter anderem mit der RED III weiter in Richtung der Nutzung von Abfall- und Reststoffen.
  - Schaffung geeigneter Förderinstrumente und Regulierungen für die Finanzierung von Projekten zur Bereitstellung von nachhaltigem CO<sub>2</sub>, um über BECCS an industriellen Punktquellen oder aus Biogasanlagen negative Emissionen erreichen zu können, zum Beispiel durch die Errichtung von Sammelleitungen und gemeinsamen Aufbereitungsanlagen, bei gleichzeitiger Wegbereitung einer CO<sub>2</sub>-Infrastruktur und -Speicherung über geeignete rechtliche Rahmenbedingungen (vgl. MWIDE 2021b)
  - Mit Blick auf dezentrale Wärmeversorgung und die Bereitstellung industrieller Prozesswärme durch feste Biomasse: nur Förderung von Anwendungen, die Verwertung biogener Rest- oder Abfallstoffe in effizienten Anlagen mit niedrigen Emissionen gewährleisten



## 6 Fazit

Biomasse ist eine begrenzte Ressource, demgegenüber die möglichen Anwendungs- und Einsatzfelder und damit einhergehend die Nachfrage nach biogenen Rohstoffen schnell wachsen. Dadurch gibt es schon jetzt Konkurrenzen – nicht nur im Bereich der Flächennutzung hinsichtlich Anbaubiomassen und deren Einsatz zur Nahrungsmittelerzeugung versus struktureller, stofflicher oder energetischer Nutzung, sondern auch Nutzungskonkurrenzen der begrenzt verfügbaren biogenen Abfall- und Reststoffe in eben diesen Anwendungsfällen. Der Einsatz von Biomasse als nachhaltige Ressource muss demnach strategisch erfolgen. Dazu zählt vor allem die Priorisierung des Biomasseeinsatzes, was sowohl rohstofflich als auch anwendungsbezogen erfolgen muss, um zu klären, welche Art von Biomasse wo am effizientesten und nachhaltigsten eingesetzt wird. In Ergänzung muss eine Kaskaden- und Koppelnutzung erfolgen, um zum einen die notwendigen Verfügbarkeiten auch von biogenen Rest- und Abfallstoffen bei gleichzeitiger Bedienung vorgesehener Einsatzfelder gewährleisten zu können und zum anderen Kohlenstoff durch eine zielgerichtete Kreislaufwirtschaft langfristig binden zu können. Diese und weitere in den vorherigen Kapiteln ausgesprochenen Empfehlungen und Forderungen zur nachhaltigen Nutzung von Biomasse müssen daher in die laufenden, vor allem politischen, Prozesse miteinbezogen und berücksichtigt werden.

Die kürzlich veröffentlichten Eckpunkte für eine Nationale Biomassestrategie (NABIS) haben bereits einige der hier dargestellten Inhalte und Empfehlungen – insbesondere hinsichtlich der Priorisierung des Biomasseeinsatzes und einer Kaskaden- beziehungsweise Mehrfachnutzung – als Leitprinzipien zur weiteren Ausarbeitung innerhalb der NABIS manifestiert und werden einige Forderungen adressieren, so dass dieses Papier hierzu vertiefende Hilfestellung leisten kann. Darüber hinaus leistet das Papier einen Beitrag zu den im Rahmen der NABIS ausarbeitenden Ausgangspunkten für die Entwicklung der strategischen Leitlinien zum Biomasseeinsatz, nämlich der quantitativen und qualitativen Bestandsaufnahme der Biomasseerzeugung und -nutzung. Insbesondere die anvisierte Analyse der verschiedenen Anwendungsbereiche wird durch dieses Papier unterstützt, da aufgezeigt wird, dass ergänzend zur herkömmlichen strukturellen beziehungsweise stofflichen Nutzung „als erneuerbarer Grundstoff für langlebige Industriegüter oder als Baumaterial“ insbesondere die industrielle stoffliche Nutzung von Biomassen beziehungsweise biogenem Kohlenstoff in aktuell neu und vermehrt aufkommenden Pfaden, wie in der Chemiebranche und der Metallurgie, in die Überlegungen zur NABIS mit einbezogen und bei der Planung des Ressourceneinsatzes und der Gestaltung entsprechender Politikinstrumente mitgedacht werden muss.

# Literatur

50Hertz Transmission et al. 2022: Szenariorahmen zum Netzentwicklungsplan Strom 2037 mit Ausblick 2045, Version 2023 - Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber.

AEE 2017: Erneuerbare Energie für die Industrie: Prozesswärme aus Bioenergie sorgt für Unabhängigkeit und Klimaschutz. In: Renew's Kompakt (38).

Agora Energiewende 2021: Ein Gebäudekonsens für Klimaneutralität. 10 Eckpunkte wie wir bezahlbaren Wohnraum und Klimaneutralität 2045 zusammen erreichen.

Ariadne 2022: Vergleich der „Big 5“ Klimaneutralitätsszenarien. URL: <https://ariadneprojekt.de/news/big5-szenarienvergleich/>.

Arnold, Karin et al. 2009: Klimaschutz und optimierter Ausbau Erneuerbarer Energien durch Kaskadennutzung von Biomasseprodukten - Potenziale, Entwicklungen und Chancen einer integrierten Strategie zur stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH. Wuppertal Report.

Banse, Martin et al. 2020: Eine biobasierte Zukunft in Deutschland – Szenarien und gesellschaftliche Herausforderungen. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut.

BCG 2021: Klimapfade 2.0 - Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft.

Bett, Andreas et al. 2022: Photovoltaics Report. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.

BGR 2021: Deutschland - Rohstoffsituation 2020. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

Biokraft-NachV 2021: Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von Biokraftstoffen (Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung - Biokraft-NachV) vom 2. Dezember 2021 (BGBl. I S. 5126, 5143).

Bioökonomierat 2022: Bioökonomie: Gemeinsam eine nachhaltige Zukunft gestalten - 1. Arbeitspapier des III. Bioökonomierats.

BLE 2021: Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2020. Bonn: Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.

BMBF, BME 2020: Nationale Bioökonomiestrategie. Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.

BMEL 2021: Charta für Holz 2.0 - Klima schützen. Werte schaffen. Ressourcen effizient nutzen. Bonn: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.

BMEL 2022: Wissenswertes rund um Biokraftstoffe. Bonn: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. URL: <https://www.BMEL.de/DE/themen/landwirtschaft/bioeconomie-nachwachsende-rohstoffe/biokraftstoff-edaten-fakten.html>.

BMUV 2022: Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.

BMWK 2021: Gesamtausgabe der Energiedaten - Datensammlung des BMWi. In: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. URL: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Binaer/Energiedaten/energiedaten-gesamt-xls.html>.

BMWK 2022a: Industrielle Bioökonomie – Wachstum und Innovation für den Standort Deutschland. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/industrielle-bioe-konomie-wachstum-und-innovation.html>.

BMWK 2022b: Zeitreihen zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland - unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat). Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.

BMWK et al. 2022: Eckpunkte für eine Nationale Biomassestrategie (NABIS).

BNetzA 2022: Bedarfsermittlung 2023-2037/2045 - Genehmigung des Szenariorahmens 2023-2037/2045. Bonn: Bundesnetzagentur.

Brosowski, André et al. 2015: Biomassepotenziale von Rest und Abfallstoffen: Status quo in Deutschland. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe.

Brosowski, André et al. 2016: A review of biomass potential and current utilisation – Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany. In: Biomass and Bioenergy 95, S. 257–272.

Brosowski, André et al. 2019: How to measure the impact of biogenic residues, wastes and by-products: Development of a national resource monitoring based on the example of Germany. In: Biomass and Bioenergy 127 (105275), S. 1–19.

Bürger, Veit et al. 2021: Agenda Wärmewende 2021 - Studie im Auftrag der Stiftung Klimaneutralität und Agora Energiewende. Freiburg, Hamburg: Öko-Institut e.V., Hamburg Institut.

Burger, Bruno 2022: Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2021. Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE.

CDU; BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN 2022: Zukunftsvertrag für Nordrhein-Westfalen - Koalitionsvereinbarung von CDU und GRÜNEN. Düsseldorf.

DBFZ o. J.: DBFZ Webapp | Rohstoffdatenbank. In: Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH. URL: <https://webapp.dbfz.de/resources/?lang=de>.

DECHEMA; FutureCamp 2019: Roadmap Chemie 2050 - Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland. München: FutureCamp Climate GmbH, DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

dena 2019: Bio-LNG – eine erneuerbare und emissionsarme Alternative im Straßengüter- und Schiffsverkehr. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH.

dena 2021a: Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität - Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe.

dena 2021b: Systematisch Energieeffizienz steigern und CO<sub>2</sub>-Emissionen senken in der Gießerei-Industrie. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH.

dena 2022: Marktmonitoring Bioenergie – Teil 1: Aufkommen und Potenziale. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH.

DEPI 2022: Pelletproduktion und -verbrauch in Deutschland, Anteil ENplus. Berlin: Deutsches Pelletinstitut. URL: <https://depi.de/p/Pelletproduktion-und-verbrauch-in-Deutschland-Anteil-ENplus-5eJAc88yiMU8j4BUh6SmPM>.

Dialogplattform Industrielle Bioökonomie 2021: Leitbild 2.0 der Dialogplattform Industrielle Bioökonomie: Industriestandort Deutschland stärken und nachhaltig gestalten.

Dotzauer, Martin et al. 2022: Kurzstudie zur Rolle von Biogas für ein klimaneutrales, 100 % erneuerbares Stromsystem 2035 (KS\_BSKES). Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ), Wuppertal Institut. S. 46.

EBC 2012: European Biochar Certificate – Richtlinien für die Zertifizierung von Pflanzenkohle. Arbaz: Ithaka Institut. URL: <http://www.european-biochar.org>.

EnArgus 2022: Landnutzungsänderung. In: EnArgus-Wiki (Hrsg.: BMWK). URL: [https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d6534-2/\\*/\\*Landnutzungs%C3%A4nderung.html?op=Wiki.getwiki](https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d6534-2/*/*Landnutzungs%C3%A4nderung.html?op=Wiki.getwiki).

EU 2009: 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. Brüssel: Europäische Union.

Europäische Kommission 2022: Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den europäischen Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - REPowerEU Plan vom 18. Mai 2022.

European Bioplastics 2018: What are bioplastics? - Material types, terminology, and labels - an introduction. Berlin: European Bioplastics.

EWI 2021: dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 - Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln (EWI). Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena).

Fehrenbach, Horst et al. 2017: Biomassekaskaden - Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse – Von der Theorie zur Praxis. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Fehrenbach, Horst et al. 2018: BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor) - Abschlussbericht. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Fehrenbach, Horst 2021: Potentiale von Bioenergie für den Klimaschutz und die »Kontroverse« zur Welternährung und zum Artenschutz. In: Lozán, José et al. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Boden & Landnutzung. Hamburg: Wissenschaftliche Auswertungen in Kooperation mit GEO. S. 374–379.

Fehrenbach, Horst; Bürck, Silvana 2022: CO<sub>2</sub>-Opportunitätskosten von Biokraftstoffen in Deutschland. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg.

Fleiter, Tobias et al. 2022: Vorstellung der Ergebnisse zur Studie für das Umweltbundesamt (Hrsg.) „Umbau des industriellen Anlagenparks im Rahmen der Energiewende: Ermittlung des aktuellen SdT und des weiteren Handlungsbedarfs zum Einsatz strombasierter Prozesswärmeanlagen“ (Kurztitel: CO<sub>2</sub>-neutrale Prozesswärmeerzeugung) – laufendes ReFoPlan-Projekt 3718410030 (Arbeitsstand Juli 2022), virtuelles Fachgespräch, 22.06.2022, Fraunhofer-Institut für System und Innovationsforschung und Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik der RWTH Aachen University im Auftrag des Umweltbundesamts. Dessau-Roßlau, 2022.

FNR 2018: Rohstoffmonitoring Holz - Daten und Botschaften. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

FNR 2022a: Basisdaten Bioenergie Deutschland 2022. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

FNR 2022b: Anbau und Verwendung Nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V.

FNR o. J.: [statistik.fnr.de](https://statistik.fnr.de): Einsatzmengen. In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. URL: <https://statistik.fnr.de/einsatzmengen.php>.

Ganssaue, Niklas; Kasimir, Svenja 2022: „Fit for 55“: Neuerungen für die Erneuerbaren Energien mit RED III. CMS Hasche Sigle - Rechtsanwälte Steuerberater. URL: <https://www.cmshs-bloggt.de/rechtsthemen/sustainability/sustainability-environment-and-climate-change/fit-for-55-neuerungen-fuer-die-erneuerbaren-energien-mit-red-iii/>.

Generalzolldirektion, Fachgebiet Biokraftstoffquote 2022: Unterquote für fortschrittliche Kraftstoffe. In: Unterquote für fortschrittliche Biokraftstoffe. URL: [https://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Steuern/Verbrauchssteuern/Treibhausgasquote-THG-Quote/Quotenverpflichtung/Erfuellung-Quotenverpflichtung/Unterquote-fortschrittliche-Kraftstoffe/unterquote-fortschrittliche-kraftstoffe\\_node.html](https://www.zoll.de/DE/Fachthemen/Steuern/Verbrauchssteuern/Treibhausgasquote-THG-Quote/Quotenverpflichtung/Erfuellung-Quotenverpflichtung/Unterquote-fortschrittliche-Kraftstoffe/unterquote-fortschrittliche-kraftstoffe_node.html).

Hennenberg, Klaus et al. 2022: Aktuelle Nutzung und Förderung der Holzenergie - Teilbericht zu den Projekten Bio-SINK und BioWISE. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Hünecke, Katja et al. 2022: Strukturwandel zu einer Green Economy - Screening besonders betroffener Branchen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

IAI 2018: Aluminium for Future Generations – Raw Materials. In: The International Aluminium Institute. URL: <https://primary.world-aluminium.org/aluminium-facts/raw-materials/>.

IfBB 2017: Biopolymers facts and statistics - Production capacities, processing routes, feedstock, land and water use. Hannover: Institut for Bioplastics and Biocomposites, Hochschule Hannover.

IN4climate.NRW 2021a: CO<sub>2</sub> in einer klimaneutralen Grundstoffindustrie: Infrastrukturanforderungen für NRW - Ein Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Kohlendioxidwirtschaft. Gelsenkirchen.

IN4climate.NRW 2021b: Industrierwärme klimaneutral: Strategien und Voraussetzungen für die Transformation - Ein Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Wärme. Gelsenkirchen.

IN4climate.NRW 2021c: Circular Economy in der Grundstoffindustrie: Potenziale und notwendige Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Transformation - Ein Diskussionspapier der Arbeitsgruppe Circular Economy. Gelsenkirchen.

IN4climate.NRW 2022: Prozesswärme für eine klimaneutrale Industrie - Impulspapier der Initiative IN4climate.NRW. Düsseldorf.

Kaltschmitt, Martin et al. (Hrsg.) 2016: Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg.

Kaltschmitt, Martin et al. (Hrsg.) 2020: Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. 6., vollständig neu überarbeitete Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg.

Koch, Matthias et al. 2018: Rolle der Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt bis 2050 unter Einbeziehung des zukünftigen Gebäudebestandes - Wissenschaftlicher Endbericht. Freiburg, Darmstadt: Öko-Institut e.V.

Kopernikus-Projekt Ariadne 2021: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich.

KrWG 2021: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG).

LANUV 2014: Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW - Teil 3 - Biomasse-Energie. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.

LANUV 2021: Potenzialstudie Kraft-Wärme-Kopplung - LANUV-Fachbericht 116. Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.

LANUV 2021: Energieatlas NRW - Exceltabellen zum Ausbaustand der strom- und wärmeerzeugenden Energien in NRW (Datenstand: Ende 2021). Recklinghausen: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. URL: [https://www.energieatlas.nrw.de/site/service/download\\_daten](https://www.energieatlas.nrw.de/site/service/download_daten).

Lenz, Volker et al. 2020: Status and Perspectives of Biomass Use for Industrial Process Heat for Industrialized Countries. In: Chemical Engineering Technology 43 (8), S. 1469–1484.

Lippelt, Jana et al. 2021: Kurz zum Klima: Silizium – ein Rohstoff, der es in sich hat. In: ifo Schnelldienst 74. Jahrgang (09/2021), S. 73–76.

Luderer, Gunnar et al. 2021: Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 - Szenarien und Pfade im Modellvergleich. S. 359 pages.

LWK 2021: Nährstoffbericht NRW 2021. Münster: Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.

Miletzky, Frank et al. 2020: Holzbasierte Bioökonomie. In: Thrän, Daniela; Moesenfechtel, Urs (Hrsg.): Das System Bioökonomie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. S. 51–68.

MWIDE 2021a: Fortschreibung der Energieversorgungsstrategie Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf: Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen.

MWIDE 2021b: Kohlenstoff kann Klimaschutz - Carbon Management Strategie Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf: Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen.

MWIDE 2021c: Handlungskonzept Synthetische Kraftstoffe Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf: Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen.

Prognos et al. 2021: Klimaneutrales Deutschland 2045 - Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann - Langfassung im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende.

Prognos et al. 2020: Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität.

RED II 2018: Richtlinie (EU) 2018/2001 des europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Erneuerbare-Energien-Richtlinie - RED II) vom 11. Dezember 2018 (OJ L 328, S. 82 - 209). URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj/eng>.

Riedel, Thomas et al. 2019: Wälder in Deutschland sind eine wichtige Kohlenstoffsенke. In: AFZ-DerWald 14, S. 14–18.

Rupp, Johannes et al. 2020: Potenzialfelder einer ländlichen Bioökonomie: Analyse und Bewertung von Wertschöpfungsketten einer nachhaltigen Koppel- und Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW). Schriftenreihe des IÖW 217 (2020).

RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung 2021: Rohstoffstudie NRW und Fact Sheets - Die künftige Rohstoffversorgung der NRW-Industrie und Schritte auf dem Weg zur Kreislaufwirtschaft. Düsseldorf: Ministerium für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.).

Schimmel, Matthias; Sach, Thobias 2022: Energiewende in der Industrie - Eine Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz - Abschlussveranstaltung 16. Februar 2022.

Schmidt, Hans-Peter 2011: Pflanzenkohle. In: Ithaka Journal (1), S. 75–82.

Schütze, Gudrun et al. 2021: Umweltschutz, Wald und nachhaltige Holznutzung in Deutschland. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Hrsg.).

SCI4climate.NRW 2021: CO<sub>2</sub>-Entstehung der Industrie in einem klimaneutralen NRW - Impuls für eine Infrastrukturgestaltung. Wuppertal.

Sensfuß, Frank; et al. 2021: Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3 - Kurzbericht. Karlsruhe.

Shell Deutschland 2021: Shell will synthetisches Kerosin in Rheinland Raffinerie produzieren. URL: <https://www.shell.de/ueber-uns/newsroom/pressemitteilungen-2021/shell-will-synthetisches-kerosin-in-rheinland-raffinerie-produzieren.html>.

Shell Deutschland 2022: Shell Beginnt mit Bau der grössten Bio-LNG-Anlage Deutschland. URL: <https://www.shell.de/ueber-uns/newsroom/pressemitteilungen-2022/shell-beginnt-mit-bau-der-groessten-bio-ling-anlage-deutschlands.html>.

Soimakallio, Sampo et al. 2022: Closing an Open Balance: the Impact of Increased Roundwood Harvest on Forest Carbon. In: Preprint 2022030198 (doi: 10.20944/preprints202203.0198.v1).

SPD, et al. 2021: Mehr Fortschritt wagen - Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021 – 2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), BÜNDNIS 90 / DIE GRÜNEN und den Freien Demokraten (FDP). Berlin.

Statista 2022a: Heimtextilien: Faserverarbeitung bis 2020. In: Statista. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/239190/umfrage/faserverarbeitung-fuer-heimtextilien-in-deutschland-seit-1975/>.

Statista 2022b: Produktion von Eisen-, Stahl- und Temperguss in Deutschland bis 2021. In: Statista. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28381/umfrage/produktion-von-guss-aus-stahl-und-eisen-in-deutschland-seit-1980/>.

Statista 2022c: NE-Metallerzeugung in Deutschland bis 2020. In: Statista. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/20321/umfrage/ne-metallerzeugung-in-deutschland-seit-1997/>.

Statista 2022d: Rohstahlproduktion nach Ländern weltweit 2021. In: Statista. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/311503/umfrage/wichtigste-laender-nach-rohstahlproduktion/>.

Statista 2022e: Produktionsmenge von Silizium der wichtigsten Länder im Jahr 2021. In: Statista. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/157537/umfrage/produktion-von-silizium-weltweit-nach-laendern/>.

Stiftung Klimaneutralität et al. 2021: Politikinstrumente für ein klimaneutrales Deutschland - 50 Empfehlungen für die 20. Legislaturperiode (2021–2025).

Szarka, Nora et al. 2021: Biomass flow in bioeconomy: Overview for Germany. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 150, S. 111449.

Thrän, Daniela et al. 2019: Technoökonomische Analyse und Transformationspfade des energetischen Biomassepotentials (TATBIO). Deutsches Biomasseforschungszentrum. S. 130.

thyssenkrupp Steel Europe o. J.: Klimastrategie von thyssenkrupp Steel - Premium-Flachstahl, weniger von CO<sub>2</sub>. In: thyssenkrupp. URL: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/de/unternehmen/nachhaltigkeit/klimastrategie/>.

UBA 2016: Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer „veränderter“ Biomasse als Bodenhilfsstoffe oder für die C-Sequestrierung in Böden. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (Hrsg.).

VCI 2020: Rohstoffbasis der Chemieindustrie. Frankfurt am Main: Verband der Chemischen Industrie e.V.

VDP 2021: Papier 2021 - Statistiken zum Leistungsbericht. Bonn: Verband Deutscher Papierfabriken e. V.

Völler, Klaus 2017: Stoffliche Nutzung von Biomethan in der chemischen Industrie. Berlin.

Weber, Kathrin et al. 2016: Verwendung von Biomassekarbonisaten. In: Quicker, Peter;Weber, Kathrin (Hrsg.): Bio-  
kohle. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Wolf, Tobias et al. 2020: Potenziale von Bauen mit Holz. Berlin: Umweltbundesamt. S. 248.

**Zum Datum der Veröffentlichung dieser Publikation waren alle Links aktuell.**

## Bibliografische Angaben:

**Herausgeberin:**  
NRW.Energy4Climate GmbH

**Veröffentlicht:**  
Januar 2023

**Autor:innen:**  
Tania Begemann  
(Projektmanagerin Industrie & Produktion)  
Dr. Iris Rieth-Menze  
(Teamleiterin Industrie & Produktion)  
Dr. Nico Schneider  
(Projektmanager Industrie & Produktion)  
Dr. Petr Tluka  
(Projektmanager Energiewirtschaft)

**Kontakt:**  
biomasse@energy4climate.nrw

**Bitte zitieren als:**  
NRW.Energy4Climate (Hrsg.) 2023: Nachhaltiger Einsatz von Biomasse - Die Rolle von Biomasse in der Energiewende und in einer klimaneutralen Industrie. Düsseldorf.

## Impressum:

NRW.Energy4Climate GmbH  
Kaistraße 5  
40221 Düsseldorf  
0211 822 086-555  
[kontakt@energy4climate.nrw](mailto:kontakt@energy4climate.nrw)  
[www.energy4climate.nrw](http://www.energy4climate.nrw)  
© NRW.Energy4Climate / B22013

**Stand:**  
01/2023

**Bildnachweis:**  
Titel: istock, JohannesBluemel  
Seite 5: pixabay, rainerh11  
Seite 12: adobe Stock, achiml  
Seite 19, iStock, wit88\_  
Seite 34: pixabay, markusspiske  
Seite 39: pixabay, FelixMittermeier  
Seite 48: pixabay, Seaq68

**Gestaltung:**  
[www.tippingpoints.de](http://www.tippingpoints.de)