

Biomassepotenziale aus Abfällen und Reststoffen

Hintergrundpapier Stand und Perspektiven
der DBFZ Ressourcendatenbank und der
aktuellen Datenlage (12/2023)



© Mark - stock.adobe.com

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Biomassepotenziale aus Abfällen und Reststoffen

**Hintergrundpapier Stand und Perspektiven der DBFZ
Ressourcendatenbank und der aktuellen Datenlage (12/2023)**

**Romy Brödner, Karl-Friedrich Cyffka, Andrea Fais, Susann
Günther, Jasmin Kalcher, Stanislav Kazmin, Friederike Naegeli
de Torres, Kai Sven Radtke, Marco Selig, Fabian Sittaro, Daniela
Thrän, Burkhard Wilske**

Inhaltsverzeichnis

1	Zielstellung.....	3
2	Status quo Biomassepotenziale aus Abfällen und Reststoffen in Deutschland	4
2.1	Datenbasis und Modellansatz.....	4
2.2	Technische Potenziale für die Jahre 2015–2020	5
2.2.1	Siedlungsabfall und Klärschlamm	7
2.2.2	Landwirtschaftliche Nebenprodukte.....	8
2.2.3	Industrielle Reststoffe	8
2.2.4	Reststoffe von sonstigen Flächen	8
2.3	Mobilisierbares Potenzial	8
2.4	Biomassepotenziale und Kaskadennutzung	9
2.5	Weiterentwicklung der Datenbasis.....	10
3	Bedeutung von Importen für die nationalen Potenziale an Abfällen und Reststoffen	12
4	Künftige Entwicklungen: Treiber und Nutzungskonkurrenzen.....	14
4.1	Treiber.....	14
4.2	Nutzungskonkurrenzen	16
5	Ausblick.....	18
6	Literaturverzeichnis	19
	Anhang	24
A 1	Treiber Biomassepotenziale	24

1 Zielstellung

Die Bioökonomie gilt als zentrales Zukunfts- und Innovationsfeld, das ökologische und ökonomische Entwicklungen miteinander in Einklang bringen kann.¹ Ihr Ausbau ist für den Übergang von einem fossilbasierten, hin zu einem weitestgehend biobasierten, nachhaltigen und an natürlichen Stoffkreisläufen orientierten Wirtschaftssystem essenziell. Die mit der zirkulären Bioökonomie verbundenen Möglichkeiten zur Defossilisierung sind ein zentraler Schlüssel zur Transformation in Richtung Klimaneutralität im Jahr 2045 bei gleichzeitiger Schonung der begrenzten natürlichen Ressourcen.

Die steigende Bedeutung der an natürlichen Stoffkreisläufen orientierten, biobasierten Wirtschaft erfordert, dass Wertschöpfungsketten in ihrer Gesamtheit – von der Gewinnung biogener Ressourcen bis zu deren Recycling – in ihrem Stoffdurchsatz reduziert und optimiert werden (Thrän und Moesenfechtel 2020). Für eine nachhaltige Nutzung von Biomasseressourcen sind die fortlaufende Erfassung der biogenen Abfälle und Reststoffe und deren Bewertung der stofflichen und energetischen Nutzung essenziell. Das DBFZ hat daher im Jahr 2016 (Projekt AG BioRestMon) ein Biomasse Monitoring entwickelt, das die nationalen Biomassepotenziale für das Jahr 2015 erfasst und diese Daten der Öffentlichkeit in einer frei zugänglichen Webanwendung bereitstellt. Die aufgebaute Datenbank wurde 2019 veröffentlicht (<https://datalab.dbfz.de/resdb/potentials>) und befindet sich derzeit in der Aktualisierung (Fortschreibung der Biomassedaten bis 2020, sowie methodische Anpassungen, die in Kapitel 2.5 beschrieben werden).

Mit diesem Hintergrundpapier möchten wir einen Überblick über die Herangehensweise zur Ermittlung der heimischen Biomassepotenziale aus Abfällen und Reststoffen sowie dem Aufbau der Datenplattform gegeben. Importe, die nicht Teil der Datenanalysen sind, werden ergänzend eingeordnet. Ebenso erfolgt eine Übersicht über die Treiber und erwartete Nutzungskonkurrenzen, die die weitere Entwicklung der Potenziale beeinflussen. Des Weiteren wird ein Ausblick gegeben, wie diese in die Weiterentwicklung der Datenbank einfließen sollen.

¹ Vgl. „Nationale Bioökonomiestrategie der Bundesregierung“ (Bundesregierung 2020), „European Green Deal“ (European Commission 2019) und „European Bioeconomy Strategy“ (European Commission 2012).

2 Status quo Biomassepotenziale aus Abfällen und Reststoffen in Deutschland

2.1 Datenbasis und Modellansatz

Biomassepotenziale können nach (Pfeiffer und Thrän 2021) in verschiedenen Potenzialebenen kategorisiert werden:

Das *theoretische Potenzial* stellt die uneingeschränkte theoretische Menge einer bestimmten Ressource in einer gegebenen Region dar.

Das *technische Potenzial* beschreibt die zeit- und ortsabhängige, primär aus technischer Sicht (z.B. Bergungsraten, aber auch gesetzlicher Beschränkungen) stofflich oder energetisch nutzbare Menge einer Biomasse. Es wird angenommen, dass diese dabei das land- und forstwirtschaftliche System komplett verlassen (z.B. durch Verbrennung). Neben technischen Einschränkungen werden hier zum Teil auch Nachhaltigkeitsaspekte (z.B. Humusbilanz) berücksichtigt. Dabei ist zu beachten:

- Für kreislauforientierte Nutzungsansätze (z.B. Biogasgewinnung in landwirtschaftlichen Betrieben) stellt das technische Potenzial dann eine Unterschätzung dar, wenn z.B. der Gärrest in den Bodenkreislauf zurückgebracht wird und auf diese Weise zur Humusbilanz beiträgt. Dieser Effekt kommt insbesondere bei Stroh und anderen Ernterückständen zum Tragen, deren technisches Potenzial deutlich unter dem theoretischen Potenzial liegt.
- Bei einigen Abfällen und Reststoffen können theoretisches und technisches Biomassepotenzial als deckungsgleich betrachtet werden, insbesondere dann, wenn das Potenzial direkt an den Produktionsprozess eines Hauptproduktes gekoppelt ist (z.B. bei Reststoffen aus der Nahrungsmittelindustrie).

Das *genutzte Potenzial* beschreibt die Summe aus energetisch und/oder stofflich genutzten Mengen. Die positive Differenz von technischem und genutztem Potenzial zeigt das *mobilisierbare Potenzial*.

Zur Analyse der Biomassepotenziale wird auf die Methodik des „Bioökonomiemonitorings“ und der „AG BioRestMon“ (FKZ 22019215) aufgebaut. Die Ergebnisse finden sich in der online frei zugänglichen Ressourcendatenbank des DBFZ.² In der Originalversion wie auch der 2023 aktualisierten Ressourcendatenbank sind Informationen für 77 Biomassen aus den fünf Sektoren erfasst und visualisiert: (1) Landwirtschaftliche Nebenprodukte, (2) Holz- und forstwirtschaftliche Nebenprodukte, (3) Siedlungsabfälle und Klärschlamm, (4) Industrielle Reststoffe und (5) Reststoffe von sonstigen Flächen. Die Sektoren umfassen die gesamten Flächenbeiträge an Biomasse in Deutschland. Die Biomassen wiederum sind i.d.R. aus Einzelbiomassen aggregiert. Die Biomasse „Nebenprodukte aus dem Gemüseanbau“ ist bspw. ein Aggregat aus 47 Einzelbiomassen.

² Vgl. <https://datalab.dbfz.de/resdb>.

Die erste Version der DBFZ Ressourcendatenbank konnte über das bisherige User Interface (Abbildung 1) bedient werden. Aufgrund der aufwendig von Hand berechneten Informationen wurde eine neue Webapplikation entwickelt, die es ermöglicht, Informationen vermehrt auch automatisiert zu generieren, um so perspektivisch einem Monitoringsystem gerecht zu werden.

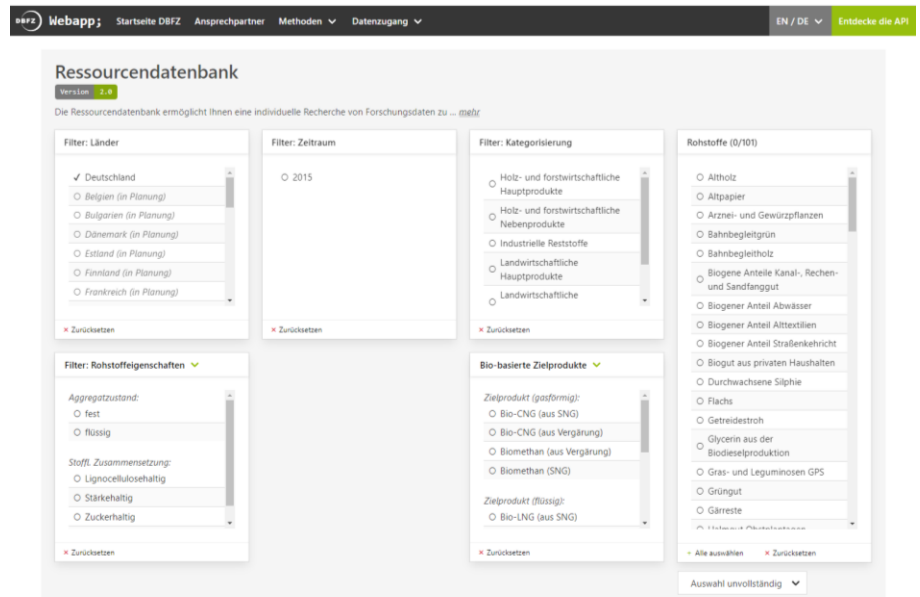


Abbildung 1: User Interface der DBFZ Ressourcendatenbank (2015-2023).

Das Datenvolumen zu Biomassepotenzialen aus Abfällen und Reststoffen bemisst sich in

mehreren Dimensionen: den einzelnen Biomasseressourcen, deren jeweiligen zugehörigen methodischen und technischen Parametern, sowie der räumlichen und zeitlichen Auflösung. Das bereits bestehende Datenvolumen ist jedoch unvollständig, d.h. lückenhaft bspw. in der Zeitdimension. Die neue Version der DBFZ Ressourcendatenbank (Release 12/2023) wird von einer relationalen Datenbank getragen und durch ein Potenzialberechnungsmodul sowie verschiedene Schnittstellen ergänzt. Es werden die Potenzialebenen der vorhandenen Ressourcen vom theoretischen, über das technische bis hin zum mobilisierbaren Potenzial präsentiert (Brosowski et al. 2016; Thrän und Pfeiffer 2013). Somit ist es möglich, zukünftig erhobene Biomassedaten konsistent und zum Teil automatisiert einzupflegen oder bspw. bei Etablierung alternativer Methodiken zu erweitern.

Die DBFZ Ressourcendatenbank sowie die angeschlossenen digitalen Werkzeuge stellen ein zentrales und strategisches Arbeitsmittel des Forschungsschwerpunkts „Systembeitrag von Biomasse“ dar und werden langfristig im Datenlabor des DBFZs gepflegt, weiterentwickelt und betrieben, um die identifizierten Datenlücken sukzessive zu verringern und die Datenqualität kontinuierlich zu verbessern. Während für den Langzeitbetrieb des Status quo DBFZ-eigene Mittel bereitstehen, werden Erweiterungen und Weiterentwicklungen ausschließlich durch Drittmittel getrieben.

2.2 Technische Potenziale für die Jahre 2015–2020

Da das theoretische Potenzial wie unter 2.1 erläutert, eine rein theoretische Größe darstellt, werden im Folgenden die technischen Potenziale dargestellt. Tabelle 1 zeigt für 15 der wichtigsten biogenen Abfälle und Reststoffe das technische Potenzial für die Jahre 2015–2020 in Mio. Tonnen Trockenmasse (tTM). Die Datenbasis bezieht sich auf den aktuellen Stand der DBFZ Ressourcendatenbank und beinhaltet eine zeitliche Aktualisierung bis 2020 für einen Teil der Biomassen (s. Kapitel 2.5). Fehlende Datenpunkte werden für eine Darstellung in Tabelle 1 teils fortgeschrieben. Der Fokus bezüglich der Datenaktualisierung bis 2020 liegt auf den mengenmäßig relevantesten Biomassen (Bezugsjahr 2015, technisches Potenzial).

Unter Berücksichtigung von 77 Einzelbiomassen ergibt sich für Deutschland für das Jahr 2020 ein technisches Biomassepotenzial aus Abfällen und Reststoffen von 108,6 Mio. Tonnen Trockenmasse (tTM) (Tabelle 1). Rund 60 % dieses Potenzials werden von den in Tabelle 1 dargestellten 15 Einzelbiomassen bestimmt. Potenziale für holz- und forstwirtschaftliche Reststoffe sind aufgrund anstehender Änderungen in der Berechnung nicht einzeln in Tabelle 1 aufgeführt. Innerhalb der in Tab. 1 dargestellten Biomassen, die insgesamt 66,1 Mio. tTM beitragen, entfallen 47 % auf die Siedlungsabfälle, 39 % auf Nebenprodukte aus der Landwirtschaft, 10 % auf die industriellen Reststoffe und 3 % auf Reststoffe von sonstigen Flächen. Die Entwicklung der Biomasse-Reststoffpotenziale über die Jahre 2015 bis 2020 ist von einem leichten Rückgang sowohl für die ausgewählten Biomassen (-5,7 %) als auch insgesamt (-3,6 %) gekennzeichnet. Dieser ist zum Teil ein defacto Rückgang, kann bei einzelnen Biomassen jedoch auch aus einer Anpassung der Berechnungsmethodik resultieren³.

Tabelle 1: Status quo des technischen Potenzials ausgewählter biogener Abfälle und Reststoffe. Gesamt von 2015-2020 in Mio. Tonnen Trockenmasse (tTM) - Mittelwerte. Quelle: DBFZ Ressourcendatenbank (Stand 12/23), eigene Berechnung und Darstellung. Angenommen wird jeweils komplette Entnahme. Bei Rückführung, z.B. von Gärresten können die Potenziale vom Ackerland (z.B. Stroh) höher ausfallen.

Technisches Potenzial – Mittelwerte (in Mio. tTM)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Ø 2015-2020	Veränderung 2015/2020	Veränderung 2015/Ø2015-2020
Altpapier	15,51	15,38	14,95	14,80	14,66	14,47	14,96	-6,7%	-3,5%
Getreidestroh	11,02	10,15	10,05	8,49	9,95	9,66	9,89	-12,4%	-10,3%
Grüngut	10,58	10,67	10,93	11,07	11,14	11,24	10,94	6,3%	3,4%
Rindergülle	8,73	8,68	8,68	8,54	8,40	8,24	8,54	-5,6%	-2,2%
Reststoffe Ölmühlen	7,25	7,26	7,25	6,95	6,92	6,79	7,07	-6,4%	-2,5%
Rindermist	7,09	6,89	6,70	6,43	6,19	5,91	6,54	-16,7%	-7,9%
Biogener Anteil Abwässer	2,83	2,85	2,85	2,79	2,81	2,82	2,82	-0,5%	-0,2%
Biogut aus privaten Haushalten	2,70	2,62	2,79	2,77	2,88	2,82	2,76	4,3%	2,2%
Holz von Landschaftspflegeflächen	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	2,07	0,0%	0,0%
Schweinegülle	1,06	1,05	1,06	1,02	1,00	1,00	1,03	-5,7%	-2,5%
Hühnertrockenkot	0,57	0,59	0,60	0,60	0,62	0,63	0,60	10,2%	4,9%
Schweinemist	0,27	0,25	0,24	0,21	0,20	0,18	0,22	-34,3%	-17,2%
Rinderjauche	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,23	-17,6%	-8,4%
Hühnerflüssigmist	0,13	0,13	0,12	0,12	0,09	0,08	0,11	-35,4%	-11,7%
Schweinejauche	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-33,0%	-16,6%
Summe oberhalb gelisteter Biomassen	70,1	68,8	68,5	66,1	67,1	66,1	67,8	-5,7%	-3,3%
Restliche Biomassen der Datenbank (nur 2015, bislang nur Fortschreibung)	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5			
Summe Gesamt	112,6	111,3	111,0	108,6	109,6	108,6	110,3	-3,6%	-2,1%

³ Anpassungen der Berechnungsmethodik liegen bspw. bei tierspezifischen Trockensubstanz-Gehalten tierischer Exkremente sowie tierspezifischen Weidezeiten von einzelnen Rinder- und Schweineklassifikationen vor (z.B. Milchkühe, Mastrinder, Kälber etc.). Vormalig wurden Werte pauschal für alle Rinder (TS-Gehalte) bzw. Differenzierungen nur für Milchkühe und sonstige Rinder (Weidezeiten) vorgenommen.

2.2.1 Siedlungsabfall und Klärschlamm

Auf Basis der Daten für die Jahre 2015–2020 tragen Siedlungsabfälle und Klärschlamm neben den landwirtschaftlichen Nebenprodukten den stärksten sektorspezifischen Stoffstrom zu den technischen Biomassepotenzialen aller biogenen Abfälle und Reststoffe bei. Das technische Potenzial des mengenmäßig wichtigsten Abfallstoffstroms Altpapier hat im Zeitraum stetig um ca. 1 Mio. tTM oder knapp 7 % abgenommen. Das technische Potenzial der vorwiegend kommunal organisierten und verwalteten Biomasse Grüngut verzeichnet hingegen von 2015 bis 2020 einen deutlich positiven Trend. Aufgrund der notwendigen Klimawandelanpassung von Städten, u. a. durch naturbasierte Klimatisierung, ist von weiteren Zuwächsen in Stadtbegrünung und damit auch einem Anstieg des Grüngut-Potenzials auszugehen. Gleichwohl sind flächenbezogene Grenzen des Grünguts – mit Ausnahme der vertikalen Stadtfläche für Fassadengrün – greifbar. Für sechs der wichtigsten Siedlungsabfälle liegen bereits Zeitreihen für die Jahre 2010 bis 2021 vor (Abbildung 2).

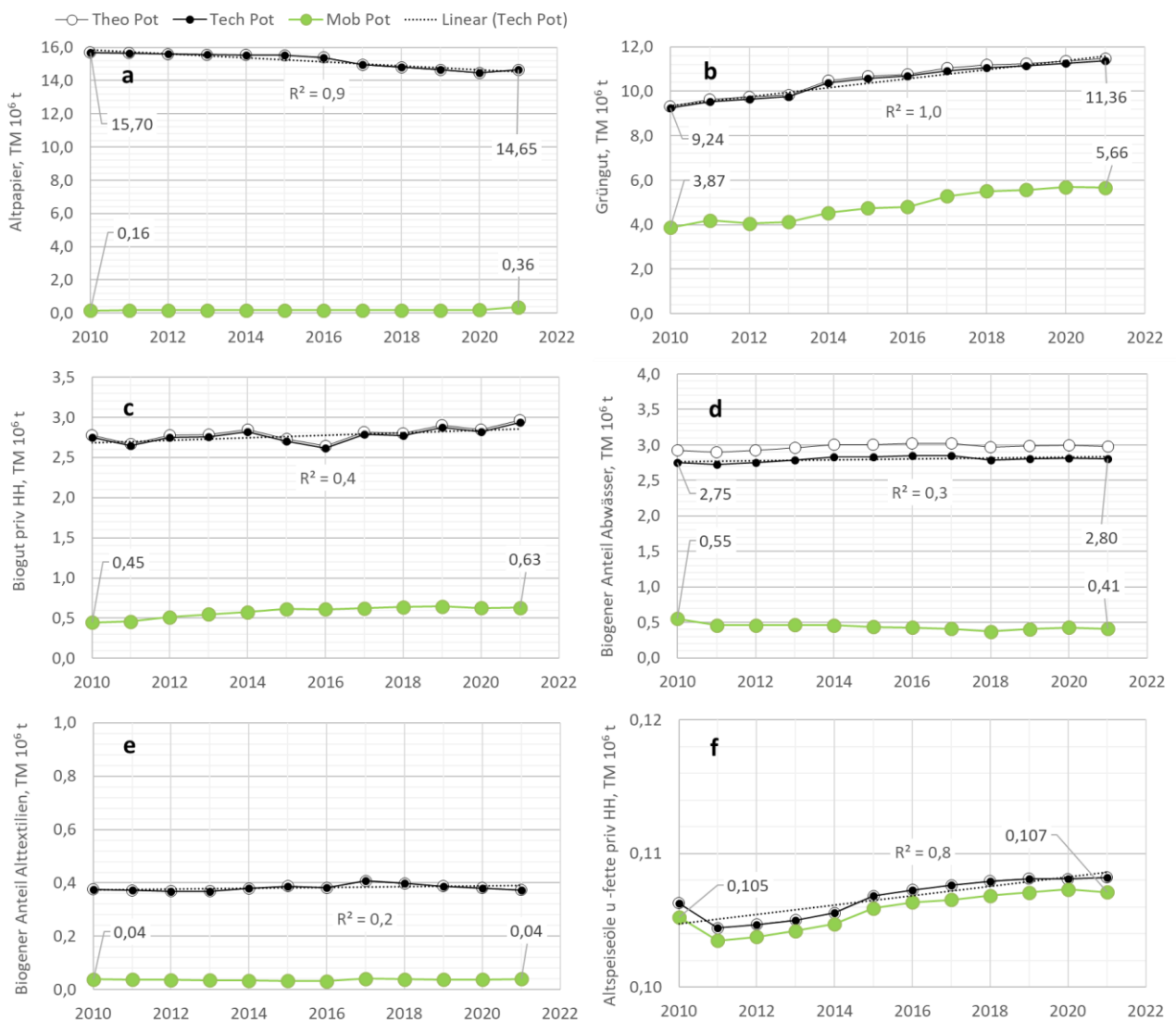


Abbildung 2: Die wichtigsten Siedlungsabfälle geordnet nach Größe ihrer theoretischen, technischen und mobilisierbaren Potenziale in Mio. tTM: a) Altpapier, b) Grüngut, c) Biogut private Haushalte, d) Biogener Anteil Abwässer zur anaeroben Behandlung, e) Biogener Anteil Alttextilien und f) Altspeiseöle- und -Fette private Haushalte. Quelle: eigene Berechnung und eigene Darstellung (Stand Oktober 2023).

Abweichungen des technischen Potenzials im Bereich der Siedlungsabfälle zwischen den Daten der vorherigen Datenbankversion und der neuen Version der DBFZ Ressourcendatenbank ergeben sich insbesondere durch eine Umstellung der Berechnungsmethodik.

2.2.2 Landwirtschaftliche Nebenprodukte

Insgesamt ist die zeitliche Entwicklung der landwirtschaftlichen Nebenprodukte von 2015 bis 2020 rückläufig. Mengenmäßig ist vor allem der Rückgang von Getreidestroh (-1,4 Mio. tTM) hervorzuheben, welcher im Vergleich zum Jahr 2015 durch eine gesunkene Anbaufläche sowie niedrigere Erträge (auch aufgrund von Dürre) bedingt ist. Kaskadennutzung (Kapitel 2.4) ist dabei nicht berücksichtigt. Tierische Exkremate von Rindern und Schweinen weisen im Zeitraum insgesamt eine rückläufige Tendenz auf. Gründe für diese Entwicklung sind rückläufige Tierzahlen sowie eine seit 2015 leicht rückläufige strohbasierte Haltung bei Schweinen und Rindern (Vos et al. 2022). Dieser Trend zeichnet sich auch für die letzten drei Jahre ab: Im Zeitraum von 2020 bis 2023 sind die Schweinezahlen von 25,5 Mio. Tieren um rund 4,8 Mio. Tiere (-19 %) gesunken, was in den gegenwärtigen Daten (nur bis 2020) noch nicht dargestellt ist. Hühnertrockenkot verzeichnete von 2015-2020 hingegen eine leichte Zunahme. Grund sind gestiegene Tierzahlen bei Masthähnchen und Legehennen sowie die Abnahme der Käfighaltung bei Legehennen (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2023).

2.2.3 Industrielle Reststoffe

Die Industriellen Reststoffe nehmen mit Stand 2015 mengenmäßig eher eine untergeordnete Rolle ein. In der Liste ausgewählter Biomassepotenziale (Tabelle 1) ist nur die Biomasse „Reststoffe aus Ölmühlen“ als industrielle Einzelbiomasse vertreten. Des Weiteren weist die Ressourcendatenbank für den Sektor Industrielle Reststoffe kein mobilisierbares Potenzial aus. Allerdings ist davon auszugehen, dass es Reststoffströme gibt, die durchaus einer höherwertigen Nutzung zugeführt werden können. Eine erste aussagekräftigere Zusammenstellung industrieller Reststoffpotenziale wird voraussichtlich Mitte 2024 möglich sein. Bisher zeichnen sich für viele Reststoffe innerhalb dieses Sektors große Datenlücken ab, da entsprechende Daten (u.a. Verbandsdaten) zum Teil nicht jährlich erhoben werden oder bis dato nicht verfügbar gemacht wurden. Vor allem Daten zu Jahren vor 2015 sind zum Teil nicht erhältlich und werden für die Anschauung interpoliert werden müssen.

2.2.4 Reststoffe von sonstigen Flächen

Reststoffe von sonstigen Flächen stellen den kleinsten sektorspezifischen Stoffstrom. Das technische Potenzial von Holz von Landschaftspflegeflächen bleibt mit rund 2,1 Mio. tTM in 2020 nahezu konstant über die Jahre 2015 bis 2020. Insgesamt ist der Bereich mit hohen Unsicherheiten behaftet. Beispielsweise sind die Sensitivitäten der zugrunde liegenden Berechnungsparameter (z.B. Ertrag, Wassergehalt, Bergungsrate etc.) insgesamt sehr hoch.

2.3 Mobilisierbares Potenzial

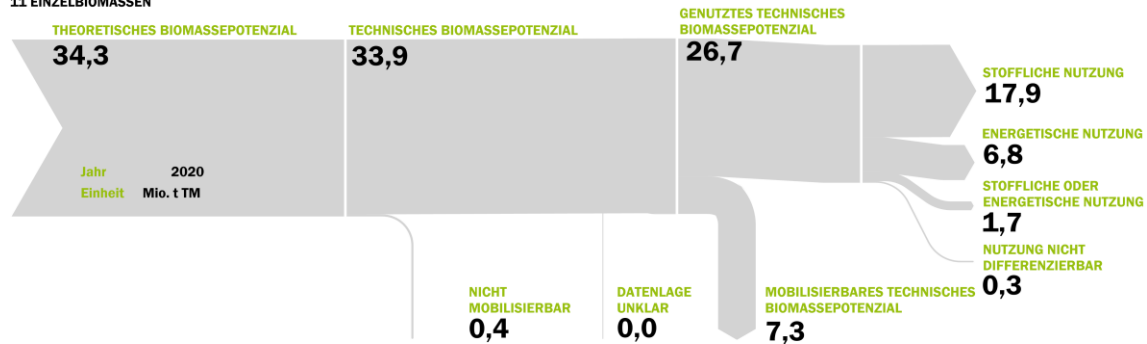
Das mobilisierbare Biomassepotenzial ist der Teil des technischen Biomassepotenzials, welches in eine höherwertige Nutzung überführt werden kann. Die gegenwärtig ungenutzten Biomassepotenziale konzentrieren sich auf Landwirtschaftliche Nebenprodukte (20,0 Mio. tTM) sowie Siedlungsabfälle und Klärschlamm (7,3 Mio. tTM). Reststoffe von sonstigen Flächen weisen mit 0,4 Mio. tFM nur ein geringes mobilisierbares Potenzial auf. Industrielle Reststoffe befinden sich bereits zu 100 % in Nutzung (siehe

Kapitel 2.2.3). Die folgende Abbildung 3 stellt die Stoffflüsse innerhalb der Kategorie Siedlungsabfälle und Klärschlamm als Sankey-Diagramm dar.

BIOGENE RESTSTOFFE IN DEUTSCHLAND

MITTELWERTE

11 EINZELBIOMASSEN



Monitoring der Bioökonomie Ressourcenbasis und Nachhaltigkeit

Arbeitsgruppe Biomassereststoffmonitoring (AG BioRestMon)

Quelle: DBFZ Ressourcendatenbank 12/2023



Abbildung 3: Biomassepotenzial und Nutzung von Siedlungsabfällen und Klärschlamm in Deutschland für das Jahr 2020.

2.4 Biomassepotenziale und Kaskadennutzung

Aufgrund der Vielfalt an Biomassen und ihren unterschiedlichen energetischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften gibt es ausgehend von der Ausgangsbiomasse eine breite Palette an Verwertungspfaden. Im Sektor Landwirtschaft haben „Gärreste“ einen besonderen Stellenwert, da das Nebenprodukt schon die Energieerzeugung durchlaufen hat und als emissionsarmer Wirtschaftsdünger eingesetzt wird. Das Monitoring der Biomasse „Gärreste“ erfolgt am DBFZ über die Einsatzmenge, d.h. den Biomasse-Input zur Vergärung, da Gärreste keine Waage passieren. Erste Daten zeigen, dass sich auf Basis des Wertes von 2010 (66 Mio t Frischmasse) die gesamte Biomasse-Inputmenge bis 2015 mehr als verdoppelt hat (103 %) und danach bis 2020 nochmals um 29 % angewachsen ist (Rensberg et al. 2023). In 2020 trugen Nachwachsende Rohstoffe (NawaRo) und Gülle/Festmist jeweils 49 % und 47 % zum Biomasse-Input bei. Der Anstieg von 2010 auf 2015 wurde vom Einsatz von NawaRo dominiert, während der weitere Anstieg bis 2020 im Wesentlichen von Gülle/Festmist getragen wurde. Biomasse aus kommunalem Abfall spielte bislang eine untergeordnete Rolle, ist aber über beide Zeiträume signifikant um 67 % und 33 % angewachsen.

Gemäß Klimaschutzprogramm der Bundesregierung soll die Produktion von Bioenergie sowie die Biomassevergärung zukünftig stärker auf Reststoffen wie z.B. Getreidestroh oder Gülle basieren (Bundesregierung 2019, 73, 111). Berücksichtigt man die positiven Effekte der Gärrestrückführung auf die Humusbilanz sowie die Kohlenstoff-Versorgung, sind beispielsweise höhere Strohentnahmeraten als bei einer Nicht-Rückführung von Gärresten und damit höhere Biomassepotenziale möglich (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) 2020, 93 f.; Witing et al. 2018). Die Annahmen für die Entnahmerate von Getreidestroh liegen in der DBFZ Ressourcendatenbank ohne Berücksichtigung einer Gärrestrück-

führung im Mittel bei rund 45 %. Diese ergeben sich aus dem Faktor der Humusbilanz und den verschiedenen technischen Bergungsraten für Weizen, Roggen, Triticale, Gerste und Hafer. Bei Berücksichtigung einer Gärresterückführung könnte die Entnahmerate von Getreidestroh gemäß Brosowski et al. (2020) dagegen bei 70 % liegen. Würde man beispielsweise 33 % des mobilisierbaren Getreidestrohs (Mittelwert in 2015: 6,5 Mio. tTM) zukünftig vergären und für diese Menge (2,1 Mio. tTM) eine höhere Getreidestrohentnahmerate annehmen, so könnte sich das mobilisierbare Biomassepotenzial von Getreidestroh von 6,5 Mio. tTM um rund 1,2 Mio. tTM auf 7,7 Mio. tTM erhöhen (Dotzauer et al. 2022). Daraus folgt, dass bestimmte Nutzungskaskaden das technische Biomassepotenzial erhöhen können. So kann die Gärresterückführung nach Vergärung von Getreidestroh und anderen landwirtschaftlichen Reststoffen den insgesamt zur Verfügung stehenden Ressourcenpool erhöhen.

2.5 Weiterentwicklung der Datenbasis

Aktuell wird die Datenbasis erweitert und aktualisiert. Die folgenden Aktualisierungen werden bis Ende 2024 umgesetzt:

Integration von Zeitreihen

Für alle 77 Einzelbiomassen werden Zeitreihen für die Jahre 2010–2020 in die Ressourcendatenbank integriert. Aktuell sind ca. 60% der über das Jahr 2015 hinausgehenden Daten gesichert. Die Zeitreihen ermöglichen eine Beschreibung fallender oder steigender Trends in den Biomassepotenzialen und verbessern damit auch die Basis für Trendfortschreibungen. Gleichzeitig ermöglichen Zeitreihen die Untersuchung diskontinuierlicher Entwicklungen im Hinblick auf ihre Treiber, wie z.B. der Wirksamkeit politischer Regulierung.

Anpassung der Datengrundlage

Nach vorläufiger Einschätzung können die Zeitreihen der meisten Biomassen aus den drei Sektoren (1) Landwirtschaftliche Nebenprodukte, (2) Siedlungsabfall und Klärschlamm sowie (3) Reststoffe von sonstigen Flächen weitgehend auf neuer Datengrundlage aufgebaut werden. Die Anpassung versucht nach Möglichkeit statistische Daten zu nutzen, zu denen der Zugriff automatisiert werden kann. Abhängig von der Publikationsfrequenz dieser Daten verringert sich die Zahl an Interpolationen, die für zukünftige Erweiterungen der Zeitreihendarstellung erforderlich sind.

Im Sektor Industrielle Reststoffe gibt es den geringsten Spielraum zu einer Verbesserung und Anpassung der Datenbasis. Reststoffe die in industriellen Produktionsprozessen anfallen werden entweder einer innerbetrieblichen Sekundärnutzungen zugeführt oder bleiben als Abfallströme (Verbrennung) verborgen. Jedenfalls lassen sich Reststoffströme oft nur anhand der Einsatzmenge und der Verwendung des Ausgangsstoffes (z.B. Kirschkerne, die nicht in die Konfitüre kommen) und/oder als Anteil in grundsätzlichen Produktionsprozessen schätzen. Einsatzmengen können vielfach nur über unregelmäßige Verbandspublikationen oder Verbandsanfragen ermittelt werden. Insgesamt ist es deswegen besonders diffizil möglich, höherwertige Nutzungen zu eruieren, um gesamtgesellschaftlich effizientere Stoffstrompfade anzuregen. Eine mögliche Erstellung bzw. Vervollständigung von Datenzeitreihen industrieller Reststoffe 2010–2020 wird in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Abfall- und Stoffstromwirtschaft, Universität Rostock, unternommen.

Anpassung der Berechnungsgrundlage

Der Sektor Holz- und forstwirtschaftliche Nebenprodukte wird in Kooperation mit dem Thünen Institut für Waldwirtschaft (TI WW) in 2024 auf eine neue Berechnungs-Basis gestellt. Auch hier wird versucht, zukünftig Datenquellen als Basis zu nutzen, die einen automatisierten Zugriff erlauben und einen jährlichen

Datenzuwachs liefern, wie z.B. die Einschlagsrückrechnung des TI WW. Daneben soll der Einfluss von Modellierungen bzw. langjährigen Mittelwerten und einmaligen Expertenschätzungen verringert werden.

Im Bereich der agrarischen Reststoffe sind die Berechnungsmethoden in der Datenbank auf dem Stand von 2015. Allerdings wurden bereits einige Annahmen erfasst, die in folgenden Projekten nochmal eingehende Betrachtung finden müssen und z.T. zu korrigieren sind. Hierunter fällt in erster Linie die Berechnung des technischen und mobilisierbaren Potenzials von Getreidestroh. Bei den anvisierten Anpassungen wird in erste Linie die Humusbilanz erneute Betrachtung finden und derzeit genutzte Berechnungselemente geprüft und angepasst. Auch ist zu überlegen, in wie fern Stroh zur Erhaltung der Humusbilanz weiterhin im technischen Potenzial berücksichtigt werden soll oder ob Stroh zur Erhaltung der Humusbilanz auch eine Art der Nutzung darstellt. Schließlich kann Stroh auch anteilig durch alternative humus-reproduzierende Inputs (u.a. Gärreste, tierische Exkrementen) ersetzt werden.

Erweiterung der geographischen Betrachtungsebenen

Informationen auf räumlich aufgelöster Ebene (Staat, Bundesland, Landkreis oder sogar Gemeinde) werden zunehmend relevant. Im Rahmen des Projektes „CAFIPLA“ wurden europaweit räumlich und zeitlich vorhandene theoretische Biomassepotenziale von 13 biogenen Abfällen und Reststoffen aus den Sektoren Industrie, Gemeinde und Landwirtschaft erhoben.⁴ Diese sollen kontinuierlich erweitert werden.

Berechnungsmethoden für Biomassepotenziale auf regionaler Ebene weichen bedingt durch die unterschiedliche Datenverfügbarkeit zum Teil von den Berechnungsmethoden auf nationaler Ebene ab. Einige regionale Daten und deren Berechnungsmethoden wurden bereits 2021 als Datenpublikation veröffentlicht und stehen zum Download⁵ zur Verfügung. Ein neuer Atlas mit räumlich aufgelösten Biomassepotenzialen (NUTS-3 Ebene) wird voraussichtlich 2024 veröffentlicht. Parallel werden dann auch die aktualisierten Daten und Berechnungsmethoden in einer neuen Datenpublikation veröffentlicht.

⁴ Die Daten sind im EU Potenzialatlas aufgeführt: <https://datalab.dbfz.de/resdb/maps?lang=de> (letzter Zugriff: 07.08.2023).

⁵ Vgl. https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00074316 (letzter Zugriff: 07.08.2023).

3 Bedeutung von Importen für die nationalen Potenziale an Abfällen und Reststoffen

Neben dem nationalen Ressourcenangebot biogener Abfälle und Reststoffe werden Rest- und Abfallstoffe auch international gehandelt und nach Deutschland importiert. Die Abschätzung der Potenziale im internationalen Kontext ist in unterschiedlichen Studien realisiert worden und hat zu teilweise sehr unterschiedlichen Ergebnissen geführt (Pfeiffer und Thrän 2018). Gleichwohl ist der Nutzungsstand erheblich von importierten Abfällen und Reststoffen geprägt (z.B. bei abfallbasierten Biokraftstoffen). Für Importe günstig sind Abfälle und Reststoffe, die eine hohe Energiedichte haben, (z.B. Altspeisefette), wenig reaktiv sind (z.B. trockene Biomassen) und in der Qualität beschreiben werden können (z.B. Holzpellets) (Thrän et al. 2005). Bei der Erhebung dieser Importe (und ebenso potenzieller Exporte) bestehen die folgenden Schwierigkeiten: Nicht für alle der in der Ressourcendatenbank enthaltenen Biomassen liegt eine hinreichende Datenbasis vor. Denn meist werden Import- und Exportdaten einzelner biogener Abfälle und Reststoffe nicht explizit statistisch erfasst (z.B. Getreidestroh, Maisspindeln etc.). Erschwerend kommt hinzu, dass Handelsströme biogener Abfälle und Reststoffe, als auch die daraus hergestellten Zwischen- und Endprodukte berücksichtigt werden müssten.

Es ist daher nicht möglich, ein abschließendes Gesamtbild von Handelsströmen der Reststoffe der deutschen Bioökonomie zu beschreiben. In bestimmten Sektoren (z.B. Verkehrssektor) sind Berichtspflichten stärker und damit auch die Datenlage besser als in anderen Sektoren (z.B. Futtermittel- und Ernährungssektor). Um sich vordergründig der Importfragestellung von biogenen Abfällen und Reststoffen zu nähern, werden deshalb nachfolgend Sektoren und nicht einzelne Biomassen als Schwerpunkt betrachtet. Die folgende Zusammenstellung gibt einen groben Überblick für das Jahr 2020 ohne Anspruch auf Vollständigkeit:

Strom: Wenngleich die Datenlage für den Stromsektor als dünn zu bezeichnen ist, ist davon auszugehen, dass Importe von Reststoffen für die Nutzung in Biogasanlagen auch aufgrund der Transportschwierigkeiten eher gering sind und sich tendenziell auf Grenzgebiete (z.B. Gülle aus Holland) beschränken. Da Biomethan einen geringen Importüberschuss aufweist (Deutsche Energie-Agentur (dena) 2021a, S. 15), könnte es einen Netto-Überschuss von Biomethan aus Reststoffen geben.

Wärme: Bei festen Reststoffen und Nebenprodukten wie Holzpellets (mehrheitlich hergestellt aus Sägebenebenprodukten) liegt ein Exportüberschuss von rund 0,5 Mio. t vor (Deutsche Energie-Agentur (dena) 2022). Industrierestholz weist einen Exportüberschuss von 1,6 Mio. m³ auf (Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie 2023). Gemäß Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2022) werden für flüssige Biobrennstoffe (Wärme/Strom) nur nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo) und keine Reststoffe verwendet.

Papier: Bei Altpapier liegt ein Netto-Importüberschuss von 2,4 Mio. t vor (Rohholzäquivalent) (Verband Deutscher Papierfabriken e.V. 2021).

Verkehr: Insbesondere im Verkehr steigt aufgrund der zunehmenden Mindestquote für fortschrittliche Biokraftstoffe der Bedarf für biogene Abfällen und Reststoffen. In den Jahren 2020 bzw. 2021 lagen die Importanteile von den in Deutschland verwendeten abfallbasierten Biokraftstoffen (REDII Annex IX A und B; v.a. UCO und POME) bei 78 % und 74 % (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung 2022). Der Gesamtbedarf für fortschrittliche Biokraftstoffe könnte sich im Vergleich zu 2021 bis 2030 ungefähr verzehnfachen (BMUV 2023; Schröder und Naumann 2023).

Chemie: Für den Chemiesektor ist die Datenlage hinsichtlich der Nutzung von biogenen Abfällen und Reststoffen unklar. Allerdings werden schätzungsweise 55-60 % der im Sektor verwendeten NaWaRos importiert (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) 2022), wobei die daraus erzeugten Produkte zum Teil wieder exportiert werden.

Pflanzenbau (Torfersatzstoffe): Auch im Pflanzenbau ist keine abschließende Aussage möglich. Gemäß BMEL (2022) könnte der Importanteil der in Deutschland verwendeten Torfersatzstoffe (Kokosfasern und Pinienrinde, bei anderen Torfersatzstoffen ist die Herkunft unklar) bei mindestens 7% liegen (BMEL 2022). Für den Zeitraum von 2013 – 2017 weist Torf dagegen einen Exportüberschuss auf, wobei dieser aufgrund der anvisierten Reduzierung des heimischen Torfabbaus perspektivisch fallen wird (Hirschler und Osterburg 2022; Hirschler und Thrän 2023).

Generell wird sich der Biomassebedarf der Bioökonomie in Deutschland (Ernährung, stofflich, energetische Nutzungspfade) voraussichtlich nicht nur durch heimische Biomasse decken lassen. In solchen Fällen kann Biomasseimport notwendig sein, um die Versorgung sicherzustellen. Eine nachhaltige Nutzung und Produktion von Biomasse, sowohl lokal als auch global, ist jedoch entscheidend, um die Ziele der Bioökonomie zu erreichen und Umweltauswirkungen zu minimieren. Hier werden Export-/Importstrategien analog zu einer Wasserstoffstrategie benötigt.

4 Künftige Entwicklungen: Treiber und Nutzungskonkurrenzen

4.1 Treiber

Verschiedene Treiber und Entwicklungen können die zuvor dargelegten Aufkommen an Biomassepotenzialen sowie deren Nutzung beeinflussen. Die Treiber wirken teilweise auf die theoretischen Potenziale, teilweise auf die technischen Potenziale und teilweise auf die Nutzung. Außerdem fallen sie für unterschiedliche Biomassen sehr unterschiedlich aus. Daher sollen im Folgenden wesentliche Treiber⁶ der mengenmäßig relevantesten Biomassen (Bezugsjahr 2015, technisches Potenzial) kurz beschrieben werden (Brosowski et al. 2019). Eine detaillierte Auflistung der gesellschaftlichen, ökonomischen, politischen, regulatorischen, ökologischen und technologischen Treiber findet sich in Anhang A 1 auf S. 24 ff.

Das technische Potenzial bzw. Aufkommen von Waldrestholz und Rinde ist vor allem durch Waldbehandlungsstrategien/-politiken (z.B. EU LULUCF-Verordnung & EU Biodiversitätsstrategie) und der Entwicklung der Marktnachfrage für energetische und stoffliche Holzbedarfe geprägt (Schier und Weimar 2018; Schier et al. 2022; Osterburg et al. 2019). Die energetische Nutzung von Waldrestholz ist insbesondere von der zukünftigen regulatorischen Entwicklung der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie der Europäischen Union (RED III) abhängig (Council of the European Union 2023), wobei beispielsweise perspektivisch die finanzielle Förderfähigkeit für die energetische Nutzung von Wurzeln und Stümpfen ausgeschlossen sein soll. Das Aufkommen von sonstigem Industrierestholz sowie Sägenebenprodukten und Hobelspänen sind dagegen als forstwirtschaftliche Sekundärreststoffe primär an zukünftige Produktionsvolumina der Holzverarbeitenden Industrie in Deutschland geknüpft.

Das Aufkommen von Holz aus der Landschaftspflege ist maßgeblich von der Entwicklung der relevanten Flächen wie beispielsweise Moor-, Heide- und sonstigen Landschaftspflegeflächen abhängig. Während die zukünftige Entnahme vor allem durch die nationale Umsetzung der EU Biodiversitätsstrategie für einen Teil der Flächen beeinflusst werden könnte, wird eine energetische Nutzbarkeit der Biomasse von Moor- und Heideflächen aus Gründen des Biodiversitäts- und Artenschutzes durch die RED III beschränkt werden (Council of the European Union 2023).

Als landwirtschaftlicher Reststoff ist das zukünftige Aufkommen von Getreidestroh im Wesentlichen durch die Entwicklung der Getreidefläche bestimmt. Bei neuen Getreidezüchtungen mit höheren Erträgen (Kornertrag) nimmt der Anteil des Stroh nicht automatisch im gleichen Maße zu. Zudem könnte sich eine mögliche Steigerung des Ökolandbaus aufgrund geringerer Stroherträge negativ auf das Strohaufkommen auswirken. Das Aufkommen von tierischen Exkrementen fällt voraussichtlich aufgrund rückläufiger Tierzahlen, welche bereits in der Vergangenheit durch sinkende Fleischexporte und einen geringeren Pro-Kopf-Verzehr von Fleisch bestimmt waren. Während der Strohbedarf bei einer ausgedehnteren ökologischen Tierhaltung wachsen könnte, wird dieser Mehrbedarf im Gegensatz zu freiwerdenden Stroheinstreuungen im Fall von stark fallenden Tierzahlen geringer ausfallen.

Das Aufkommen von Altpapier ist einerseits durch die Bevölkerungsentwicklung geprägt. Zudem sind die Entwicklungen des Papiermarktes (Angebot, Nachfrage, Preise) und der Papiersektoren (z.B. Anstieg bei Verpackungen, Rückgang bei graphischen Papieren) sowie Recyclingraten relevant (Verband Deutscher Papierfabriken e.V. 2021). Auch die Biomassen Biogut von privaten Haushalten sowie Grüngut (Garten

⁶ Ohne Anspruch auf Vollständigkeit

und Parkabfälle) werden durch die Bevölkerungsanzahl sowie die Verfügbarkeit von Trennungs-/Sammlungssystemen und insbesondere dem Anschlussgrad der Biotonne beeinflusst. Das Potenzial der Biomasse „biogener Anteil von Abwässern“ ist primär von den Produktionsvolumina der jeweiligen Industrien abhängig, welche industrielle Abwässer einleiten. Zudem sind hier regulatorische Vorgaben zur Einleitung von Abwässern entscheidend. Das zukünftige Aufkommen von Reststoffen aus Ölmühlen wird vorrangig vom Produktionsvolumen der Ölmühlen in Deutschland bestimmt. Das Altholzaufkommen ist durch die Aufkommensmengen aus Bau- und Bruchabfall, der Holzverarbeitung, Sperrmüll, sowie Verpackungs- und Siedlungsabfällen gekennzeichnet (trend:research 2022). Zudem weist der Altholzmarkt einen Importüberschuss auf (Flamme et al. 2020). Aufgrund der Einführung des Kaskadenprinzips in der RED III und einer auslaufenden EEG-Vergütung für Altholzanlagen, verlagert sich die Altholzverwendung perspektivisch stärker zu einer stofflichen Nutzung. Die Herstellung von biobasierten Chemieprodukten aus gebrauchtem Holz könnte dahingehend ein wichtiger Schritt in Richtung Kaskadennutzung inklusive einer höheren Wertschöpfung sein (BioEconomy Cluster 2023). Die hier adressierte Nutzung von biogenen Rohstoffen in Kaskaden und Kreisläufen ist ein zentrales politisches Ziel der Bundesregierung. Konkret bedeutet das die Priorisierung einer mehrfachen stofflichen Nutzung mit abschließender energetischer Nutzung oder Kompostierung (Bundesregierung 2020). Insbesondere Primärbiomassen wie Anbaubiomasse und Waldholz sollen zuerst einer höherwertigen stofflichen Nutzung zugeführt werden (BMWK 2022). Die Nutzung von Biomasse in Kaskaden bei stofflicher Nutzungspriorisierung kann als Konsequenz den zur Verfügung stehenden Ressourcenpool erhöhen (Fehrenbach et al. 2017). Je nach Einsatzgebiet (Holzbau, Chemie, etc.) und Länge der Nutzungsdauer steht die primär eingesetzte Biomasse anschließend mit unterschiedlichem zeitlichem Versatz als Rest- und Abfallstoff zu Verfügung. Durch einen verstärkten Holzbau im Rahmen einer Holzbauinitiative könnte somit beispielsweise das Aufkommen an biogenen Abfällen und Reststoffen (v.a. Altholz) langfristig gesteigert werden (Sozialdemokratische Partei Deutschlands (SPD) et al. 2021).

4.2 Nutzungskonkurrenzen

Die in einer wachsenden Bioökonomie benötigten Ressourcen lassen sich nach verschiedenen Kriterien kategorisieren. In Abbildung 4 sind beispielhaft Ressourcen entsprechend ihres Ursprungs und ihrer physikalisch-chemischen Zusammensetzung aufgeführt. Aus dem regulatorischen Kontext der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie der Europäischen Union (RED II) ergibt sich hierbei eine Differenzierung zwischen biogenen Hauptprodukten (vor allem Kultur- bzw. Nutzpflanzen), biogenen Nebenprodukten sowie Abfällen und Reststoffen (Schröder und Naumann 2023). Wenngleich viele dieser Ressourcen bereits einen hohen Nutzungsgrad aufweisen, verzeichnen verschiedene Sektoren zukünftig einen zunehmenden Bedarf für energetische (z.B. Verkehr) und vor allem stoffliche Anwendungen (z.B. Chemiesektor, Bausektor, Pflanzenbau) (BMEL 2022; Deutsche Energie-Agentur (dena) 2021b; European Commission 2021a, 2021b; Geres et al. 2019; Glasenapp et al. 2017). Hinzu kommen Nutzungskonkurrenzen um Flächen (Seeger et al. 2023), die die Verfügbarkeit von land- und forstwirtschaftlichen Reststoffen perspektivisch weiter einschränken: mengenmäßig über die Zeit relevant sind hier vor allem die andauernden Flächenverluste für Siedlungen und Infrastruktur. Andere Flächenbedarfe, z.B. für Wiedervernässung oder ökologische Bewirtschaftungsformen können auch mit einer größeren Verfügbarkeit an Abfällen und Reststoffen einhergehen, jedoch voraussichtlich die Defizite nicht ausgleichen. Der Flächen- und Biomassebedarf für die Fleischproduktion (nicht in der nachfolgenden Abbildung enthalten), der nicht zuletzt auch vom Fleischverzehr angetrieben wird, ist aktuell rückläufig und kann in Zukunft ggf. Potenziale freisetzen (Chan et al. 2022). Insgesamt lässt sich festhalten, dass im Rahmen einer wachsenden Bioökonomie perspektivisch die Nachfrage nach Biomasse und damit Fläche steigen wird.

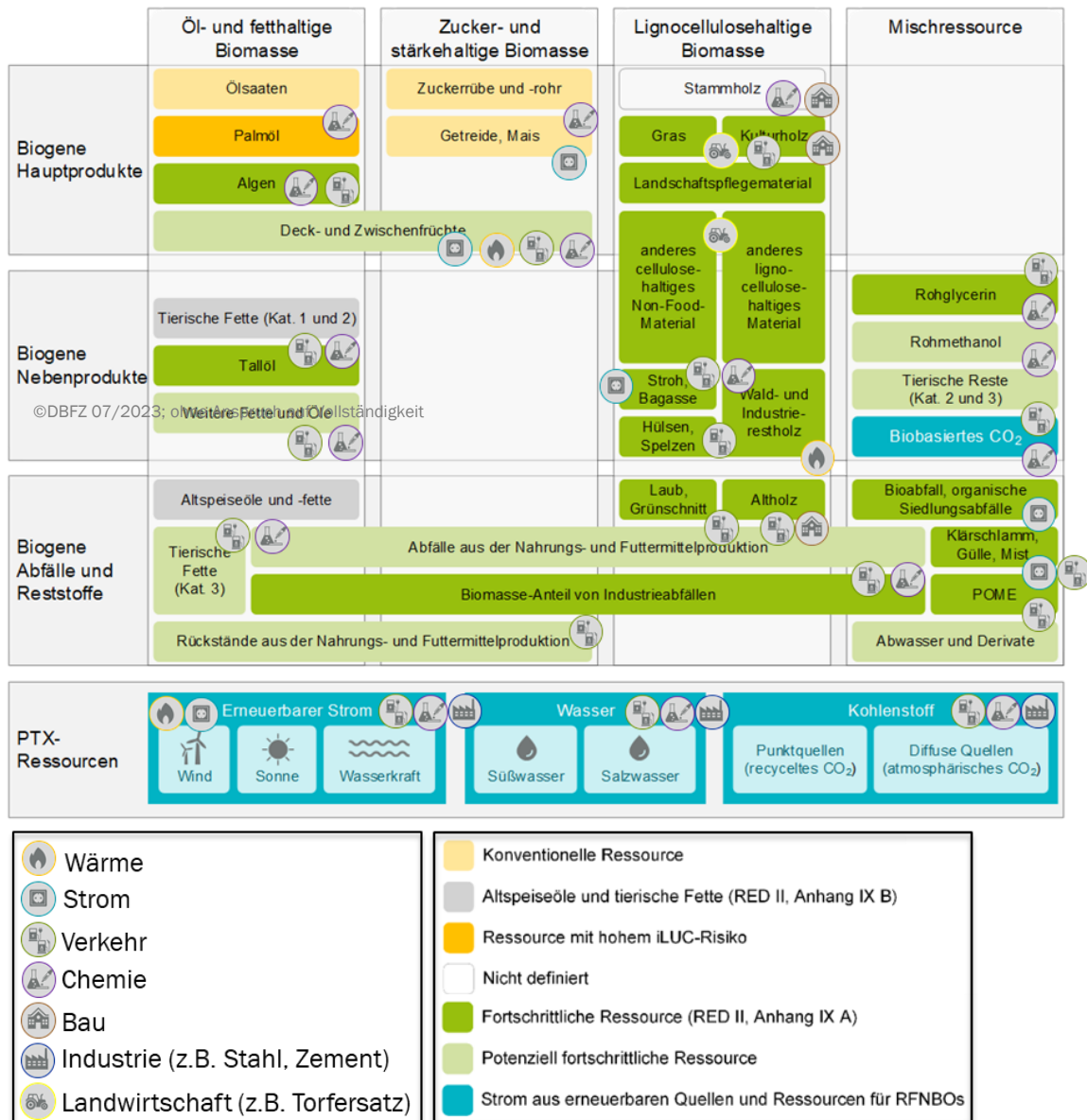


Abbildung 4: Mögliche Bedarfsanstiege für Ressourcen zur Produktion von biobasierten Produkten gemäß Kategorisierung der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie der Europäischen Union (RED II), Quelle: Schröder und Naumann 2023.

5 Ausblick

Die Biomassepotenzialdaten der Ressourcendatenbank bilden für den Bereich der Abfälle und Reststoffe den Status quo der Biomasseverfügbarkeit sowie bestehende Nutzungen ab. Im Ergebnis sind die nationalen Potenziale für die Jahre 2015–2020 eher stabil bis rückläufig. Hierbei handelt es sich vorwiegend um technische Potenziale, wobei bereits bestimmte Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt werden (Browski 2021, 24 ff.). Regulatorische Vorgaben zu bestehenden und zukünftigen Nachhaltigkeitskriterien können signifikante Auswirkungen auf die Nutzbarkeit von Biomassepotenzialen haben. Daher sind die derzeitigen Biomassepotenzialdaten begrenzt für Aussagen über zukünftige Biomassepotenziale anwendbar. Die Analyse langjähriger Zeitreihen aus dem Monitoring der Abfälle und Reststoffe ermöglicht eine fundiertere Bewertung des Gewichts und Zusammenspiels von Einflüssen einzelner Treiber. Neben der Veränderung der Verfügbarkeit (Tierzahlen, Anbaufläche, Erträge etc.) haben regulatorische Vorgaben Auswirkung auf die Nutzbarkeit des verfügbaren Biomassepotenzials. Beispielhaft sind dahingehend die Vorgaben zu benötigten Senkenleistungen des LULUCF-Sektors (Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft) (Gensior et al. 2023), zu Standards des Biodiversitätsschutzes sowie den Nachhaltigkeitskriterien der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (Artikel 29 REDII bzw. REDIII). Die Integration von Nachhaltigkeitsindikatoren bzw. weiterer politischer Vorgaben in die Abschätzung und Quantifizierung von Biomassepotenzialen gilt es perspektivisch zu vertiefen.

Aufgrund der Vielzahl von Berechnungsmethoden und den divergenten Visionen hinsichtlich des wissenschaftlichen Auftrags sowie Zwecks der Datenerhebung lassen sich die Biomassepotenziale zum Teil nur sehr aufwändig miteinander vergleichen. Eine weitere Herausforderung an das Monitoring besteht darin, dass technische Biomassepotenziale auch von der Art der Nutzung abhängen (z.B. Vergärung). Bei zunehmend zirkulärer Bioökonomie werden sich hierdurch größere Schwankungsbreiten ergeben und Potenzialabschätzung müssen perspektivisch weniger linear, sondern in Szenarien (Zunahme stoffliche Nutzung) erfolgen. Deutschland ist hinsichtlich der Biomassenutzung kein abgeschlossenes System, jedoch ist die Datenbasis für die Beschreibung und Bewertung von Importpotenzialen sehr schwierig: Status quo-Importdaten liegen primär für Sektoren mit umfassenden Berichtspflichten (z.B. Verkehrssektor) vor. Importpotenziale können in das entwickelte Monitoring nicht integriert werden, sind aber für nachhaltige Biomassestrategien von Bedeutung.

Zur langfristigen Sicherung der Datenqualität und Aussagefähigkeit zu Biomassepotenzialen und deren Nutzung ist ein dauerhaftes Monitoringsystem mit transparenten Datenstrukturen erforderlich. Hierzu sind regelmäßige Software Updates, Wartungen und Datenaktualisierungen vorgesehen. Perspektivisch ist geplant, die Ressourcendatenbank durch z.B. weitere Datenzugänge zu erweitern, räumliche Informationen einzubinden, Methoden für regionale Datenprodukte zu entwickeln oder Inhaltsstoffe der berücksichtigten Ressourcen aufzuschlüsseln. Ebenso sind weitere stoffliche und energetische Nutzungspfade zu integrieren, um die Effizienz bestehender Stoffströme zu analysieren (z. B. Kaskadenfaktoren) oder um ungenutzte Potenziale zu erschließen. Darüber hinaus können auch neue Biomassen sowie Abfälle und Reststoffe erschlossen werden, die bisher nicht berücksichtigt wurden. Hierzu zählen beispielsweise lebende Biomasse (z.B. Algen, Pilze, Bakterien) oder bestimmte Pflanzenreste, die bisher als unbrauchbar galten. Mittels dieser Erweiterungen kann die Ressourcendatenbank auch weiterhin als wichtige Entscheidungsgrundlage für die Ausrichtung zukünftiger Forschungsfragen und politischer Strategien im Kontext der Bioökonomie fungieren.

6 Literaturverzeichnis

Aust, C.; Schweier, J.; Brodbeck, F.; Sauter, U. H.; Becker, G.; Schnitzler, J. P. (2014): Land availability and potential biomass production with poplar and willow short rotation coppices in Germany. In: *Global change biology. Bioenergy* 6 (5), S. 521–533. DOI: 10.1111/gcbb.12083.

BioEconomy Cluster (2023): HyAlt4Chem. Projektsteckbrief. Hg. v. BioEconomy Cluster. Online verfügbar unter <https://www.bioeconomy.de/projekte/hyalt4chem/>, zuletzt geprüft am 09.09.2023.

BMEL (2022): Torffrei gärtnern, Klima schützen. Die Torfminderungsstrategie des BMEL. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/torfminderungsstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

BMUV (Hg.) (2023): Kurzpapier: Maßnahme zur Verringerung des Anteils von Biokraftstoffen aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen in Folge des Ukraine-Krieges. Online verfügbar unter <https://www.klimareporter.de/images/dokumente/2023/01/230118-arbeitspapier-eckpunkte-agrokraftstoffe.pdf>, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

BMWK (2022): Eckpunkte für eine Nationale Biomassestrategie (NABIS). Online verfügbar unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/nabis-eckpunktepapier-nationale-biomassestrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=1, zuletzt geprüft am 08.09.2023.

Brosowski, André (2021): National Resource Monitoring for Biogenic Residues, By-products and Wastes. Development of a Systematic Data Collection, Management and Assessment for Germany. Hg. v. DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH. Leipzig.

Brosowski, André; Bill, Ralf; Thrän, Daniela (2020): Temporal and spatial availability of cereal straw in Germany—Case study. Biomethane for the transport sector. In: *Energ Sustain Soc* 10 (1). DOI: 10.1186/s13705-020-00274-1.

Brosowski, André; Krause, T.; Thrän, D.; Mantau, U.; Mahro, Bernd; Noke, Anja et al. (2019): Schlussbericht zum Vorhaben Arbeitsgruppe Biomassereststoffmonitoring (AG BioRestMon). Hg. v. FNR. DBFZ. Online verfügbar unter https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_41.pdf, zuletzt geprüft am 10.07.2023.

Brosowski, André; Thrän, Daniela; Mantau, Udo; Mahro, Bernd; Erdmann, Georgia; Adler, Philipp 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.

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (Hg.) (2022): Evaluations- und Erfahrungsbericht für das Jahr 2021. Online verfügbar unter https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/Klima-Energie/Nachhaltige-Biomasseherstellung/Evaluationsbericht_2021.pdf;jsessionid=E7C058DFDC579483FED2FCCEE227456.internet971?__blob=publicationFile&v=2, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

Bundesregierung (Hg.) (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1679914/48c179c7e1912bb2143f1fd9277fdfe0/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1>, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

Bundesregierung (2020): Nationale Bioökonomiestrategie. Hg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Berlin. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/nationale-biooekonomiestrategie-langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=5, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

Chan, Katrina; Millinger, Markus; Schneider, Uwe A.; Thrän, Daniela (2022): How diet portfolio shifts combined with land-based climate change mitigation strategies could reduce climate burdens in Germany. In: *Journal of Cleaner Production* (376). DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134200.

Council of the European Union (2023): Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive (EU) 2018/2001 (2021/0218(COD), 10794/23). Online verfügbar unter <https://www.consilium.europa.eu/media/65109/st10794-en23.pdf>, zuletzt geprüft am 08.09.2023.

Deutsche Energie-Agentur (dena) (Hg.) (2021a): Branchenbarometer Biomethan 2021. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/dena-ANALYSE_Branchenbarometer_Biomethan_2021.pdf, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

Deutsche Energie-Agentur (dena) (Hg.) (2021b): dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Abschlussbericht_dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet.pdf, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

Deutsche Energie-Agentur (dena) (Hg.) (2022): Marktmonitoring Bioenergie – Teil 2: Datenerhebungen, Einschätzungen und Prognosen zu Entwicklungen, Chancen und Herausforderungen des Bioenergiemarktes. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2022/ANALYSE_Marktmonitoring_Bioenergie_2022_Teil_2.pdf, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

Dotzauer, Martin; Barchmann, Tino; Schmieder, Uta; Rensberg, Nadja; Stinner, Walter; Arnold, Karin; Krüger, Christine (2022): Kurzstudie zur Rolle von Biogas für ein klimaneutrales, 100 % erneuerbares Stromsystem 2035 (KS_BSKES). Online verfügbar unter https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Studien/Kurzstudie_Biogas_2022.pdf, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

European Commission (2012): Innovating for sustainable growth. A bioeconomy for Europe. Luxembourg.

European Commission (Hg.) (2019): The European Green Deal. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

European Commission (2021a): Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport. Impact Assessment. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021SC0633&from=EN>, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

European Commission (2021b): Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on the use of renewable and low-carbon fuels in maritime transport. Impact Assessment. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2021:0635:FIN:EN:PDF>, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2020): Gewährleistung einer ausreichenden Humusreproduktion bei der energetischen Nutzung von Getreidestroh für die Biogasproduktion (SOM-energy). Abschlussbericht. Online verfügbar unter <https://www.fnr.de/ftp/pdf/berichte/22004416.pdf>, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) (Hg.) (2022): Anbau und Verwendung nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.fnr.de/ftp/pdf/berichte/22004416.pdf>, zuletzt geprüft am 07.08.2023.
- Fehrenbach, Horst; Köppen, Susanne; Kauertz, Michael; Kay, Sonja; Wern, Bernhard; Baur, Frank et al. (2017): BIOMASSEKASKADEN. Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse -von der Theorie zur Praxis Endbericht. Hg. v. UBA. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-06-13_texte_53-2017_biokaskaden_abschlussbericht.pdf, zuletzt geprüft am 08.09.2023.
- Flamme, Sabine; Hams, Sigrid; Bischoff, Jens; Fricke, Claas (2020): Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung. Hg. v. UBA. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_95-2020_evaluierung_der_altholzverordnung_im_hinblick_auf_eine_notwendige_novellierung.pdf, zuletzt geprüft am 29.08.2023.
- Gensior, Andreas; Drexler, Sophie; Fuß, Roland; Stümer, Wolfgang; Rüter, Sebastian (2023): Treibhausgas-Emissionen durch Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF). Hg. v. Thünen-Institut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/klima-und-luft/emissionsinventare-buchhaltung-fuer-den-klimaschutz/standard-titel>, zuletzt geprüft am 24.10.2023.
- Geres, Roland; Kohn, Andreas; Lenz, Sebastian Cornelius; Ausfelder, Florian; Bazzanella, Alexis; Möller, Alexander (2019): Roadmap Chemie 2050. Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland : eine Studie von DECHEMA und FutureCamp für den VCI. Frankfurt am Main.
- Glaserapp, Sebastian; Döring, Przemko; Blanke, Christian; Mantau, Udo (2017): Entwicklung von Holzverwendungsszenarien. Abschlussbericht WEHAM - AP 3.2. Hg. v. Thünen-Institut für Waldwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.weham-szenarien.de/fileadmin/weham/Ergebnisse/Glaserapp_Doering_Blanke_Mantau_2017_Entwicklung_von_Holzverwendungsszenarien_WEHAM_Projekt_.pdf, zuletzt geprüft am 07.08.2023.
- Hirschler, Olivier; Osterburg, Bernhard (2022): Peat extraction, trade and use in Europe: a material flow analysis. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Olivier-Hirschler/publication/363334258_Peat_extraction_trade_and_use_in_Europe_a_material_flow_analysis/links/632c31f50a70852150134e3b/Peat-extraction-trade-and-use-in-Europe-a-material-flow-analysis.pdf, zuletzt geprüft am 09.09.2023.
- Hirschler, Olivier; Thrän, Daniela (2023): Peat Substitution in Horticulture: Interviews with German Growing Media Producers on the Transformation of the Resource Base. In: *Horticulturae* 9 (8), S. 919. DOI: 10.3390/horticulturae9080919.
- Osterburg, Bernhard; Heidecke, Claudia; Bolte, Andreas; Braun, Julian (2019): Folgenabschätzung für Maßnahmenoptionen im Bereich Landwirtschaft und landwirtschaftliche Landnutzung, Forstwirtschaft und Holznutzung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. Hg. v. Thünen-Institut. Online verfügbar unter https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn061835.pdf, zuletzt geprüft am 05.09.2023.
- Pfeiffer, Diana; Thrän, Daniela (2018): One Century of Bioenergy in Germany: Wildcard and Advanced Technology. In: *Chemie Ingenieur Technik* 90 (11), S. 1676–1698.

Pfeiffer, Diana; Thrän, Daniela (Hg.) (2021): Methodenhandbuch: Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseffekte. Methoden zur Bestimmung von Technologiekennwerten, Gestehungskosten und Klimagaseffekten von Vorhaben im Rahmen der energetischen Biomassenutzung. DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH. 5. Aufl. Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (Methodenhandbuch, 4).

Rensberg, Nadja; Denysenko, Velina; Daniel-Gromke, Jaqueline (2023): Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland - Report zum Anlagenbestand Biogas und Biomethan. Hg. v. DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH. Leipzig (DBFZ Report, 50).

Schier, F.; Iost, S.; Seintsch, B.; Weimar, H.; Dieter, M. (2022): Assessment of Possible Production Leakage from Implementing the EU Biodiversity Strategy on Forest Product Markets. In: *Forests* 13 (8), S. 1225. DOI: 10.3390/f13081225.

Schier, Franziska; Weimar, Holger (2018): Holzmarktmodellierung. Szenarienbasierte Folgenabschätzung verschiedener Rohholzangebotssituationen für den Sektor Forst und Holz (Thünen Working Paper, 91), zuletzt geprüft am 03.02.2022.

Schröder, Jörg; Naumann, Karin (2023): Monitoring erneuerbarer Energien im Verkehr. 1. korrigierte Auflage. Hg. v. DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH. Online verfügbar unter https://www.dbfz.de/fileadmin//user_upload/Referenzen/DBFZ_Reports/DBFZ_Report_44_DE.pdf, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

Seeger, Lena; Mittelstädt, Nora; Manske, David; Thrän, Daniela (2023): Kritische Flächenfragen – Flächenveränderungen und Flächendruck in Deutschland im Untersuchungszeitraum 2016-2020. Hg. v. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ. Leipzig (UFZ Discussion Papers, 1/2023).

Sozialdemokratische Partei Deutschlands (SPD); BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN; Freie Demokratische Partei (FDP) (Hg.) (2021): Mehr Fortschritt wagen - Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag 2021 - 2025.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hg.) (2023): Erhebung über die Schweinebestände. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Methoden/Qualitaet/Qualitaetsberichte/Land-Forstwirtschaft-Fischerei/viehbestand-schweine.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

Thrän, Daniela; Moesenfechtel, Urs (2020): Das System Bioökonomie. 1st ed. 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Springer Spektrum.

Thrän, Daniela; Pfeiffer, Diana (Hg.) (2013): Methodenhandbuch. Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseffekte. Methoden zur Bestimmung von Technologiekennwerten, Gestehungskosten und Klimagaseffekten von Vorhaben im Rahmen des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“. 4. Aufl. Leipzig: DBFZ (Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms "Energetische Biomassenutzung", 4).

Thrän, Daniela; Weber, Michael; Scheuermann, Anne; Fröhlich, Nicole; Zeddies, Jürgen; Henze, Arno et al. (2005): Nachhaltige Biomassenutzungsstrategien im europäischen Kontext. Analyse im Spannungsfeld nationaler Vorgaben und der Konkurrenz zwischen festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern. Leipzig.

Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie (2023): Holzbilanzen Außenhandel. Online verfügbar unter https://www.thuenen.de/media/institute/wf/HM_div._Statistik_Dateien/Dateien_-_Bilanzen_-_Tabellen/Bilanzen/Holzbilanzen/Aussenhandelsbilanz/Aussenhandels-saldo/de_tab_Aussenhandelsbilanz_Saldo.pdf, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

trend:research (2022): Der Markt für Altholz in Deutschland bis 2030. Preisexplosion und fehlendes Aufkommen: Wohin bewegt sich der Markt? 3. Auflage. Hg. v. trend:research. Bremen (25-13102-3).

Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (Hg.) (2021): Papier 2021. Statistiken zum Leistungsbericht. Online verfügbar unter https://www.papierindustrie.de/fileadmin/0002-PAPIERINDUSTRIE/07_Dateien/XX-LB/PAPIER2021-digital.pdf, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

Vos, Cora; Rösemann, Claus; Haenel, Hans-Dieter; Dämmgen, Ulrich; Döring, Ulrike; Wulf, Sebastian et al. (2022): Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2020. Input data and emission results. Online verfügbar unter https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00078113, zuletzt geprüft am 07.08.2023.

Witing, Felix; Prays, Nadia; O'Keeffe, Sinéad; Gründling, Ralf; Gebel, Michael; Kurzer, Hans-Joachim et al. (2018): Biogas production and changes in soil carbon input - A regional analysis. In: *Geoderma* 320, S. 105–114.

Anhang

A 1 Treiber Biomassepotenziale

	Allgemein	Gesellschaftlich	Wirtschaftlich	Politisch	Gesetze und Verordnungen	Umwelt	Technologisch
Waldrestholz und Rinde	Waldmanagement, Holzmarkt, Witterungseinflüsse, geographische Lage, technologische Entwicklungen	Waldnutzung und Waldschutz, Akzeptanz für erneuerbare Energien, Verfügbarkeit von Alternativen, Kultur und Tradition	Preis von Holz und Holzprodukten (+), Verfügbarkeit von Alternativen (-), Investitionen in Holzindustrie und Infrastruktur (+), Verfügbarkeit von Arbeitskraft und Maschinen (+)	Forstgesetze und Waldschutzverordnungen, Subventionen und Anreize, Handelspolitik, Energie- und Klimapolitik, Naturschutzgebiete	Bundeswaldgesetz, Erneuerbare-Energien-Gesetz, Immissionsschutzgesetz, Bundesforstgesetz, Naturschutzgesetz, Landeswaldgesetze	Waldfläche und -nutzung (+), Waldbrände (-), Schädlingsbefall (-),	Ernteausrüstung, Logistik- und Transportsysteme, Forstmaßnahmen (e.g. Durchforstung, Bewirtschaftung von Altholzbeständen)
Sägenebenprodukte und Hobelspäne	Holzverarbeitungsindustrie (Menge verarbeiteter Holzprodukte), Holzart (i.d.R. mehr bei Nadelhölzern), Saisonale Schwankungen (Mehr Verarbeitung von Holzprodukten im Winter),	Nachfrage nach Holzprodukten (+), Recycling (-), Umweltbewusstsein (+), Waldschutz (-)	Transport- und Lagerkosten (-), Energiepreise (+), Nachfrage der Holzindustrie (+), Holzpreise, Verfügbarkeit von Alternativen	Wald- und Forstpolitik, Förderprogramme, Umwelt- und Abfallgesetzgebung, Handelsabkommen, Energiepolitik, Abfall- und Recyclinggesetze	Holzhandelsregulierungen (Bsp.: EU-Holzhandelsverordnung), Bioabfallverordnung, Emissionshandelsgesetz, EEG	Witterung, Schädlingsbefall, Waldbrände (-), Bodenqualität (+)	Holzverarbeitungstechnologie, Recyclingverfahren, Transport & Logistik
Sonstiges Industrieholz	Holzpreise, Nachfrage nach Holzprodukten, Waldmanagement, Witterung, Transportkosten	Nachfrage nach Holzprodukten (+), Einstellung der Bevölkerung zur Nutzung von Holz als Rohstoff	Nachfrage nach Holzprodukten (+, Papier, Spanplatten, Pellets, etc.), Transportkosten (-), Verfügbarkeit von Alternativen (-, e.g. Recyclingpapier),	Waldgesetze und Waldschutzverordnungen, Forstwirtschaftliche Förderprogramme, Emissionshandel, Energiepolitik, Handelsabkommen, Abfallgesetze, Steuern und Subventionen	Bundeswaldgesetz, Holzhandelsverordnung, Förderprogramme (z.B. "Waldklimafonds"), Altholzverordnung	Witterung, Klimawandel, Waldbrände (-), Bodenqualität (+)	Erntetechnologie, Verarbeitungsverfahren, Transport & Logistik
Holz von Landschaftspflegeflächen	Verfügbarkeit von Landschaftspflegeflächen (+), Bedarf an Landschaftspflege (+), Transportbedingungen, Verwertungsmöglichkeiten (+), rechtliche Rahmenbedingungen	Akzeptanz der Bevölkerung, Wahrnehmung von Holzqualität aus LPF, Zusammenarbeit von Landwirten, Waldbesitzern und Kommunen	Arbeitskosten (-), Transportkosten (-), Nachfrage, Nutzungskonkurrenz (e.g. Weidewirtschaft, Naturschutz)	Naturschutzgesetze, Forstgesetze, Umweltgesetze, Subventionen,	Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (BNatschG), Waldgesetze der Länder (z.B. Waldgesetz für Baden-Württemberg (WaldG BW))	Witterung, Bodenqualität (+), Ressourcenkonkurrenz, Krankheiten und Schädlinge (-), Klimawandel	Holzerntetechnik, logistische Infrastruktur, Holzverarbeitungstechnologie (e.g. Pelletierungsverfahren)

	Allgemein	Gesellschaftlich	Wirtschaftlich	Politisch	Gesetze und Verordnungen	Umwelt	Technologisch
Altpapier	Verbrauch von Papierprodukten (+), Trennung von Abfall (+), Sammelsysteme (+), Marktpreise, Konkurrenz mit anderen Verwendungszwecken, Gesetzgebung	Akzeptanz für Recycling (+), Umweltbewusstsein	Papiermarkt (Angebot, Nachfrage, Preise), Transportkosten (-), Recyclinginfrastruktur (+)	Abfallrecht, Recyclingquoten, Export- und Importregulierungen, Subventionen, Umweltschutzvorschriften	Kreislaufwirtschaftsgesetz, Verpackungsgesetz, EU-Abfallrahmenrichtlinie, Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis, Gewerbeabfallverordnung, Altpapierverordnung	Witterung, nachhaltige Holzwirtschaft (+), Waldfläche (+)	Sortiertechnologie, Recyclingverfahren, Sammel- und Transportsysteme
Reststoffe aus Ölmühlen	Ölproduktion (+), Technologie und Verfahren, Nachfrage nach Öl, Entsorgungs- und Recyclingmöglichkeiten, politische Rahmenbedingungen, Konkurrenz mit anderen Verwendungszwecken	Nachhaltigkeitsanforderungen, Akzeptanz von recycelten Materialien, Nutzung von Bioabfällen und die Nachhaltigkeit von Produkten	Preis für Öl (-), Nachfrage nach Futtermitteln (+), Wettbewerb mit anderen Industrien, Logistikkosten (-)	Abfallrechtliche Bestimmungen, Förderprogramme (Subventionen), Energierechtliche Vorschriften, Umweltrechtliche Vorschriften, Handelspolitik	Bioabfallverordnung, Düngerverordnung, Kreislaufwirtschaftsgesetz, Gewerbeabfallverordnung, EU-Abfallrahmenrichtlinie	Witterung, Bodenqualität, Pflanzenkrankheiten und -schädlinge (-)	Art des verfügbaren Verfahrens, Effektivität der Trenn- und Filterverfahren (+), Trocknung und Entwässerung
Biogener Anteil des Abwassers	Bevölkerungsdichte (+), industrielle Aktivität (+), Art und Größe der Kläranlage, Technologieverfügbarkeit (+), Konkurrenz mit anderen Verwendungszwecken	Akzeptanz für Abwasser als Ressource, Bewusstsein für Umwelt und Abwasserentsorgung, Verbraucherverhalten, Kooperation von Akteuren zur Förderung der Abwasserwiederverwendung	Anreize und Subventionen zur Nutzung (+), Investitionskosten (-), Betriebskosten (-), Logistikkosten (-), Verwertungsmöglichkeiten (+)	Abfallrecht, Umweltschutzvorschriften, Landeswassergesetze	Abwasserverordnung, Klärschlammverordnung, Düngemittelverordnung, Wasserhaushaltsgesetz, EEG, Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung	Witterung (bspw. Niederschlag), Abwasserart (Haushalt/Industrie),	Art und Umfang der Abwasserbehandlung, Abwasserinfrastruktur, Technologieverfügbarkeit (e.g. anaerobe Vergärung)

	Allgemein	Gesellschaftlich	Wirtschaftlich	Politisch	Gesetze und Verordnungen	Umwelt	Technologisch
Altholz	Wald- und Forstwirtschaftliche Praktiken, Konjunktur (+), Recycling (-),	Nachfrage nach Holzprodukten, Entsorgungsverfahren, Öffentlichkeitsarbeit, Umweltbewusstsein	Preisentwicklung (+), Holzmarkt, Verfügbarkeit anderer Rohstoffe (-), Transportkosten (-)	Abfallrecht, Holzhandelsgesetze, Emissionsvorschriften, Waldpolitik, Recyclingpolitik	Abfallrahmenrichtlinie, Altholzverordnung, Bioabfallverordnung, EU-Holzhandelsverordnung	Waldbrände (-), Sturmereignisse (+), Insektenbefall & Krankheiten (+),	Effizienz und Verfügbarkeit von Holzrecycling-Technologien (+), Digitalisierung in der Holzwirtschaft (+), Entwicklung von Transport- und Logistiksystemen (+), Verbesserung der Werkstoffproduktion (+)
Tierische Exkremente	Tierhaltungssysteme, Fütterung, Tiergesundheit, saisonale Faktoren, Lagerung und Transport, technologische Verwertung	Kulturelle Einstellung, Urbanisierung, Tierhaltungstrends, Konsumverhalten, Verfügbarkeit alternativer Düngemittel	Nachfrage nach tierischen Produkten (+), Preis von Futtermittel (-), Konkurrenz mit anderen Düngemitteln, Verfügbarkeit von Transport- und Lagerstrukturen, Arbeitskosten	Umweltgesetze, Agrarpolitik, Düngemittelgesetze, Tierhaltungsregulierungen, Handelsabkommen, Subventionspolitik, Energiepolitik	Düngemittelverordnung, Tierische-Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz, Tierschutzgesetz, EU-Nitratrichlinie, Kreislaufwirtschaftsgesetz	Klima & Witterung, Bodenqualität (+), Landnutzung, natürliche Ressourcen, Tiergesundheit, Tierhaltungsbedingungen	Art der Tierhaltung, Lagerung, Transport, Verarbeitung
Getreidestroh	Anbaufläche (+), Erntezeitpunkt, Getreideart, klimatische Bedingungen, landwirtschaftliche Praktiken	Veränderung im Ernährungsverhalten, Konkurrenz von Landnutzung, Wahrnehmung des Wertes von Stroh, kulturelle Praktiken, Bewusstsein für erneuerbare Energien	Nachfrage nach Tierfutter (-), Konkurrenz mit anderen Nutzungen, Erntebedingungen, Anbaufläche (+), Transportkosten (-), Getreidepreise	Agrarpolitik, Subventionen, Umweltschutzgesetze, Energiepolitik, Handelsabkommen, Preisniveau	Düngeverordnung, Pflanzenschutzmittelverordnung, Tierische-Nebenprodukte-Beseitigungsgesetz, Verpackungsgesetz, Emissionshandelsgesetz	Witterungsbedingungen, Schädlings- und Krankheitsbefall (-), Bodenqualität (+), Konkurrenz mit anderen Nutzpflanzen (-)	Erntetechnik, Erntezeitpunkt, Lagerung und Transport, Verarbeitungstechnologie, Energie- und Wasserverfügbarkeit, Agrartechnologie

	Allgemein	Gesellschaftlich	Wirtschaftlich	Politisch	Gesetze und Verordnungen	Umwelt	Technologisch
Biogut von privaten Haushalten	Mülltrennung, gesetzliche Vorgaben, Infrastruktur, wirtschaftliche Anreize	Abfalltrennsysteme, Verfügbarkeit von Sammelbehältern (+), Einstellung zu Mülltrennung und Recycling, Akzeptanz von Biogas als Energiequelle (+)	Verfügbarkeit von Recycling-/Kompostierungsanlagen (+), Subventionen und Fördermittel (+), Nachfrage von Biogut als Rohstoff	Abfallwirtschaftsgesetze, Abfallverordnungen, Subventionsprogramme, Umweltgesetze, Steuern	Abfallrahmenrichtlinie, Kreislaufwirtschaftsgesetz, Abfallverbringungsverordnung, Bioabfallverordnung, Verpackungsgesetz	Klima & Witterung, Bodenqualität (+), Schädlingsbefall (-), Luftqualität (+)	Trennungstechnologie, Transportsysteme, Verarbeitungstechnologie, Technologien zur Geruchsreduzierung, Kompostierungs- und Vergärungstechnologien
Grüngut (Garten und Parkabfälle)	Saisonalität, Urbanisierung, Abfallwirtschaftssystem, Gesetzgebung, Klima, Bevölkerungsdichte, technologischer Fortschritt	Einstellung zu Recycling, Verhaltensweisen der Verbraucher, Gartenbaupraktiken, sozio-ökonomischer Status	Wirtschaftlichkeit von Alternativen (-), Transportkosten (-), Preise von Endprodukten, Subventionen	Abfallgesetze, kommunale Satzungen, Förderprogramme, Steuern, landwirtschaftliche Vorschriften	Abfallwirtschaftsgesetz, Kreislaufwirtschaftsgesetz, Pflanzenabfallverordnungen (Länderebene), Düngeverordnung, Bundes-Bodenschutzgesetz	Klima & Witterung, Bodenqualität (+), Schädlingsbefall (-), Luftqualität (+)	Verfügbarkeit von Transportfahrzeugen (+), Kapazität & Effizienz der Verarbeitungsanlagen, Kompostierungsverfahren, Technologie zur Rückführung von Nährstoffen
Klärschlamm	Kläranlagenkapazität, Abwasserzusammensetzung, Gesetzgebung, Technologie, Nachfrage	Akzeptanz ggü. der Nutzung von Klärschlamm, Abwasserreinigung, Wissen über Nutzung von Klärschlamm	Entsorgungskosten (-), Nachfrage nach Düngemitteln (+), Verarbeitungskosten, Wettbewerb mit anderen Verwendungen	Abfallgesetze, Umweltgesetze	Klärschlamm Entsorgungsgesetz, Düngemittelverordnung, Abfallverbringungsverordnung, Abfallrahmenrichtlinie, Verordnung über die Verwertung von Klärschlamm, Kreislaufwirtschaftspaket	Verunreinigung des Klärschlamm (-), Veränderungen in den landwirtschaftlichen Praktiken, klimatische Bedingungen	Art der Kläranlage, Art des Klärverfahren, Klärschlammbehandlungstechnologie, Verfügbarkeit von Technologien zur Schwermetall- und Schadstoffentfernung

**DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH**
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434-112
E-Mail: info@dbfz.de

www.dbfz.de