

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Verbundvorhaben: Aufbau eines systematischen Monitorings der Bioökonomie – Konsolidierungsphase (MoBi II)

Zuwendungsempfänger:

Teilvorhaben 1: Johann Heinrich von Thünen Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei

Teilvorhaben 2: Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH

Förderkennzeichen:

Teilvorhaben 1: 2221NR062A

Teilvorhaben 2: 2221NR062B

Laufzeit:

01.11.2021 bis 31.10.2024

Monat der Erstellung:

05/2025

Gefördert durch:



**Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft**

**aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages**

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorenschaft.

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzbericht	1
1.	Aufgabenstellung	1
2.	Planung und Ablauf des Vorhabens	1
3.	Resümee der wesentlichen Ergebnisse	2
a)	Arbeitspakete und Meilensteine	2
b)	Zusammenfassung	5
II.	Ausführliche Darstellung der Ergebnisse	7
1.	Erzielte Ergebnisse	7
	Arbeitspaket 1: Stoffstromanalysen	7
	AP 1.2: Aktualisierung des DBFZ-Reststoffmonitorings	16
	Arbeitspaket 2: Herkunftsanalyse	19
	Arbeitspaket 3: Substitutionseffekte, Kaskadennutzung und Ressourceneffizienz	23
	Arbeitspaket 4: Monitoring von Nachhaltigkeitseffekten	27
	Literatur	33
2.	Verwertung	35
a)	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen	35
b)	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende	35
c)	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende	35
d)	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	36
3.	Erkenntnisse von Dritten	36
4.	Veröffentlichungen	36
ANHANG		38
	Teilvorhaben 1: Nachhaltigkeit – Ressourcen – Produkte	38
1.	Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens	38
2.	Bearbeitete Arbeitspakete	38
	Arbeitspaket 1: Stoffstromanalysen	38
1.1	Aktualisierung der Daten und Fortschreibung Konzeption aus der Pilotphase	38
	Arbeitspaket 2: Herkunftsanalyse	38
	Arbeitspaket 3: Substitutionseffekte, Kaskadennutzung und Ressourceneffizienz	38
	Arbeitspaket 4: Monitoring von Nachhaltigkeitseffekten	38
3.	Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens	39
	Teilvorhaben 2: Aktualisierung Reststoffmonitoring	41
1.	Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens	41
2.	Bearbeitete Arbeitspakete	41
	Arbeitspaket 1: Stoffstromanalysen	41
1.2	Aktualisierung der Daten und Fortschreibung Konzeption aus der Pilotphase	41
1.2	Aktualisierung des Reststoffmonitorings	41
	Task 1.8: Aktualisierung der Datenbasis	41
	Task 1.9: Integration der Daten in die DBFZ-Webapp	41
	Task 1.10: Qualitative Interpretation der Zeitreihen	41
	Arbeitspaket 3: Substitutionseffekte, Kaskadennutzung und Ressourceneffizienz	41

3.	Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens	41
----	--	----

I. Kurzbericht

1. Aufgabenstellung

Aufgabe des Vorhabens ist es, die in der ersten Phase des Aufbaus eines systematischen Bioökonomie-Monitorings erarbeiteten Ergebnisse sowie die diesen Ergebnissen zugrunde liegenden methodischen Grundlagen wie folgt zu vertiefen und um folgende neue Aspekte zu erweitern/ergänzen:

- Aktualisierung und Vertiefung der Stoffstromanalysen
- Verknüpfung der biobasierten Stoffströme mit Reststoffen
- Herkunftsanalyse von Import-Commodities
- Monitoring von Substitutionseffekten, Kaskadennutzung, Ressourceneffizienz
- Aktualisierung der stoffflussbasierten Erfassung von Nachhaltigkeitseffekten
- Best Practice Beispiele für die Identifizierung und Quantifizierung von nachhaltiger erzeugten und weniger nachhaltig erzeugten Import-Commodities
- Aktualisierung und Anpassung der sektoralen Erfassung von Nachhaltigkeitseffekten

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben ist in 6 Arbeitspakete gegliedert, die inhaltlich miteinander verknüpft sind. Das AP 1 „Stoffstromanalysen“ hat zum Ziel, bereits im Vorgängerprojekt beschriebene Stoffströme zu aktualisieren und das Monitoringkonzept zu überprüfen und ggfs. anzupassen. Dabei werden bekannte Datenquellen und Berechnungsgrundlagen genutzt, aber auch neue Informationen einbezogen. Desweiteren ist die engere Anbindung von Rest- und Abfallströmen an die land-, forst- und fischereiwirtschaftlichen Stoffflüsse geplant. Noch fehlende Verknüpfungen – insbesondere in der engen Beziehung zwischen pflanzlicher und tierischer Erzeugung im Agrarbereich - sollen geschlossen werden, um das Monitoring aller biobasierten ist die Aktualisierung der Datengrundlagen für Rest- und Abfallstoffe. Dies ist Voraussetzung für die in AP 4 durchgeführte Aktualisierung des Monitorings von Nachhaltigkeitseffekten. Zur Beschreibung der Effekte der Bioökonomie im gesamtwirtschaftlichen Kontext erfolgt auch eine Überprüfung und ggf. Aktualisierung der biobasierten Anteile der wirtschaftlichen Aktivitäten unter Einbeziehung der Stoffstromdaten und weiterer Literaturquellen.

Im AP 2 „Herkunftsanalyse“ ist das Ziel eine Herkunftsanalyse für importierte biobasierte Rohstoffe und Waren zu entwickeln, da dies insbesondere für Halb- und Fertigwaren aus Außenhandelsstatistiken nicht hervorgeht. Dafür werden globale Produktions- und Handelsdaten zusammengestellt. Parallel soll die Tracing-Methode, ein Matrix-Modell zur Rückverfolgung der Herkünfte der biobasierten Waren, auf den jeweiligen Anwendungsbereich (Agrar, Holz, Fisch) angepasst werden. Die Herkunftsanalyse soll zunächst für Rohstoffaggregate erfolgen. In einem weiteren Schritt wird geprüft, ob sich die Tracing-Methode so verfeinern lässt, dass auch für spezifische Import-Commodities die Rohstoffherkunft ermittelt werden kann. Schließlich wird in AP 4 geprüft, inwiefern sich auf Grundlage der ermittelten Stoffstromergebnisse Aussagen zur Differenzierung von nachhaltig und nicht-nachhaltig erzeugter und verarbeiteter Biomasse möglich sind.

Das AP 3 „Substitutionseffekte, Kaskadennutzung und Ressourceneffizienz“ hat zum Ziel den Wissensstand zur Erfassung von Substitutionseffekten, Kaskadennutzung und Ressourceneffizienz systematisch aufzubereiten und in das Monitoringkonzept zu integrieren. Aufbauend auf systematischen Literaturanalysen sollen für das Bioökonomie-Monitoring Ansätze zur Erfassung entwickelt and in zusammenarbeit mit AP 4 beispielhaft angewendet werden.

Im AP 4 „Monitoring von Nachhaltigkeitseffekten“ ist die Identifizierung und Quantifizierung von Nachhaltigkeitseffekten von Import-Commodities das primäre Ziel. Dazu werden Informationen zu Nachhaltigkeitseffekten der Erzeugung von Commodities in den Hauptproduzentenländern zusammengetragen. Ziel ist es, Nachhaltigkeitseffekte der Erzeugung von Commodities in den Hauptproduzentenländern nicht nur qualitativ zu beschreiben, sondern zu quantifizieren. In Best Practice Beispielen soll für Commodities aus Uruguay aufgezeigt werden, wie im Rahmen des Monitorings quantitative und qualitative Informationen für die Unterscheidung von nachhaltiger erzeugten und weniger nachhaltig erzeugten Commodities bereitgestellt werden können. Es soll zudem die im AP 2 zur Rückverfolgung von Rohstoffaggregaten und möglicherweise einzelnen Import-Commodities angewandte Forward Tracing Methode so erweitert werden, dass Informationen zu Nachhaltigkeitseffekten zusammen mit den Commodities rückverfolgt werden können. Es soll zudem die im AP 2 zur Rückverfolgung von Rohstoffaggregaten und möglicherweise einzelnen Import-Commodities angewandte Forward Tracing Methode so erweitert werden, dass Informationen zu Nachhaltigkeitseffekten zusammen mit den Commodities rückverfolgt werden können. Zusammen mit AP 3 sollen Optionen für die Anpassung des Monitoringskonzepts identifiziert werden, um die Nachhaltigkeitseffekte von Kaskadennutzung und Substitution darstellen zu.

3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse

a) Arbeitspakete und Meilensteine

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungszeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
AP 1.1 Task 1.1-1.7	11/2021 bis 05/2024	In AP 1.1 wurden in sieben Tasks die Daten aus der Pilotphase (MoBi 1) aktualisiert, das Monitoringkonzept weiterentwickelt und Lücken in der Erfassung von Stoffströmen bei der Nutzung von Biomasse geschlossen. Dabei wurden zudem die Reststoffpotenziale aus der Pilotphase in das Monitoring in enger Abstimmung mit dem DBFZ integriert, um die Gesamtpotenziale der Biomassen auf Verwendungswege aufzuteilen. Zudem wurden auf der Grundlage aktueller Stoffstromdaten biobasierte Anteile wirtschaftlicher Aktivitäten überprüft und aktualisiert.
AP 1.2 Aktualisierung des DBFZ- Reststoffmonitorings Task 1.8 Aktualisierung d. Datenbasis	11/2021 bis 06/2022	Die Aktualisierung der Reststoffdaten (d.i. (a) Recherche dynamische Datengrundlagen, (b) Aktualisierung des Berechnungsnetzwerkes) hatte sich durch Wechsel in sowohl der Projektleitung am DBFZ als auch hinsichtlich geplanter Unterauftragnehmer um mehr als ein Jahr verzögert. Der finale Zeitpunkt (c) der Bereitstellung von Inputdaten die Integration der Reststoffe in den Gesamtstoffstrom (Monat 33) konnte dann aber nahezu eingehalten werden.
AP 1.2 Aktualisierung des DBFZ- Reststoffmonitorings Task 1.9 Integration der Daten in die DBFZ-Webapp	11/2021 bis 11/2022	Die DBFZ Webapp wurde komplett neu aufgestellt, um durch erhöhten Grad an Digitalisierung ein kontinuierliches Monitoring praktikabel zu machen, die Monitoringintervalle verkürzen zu können bzw. den Arbeitsaufwand für ein Intervall zu verringern.
AP 1.2 Aktualisierung des DBFZ- Reststoffmonitorings Task 1.10 Qualitative Interpretation der Zeitreihen	11/2021 bis 11/2022	Ohne eine vollständige Datenbasis konnte auch die Interpretation der Potenzialzeitreihen nur schrittweise vorankommen und hat sich letztlich bis weit in das Jahr 24 gezogen. D. h. die Evaluierung der zeitlichen Entwicklungen seit 2010 und die Formulierung von qualitativen Aussagen zum Trend bis 2030 konnten erst kurz vor Projektschluss vervollständigt werden.
AP 2 Globale Herkunftsanalyse von Biomasse Task 2.1 Aufbereitung verfügbarer globaler Daten für Agrar, Holz und Fischerei	11/2021 bis 04/2022	Globale Produktions- und Handelsdaten wurden aufbereitet und auf Verwendbarkeit überprüft
AP 2 Globale Herkunftsanalyse von Biomasse Task 2.2 Adaption der bestehenden Tracing-Methode für aggregierte Analysen in den Rohstoffbereichen Agrar, Forst, Fischerei	11/2021 bis 04/2023	Das Matrix-Modell (Tracing-Methode) zur Identifizierung der Herkunftsländer der Biomassen wurden ursprünglich für holzbasierte Produkten entwickelt. Nach intensiver Prüfung mussten wir feststellen, dass aufgrund der sehr unterschiedlichen Verfügbarkeit globaler Daten die Tracing-Methode jedoch nicht auf andere Biomassen angewandt werden konnte
AP 2 Globale Herkunftsanalyse von Biomasse Task 2.3 Verfeinerung der Tracing- Methode zur Rückverfolgung spezifischer Import- Commodities	10/2022 bis 05/2024	Eine Verfeinerung der Methode war nicht möglich, da die Anwendung auf land- und fischereiwirtschaftliche Biomassen nicht möglich war.

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungszeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
AP 2 Globale Herkunftsanalyse von Biomasse Task 2.4 Differenzierung von nachhaltigerer und weniger nachhaltig erzeugter Biomasse auf Stoffstromebene	10/2022 bis 10/2024	Die stoffstrombasierte Herkunftsanalyse ist für unverarbeitete Biomasse bei entsprechender Datenlage geeignet nachhaltigere von weniger nachhaltiger Biomasse zu unterscheiden. Der entsprechende Ansatz ist im AP 4 entwickelt und die Anwendung in Fallbeispielen erfolgt.
AP 3 Task 3.1 Literaturanalysen zu Substitutionseffekten, Kaskadennutzung und Ressourceneffizienz	11/2021 bis 10/2022	Die Literaturanalysen wurden durchgeführt und eine Auswahl an Methoden zur Berechnung von Kaskadennutzung und Circular Economy erstellt sowie mögliche Quantifizierungsmethoden von Substitutionseffekten identifiziert.
AP 3 Task 3.2 Methodisches Konzept für ein Bioökonomie-Monitoring	11/2022 bis 07/2024	Drei Methoden zur Quantifizierung von Kaskadennutzung wurden hervorgehoben, welche sich - basierend auf dem bestehenden Monitoring-Konzept - für die Berechnung von Fallbeispielen stofflich genutzter Biomassen eignen. Es wurde eine Berechnungsmethode entwickelt, mit der die Reststoffmengen im Bereich der aquatischen Biomassen ermittelt werden können. Auch wurde die Verwertung der Reststoffe ermittelt, um Aussagen zur Ressourceneffizienz treffen zu können. Eine vorherrschende Methodik und ein entsprechendes Messinstrument wurden zur Quantifizierung von Substitutionseffekten in der Bioökonomie identifiziert
AP 3 Task 3.3 Fallbeispiele berechnet	03/2023 bis 07/2024	Fallbeispiele zum Monitoring der Ressourceneffizienz wurden für den Bereich der aquatischen Biomassen berechnet. Hier wurde Lachs als Beispiel herangezogen und hinsichtlich der Reststoffverwertung durch Koppelproduktion betrachtet. Auch wurde anhand von sekundären Daten die gesamte Reststoffmenge, die im Sektor aquatischer Biomassen anfällt, berechnet.
AP 4 Task 4.1 Analyse und Aufbereitung länderspezifischer Information zu Nachhaltigkeitseffekten der Erzeugung von Commodities	11/2021 bis 10/2023	Informationen wurden für Fleisch, Soja und Zellstoff für die wichtigen Produzentenländer Argentinien, Brasilien und Uruguay aufbereitet
AP 4 Task 4.2 Best Practice Beispiele der Identifizierung und Quantifizierung von Nachhaltigkeitseffekten ausgewählter Import-Commodities	11/2022 bis 10/2024	Die Quantifizierung von Nachhaltigkeitseffekten wurde für Fleisch aus Argentinien, Soja aus Brasilien und Zellstoff aus Uruguay durchgeführt
AP 4 Task 4.3 Anpassung des Monitoringkonzepts zur Erfassung von Nachhaltigkeitseffekten von Kaskadennutzung und Substitution.	11/2022 bis 10/2024	Eine Anpassung des Konzepts zur Erfassung der Nachhaltigkeitseffekte von Kaskadennutzung und Substitution ist nicht erfolgt, da in AP 3.2 keine Fallbeispiele für die Erfassung von Substitutionseffekten, Kaskadennutzung erarbeitet werden konnte.
AP 4 Task 4.4 Aktualisierung und	11/2021 bis 04/2023	Die arbeiten konnten nicht wie geplant durchgeführt werden.

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungszeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
Erweiterung der Quantifizierung von Nachhaltigkeitseffekten biobasierter Stoffflüsse		
AP 4 Task 4.5 Aktualisierung und Anpassung der Quantifizierung von sektoralen Nachhaltigkeitseffekten.	11/2021 bis 10/2023	Die Methode für die Berechnung sektoraler Nachhaltigkeitseffekte wurde an die Neuberechnung biobasierter Anteile (Task 1.6) angepasst; Bruttowertschöpfung und Beschäftigung sind bis zum Jahr 2020 fortgeschrieben worden.
AP 5 Koordination	11/2021 bis 10/02024	Es fanden regelmäßige physische und Online Projekttreffen statt.
AP 6 Erstellung von Berichten	02/2022 bis 01/2025	Zwischenberichte und Schlussbericht wurden erstellt

Meilensteine (M) (lt. Planung im Antrag)	Fälligkeit (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
M 1.1 Aktualisierung Gesamtstrom	06/2023	Der Meilenstein wurde erreicht
M 1.2 Aktualisierung Einzelstoffströme	04/2023	Der Meilenstein wurde erreicht
M 1.3 Strukturierung Datenquellen	03/2023	Der Meilenstein wurde erreicht
M 1.4 Aufteilung der Verwendung der Reststoffe auf Verwendungswege	11/2023	Der Meilenstein wurde erreicht
M 1.5 Aktualisierung biobasierter Anteile	03/2024	Der Meilenstein wurde erreicht
M 1.6 Überprüfung und Fortschreibung des Monitoringkonzeptes	05/2024	Der Meilenstein wurde nur teilweise erreicht
M 1.7 Datenaufnahme abgeschlossen	06/2022	Der Meilenstein wurde 1 Jahr verspätet erreicht
M 1.8 Datensätze in Online Repository verfügbar	10/2022	Der Meilenstein wurde 1,5 Jahre verspätet erreicht
M 1.9 Berichtslegung zu den aktualisierten Datensätzen abgeschlossen	10/2022	Der Meilenstein wurde 1,5 Jahre verspätet erreicht
M 2.1 Matrix-Modell zum Tracing verschiedener Rohstoffaggregate	04/2023	Der Meilenstein wurde nur teilweise erreicht
M 2.2 Rückverfolgung spezifischer Import-Commodities	05/2024	Der Meilenstein wurde erreicht
M 3.1 Literaturanalysen abgeschlossen und	10/2022	Der Meilenstein wurde erreicht

Meilensteine (M) (lt. Planung im Antrag)	Fälligkeit (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
Methodenüberblick aufbereitet		
M 3.2 Methodisches Konzept erarbeitet	07/2024	Der Meilenstein wurde teilweise erreicht
M 3.3 Fallbeispiele berechnet	07/2024	Der Meilenstein wurde teilweise erreicht
M 4.1 Analyse und Aufbereitung länderspezifischer Information zu Nachhaltigkeitseffekten der Erzeugung von Commodities ist abgeschlossen	10/2023	Der Meilenstein wurde erreicht
M 4.2 Best Practice Beispiele liegen vor	08/2024	Der Meilsteien wurde erreicht
M 4.3 Fallbeispiele liegen vor	06/2024	Der Meilenstein wurde nicht erreicht
M 4.4 Nachhaltigkeitseffekte weiterer biobasierter Stoffflüsse sind quantifiziert	04/2023	Der Meilenstein wurde nicht erreicht
M 4.5 Sektorale Nachhaltigkeitseffekte sind fortgeschrieben und angepasst	10/2023	Der Meilenstein wurde erreicht
M 6.1 Zwischenberichte	03/2023 03/2024	Die Meilensteine wurden erreicht
M 6.2 Schlussbericht	01/2025	Der Meilenstein wurde erreicht

b) Zusammenfassung

Die wesentlichen Ziele und Meilensteine des Verbundprojektes konnten erreicht werden. In einzelnen Fällen musste von der ursprünglichen Projektplanung abgewichen werden.

Im AP 1.1 sind alle Ziele und Meilensteine erreicht worden. DBFZ hat die Tasks des AP 1.2 mit deutlicher zeitlicher Verzögerung erfüllt. Durch äussere Umstände verursachte Zeitverschiebungen im Plan führten dazu, dass anfangs mehr Zeit in das Upgrade der Datenbankkapazität – im Sinne von Leitungsfähigkeit – investiert wurde. Task 1.9 Datensätze in Online Repositorium verfügbar hat im Projektverlauf eine vorher nicht vorgesehene Größenordnung erreicht, die aber im Ergebnis das Monitoring der Reststoffe besser etabliert als es die Beschreibung im Antrag erwarten ließ. Das Reststoffmonitoring ist Dank des DBFZ-Datenlabors im digitalen Zeitalter angekommen und die online-Veröffentlichung der Zeitreihen der nationalen Potenziale biogener Abfälle, Reststoffe und Nebenprodukte im ResDB-Biomassemonitor sucht ihresgleichen.

Im AP 2 konnte das Tracing-Modell zur Identifizierung der Herkunftsländer von Biomasse aufgrund der Datenlage im Bereich Agrar und Fischerei nicht wie geplant auf diese Bereiche angewendet und optimiert werden. Herkunftsanalysen wurden für Fleisch, Soja, Zellstoff und Lachs durchgeführt

Die im AP 3 geplanten Arbeitsziele konnten teilweise erreicht werden. Die Literaturanalysen wurden durchgeführt, Methoden zur Quantifizierung von Kaskadennutzung, Ressourceneffizienz und Substitution identifiziert und am Beispiel Lachs das Monitoring von Ressourceneffizienz vorgestellt.

Im AP 4 konnten Nachhaltigkeitseffekte der drei wichtigen Import-Commodities, Fleisch, Soja und Zellstoff quantifiziert werden. Die Anpassung des Monitoringkonzepts zur Erfassung von Nachhaltigkeitseffekten von Kaskadennutzung und Substitution ist nicht erfolgt, da in AP 3 keine Fallbeispiele für das Monitoring von Kaskadennutzung und Substitution erarbeitet werden konnten. Während die Berechnung sektoraler

Nachhaltigkeitseffekte fortschrieben werden konnten, war die Quantifizierung von Nachhaltigkeitseffekten weiterer Stoffflüsse leider nicht möglich.

II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

Nachfolgend werden die in jedem Arbeitspaket des Verbundprojektes erzielten wesentlichen Ergebnisse dargestellt. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse ist in einem in Kürze erscheinenden Thünen Working Paper (Schweinle et al. 2025) zu finden.

Arbeitspaket 1: Stoffstromanalysen

AP 1.1: Aktualisierung der Daten und Fortschreibung Konzeption aus der Pilotphase

Gesamter Stoffstrom

Gesamtbiomassenutzung für Lebensmittel, Futtermittel sowie stoffliche und energetische Nutzung

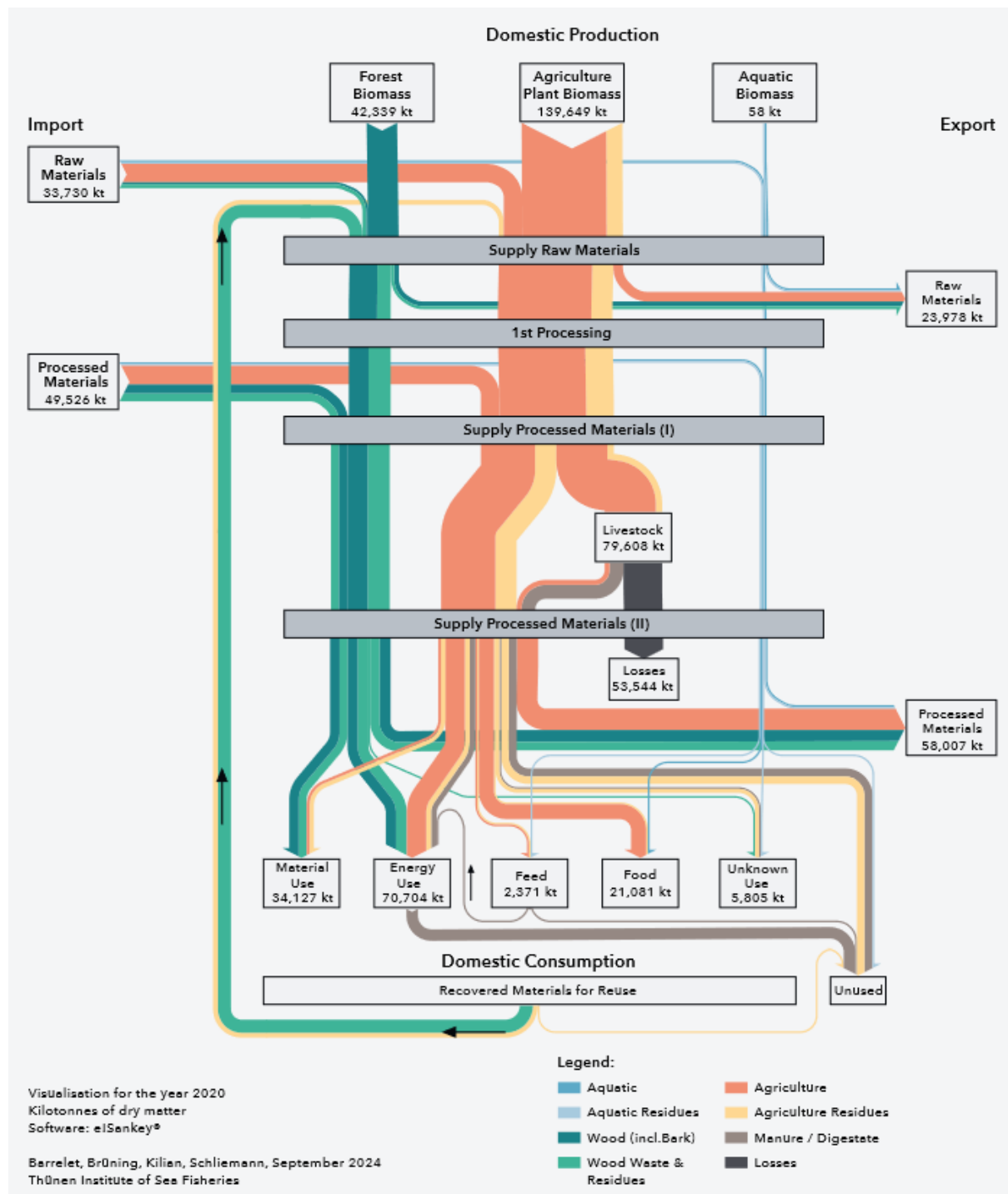


Abbildung 1: Aggregierter Stoffstrom von land-, forstwirtschaftlicher und aquatischer Biomasse im Jahr 2020 in Tausend Tonnen (kt)

Abbildung 1 zeigt den aggregierten Biomassestrom für Deutschland im Jahr 2020. Es wird zwischen den drei Sektoren Landwirtschaft (gelb und orange), Forstwirtschaft (grün) und Fischerei (blau) unterschieden. Darüber

hinaus wird zwischen produzierter Primärbiomasse und Rückständen sowie recycelten Abfallstoffen (heller dargestellt) unterschieden. Die sektoralen Biomasseströme werden in den einzelnen APs näher dargestellt.

Ausgehend von der inländischen Produktion wird die Verarbeitung der Biomasse von oben nach unten abgebildet. Stoffströme durch Importe werden von links und Exporte nach rechts dargestellt. In der Ebene „Rohstoffversorgung“ werden die inländische Erzeugung von Primärbiomasse, Rohstoffimporte und zurückgewonnene Stoffe zur Wiederverwendung aggregiert. Nach Abzug der Rohstoffexporte gehen diese Mengen in die erste Verarbeitungsstufe ein. Die darauffolgende nächste Ebene ist die „Versorgung mit verarbeiteten Materialien (I)“. Diese wird durch die Versorgung aus der ersten Verarbeitung und durch Importe von verarbeiteten Materialien gespeist. Zwischen der Versorgung mit verarbeiteten Materialien (I) und (II) wird die landwirtschaftliche Versorgung der Nutztiere mit Biomasse dargestellt. Von der „Versorgung mit verarbeiteten Materialien (II)“ fließen die Exporte von verarbeiteten Materialien ab. Je nach Sektor fließen diese Güter dann in die Endnutzung, die sich in Lebensmittel, Futtermittel, stoffliche und energetische Nutzung gliedert. Darüber hinaus liegen Biomassen und Rückstände vor, deren Verwendung nicht eindeutig identifiziert werden konnte (unbekannte Verwendung). Die in Abbildung 1 abgebildeten Stoffströme beziehen sich auf reine Biomasse (Trockenmasse, TM). Anteile anderer Materialien (Nicht-Biomasse), die in Produkten enthalten sind und bei der Verarbeitung hinzugefügt wurden, werden in diesem Diagramm nicht berücksichtigt.

Inländische Produktion

Die Ergebnisse für 2020 zeigen, dass in der Land- und Forstwirtschaft sowie in der Fischerei und Aquakultur knapp 182 Mio. t TM erzeugt wurden. Größte Quelle der inländischen Produktion ist die Landwirtschaft mit 140 Mio. t TM. Darin enthalten sind die Ernte von Ackerkulturen und der Gartenbau mit 117 Mio. t Trockenmasse, die aus den offiziellen Statistiken über Ernteerträge stammen, sowie 23 Mio. t Trockenmasse an Rückständen wie Stroh oder Grasschnitt aus der Pflege von Straßen- oder Bahndämmen. Die inländische Produktion von Rohstoffen aus der Forstwirtschaft (42 Mio. t TM) setzt sich aus der Entnahme von Rundholz aus dem Wald zusammen. Daneben spielt die inländische Versorgung mit Altpapier (10 Mio. t) und Altholz (8 Mio. t) eine bedeutende Rolle. 58.000 t TM aquatische Biomasse stammen aus Meeresfischerei, Aquakultur und Binnenfischerei und umfassen Fische, Krebstiere, Weichtiere, Wasserschnecken, Algen und andere wirbellose Wassertiere.

Verarbeitung

Unter Berücksichtigung der Importe und Exporte von Rohstoffen wurden etwa 220 Mio. t verarbeitet. Der Biomasse-Input der Waldbiomasse besteht aus 39 Mio. t Holz einschließlich Rinde und 19 Mio. t Altpapier und Holzabfällen, und die landwirtschaftliche Biomasse besteht aus 129 Mio. t Rohstoffen und 30 Mio. t Rückständen, einschließlich der oben genannten 23 Millionen Tonnen Rückstände und 7 Mio. t wiederverwendeter Rückstände wie Gärreste aus Biogasanlagen. Diese Menge wird durch aquatische Biomasse von 60.000 t Rohstoffen und 4.000 t Rückständen erhöht. Bei der Verarbeitung fielen weitere Rückstände an.

Landwirtschaftliche Tierhaltung

75 Mio. t pflanzliche Biomasse und 5 Mio. t Rückstände wurden in der landwirtschaftlichen Tierhaltung verwendet. Der Output der landwirtschaftlichen Tierhaltung betrug 7 Mio. t tierische Produkte und 19 Mio. t Gülle, die im Diagramm als Rückstand (braun) dargestellt ist. 8 Mio. t des Mists wurden genutzt, hauptsächlich zur Energieerzeugung in Biogasanlagen. Der Rest, hier als „Verluste“ deklariert, umfasst Biomasse, die als Dünger in der Landwirtschaft verbleibt oder in Form von Körperwärme oder anderen Emissionen von Nutztieren anfällt.

Importe und Exporte

Die Einfuhr von Roh- und Verarbeitungsmaterial belief sich auf etwa 83 Mio. t. Dem standen Gesamtexporte von etwa 82 Mio. t gegenüber, was etwas mehr als 1 Mio. t Nettoimporten entspricht. Auch bei den Außenhandelsmengen insgesamt spielte die landwirtschaftliche Biomasse die größte Rolle. Holzrohstoffe und -verarbeitungsmaterialien wurden in etwas geringerem Umfang importiert und exportiert. Allerdings war der Anteil der Importe und Exporte an der sektoralen Versorgung bei Holz relativ gesehen deutlich höher als bei landwirtschaftlicher Biomasse. Biomasse aus Fischerei und Aquakultur ist mengenmäßig bezogen auf die Trockenmasse am wenigsten bedeutend. Im Gegensatz zu den anderen Biomassesektoren wird deutlich mehr aquatische Biomasse importiert als im Inland produziert. Betrachtet man die Importe und Exporte dieser Biomasse, so ist die Außenhandelsbilanz negativ.

Inländischer Verbrauch

Mengenmäßig ist Futtermittel die wichtigste Verwendung von Biomasse. Dabei ist zu beachten, dass mit knapp 80 Mio. t fast viermal so viel landwirtschaftliche Biomasse für Futtermittel verwendet wird wie für Lebensmittel (21 Mio. t, davon 7 Mio. t Biomasse aus tierischen Erzeugnissen). Biomasse aus Fischerei und Aquakultur wird hauptsächlich für Lebensmittel verwendet, während die Non-Food-Nutzung (Futtermittel und stoffliche Nutzung) etwa 11 % des gesamten Inlandsverbrauchs ausmachte. 1 % bleibt ungenutzt, was aus Biomasse besteht, die während der Fischereitätigkeit auf See entsorgt wird (Produktion). Zur Fütterung von Haustieren und Pferden wurden etwa 2 Mio. t Biomasse verwendet, davon 0,4 Mio. t Rückstände. 34 Mio. t aus der

Landwirtschaft, 7 Mio. t landwirtschaftliche Rückstände und 29 Mio. t aus der Forstwirtschaft werden für Energiezwecke verwendet (71 Mio. t). Bei der Biogasproduktion fielen 17 Mio. t Gärrückstände an, die ebenso wie der nicht verwendete Wirtschaftsdünger als Düngemittel in der Landwirtschaft verblieben. Während die stoffliche Nutzung landwirtschaftlicher Biomasse mit 10 Mio. t im Vergleich zur energetischen Nutzung gering ist, wobei 6 Mio. t auf Rückstände entfallen, ist sie bei forstwirtschaftlicher Biomasse mit 24 Mio. t am bedeutendsten (insgesamt wurden 2020 rund 34 Mio. t Biomasse für stoffliche Zwecke genutzt).

Reststoffe und recycelte Materialien

Reststoffe und recycelte Materialien sind ebenfalls in Abbildung 1 enthalten. Beispielsweise macht die inländische Verwendung von wiedergewonnenem Altpapier 10 Mio. t und wiedergewonnenem Altholz fast 8 Mio. t aus. Altpapier und wiedergewonnenes Altholz sind in Deutschland wichtige Rohstoffquellen und machen fast ein Drittel der inländischen Produktion von Holzrohstoffen aus. Der deutsche Agrarsektor produzierte 23 Millionen Tonnen Ernterückstände, z. B. Stroh. Bei der Verarbeitung von landwirtschaftlicher Biomasse fielen weitere 9 Mio. t Rückstände an. Schließlich konnten nach der (ersten) Nutzung der Biomasse 7 Mio. t biobasierte Abfälle und Abfallkomponenten wiederverwendet werden und wurden in den Kreislauf zurückgeführt. Es ist zu beachten, dass zu den Reststoffen auch Stroh gehört, das als Einstreu in der Tierhaltung verwendet wurde. Landwirtschaftliche Rückstände wurden für die Energieerzeugung (7 Mio. t), die stoffliche Nutzung (6 Mio. t), als Haustier- und Pferdefutter (0,4 Mio. t) und als wieder in die Lebensmittelversorgung einfließende Rückstände (0,1 Mio. t, z. B. Spenden an Tafeln) verwendet.

Agrarische Biomasse

Im Rahmen der Arbeiten in AP1.1 wurde auf der Grundlage der in MoBi I erhobenen Daten für das 2020 der Gesamtstoffstrom der Bioökonomie aktualisiert, um eine umfassende und aktuelle Datengrundlage zu schaffen. Dabei wurden relevante Stoffströme aus den verschiedenen Agrarsektoren identifiziert und quantifiziert. Parallel dazu erfolgte die Fortschreibung des Monitoringkonzepts, bei der die Strukturierung der Datenquellen im Fokus stand, um eine regelmäßige und aktualisierte Abbildung der ausgewählten Stoffströme zu gewährleisten. Darüber hinaus wurde die Erfassung und Verknüpfung von Stoffströmen im Bereich der pflanzlichen und tierischen Agrarproduktion weiterentwickelt, um eine verbesserte Integration und Nachvollziehbarkeit der Daten zu ermöglichen.

Ein wichtiger zweiter Bereich in diesem AP beschreibt die Aufteilung des Reststoffaufkommens auf die Verwendungswege der Hauptbiomassen, um eine detaillierte Übersicht über die Nutzungspfade zu schaffen (Task 1.5). Parallel dazu erfolgte die Aktualisierung der biobasierten Anteile der verschiedenen Wirtschaftszweige, wodurch eine präzisere Bewertung der Bedeutung biobasierter Wirtschaftsaktivitäten ermöglicht wurde (Task 1.6). Darüber hinaus bestand das Ziel, Konzepte zur Verknüpfung des Bioökonomie-Monitorings mit dem Monitoring von Lebensmittelverlusten zu entwickeln, um Synergien zu schaffen und eine ganzheitliche Betrachtung der Ressourcennutzung zu gewährleisten (Task 1.7).

Hinsichtlich des Aufkommens und der Verwendung ist agrarische Biomasse mengenmäßig die wichtigste Biomasse. Landwirtschaftliche Biomasse ist sehr vielfältig und wird in sehr vielen Sektoren eingesetzt. Die große Heterogenität der landwirtschaftlichen Biomasse erschwert den Vergleich einzelner Materialströme. Landwirtschaftliche Biomasse unterscheidet sich erheblich je nach Wassergehalt (sehr hoch, < 90 % bei vielen Gemüsesorten wie Tomaten, Gurken usw., bis hin zu niedrigem Wassergehalt, wie bei Getreide und Ölsaaten mit 14 % bzw. 9 %), ob sie auf Acker- oder Grünland angebaut werden kann und hinsichtlich ihrer allgemeinen Verwendbarkeit und die Verstoffwechselbarkeit durch monogastrische Tiere (und Menschen) im Besonderen. Darüber hinaus kann landwirtschaftliche Biomasse in primäre, sekundäre und tertiäre Biomasse unterteilt werden:

- Primäre Biomasse: Biomasse, die durch Photosynthese aus Sonnenenergie erzeugt wird (pflanzliche Biomasse).
- Sekundäre Biomasse: Biomasse, die durch den Stoffwechsel von primärer Biomasse entsteht (tierische Biomasse)
- Tertiäre Biomasse: Verarbeitete und modifizierte primäre und sekundäre Biomasse (z. B. Textilien)

Um diese Aspekte zu berücksichtigen, werden alle Biomasseströme in Trockenmasse angegeben und in primäre, sekundäre und tertiäre Biomasse eingeteilt. Primäre Biomasse wird weiter unterteilt in Biomasse, die potenziell von monogastrischen Tieren verdaut werden kann, und andere Biomasse, zu der Raufutter, das nur von Wiederkäuern verdaut werden kann, und ligninhaltige Biomasse, die nicht essbar ist, gehören. In den in diesem AP berechneten Stoffströmen wird auch zwischen Raufutter von Grünland und Raufutter von Ackerland unterschieden.

Die in den letzten 10 Jahren produzierte Biomassemenge zeigt, dass insbesondere die Menge der Primärbiomasse Schwankungen unterliegt, z. B. aufgrund von Wetterbedingungen. Im Vergleich dazu hat sich die Menge der produzierten Sekundärbiomasse nur geringfügig verändert. Der niedrigste Primärbiomasseertrag wurde 2018 mit einem Gesamtbiomasseertrag von 98,4 Mio. t Trockenmasse verzeichnet. Dies sind nur 83 % des durchschnittlichen Trockenmasseertrags der Jahre 2014 bis 2023. Im Jahr 2014 wurde mit einem Gesamtertrag von 133,9 Mio. t Trockenmasse das Maximum für diesen Zeitraum

erreicht. Die Menge der erzeugten Sekundärbiomasse, d. h. tierische Produkte wie Fleisch, Eier, Milch oder Leder, liegt mit rund 6,8 Mio. t nahezu konstant (Abbildung 2).

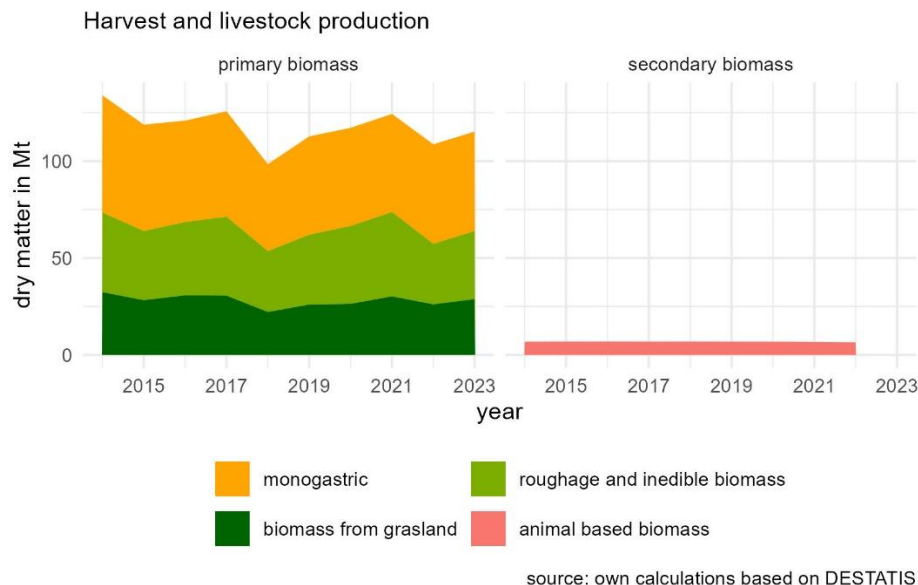


Abbildung 2: Landwirtschaftliche Biomasseproduktion in Deutschland

Ein Blick auf die Außenhandelsmenge (Abbildung 3) zeigt, dass vor allem Primärbiomasse importiert wird. In Jahren mit geringer inländischer Produktion wird weniger Primärbiomasse exportiert und mehr importiert, sodass die geringere inländische Produktion durch höhere Nettoimporte ausgeglichen wird. Die höchsten Nettoimporte von primärer Biomasse gab es daher in den Jahren 2018 und 2019 mit einem Maximum von 15,3 Mio. t Trockenmasse im Jahr 2019. Im Gegensatz dazu ist Deutschland ein Nettoexporteur von sekundärer und tertiärer Biomasse. Die Exporte von sekundärer Biomasse gingen leicht zurück, von 1,1 Mio. t im Jahr 2014 auf 0,8 Mio. t im Jahr 2022. Das Handelsvolumen für tertiäre Biomasse nimmt stetig zu. Auch die Nettoexporte von tertiärer Biomasse aus Deutschland nehmen zu, mit dem höchsten Nettoexportvolumen von 4,8 Mio. t im Jahr 2021 und dem niedrigsten von 1,7 Mio. t im Jahr 2014. Insgesamt ist Deutschland ein Nettoimporteur von Biomasse. Die Nettoimporte lagen in den letzten 10 Jahren zwischen 4,3 Mio. t im Jahr 2015 und 12,3 Mio. t im Jahr 2019.

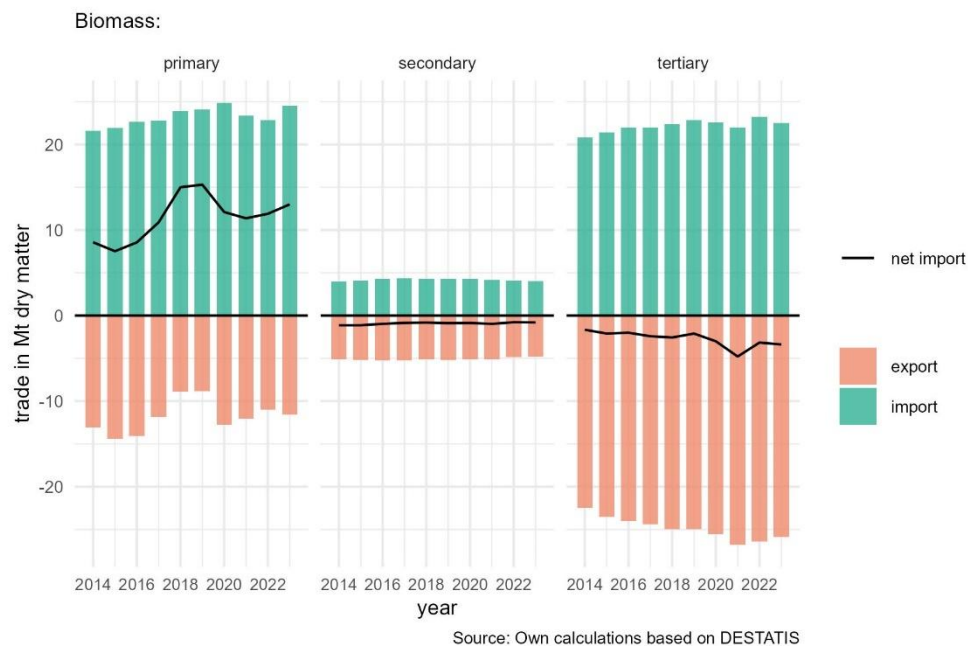


Abbildung 3: Außenhandel von Biomasse in Deutschland von 2014 bis 2023

Stoffstrom Landwirtschaft

Der gesamte Stoffstrom für agrarische Biomasse in Deutschland im Jahr 2020 ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Grafik umfasst die gesamte Biomasse, die in offiziellen Statistiken als geerntet gemeldet wird. Dies ist nur ein Teil der landwirtschaftlichen Biomasseproduktion, da Pflanzenteile, die in der Regel nicht geerntet werden,

wie z. B. die Wurzeln von Getreide, ausgeschlossen sind und Nebenprodukte wie Getreidestroh als Reststoffe definiert sind und nur einen Teil des gesamten Biomassestroms in Deutschland ausmachen (siehe dazu Abschnitt AP 1.2: Aktualisierung des DBFZ-Reststoffmonitorings). Die Produktion agrarischer Primärbiomasse beläuft sich auf 117,1 Mio. t, wovon 66,6 Mio. t und damit mehr als die Hälfte (57 %) auf Raufutter und für Monogastrier ungenießbare Biomasse entfallen. Dauergrünland trug mit einem Biomasseertrag von 26,4 Mio. t zur inländischen Produktion bei, was 23 % der gesamten Primärbiomasseproduktion und 40 % der Raufutterbiomasseproduktion entspricht. Zusätzlich zur im Inland produzierten Primärbiomasse wurden 24,9 Mio. t Primärbiomasse importiert. Darüber hinaus wurden 4,3 Mio. t Sekundärbiomasse und 22,6 Mio. t Tertiärbiomasse importiert.

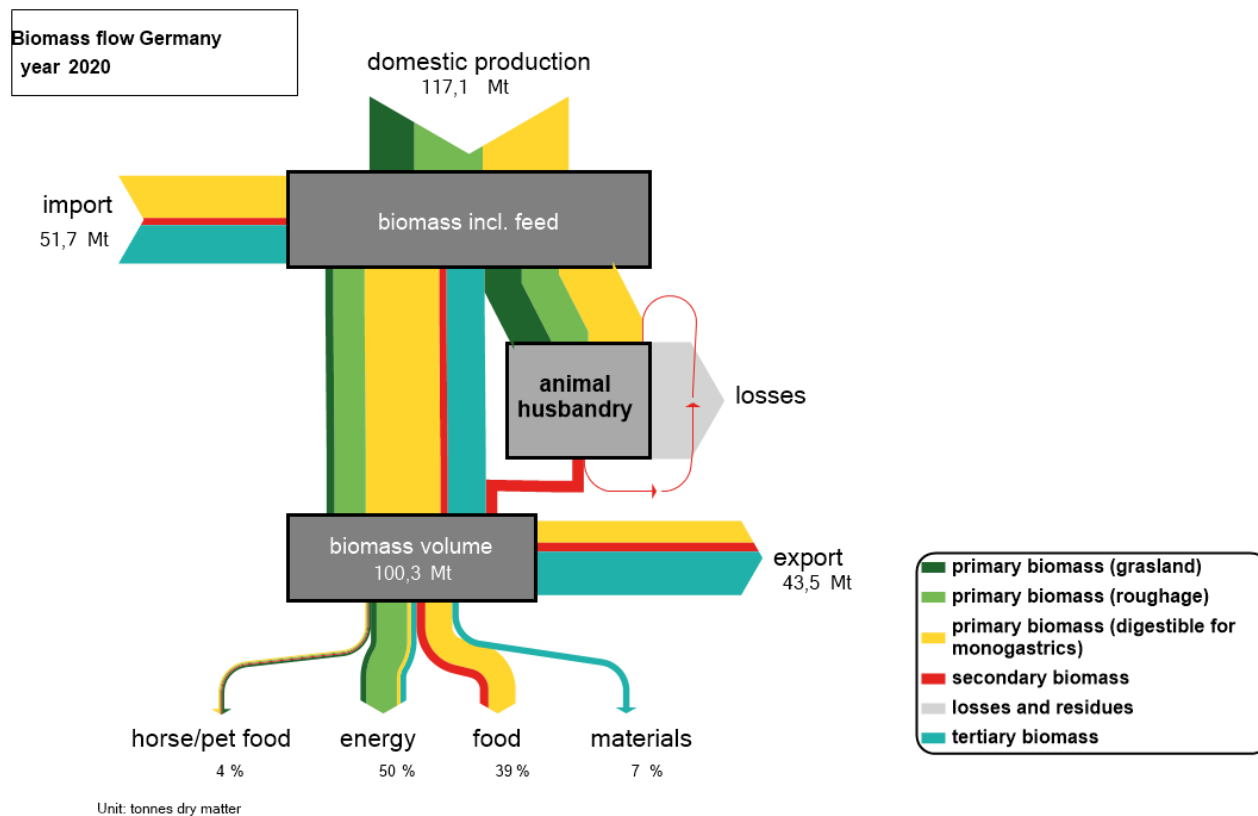


Abbildung 4: Deutscher Biomassestrom aus der Landwirtschaft im Jahr 2020

75,2 Mio. t Biomasse werden als Futtermittel für die Tierhaltung verwendet. 43,6 Mio. t des Futters sind Raufutter, das nur von Wiederkäuern verzehrt werden kann. 31,7 Mio. t sind Futtermittel, die auch an monogastrische Tiere verfüttert werden können. Zusätzlich zur primären Biomasse werden 0,2 Mio. t sekundäre Biomasse als Tierfutter verwendet. Dabei handelt es sich beispielsweise um Milch, die in der Milchviehhaltung an Kälber verfüttert wird. Die Produktion der Tierhaltung belief sich im Jahr 2020 auf 6,8 Mio. t Trockenmasse sekundäre Biomasse und setzt sich aus Fleisch (einschließlich Innereien), Leder, Milch und Eiern zusammen. Andere (landwirtschaftliche) Biomasseströme wie Gülle, die zur Energieerzeugung oder als Dünger verwendet wird, und Schlachtabfälle werden in dieser Zahl als Verluste zusammengefasst. Die 100,3 Mio. t Nichtfutter-Biomasse bestehen aus primärer, sekundärer und tertiärer Biomasse, die entweder im Inland produziert oder importiert wird. 43,5 Mio. t oder 43 % davon wurden im Jahr 2020 exportiert, der Rest wurde im Inland verbraucht.

Die Hälfte des Inlandsverbrauchs kann der energetischen Nutzung zugerechnet werden, wobei insbesondere der unterschiedliche Wert von primärer und tertiärer Biomasse zu berücksichtigen ist. Während der Stoffstrom der tertiären Biomasse bereits Biokraftstoff (3,4 Mio. t) und damit Sekundärenergieträger ist, ist die primäre Biomasse Einsatzstoff für die Biogasproduktion, wobei ein Teil der Biomasse bei der Biogasproduktion in ungenutztes CO₂ umgewandelt wird oder als Gärrest in der Landwirtschaft verbleibt. Betrachtet man stattdessen die bei der Biogasproduktion anfallende Sekundärenergiequelle Biomethan (Methangehalt des Rohbiogases), so reduziert sich die energetisch genutzte Biomasse von 23,4 Mio. t Primärbiomasse auf 5,5 Mio. t Tertiärbiomasse.

39 % der Biomasse wurden für Lebensmittel verwendet, von denen 5,0 Mio. t der 20,9 Mio. t, also etwa ein Viertel, tierischen Ursprungs waren. Der Anteil der stofflichen Nutzung von Biomasse betrug 7 % und umfasst Textilien, Leder und Rohstoffe für die chemische Industrie. Futtermittel, die nicht an Nutztiere, sondern an Haustiere oder an Pferde für Sport und Freizeit verfüttert wurden, machen 4 % der im Jahr 2020 verwendeten Biomasse aus. Mit einem Volumen von 0,5 Mio. t macht der tierische Anteil von Heimtierfutter rund 7 % der Haustierproduktion aus.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Deutschland ein Nettoimporteur von Biomasse ist, wobei der Anteil höherwertiger, sekundärer und tertiärer Biomasse an den Exporten höher ist. Bezogen auf die Trockenmasse ist nach der Verwendung von Tierfutter für die Tierproduktion die energetische Nutzung mengenmäßig der wichtigste Nutzungspfad. Der hohe Anteil an minderwertigem Raufutter (Grünland und Ackerland) bei der Futter- und Energienutzung relativiert jedoch den hohen Massenstrom. Dennoch sind diese beiden Nutzungspfade mit hohen Massenverlusten verbunden und bieten daher Optimierungspotenzial, um die Nutzung von Biomasse für neue Anwendungen zu ermöglichen.

Holzbiomasse

Wood flow in Germany 2020

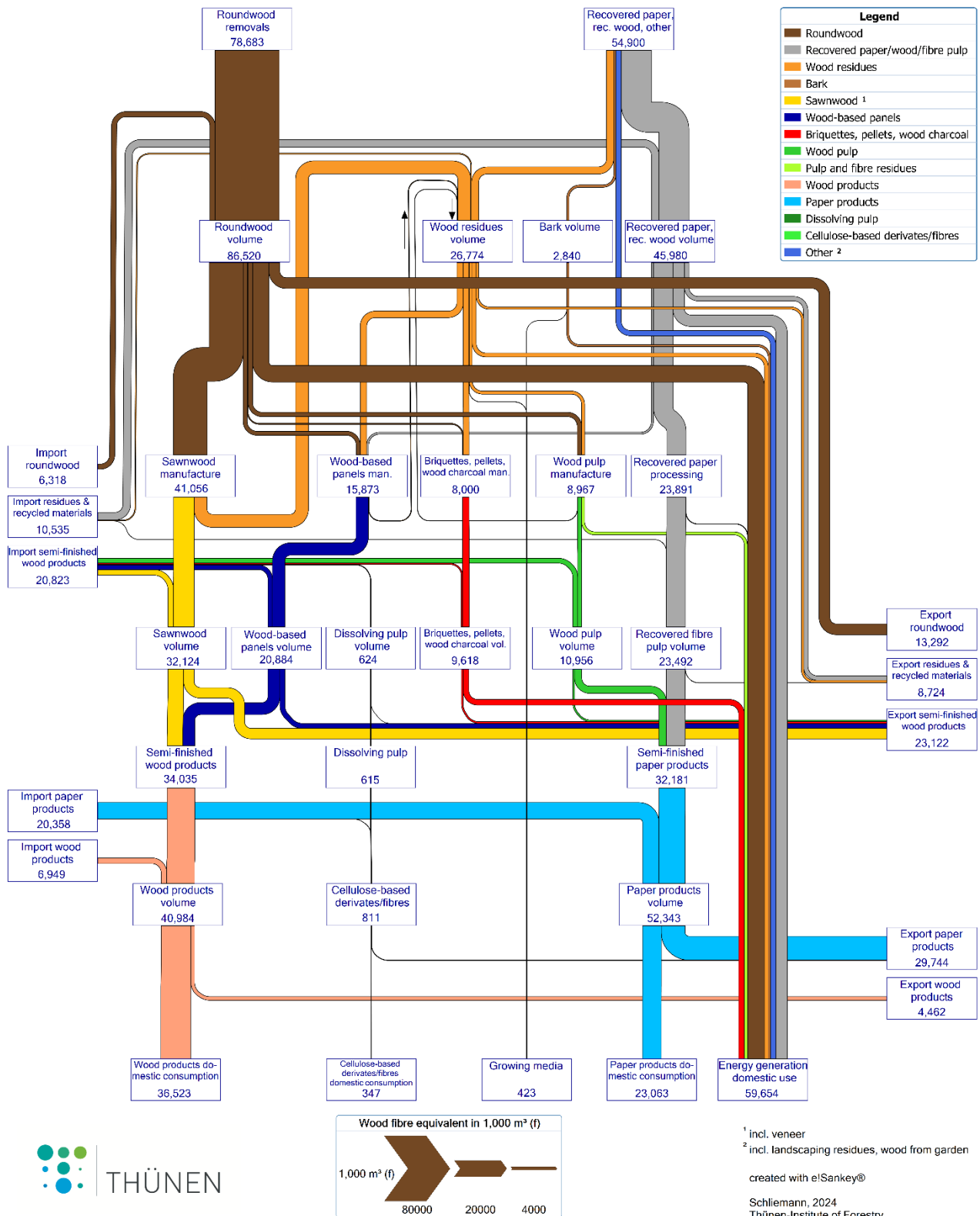


Abbildung 5: Holzfluss in Deutschland im Jahr 2020, in Kubikmeter Holzfaserequivalente, m³(f)

Wie Abbildung 5 zeigt, wurden im Jahr 2020 in Deutschland insgesamt 79 Mio. m³(f) Rundholz aus dem Wald entnommen. Der Anstieg gegenüber 2015 (69 Mio. m³(f)) ist vor allem auf erhöhte Einschläge aufgrund von Trockenheit und Borkenkäferbefall zurückzuführen. Infolge der höheren Entnahmen hat sich der Nettohandel deutlich verändert, von Nettoimporten in Höhe von 5,5 Mio. m³(f) im Jahr 2015 zu Nettoexporten in Höhe von 7,0 Mio. m³(f) im Jahr 2020, was hauptsächlich auf den veränderten Handel mit Nadelrundholz zurückzuführen ist.

Unter Berücksichtigung des Handels belief sich der inländische Verbrauch von Rundholz auf 73 Mio. m³(f). Der größte Teil des im Inland genutzten Rundholzes (56 %) wird in Sägewerken verarbeitet, die hauptsächlich Nadelholz (95 %) verwenden. Rundholz wird auch für die Herstellung von Holzwerkstoffen (7 %) und von Zellstoff (7 %) verwendet, wobei auch hier Nadelholz dominiert. Kleinere Mengen des Rundholzes werden für die Herstellung von Furnieren (< 0,5 %) und Pellets (1,4 %) verwendet. Etwa 28 % des inländischen Rundholzverbrauchs werden energetisch genutzt. Dabei dominiert vor allem in den privaten Haushalten (fast zwei Drittel der 28 %) die Verwendung von Rundholz aus Nicht-Nadelholz.

Während Deutschland im Jahr 2020 zum Nettoexporteur von Rundholz wird (gegenüber 2015), bleibt Deutschland Nettoexporteur von Schnittholz und Holzwerkstoffen, wobei die Nettoexporte von Schnittholz im Jahr 2020 gegenüber 2015 um rund 3 Mio. m³(f) steigen werden. Bei der Produktion von Schnittholz und Holzwerkstoffen fallen als Nebenprodukte relevante Mengen an Holzverarbeitungsrückständen (z. B. Sägespäne, Hackschnitzel) an, die sowohl stofflich (z. B. Holzwerkstoff, Zellstoff, Pellets, Briketts) als auch energetisch (z. B. zur Deckung des Energiebedarfs von Sägewerken) genutzt werden. Holzverarbeitungsrückstände und Rinde werden auch als Bestandteile für die Herstellung von Kultursubstraten verwendet.

Die Holzströme in Deutschland sind nicht nur durch die Nutzung von Rundholz und holzverarbeitenden Reststoffen geprägt, auch Altholz und Altpapier spielen mit einem Gesamtaufkommen von 37 Mio. m³(f) im Inland eine bedeutende Rolle. Der Handel weist für diese Rohstoffe Nettoimporte von etwa 3,8 Mio. m³(f) aus. Der größte Teil des Altpapiers wird aufbereitet und zur Herstellung von Papierhalbfabrikaten verwendet. Wiedergewonnenes Altholz wird überwiegend energetisch und in geringerem Umfang stofflich in der Holzwerkstoffindustrie genutzt. Es ist festzustellen, dass mehr Altpapier für die Herstellung von Papierhalbfabrikaten verwendet wird als Frischfasern aus der Zellstoffproduktion.

Der Endverbrauch von Holzprodukten in den verschiedenen Verbrauchssektoren belief sich auf 37 Mio. m³(f). Für Papiererzeugnisse belief sich der Verbrauch auf 23 Mio. m³(f). Für die Energieerzeugung in privaten Haushalten und in Feuerungsanlagen wurden im Jahr 2020 rund 60 Mio. m³(f) Holz eingesetzt.

Deutschland blieb auch im Jahr 2020 Nettoexporteur von fertigen Papiererzeugnissen, aber Nettoimporteur von fertigen Holzerzeugnissen. In der Summe aller Holzrohstoffe, Halffertig- und Fertigprodukte aus Holz und Papier beliefen sich die Nettoexporte von Holzfasern aus Deutschland im Jahr 2020 auf 14 Mio. m³(f), während im Jahr 2015 Nettoimporte in Höhe von 6 Mio. m³(f) zu verzeichnen waren.

Aquatische Biomasse

Zu Projektstart wurden alle in MoBi 1 verwendeten Datenquellen hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit überprüft. Für das Jahr 2020 wurde ein detaillierter Stoffstrom erstellt, der sämtliche aquatische Biomassen abbildet. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Abgrenzung von Reststoffen und Nebenprodukten im Vergleich zu den Hauptströmen. Um die Menge an Fischnebenprodukten, die während der Verarbeitung anfallen, zu schätzen und deren Nutzung zu identifizieren, wurden Experteninterviews und Umfragen durchgeführt. Die ermittelten Mengen wurden anschließend mit den Daten aus 2015 verglichen, um Veränderungen im Stoffstrom zu identifizieren. Für die Aktualisierung des aggregierten Stoffstroms (Task 1.1) wurden die gesammelten Mengen in Trockenmasse umgerechnet und aggregiert, siehe Abbildung 1.

In Task 1.2 wurden detaillierte Stoffströme für Lachs und Hering erstellt. Im Fall des Lachs-Stoffstroms lag der Fokus auf einer weitestgehend vollständigen Darstellung, insbesondere auf der Identifizierung und Quantifizierung der Lachsnebenprodukte. In MoBi 1 war bereits der Stoffstrom für Hering identifiziert und für das Jahr 2015 quantifiziert worden. In diesem Projekt erfolgte die Aktualisierung des Hering-Stoffstroms mit den Daten von 2020. Für die Aktualisierung dieses Stoffstroms wurde die entwickelte Methode übernommen, wobei Teilschritte der Datenverarbeitung durch die Entwicklung eines R-Skripts standardisiert wurden (Task 1.3). Der aktualisierte Hering-Stoffstrom wurde schließlich mit den Mengen aus 2015 verglichen, um Ursache-Wirkungsbeziehungen zu identifizieren und mögliche Trends oder Veränderungen im Bereich der aquatischen Biomassen zu analysieren.

Stoffströme ermöglicht es, die Dynamik und Effizienz in der Nutzung aquatischer Ressourcen besser zu verstehen und bietet wertvolle Einblicke in die Verarbeitung von Fischprodukten sowie deren Nebenströme. Allerdings lässt sich auf diese Weise nur ein spezifisches Jahr darstellen, was es schwierig macht, Veränderungen im Zeitverlauf zu erfassen. Ein Vergleich zwischen zwei Jahren kann zwar einige Informationen liefern, ist jedoch oft nicht ausreichend, um klare Trends abzubilden. Um ein umfassenderes Bild zu erhalten, wurden die Mengen an inländischer Herings-Produktion, Import und Export in den unterschiedlichen Verarbeitungsstufen sowie deren Nutzung als Zeitreihen erfolgt in Form von Säulendiagrammen visualisiert (Abbildung 6 bis Abbildung 8). Mit Hilfe dieser Darstellungsform können die

Stoffströme für die Jahre 2015 und 2020 besser interpretiert werden. Die Zeitreihen ermöglichen es außerdem, besondere Zeitpunkte zu identifizieren, die einer genaueren Betrachtung bedürfen. So lassen sich nicht nur Veränderungen in den Mengenverhältnissen erkennen, sondern auch spezifische Ereignisse oder Trends herausarbeiten, die für die Analyse der Stoffströme von Bedeutung sind. Es ist jedoch zu beachten, dass das hier beschriebene Vorgehen, die ersten Schritte der Methodenentwicklung darstellen.

German fisheries production

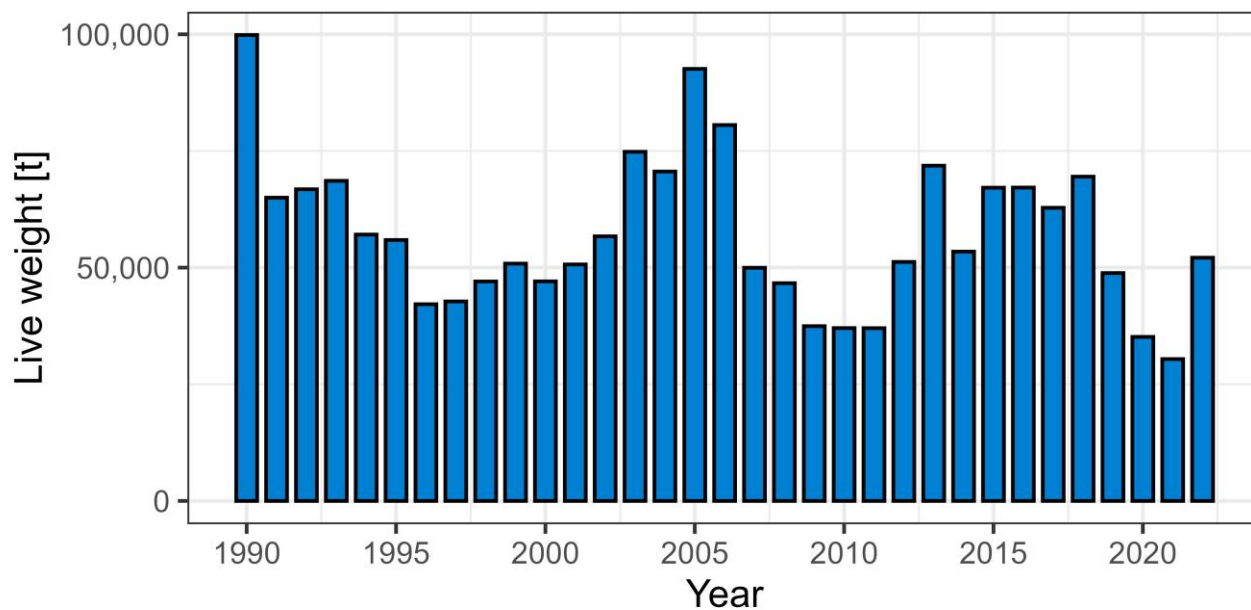


Abbildung 6: Heringsfänge der deutschen Flotte, Zeitreihe von 1990 bis 2022

Import

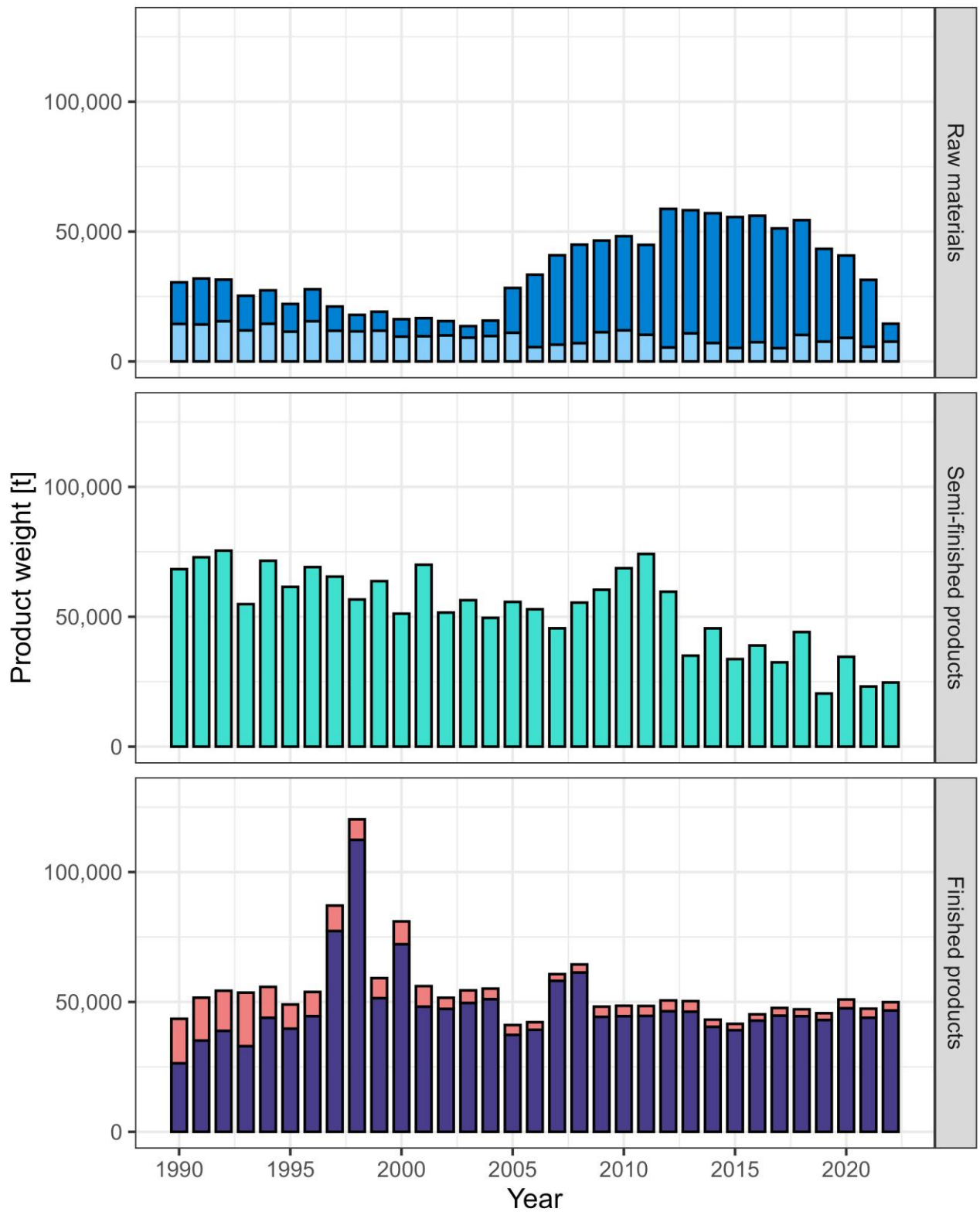


Abbildung 7: Importmenge an Hering und Heringsprodukten, Zeitreihe von 1990 bis 2022

Export

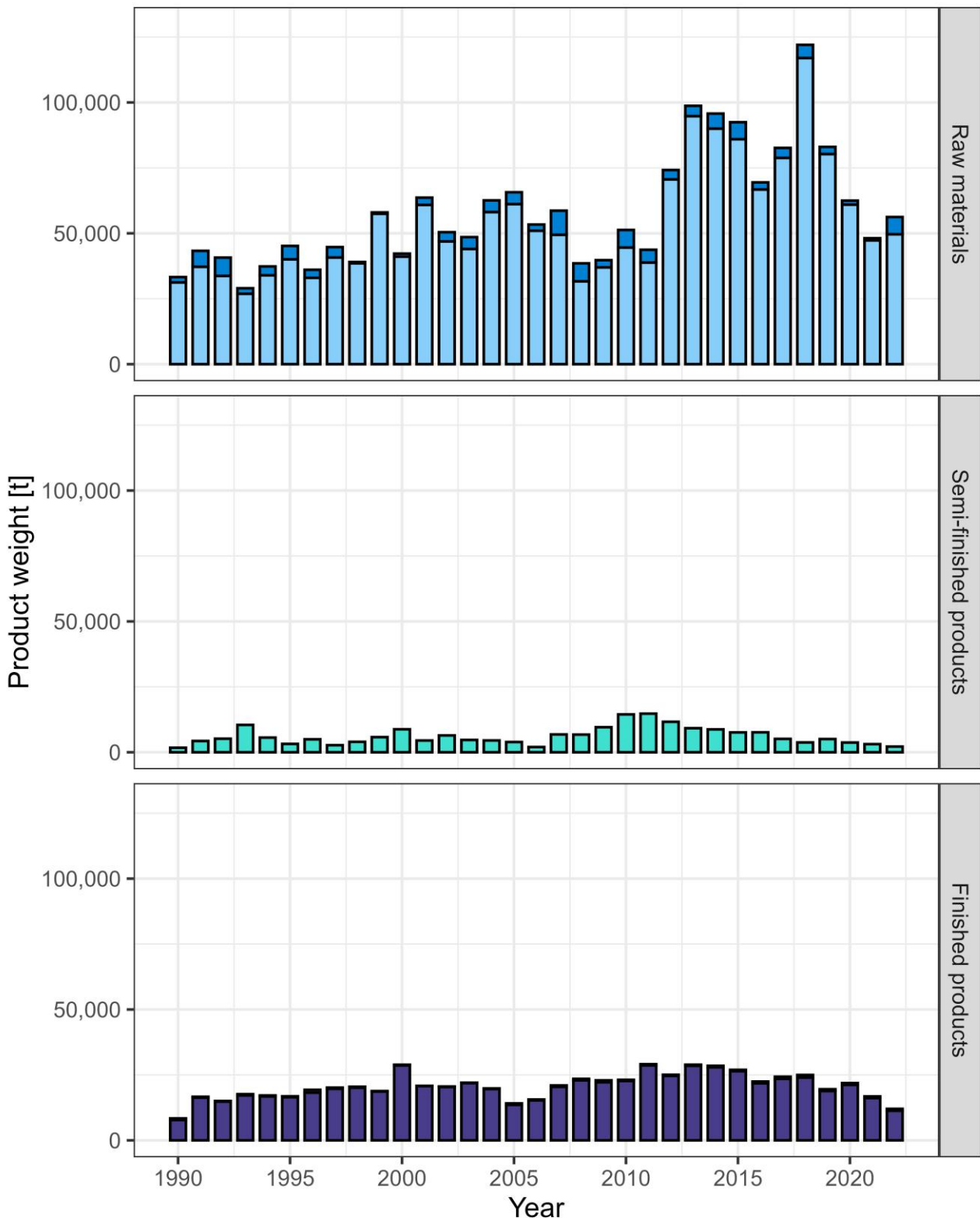


Abbildung 8: Exportmenge an Hering und Heringsprodukten, Zeitreihe von 1990 bis 2022

AP 1.2: Aktualisierung des DBFZ-Reststoffmonitorings

Vorbemerkung

Als Beitrag zu AP 1.2 wurden vom DBFZ umfangreich Daten für die Potenziale und Nutzung von 77 aggregierten Reststoff-Biomassen gesammelt und prozessiert. Die 77 Biomassen bilden gemäß der im Vorgängerprojekt MoBi I bzw. dem Projekt AG BioRestMon entwickelten Methodik die Gesamtheit der biogenen Abfälle, Reststoffe und Nebenprodukte in Deutschland ab (Brosowski et al. 2019a, b). Die Herkunft der Reststoffbiomassen verteilt sich auf die fünf Sektoren landwirtschaftliche Nebenprodukte, holz- und forstwirtschaftliche Nebenprodukte, Siedlungsabfälle und Klärschlamm, industrielle Reststoffe und Reststoffe

von sonstigen Flächen. Die Datenbasis der Reststoffe für das Bezugsjahr 2015 war aus dem Projekt MoBi I bzw. dem angegliederten Projekt AG BioRestMon hervorgegangen. Die umfangreiche Recherche und Prozessierung neuer Daten erfolgte unter dem gleichnamigen AP 1.2 dieses Projektes. Der Gesamtumfang der Ergebnisse des AP 1.2 ist im gesonderten DBFZ-Schlussbericht zum Auftrag „Aktualisierung Reststoffmonitoring“ dargestellt. Die im Zuge von AP 1.2 aktualisierten Daten des Reststoffmonitorings sind in Gesamtheit über den „Biomassemonitor“ (<https://datalab.dbfz.de/resdb/potentials?lang=de>) innerhalb der Webapp der DBFZ-Ressourcendatenbank (ResDB) visualisiert und öffentlich abrufbar. Zusätzlich liegt eine zitierfähige Datenpublikation vor (Naegeli et al. 2024). Im hier vorliegenden Bericht sind die eingebrachten Reststoffdaten im Stofffluss des Gesamt-Sankey eingearbeitet und für das Jahr 2020 beispielhaft dargestellt. Sie sind gleichzeitig im „Monitoring der deutschen Bioökonomie“ (Beck-O'Brien et al. 2024) in Kapitel 6 „Biomass flows“ auch eine Kurzbeschreibung der wichtigsten Ergebnisse der Aktualisierung des Reststoffmonitorings (6.5 Secondary biomass, 6.5.1 State and potentials, pp. 124–129) veröffentlicht.

Aktualisiertes Reststoffmonitoring

Im Kontext der verbesserten Verknüpfung von Primär- und Sekundärressourcen werden hauptsächlich die Reststoffpotenziale des Jahres 2020 und ihre Unterschiede im Vergleich zum bisherigen Bezugsjahr 2015 beschrieben. Die Zeitreihen der biogenen Abfälle, Reststoffe und Nebenprodukte und ihre Analyse sowie Interpretation sind umfänglich im gesonderten Schlussbericht des Auftrags zum Teilvorhaben 2 Aktualisierung Reststoffmonitoring dargestellt.

Im Jahr 2020 liegt das theoretische Potenzial biogener Abfälle, Reststoffe und Nebenprodukte zwischen einem Minimum von 185,2 Millionen Tonnen Trockenmasse (Mt TM) und einem Maximum von 232,2 Mt TM. Minimum- und Maximum-Potenziale liegen, wie hier am theoretischen Potenzial gezeigt, oft weit auseinander. Diese Spannen ziehen sich von den Potenzialen einzelner Biomassen in die Sektorpotenziale und die verschiedenen Potenzialebenen des nationalen Reststoffpotenzials. Eine Wiederholung der Spannbreiten, die im Biomassemonitor leicht abrufbar sind, sind für die Betrachtung der Entwicklung der Biomassepotenziale über den Monitoringzeitraum wenig dienlich, weshalb hier im Weiteren auf ihre Darstellung verzichtet wird.

Aus dem Minimum- und Maximumpotenzial des Jahres 2020 ergibt sich ein Mittelwert von 208,7 Mt TM. Damit hat sich das theoretische Potenzial für 2020, auf Grundlage einer Neuberechnung, im Mittelwert um 4,3 Mt TM im Vergleich zum Jahr 2015 verringert.

BIOGENE RESTSTOFFE IN DEUTSCHLAND

MITTELWERTE

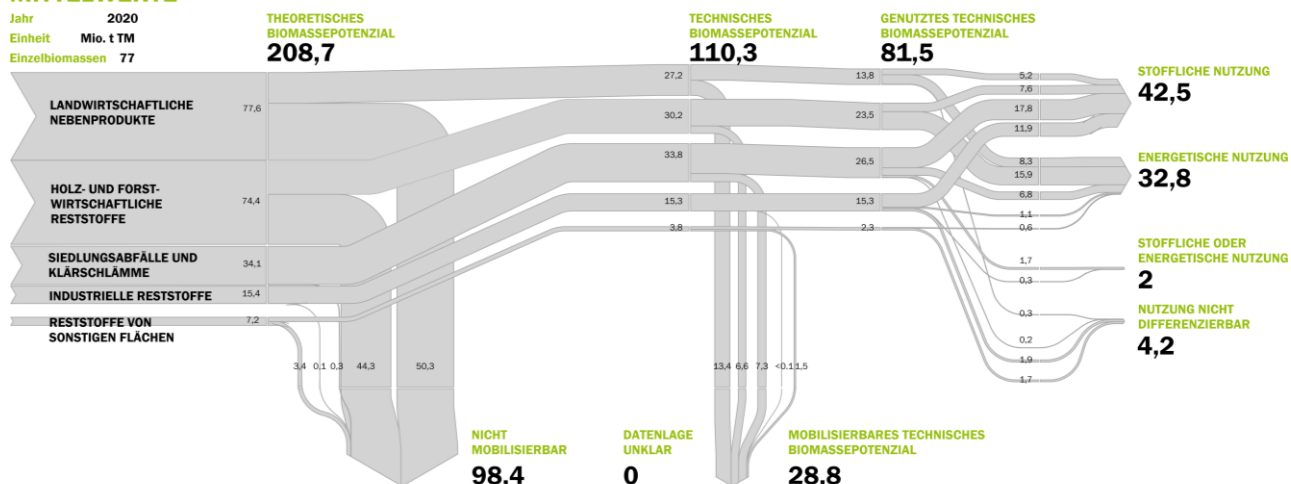


Abbildung 9: Gesamtstoffstrom der nationalen Potenziale biogener Sekundärressourcen in 2020. Importe sind darin nicht enthalten. Potenziale sind als Mittelwerte in Millionen Tonnen Trockenmasse [Mt TM] dargestellt. Quelle: DBFZ 2025.

Etwas weniger als die Hälfte (98,4 Mt TM oder 47%) des theoretischen Potenzials ist aufgrund von technischen und/oder ökologisch bedingten Annahmen (u.a. Bergungsraten und Humusbilanzannahmen) als nicht-mobilisierbares Potenzial für 2020 ausgewiesen. Bei einer etwaigen Nutzung (z.B. einer Vergärung) die beispielsweise eine Gärresterückführung erlaubt, sind auch weitaus höhere Entnahmeraten von agrarischen Reststoffen möglich (Brosowski 2021, Justus-Liebig-Universität Giessen 2020, Witing et al 2018). Als technisches Potenzial steht der Bioökonomie in 2020 im Mittel eine biogene Sekundärressource von 110,3 Mt TM zur Verfügung (Abbildung 9). Das technische Potenzial hat sich damit im Vergleich zu 2015 um 2,4 Mt TM verringert. Dabei handelte es sich aber nicht um eine gleichmäßige Abnahme (Abbildung 10, schwarze Zahlen des technischen Biomassepotenzials).

Die Rangfolge der sektoralen Beiträge zum technischen Potenzial hat sich zwischen 2015 und 2020 geändert: Siedlungsabfall und Klärschlamm machen mit 33,8 Mt TM in 2020 unverändert den größten Beitrag aus

(Abbildung 10, weiße Zahlen der technischen Potenziale der Sektoren). Der Sektor Holz- und forstwirtschaftliche Nebenprodukte ist mit 30,2 Mt TM in 2020 von Rang drei auf Rang zwei gerückt. Landwirtschaftliche Nebenprodukte sind dagegen mit 27,2 Mt TM in 2020 von Rang zwei auf drei abgefallen. Platz vier und fünf werden unverändert von industriellen Reststoffen bzw. Reststoffe von sonstigen Flächen belegt. Die größten Abnahmen verzeichnen die Sektoren landwirtschaftliche Nebenprodukte mit -3,3 Mt TM und industrielle Reststoffe mit -0,4 Mt TM. Nur im Sektor Holz- und forstwirtschaftliche Nebenprodukte hat das technische Potenzial von 30,2 Mt TM um 1,4 Mt TM im Vergleich zu 2015 zugenommen.

Der Anteil der Sekundärbiomassen der einer Nutzung zugeführt wird, das ist das genutzte technische Potenzial, liegt zwischen 75,9-87,0 Mt TM; es liegt als Mittelwert bei 81,5 Mt TM und hat sich im Mittel um 0,4 Mt TM im Vergleich zum Jahr 2015 verringert. Die geringere Differenz im genutzten technischen Potenzial im Vergleich zu der im technischen Potenzial zwischen den Jahren 2015 und 2020 beschreibt im Wesentlichen eine Reduktion des nicht genutzten bzw. mobilisierbaren Potenzials von 2015 auf 2020 um 2,0 Mt TM oder 6,5%. Trotzdem sind in 2020 immer noch 26% des technischen Potenzials in der Form von 28,8 Mt TM mobilisierbares Potenzial nicht ausgeschöpft. Auch über das Zeitfenster 2010–2020 verblieb im Mittel fast ein Drittel (27%) des technischen Potenzials als mobilisierbares Potenzial.

Das genutzte technische Potenzial teilt sich im Wesentlichen in die stoffliche und die energetische Nutzung auf. Die stoffliche Nutzung liegt im Jahr 2020 bei 42,5 Mt TM und hat sich damit im Vergleich zu 2015 um 2,0 Mt TM verringert. Demgegenüber liegt die energetische Nutzung bei 32,8 Mt TM und hat sich im Vergleich zu 2015 um 0,4 Mt TM leicht erhöht.

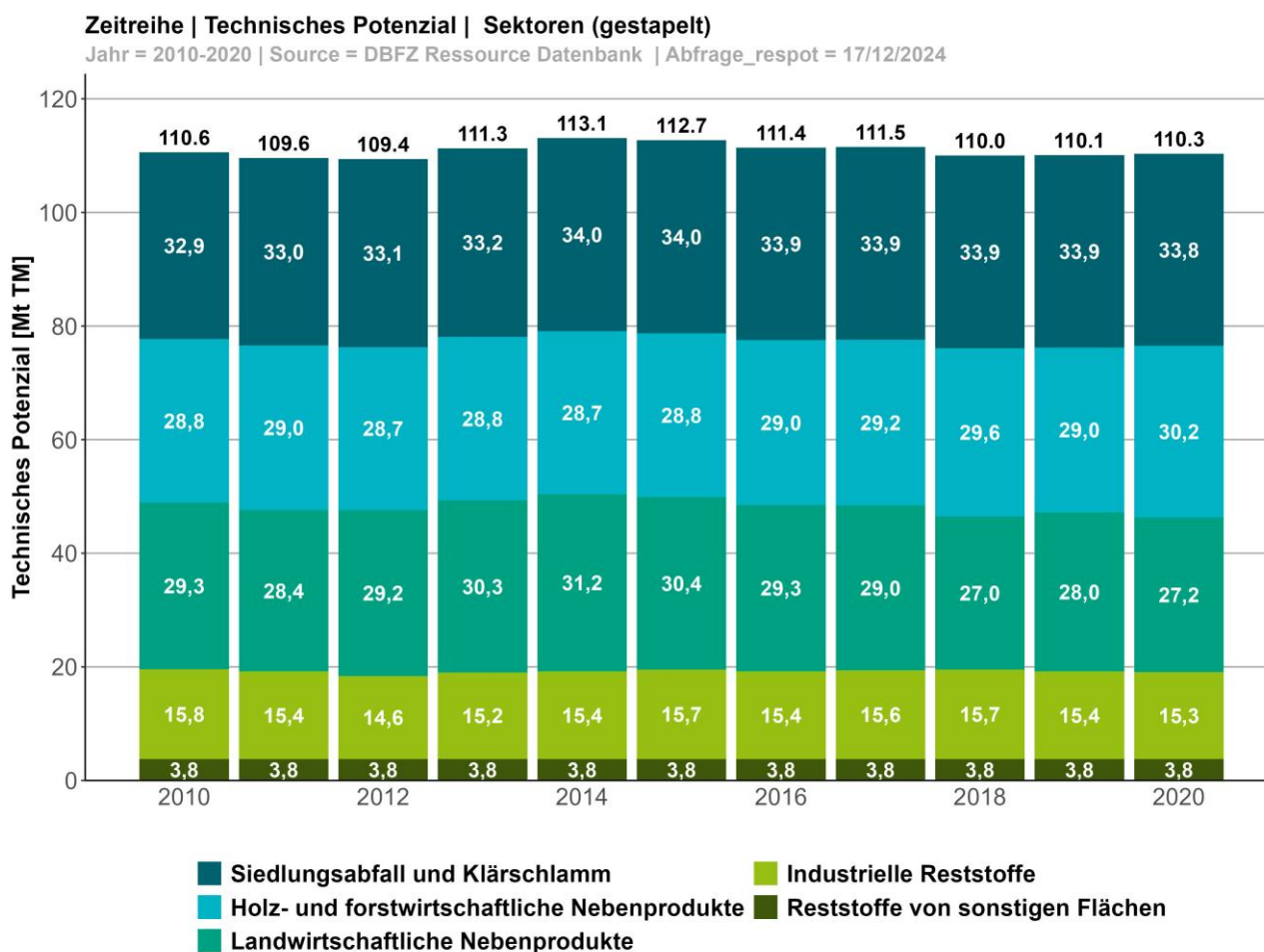


Abbildung 10: Technisches Potenzial der biogenen Abfälle, Reststoffe und Nebenprodukte und seine sektorale Zusammensetzung in der Monitoring-Periode 2010-2020 (Technisches Biomassepotenzial schwarze Zahlen auf den Säulen, Sektorpotenziale weiße Zahlen in den Säulenkompartimenten). Quelle: DBFZ 2025.

Das Potenzial stoffliche Nutzung setzt sich aus den folgenden sektoralen Beiträgen abnehmender Reihenfolge zusammen: Siedlungsabfälle und Klärschlamm 42%, industrielle Reststoffe 28%, Holz- und forstwirtschaftliche Nebenprodukte 18%, und landwirtschaftliche Nebenprodukte 12%. Die energetische Nutzung wird deutlich durch einen Beitrag von 48% Holz- und forstwirtschaftlicher Nebenprodukte dominiert. Darauf folgen 25% landwirtschaftliche Nebenprodukte und 21% Siedlungsabfall und Klärschlamm. Auch 0,6 Mt TM von 2,3 Mt TM Reststoffe von sonstigen Flächen tragen zur energetischen Nutzung bei. Für 74% des technischen Potenzials der Reststoffe von sonstigen Flächen lässt sich dessen Nutzung jedoch nicht differenzieren. Hier besteht großer Forschungsbedarf, der bereits bei der in-situ Stichprobennahme z. B. von Straßen- und Bahnbegleitholz ansetzen sollte.

Aus der gesonderten Betrachtung der Top 15 Reststoff-Potenziale ergibt sich, dass $\geq 80\%$ des technischen Potenzials der biogenen Sekundärressource von 15 der 77 Biomassen beigetragen wird. Abgesehen von internen Rangwechsell sind das mit Ausnahme von drei der elf Bezugsjahre (2010, 2011 und 2016) immer die gleichen Biomassen. Runtergebrochen auf die Biomassen einzelner Sektoren bedeutet das, dass häufig einige wenige Biomassen den Kurs der Sektorpotenziale insbesondere in Rankings, vorgeben. Die schon in MoBi I eingeführte Betrachtung der „Top Biomassen“ konnte jetzt mit dem Vorliegen von 11 Jahresscheiben vollständig gerechtfertigt werden. Die Betrachtung der Top-Biomassen ist besonders für das technische und das mobilisierbare Potenzial sehr sinnvoll, bei denen der Beitrag über die erfassten Jahre jeweils $\geq 80\%$ des Gesamtpotenzials ausmacht und diese Marke z. T. auch schon mit weniger (6-10) Biomassen erreicht wird.

Im Sektor landwirtschaftliche Nebenprodukte sind es vor allem die Wirtschaftsdünger Rindermist und Rindergülle, deren Abnahme in der Monitoringperiode 2010–2020 das Sektorpotenzial wesentlich beeinflusst. In diesem Zeitraum sinkt das Biomassepotenzial von Rindermist im Top 15 Ranking des technischen Potenzials von Platz 5 auf Platz 9 ab, während Rindergülle erst in 2018 vom vierten auf den fünften Platz sinkt.

Im Sektor holz- und forstwirtschaftliche Nebenprodukte sind es vor allem der nahezu stetige Anstieg des Biomassepotenzials der Sägenebenprodukte und Hobelspäne, sowie der seit 2016 fast kontinuierliche Anstieg des technischen Potenzials von Altholz, die dazu führten, dass der Sektor seit 2018 in der Sektorrangfolge der wichtigsten Beiträge zum technischen Potenzial auf Rang zwei vor die landwirtschaftlichen Nebenprodukte gerückt ist.

Der Sektor Siedlungsabfälle und Klärschlamm führt in der Rangfolge der größten Beiträge zum technischen Potenzial. Altpapier war das mit Abstand wichtigste Biomassepotenzial des Sektors. Es sinkt aber seit Beginn der Monitoringperiode. Demgegenüber steigt Grüngut, das zweitwichtigste technische Potenzial des Sektors, fast über die gesamte Monitoringperiode mehr oder weniger kontinuierlich an.

Der Sektor industrielle Reststoffe trägt nur etwas mehr als die Hälfte der drei zuvor genannten Sektoren zum technischen Potenzial bei und liegt auf Platz vier der Rangfolge der Sektorpotenziale. Aus 14 Einzelbiomassen bestehend wird das Sektorpotenzial wesentlich von dem mit Abstand größten Biomassepotenzial der Reststoffe aus Ölmühlen beeinflusst.

Der Sektorbeitrag der Reststoffe von sonstigen Flächen liegt nur bei etwas über einem Zehntel der drei führenden Sektorenpotenziale. Im Sektor selbst dominiert die Biomasse Holz von Landschaftspflegeflächen, aber alle Biomassen des Sektors zeigen nur geringfügige Änderungen über die Jahre. Für eine geringe Variation spricht, dass vier der elf Biomassen von Randstreifen (Straßen und Bahnrassen) stammen und diese Flächen nur noch begrenzt Änderungen erfahren können. Trotzdem ist die scheinbare Konstanz in Biomassepotenzialen und Sektorpotenzial aber mit großer Wahrscheinlichkeit nicht wahrheitsgetreu. Vielmehr ist klar ersichtlich, dass die Datenlage „um wie viel Biomasse es sich auf den Flächen handelt“ wenig differenziert und z. T. auch schon älter ist. Auch wenn es sich hier um das kleinste Sektorpotenzial handelt, gibt es hier grundsätzlich grossen Forschungsbedarf.

Insgesamt schwankt das technische Potenzial der biogenen Sekundärressource in der Monitoringperiode 2010–2020 zwischen Mittelwerten von 109,4 Mt TM in 2012 und 113,1 Mt TM in 2014. Eine kontinuierliche Abnahme oder Steigerung kann bis dato nicht konstatiert werden. Letzteres wäre nach bisheriger Voraussicht nur durch eine erhebliche Optimierung der Flächennutzung unter geänderten regulatorischen Rahmenbedingungen möglich. Über den Monitoringzeitraum wird aber auch ein nicht-ausgeschöpftes mobilisierbares Potenzial ausgewiesen das im Mittelwert zwischen 27,8 Mt TM in 2018 und 31,9 Mt TM in 2014 schwankt.

Schlussfolgerungen zur Reststoff-Monitoringperiode 2010–2020

Auf Grundlage der jetzt erheblich erweiterten Datenlage erscheint es unwahrscheinlich, dass die wachsende Bioökonomie auch auf massiv wachsendes technisches Potenzial biogener Sekundärressourcen zurückgreifen kann. Folgerichtig empfehlen sich vor allem drei Optionen, um auch mithilfe politischer Regulierung wachsende Bedarfe zum Teil zu decken:

1. An vorderster Stelle steht technisch aber vor allem auch regulativ zu ermöglichen, einen größeren Teil des mobilisierbaren Potenzials zu heben.
2. Zum anderen können Regulierungen bzw. Anreize noch stärker dahingehend geschärft werden, dass auch Sekundärressourcen in die gesamtökonomisch und nachhaltig günstigste Nutzung fließen. Hier muss auch die Abstimmung von Regelungen unterschiedlicher Zielsetzung erneut betrachtet werden.
3. Es sollte mit etwas Abstand genau betrachtet werden, wo mögliche Importe von nachhaltig nutzbaren Biomassen oder bio-basierten Produkten aus Abfall- und Reststoffen nicht nur im nationalen, sondern sogar im globalen Kontext Vorteile bringen, sodass z. B. Klimawandelbegrenzung vorrangig im internationalen Kontext gewertet wird.

Arbeitspaket 2: Herkunftsanalyse

AP 2 hatte zum Ziel, die Herkunft verschiedener nach Deutschland importierter Biomasse-Stoffströme aus dem Agrar-, Forst- und Fischereibereich zu analysieren. Dazu sollten sowohl die Einfuhren von Rohwaren als

auch von biobasierten Halb- und Fertigwaren betrachtet werden. Diese Analysen waren auch Grundlage für die Nachhaltigkeitsbewertung, die für Import Commodities (AP 4) durchgeführt wurde.

Grundsätzliche Idee für dieses AP war, die für den Handel mit Holzprodukten entwickelte Tracing-Methode (Bösch et al. 2023) auch auf die Bereiche Agrar und Fischerei anzuwenden. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Verfügbarkeit globaler Daten, konnte dies jedoch nicht direkt umgesetzt werden. Es wurden daher für die in AP 4 analysierten Import Commodities spezifische Berechnungsverfahren angewendet, um die Herkunftsländer der nach Deutschland eingeführten Biomassen zu identifizieren.

Für den Agrarbereich wurden die Import Commodities Rindfleisch und Soja betrachtet. Das methodische Vorgehen und die Ergebnisse wird in Kapitel 4 des MoBi II Working Papers (Schweinle et al. 2025) beschrieben. Weiterhin wurde im Rahmen des Projektes eine detaillierte Herkunftsanalyse sowie Nachhaltigkeitsbewertung von Zellstoff vorgenommen. Die Ergebnisse wurden in Pozo et al. (2024) veröffentlicht.

Die Ergebnisse für die Herkunftsanalyse im Bereich Fischerei wurden bislang noch nicht veröffentlicht. Daher erfolgt an dieser Stelle eine ausführliche Darstellung der Herkunftsanalyse aquatischer Biomasse, die im Rahmen des Projektes MoBi II durchgeführt wurde.

Aquatische Biomasse

Deutschland ist bei der Versorgung mit aquatischer Biomasse stark von Importen abhängig, wobei die Selbstversorgungsrate seit den 2000er zwischen 20 und 30% liegt. Aufgrund dieser hohen Importabhängigkeit gewinnt die Frage nach dem Ursprungsland der aquatischen Biomasse an Bedeutung.

Bei der aquatischen Biomasse liegt das Interesse jedoch eher bei der Herkunft einzelner Warengruppen. Daher wurde für diesen Bereich der Ansatz stark abgewandelt. Ausgehend von Deutschland wurden Versorgungsbilanzen für die Länder erstellt, die als Exporteure einer bestimmten Ware für Deutschland fungieren. Um diesen vereinfachten Ansatz zu testen, wurde exemplarisch die Herkunftsanalyse des in Deutschland konsumierten Atlantischen Lachses durchgeführt.

Als Grundlage diente der für das Bezugsjahr 2020 erstellte Lachs-Stoffstrom (Abbildung 11). Lachs wird fast ausschließlich importiert. Rund 62.000 t ganzer Lachs (Rohware) wurden importiert. Laut Außenhandelsstatistik machte der Atlantische Lachs 91 % der ganzen importierten Lachse aus. Aufgrund der mengenmäßigen Relevanz beziehen sich alle weiteren Analysen auf den Atlantischen Lachs.

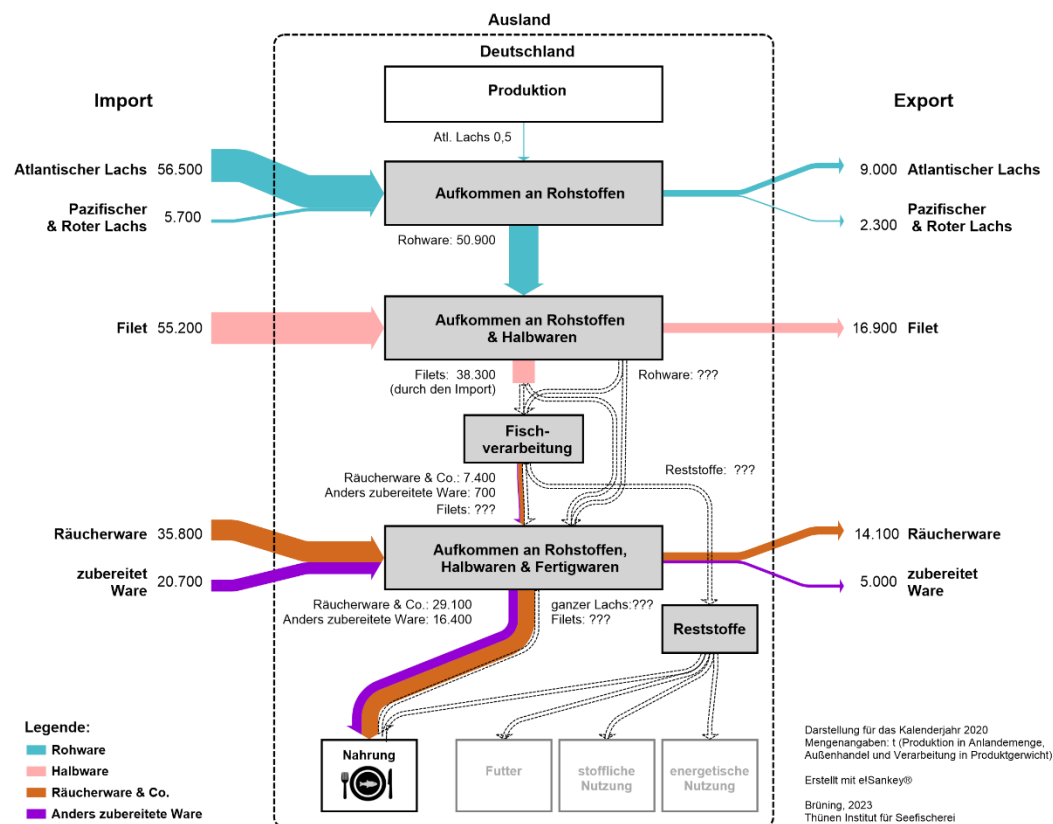


Abbildung 11: Stoffstrom Lachs für das Jahr 2020

Abbildung 12 zeigt die prozentuale Zusammensetzung der Exporteure von Atlantischem Lachs nach Deutschland, aufgeschlüsselt nach Mengen. Am meisten wurde aus Dänemark und Schweden importiert, doch diese haben keine bzw. keine großen Mengen an Lachsproduktion und sind somit nur „Zwischenländer“ auf dem Weg vom Ursprungsland nach Deutschland. Um dieses Ursprungsland zu identifizieren, wurden

daher für jedes der dargestellten Länder zwei Hauptfaktoren ermittelt: die inländische Produktionsmenge und die Importmenge von ganzem Atlantischen Lachs unterteilt in die verschiedenen Exporteure. Anhand dieser Daten wurde die Zusammensetzung der verfügbaren ganzen Fische in jedem Land berechnet. Abbildung 13 zeigt exemplarisch die ermittelte Zusammensetzung des Aufkommens an ganzem Atlantischen Lachs in Dänemark.

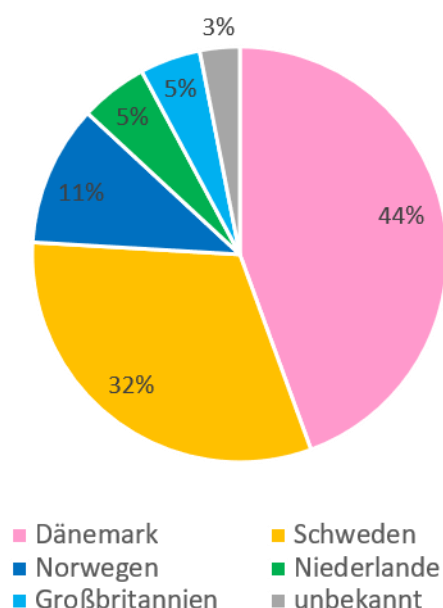


Abbildung 12: Mengenanteil der Exporteure von ganzem Atlantischen Lachs nach Deutschland

Dänemark hat ca. 180.000 t von ganzen Atlantischen Lachs importiert. Davon stammten ca. 6.700 t Produktgewicht aus Deutschland. Um die Berechnung zu vereinfachen, wurde diese Menge von der Gesamtmenge an Importen nach Dänemark subtrahiert, sodass mit einer Importmenge von ca. 173.300 t die weiteren Berechnungen durchgeführt wurden.

Neben den Importen an ganzem Atlantischen Lachs, hatte Dänemark eine inländische Produktion von 1.966 t. Um die Importe aus den verschiedenen Ländern und die inländische Produktion ins Verhältnis setzen zu können, wurden die Importe in Lebendgewichtäquivalente (LWE) umgerechnet (Tabelle 1), sodass sich ein Aufkommen von 203.407 t LWE ergab.

Tabelle 1: Importe von ganzem Atlantischen Lachs nach Dänemark im Jahr 2020

	Tonnen LWE
TOP5 Importe	
Norwegen	172.219
Färöer	10.965
Island	8.772
Deutschland	7.773
Schweden	6.798
Restliche Länder	2.687
Summe	209.213
Summe ohne Deutschland	203.407

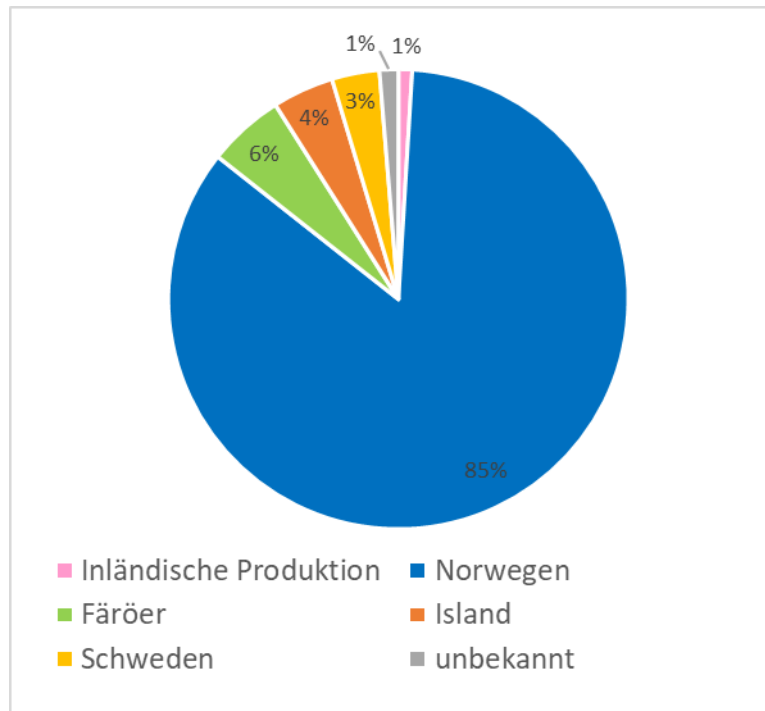


Abbildung 13: Prozentuale Zusammensetzung des Aufkommens an ganzem Atlantischen Lachs in Dänemark inkl. Eigenproduktion

Schweden macht 3 % der Importe von Dänemark aus (Abbildung 13), es wird aber zu 99,8 % mit Atlantischem Lachs aus Norwegen versorgt. Deshalb werden diese 3 % aus Schweden Norwegen zugerechnet, wodurch sich der norwegische Anteil auf 88 % erhöht.

Nachdem dieses Vorgehen auf alle 5 Exporteure von ganzem Atlantischen Lachs nach Deutschland angewandt wurde, wurden die ermittelten Mengen eines Herkunftslandes addiert (Tabelle 2). Sehr kleine Mengen, wie z.B. die Menge die aus der dänischen Produktion stammte, wurden vernachlässigt und der Menge „unbekannt“ hinzugerechnet.

Tabelle 2: Deutschlands bilaterale Handelspartner als Exporteure nach Deutschland und deren identifizierte Herkunftsländer von Atlantischem Lachs (Menge in Tonne Produktgewicht)

Exporteur nach Deutschland	Herkunftsländer von den Exporteuren				
	Norwegen	Island	Färöer	Großbritannien	unbekannt
Dänemark	22,111.39	1,083.50	1,354.29	0	574.78
Schweden	17,772.23	0	0	0	42.18
Norwegen	6,198.69	0	0	0	0
Niederlande	1,977.43	698.18	12.66	0	292.77
Großbritannien	537.29	28.98	176.29	1,905.64	26.52
unbekannt	_*	_*	_*	_*	1,756.22
Summe	48,597.04	1,810.66	1,543.25	1,905.64	2,692.47
Anteil	85.9%	3.2%	2.7%	3.4%	4.8%

_* genauer Wert ist unbekannt

Abschließend lässt sich sagen, dass mindestens 86 % des von Deutschland importierten Atlantischen Lachs in Norwegen produziert wurde, wovon aber der Großteil über andere Länder importiert wird (Tabelle 2). Außerdem stammen jeweils 3 % aus Island, den Färöer und Großbritannien. Ca. 5 % der Importe konnten nicht eindeutig einem Herkunftsland zugeordnet werden (Abbildung 14). Deutschland importierte Lachs aus 25 Ländern, die Top 5 machten bereits 97% der Importe aus. Die Methode wurde nur auf diese Top 5 angewandt, um den umfangreichen Rechenaufwand zu begrenzen. Die Genauigkeit könnte durch weitere separate Rechnungen für Exporteure oder Erweiterung der analysierten Herkunftsländer erhöht werden.

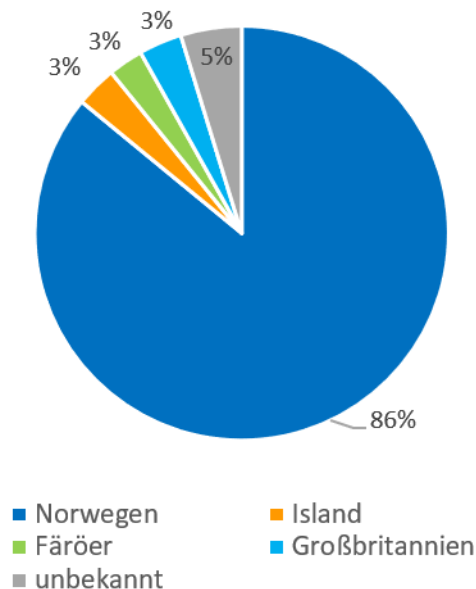


Abbildung 14: Anteil der Herkunftsländer an Atlantischem Lachs am Import nach Deutschland

Die hier gezeigten Ergebnisse machen deutlich, dass mit Hilfe der beschriebenen Methode die Herkunftsanalyse von Rohware möglich ist. Als nächster Schritt sollte die Methode erweitert werden, um auch die Herkunftsländer von Halb- und Fertigwaren der aquatischen Biomasse zu identifizieren. Diese Erweiterung ist ein wichtiger Teil der fortlaufenden Methodenentwicklung und könnte den Anwendungsbereich des Verfahrens erheblich vergrößern.

Arbeitspaket 3: Substitutionseffekte, Kaskadennutzung und Ressourceneffizienz

Wiederverwendung und Effizienz sind zentral für die Entwicklung einer nachhaltigen Bioökonomie in Deutschland (BMBF und BMEL 2020). In diesem Arbeitspaket wurden drei relevante Konzepte zur Steigerung der Effizienz der Biomassennutzung durch die Optimierung der Abfall- und Reststoffströme beschrieben. Während diese Konzepte im Mittelpunkt politischer Strategien stehen, wird in der wissenschaftlichen Literatur jedoch noch eine Vielzahl von Methoden zum Monitoring der Kreislaufwirtschaft und ihrer Komponenten erprobt und diskutiert. Die Vielfalt der Biomassen und ihrer Verwendungszwecke trägt zur Komplexität des Monitorings der Kreislaufwirtschaft bei, ebenso wie der Mangel an konsistenten und umfassenden Daten zu den Biomasseströmen. Die Möglichkeiten, diese mit zuverlässigen und robusten Daten zu überwachen, unterscheiden sich beträchtlich (z.B. je nach Reststoffstrom, Sektor und Neuheitsgrad).

Kaskadennutzung:

Das Konzept der Kaskadennutzung bezieht sich meist auf die stoffliche Nutzung von Biomasse, insbesondere auf Holz (Vis et al. 2016; Kalverkamp et al. 2017). Ursprünglich war der Begriff „Kaskadennutzung“ jedoch nicht auf Biomassen beschränkt. Er wurde erstmals von Ted Sirkin in den frühen 1990er Jahren eingeführt und als „Methode zur Optimierung der Ressourcennutzung durch eine sequentielle Wiederverwendung der verbleibenden Ressourcenqualität von zuvor verwendeten Rohstoffen und Substanzen“ definiert (Sirkin und Houten 1994). Bei der Weiterentwicklung des Konzepts wurde deutlich, dass mit der „Kaskadierung“ unterschiedliche Ziele verfolgt werden können (Fraanje 1997; Odegard et al. 2012):

- Kaskadierung in der Zeit: Ziel ist es, die Dauer der Nutzung in jeder Kaskadenstufe zu verlängern und/oder möglichst viele Kaskadenstufen zu integrieren.
- Kaskadierung in Bezug auf Wert: Die optimale Konfiguration der Kaskade kann dadurch erreicht werden, dass in jeder Kaskade der höchstmögliche Wert priorisiert wird und der Qualitätsverlust zwischen den einzelnen Kaskaden so weit wie möglich minimiert wird.
- Funktionskaskade: Optimierung der Nutzung der einzelnen (Neben-)Produkte in einem Biomassestrom.

In der Praxis ist es nicht immer möglich, alle Ziele gleichzeitig zu erreichen. Wenn der Fokus ausschließlich auf einem dieser Aspekte liegt, kann dies zudem zu Zielkonflikten führen (Olsson et al. 2018). Ein Wertverlust wird häufig als ein Kernelement der Kaskadennutzung angesehen (daher der italienische Ursprung des Wortes „cascare“ – „fallen“). Dies unterscheidet den Begriff im Allgemeinen vom Recycling (Fehrenbach et al. 2017). Dennoch gibt es viele unterschiedliche Definitionen von Kaskadennutzung, die von der optimierten Nutzung von Biomasse (wie beim Recycling) bis hin zur optimierten Nutzung von Nebenprodukten oder Abfall reichen.

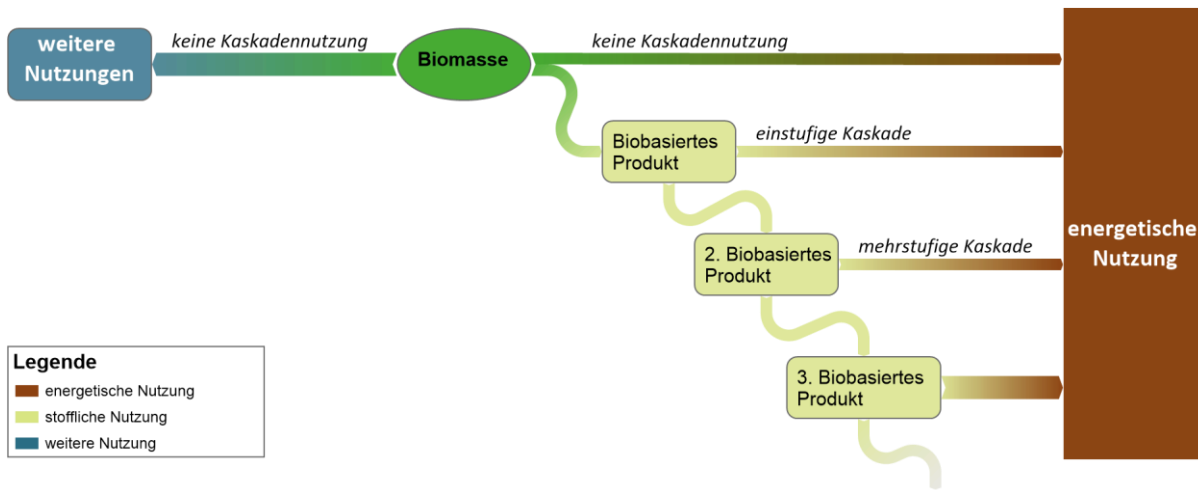


Abbildung 15: Kaskadennutzungsprinzip – Visualisierung basierend auf (Sirkin und Houten 1994) und Fehrenbach et al. (2017)

Kreislaufwirtschaft:

Obwohl sich die Konzepte der „Kaskadennutzung“ und der „Kreislaufwirtschaft“ parallel entwickelt haben, bleiben sie erstaunlich unverbunden in der aktuellen Literatur (Mair und Stern 2017). Das Konzept der Kreislaufwirtschaft basiert auf dem „R-Prinzip“, wobei die Ausgestaltung im Detail variiert und von einem kurzen „3-R-Prinzip“ (reduce, reuse und recycle) bis zu einem differenzierten „10-R-Prinzip“ (erweitert um einen oder mehrere der folgenden Begriffe: refuse, repair, refurbish, remanufacture, repurpose, recover, remine) reicht (Reike et al. 2018). Dieses Konzept ist in den vergangenen Jahren immer populärer geworden, obwohl es keine allgemein gültige und klare Definition gibt. Zwei Übersichtsartikel weisen auf insgesamt über 300 verschiedene Definitionen hin (Kirchherr et al. 2017; Kirchherr et al. 2023). Im Gegensatz zum Konzept der Kaskadennutzung enthält nur etwa ein Drittel der Kreislaufwirtschaftsdefinitionen ein Ranking oder eine Priorisierung von Maßnahmen (Kirchherr et al. 2023) und die Definitionen einer Kreislaufwirtschaft fokussieren sich zunehmend auf eine Systemperspektive (Kirchherr et al. 2017). Allgemein gehalten, handelt es sich bei Kreislaufwirtschaftskonzepten um Strategien zur Verlängerung der Lebensdauer von Ressourcen (Blomsma und Brennan 2017).

Anwendbarkeit auf biobasierte Produkte:

In der Realität führt die Nutzung von Produkten zu einem Materialverlust (Verschwendung, Abnutzung) und zu einem Qualitätsverlust (Materialvermischung, Strukturverlust) (Giampietro 2019; Cullen 2017; Figge et al. 2018; Figge et al. 2023). Eine Besonderheit von biobasierten Produkten ist, dass sie nicht so häufig recycelt werden können wie z.B. Metalle, da sich die Struktur der Biomasse abnutzt (Navare et al. 2021; Carus und Dammer 2018; Jarre et al. 2020). Beim Recycling von Papier beispielsweise verkürzen sich die Fasern, was die Qualität mindert (Allwood 2014). Dieser unvermeidliche Qualitätsverlust erklärt, warum für Biomasse häufig das Konzept der Kaskadennutzung verwendet wird (Navare et al. 2021).

Bei der Nutzung biobasierter Produkte als Nahrungsmittel gibt es verschiedene Optionen für eine Optimierung der Ressourceneffizienz, wobei die erste Priorität eindeutig in der Vermeidung von Abfällen liegt. Die von der US-Umweltschutzbehörde entwickelte Skala für Lebensmittelverschwendung (Abb. 3, links) legt nahe, dass auf der Grundlage des Gesamtziels, die Menschheit zu ernähren, eine Skala verwendet werden kann, um den geeigneten Umgang mit Lebensmittelabfällen zu bestimmen (US-EPA 2023). Ein ähnliches Bewertungsinstrument wurde von der Gemeinsamen Forschungsstelle der Europäischen Kommission entwickelt (Sanchez Lopez et al. 2020), basierend auf einer Nutzungshierarchie für Lebensmittelabfälle.



Abbildung 16: EPA 2023: Die Skala der Lebensmittelverschwendung: Die neue EPA-Rangliste für Lebensmittelverschwendung auf der Grundlage von Lebenszyklus- und Kreislaufwirtschaftsanalysen.

Kuppelproduktion/ Koppelproduktion:

Im Lebensmittelsektor ist eine Wiederverwendung von Biomasse kaum möglich. Daher geht es bei der Steigerung der Effizienz in erster Linie um die Nutzung von „Reststoffen“ für die Herstellung einer Vielzahl von Produkten (d. h. Kuppel- oder Nebenprodukten). Dieser Ansatz wird auch als „Funktionskaskade“, „Kuppelproduktion“ oder „Koppelproduktion“ bezeichnet. Es handelt sich hierbei um die Produktion verschiedener funktionaler Ströme (z. B. Protein, Öl und ein Energieträger) aus einem Biomassestrom, wodurch die gesamte funktionale Nutzung maximiert wird (Odegard et al. 2012). Kuppelproduktion beschreibt die Nutzung von dem Material, das neben dem Zielrohstoff anfällt, ein Umstand, der aus natürlichen oder technischen Gründen unvermeidbar ist. Die dabei entstehenden Produkte können unterschiedlicher Art und Qualität sein (Oenning 1997) und verschiedene Produktionsverfahren oder -systeme können kombiniert werden, um Synergien zu schaffen und so die übergreifende Ressourceneffizienz zu steigern (Odegard et al. 2012).

Kuppelproduktion

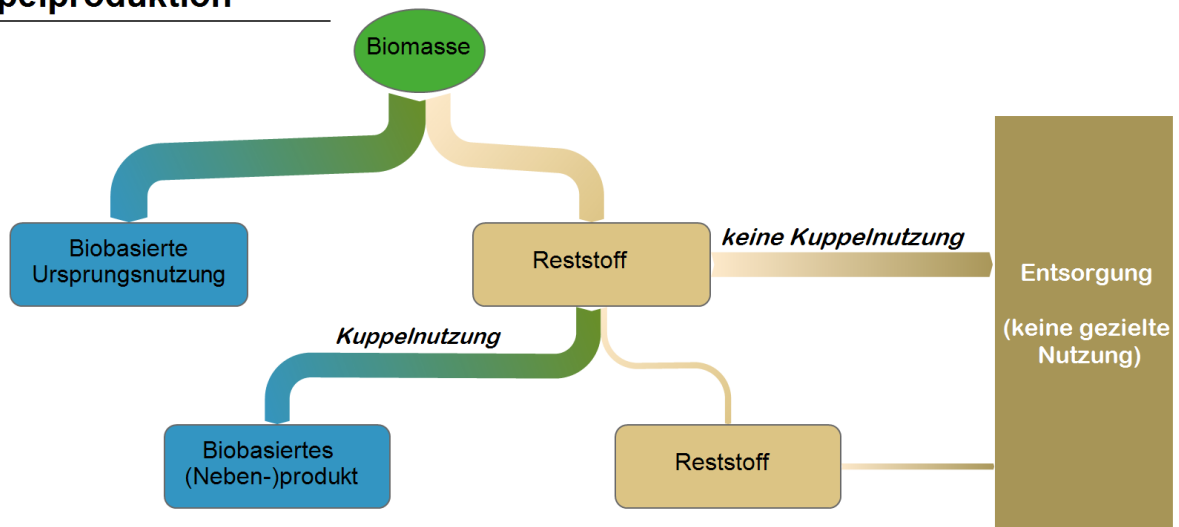


Abbildung 17: Kuppelproduktionsprinzip. Eigene Darstellung

Integration in das Bioökonomie-Monitoring:

Die Forschung zur Stärkung dieser Aspekte im Bioökonomie-Monitoring hat gezeigt, dass je nach Art und Nutzungspfad der Biomasse unterschiedliche Aspekte quantifiziert werden müssen.

Ist eine stoffliche Wiederverwendung möglich, wie dies bei Holzprodukten oder Textilien häufig der Fall ist, kann neben der Betrachtung der Kuppelproduktnutzung (Funktionskaskade) auch die zeitliche Kaskadierung oder Kreislauffähigkeit des Hauptprodukts quantifiziert werden. Eine umfangreiche Literatur- und Methodenrecherche hat gezeigt, dass es eine Vielzahl von Methoden zur allgemeinen Quantifizierung von Zirkularität und Kaskadennutzung gibt. Über 25 Methoden wurden für ein Bioökonomie-Monitoring in Betracht

gezogen. Drei Ansätze scheinen besonders geeignet und konsistent mit dem bestehenden Stoffstrom-basierten Monitoring Konzept und könnten für eine Integration in Betracht gezogen werden:

- Cascading Factor: Bezieht sich auf die Häufigkeit, mit der ein (hölzerner) Rohstoff als Input verwendet wird und damit neues Material ersetzen kann (Mantau 2012).
- Cascade-Use-Potential: Ermittelt das Potenzial der Kaskadennutzung durch den Vergleich der stofflichen mit der energetischen Nutzung von Primär- und Sekundärrohstoffen auf Basis von Zeitreihen (JRC 2023).
- Biomass Utilization Factor: Untersucht gleichzeitig, wie viel und wie oft eine Biomasse innerhalb eines biobasierten Lebenszyklus oder innerhalb eines bestimmten Sektors genutzt wurde (vom Berg et al. 2022).

Ist eine stoffliche Wiederverwendung nicht möglich, wie z. B. bei Lebensmitteln der Fall, liegt das Augenmerk auf der Effizienz der Produktion. Entsprechend sollte sich das Monitoring auf die Quantifizierung der Reststoffnutzung fokussieren (Bsp. Lachs – Stoffstrom Aquatische Biomasse). Voraussetzung für ein regelmäßiges Monitoring ist dabei die Aktualisierung öffentlich zugänglicher Daten über Produktion und Verarbeitung. Je nach Produkt oder Sektor kann es schwierig sein, an diese Daten heranzukommen, und es kann erforderlich sein, Annahmen zu treffen. Die Beschaffung von Daten über Reststoffe aus dem Lebensmittelsektor ist besonders schwierig. Dies steht im Gegensatz zu fest integrierten Systemen wie der Altpapiersammlung oder Pfandsystemen für Paletten, bei denen die Mengen verlässlich erfasst werden.

Fazit:

- In der aktuellen Literatur werden Methoden zur Überwachung der Ressourceneffizienz durch Quantifizierung von Kaskaden, Koppelproduktion und Kreislaufwirtschaft getestet und diskutiert. In der Praxis gibt es jedoch keine Methode, die für alle Bioökonomie Sektoren gleichermaßen anwendbar ist, da die Datenverfügbarkeit stark variiert.

- In der Forst- und Holzwirtschaft werden Daten über Reststoffströme und verwertete Biomasse über das Holzressourcenmonitoring überwacht, das nun als ständige Aufgabe am Thünen-Institut für Forstwirtschaft durchgeführt wird. Auf Basis dieses Monitorings liegen Daten vor, die auch für weitere Analysen zu Kaskaden, Koppelproduktion und Zirkularität im Rahmen eines Bioökonomie-Monitorings berücksichtigt werden können.

- Im Lebensmittelbereich geht es bei der Steigerung der Ressourceneffizienz vor allem um die Vermeidung von Abfällen und die Verwertung von industriellen Reststoffen zur Herstellung weiterer Produkte. Offizielle Statistiken über Rückstände aus der Lebensmittelproduktion sind meist nicht öffentlich zugänglich. Auf Grundlage von Expertenwissen innerhalb des Sektors können Näherungswerte ermittelt werden.

- Das Prinzip der Kaskadennutzung gibt der stofflichen Nutzung in der Regel den Vorrang vor der energetischen Nutzung.

- Die Kaskadenforschung konzentriert sich häufig auf die Stoffströme in Bezug auf die Menge der Biomasse, in Zukunft könnte ein stärkerer Forschungsschwerpunkt auf den Fluss der chemischen Verbindungen oder Elemente gerichtet werden, aus denen die Biomasse besteht. Ein solcher Fokus könnte verbesserte Kaskaden und Kreislaufoptionen aufzeigen.

Substitutionseffekte – Scoping Review

Die Substitution fossiler Ressourcen durch biobasierte Alternativen wird angestrebt, um nachhaltiges Wirtschaften voranzutreiben und die Ziele des Klimaschutzes zu erreichen. Das Konzept bewegt sich im Kontext der Bioökonomie, d.h. der Nutzung erneuerbarer biologischer Ressourcen für die Produktion von Gütern und Dienstleistungen. Ein vielversprechender Ansatz zur Förderung der Bioökonomie ist die Faktorsubstitution. Dies bedeutet, dass Produkte oder Dienstleistungen, die Biomasse enthalten, fossile Brennstoffe in der Energiegewinnung ersetzen könnten. Ebenso könnten sie in produktiven Sektoren wie dem Bauwesen als Alternative zu ressourcenintensiven Materialien wie Stahl oder Beton genutzt werden. Es gibt bereits eine Vielzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen, die Definitionen von Substitutionseffekten und entsprechende methodische Ansätze zu deren Quantifizierung enthalten. In diesem Arbeitspaket wurden durch die Analyse relevanter Fachliteratur vertiefte Einblicke in die Definitionen und Methoden zur Quantifizierung von Substitutionseffekten gewonnen.

Definitionen von Substitutionseffekten werden ganz überwiegend in Verbindung mit materieller und energetischer Substitution durch Waldbiomasse verwendet. In der analysierten Literatur verstehen wir unter Substitution das Ausmaß, in dem eine Ressource ein Äquivalent in einem Ressourcenpool hat, während sich der Substitutionseffekt auf die quantifizierbare Metrik bezieht, die sich aus der spezifischen Veränderung einer Endnutzungsressource ergibt. Darüber hinaus ist es von entscheidender Bedeutung, die Verfügbarkeit von Biomasse (aus Wäldern, der Landwirtschaft und der Fischerei) zu berücksichtigen und zu prüfen, wie sie zur Substitution fossiler Ressourcen beiträgt. Es ist quantitativ jedoch kaum möglich, fossile Ressourcen durch landwirtschaftliche oder aquatische Biomasse zu ersetzen. Daher wird überwiegend forstwirtschaftliche Biomasse für Substitutionszwecke verwendet. Dies zeigt das breite Anwendungspotenzial forstlicher Biomasse zur Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Ressourcen und zur Senkung fossiler Emissionen,

etwa durch den Einsatz von Holzprodukten in energetischen und stofflichen Verwendungen. Die Substitution fossiler Ressourcen erfolgt primär in den Wirtschaftssektoren Bauwesen, Energie und Forstwirtschaft. Weitere Sektoren wie Landwirtschaft, Verkehr und die chemische Industrie weisen ebenfalls Potenziale für den Einsatz von Biomasse als Ersatz für fossile Rohstoffe auf, allerdings in begrenzterem Umfang. Von Bedeutung für das bestehende Bioökonomie Monitoring, ist die Quantifizierung der Effekte, die sich aus den unterschiedlichen Verwendungen der Biomassen ergeben.

Die Literaturanalyse zeigt, dass Lebenszyklusanalyse (LCA) bzw. Ökobilanzierung der vorherrschende methodische Ansatz für die Analyse von Substitutionseffekten ist. Zur Untersuchung der spezifischen Veränderungen, die sich aus der Wahl einer Ressource gegenüber einer anderen ergeben, werden bevorzugt Indikatoren zur Klimaschutzwirkung (z. B. Treibhausgasemissionen) herangezogen. Dies verdeutlicht die starke Orientierung an globalen Nachhaltigkeitszielen sowie den Schwerpunkt auf der Quantifizierung der Umweltauswirkungen der Biomassenutzung. Ein verbreiteter Ansatz zur Ermittlung der Effizienz von Biomasse bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen ist die Berechnung eines Verdrängungsfaktors (DF). In der analysierten Fachliteratur werden unterschiedliche Methoden zur Bewertung von Substitutionseffekten geprüft und diskutiert. In der Praxis ist die Ökobilanz jedoch nach wie vor die bevorzugte Methode, was auf ein breites politisches Interesse an Umweltauswirkungen zurückzuführen ist und andere Ansätze, die sich bspw. auf die wirtschaftlichen oder sozialen Auswirkungen fokussieren, in den Hintergrund drängt. Komplementierend stellt der DF eine leicht verständliche Metrik, zur Bewertung von Substitutionseffekten dar, mit Treibhausgasemissionen als nachvollziehbare Bezugsgröße. LCA-Methoden scheinen daher geeignet für das Monitoring und könnten in ein entsprechendes Rahmenwerk integriert werden. Die Abhängigkeit von einer einzigen Methode verdeutlicht jedoch den Bedarf an Standardisierung bei der Messung von Substitutionseffekten in verschiedenen Kontexten und Sektoren.

Die identifizierten Forschungslücken betonen die Notwendigkeit eines Monitoring-Konzepts, das verschiedene Methoden zur Bewertung der Auswirkungen von Substitution durch Biomasse sowie die Berücksichtigung neuer Themenfelder umfasst. Ein Forschungsschwerpunkt könnte zudem auf weniger erforschte Themen wie Verlagerungseffekte, Rebound-Effekte und Verdrängungsquoten gerichtet werden. Die Einbindung dieser Themen könnte ein besseres Monitoring von Substitutionseffekten innerhalb der Bioökonomie ermöglichen und aufzeigen, wie der Verbrauch eines substituierten Produkts in andere Sektoren oder Länder verlagert werden könnte, wie Effizienzsteigerungen im Ressourceneinsatz zu einem erhöhten Verbrauch in anderen Sektoren oder Regionen führen und dadurch die erwarteten Vorteile zunichtemachen, und wie Veränderungen in der Menge an Rohstoffen, die als Substitute dienen, identifiziert werden können, was die Abschätzung der daraus resultierenden Umweltauswirkungen beeinflusst. Eine wissenschaftliche Agenda für zukünftige Untersuchungen zu Substitutionseffekten in der Bioökonomie könnte daher integrativere Methoden zur umfassenden Bewertung der Biomassenutzung in unterschiedlichen Wirtschaftssektoren beinhalten.

Arbeitspaket 4: Monitoring von Nachhaltigkeitseffekten

Nachhaltigkeitseffekte von importierten land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen und Produkten

Etwa die Hälfte der Biomasse in Deutschland wird im Inland erzeugt, die andere Hälfte stammt aus internationalen Importen. Der größte Anteil dieser Importe stammt aus Asien und dem Pazifik (20 %), gefolgt von der übrigen EU sowie Mittel- und Südamerika. Das bedeutet, dass ein Großteil der mit der intensiven Landnutzung verbundenen Umweltauswirkungen in den Erzeugerländern entsteht (Jens Buller 2023). Dies wirft nicht nur ökologische Bedenken auf, sondern unterstreicht auch die sozialen und wirtschaftlichen Herausforderungen in diesen Exportländern. Angesichts dieser Verteilung ist die Bewertung der Nachhaltigkeitseffekte von importierter Biomasse im Herkunftsland von entscheidender Bedeutung für ein ganzheitliches Bioökonomie-Monitoring. In diesem Abschnitt wird der methodische Rahmen für die Bewertung der Nachhaltigkeitseffekte von importierten Rohstoffen vorgestellt.

Das primäre Ziel dieses Arbeitspaketes ist es, eine Methode zur Bewertung der Nachhaltigkeitseffekte von importierten Rohstoffen als Teil eines Bioökonomie-Monitoring-Rahmens vorzustellen. Um die Anwendbarkeit der Methode zu demonstrieren, wird der Schwerpunkt auf die Rückverfolgung der Herkunft drei wichtiger Rohstoffe Rindfleisch, Soja, und Zellstoff gelegt, um die wichtigsten Exporteure nach Deutschland und das Exportvolumen zu ermitteln und den Beitrag Deutschlands zu den Nachhaltigkeitseffekten dieser Rohstoffe in ihren Herkunftsländern zu quantifizieren. Während Rindfleisch und Soja ausführlich in Kapitel 4 des Thünen Working Papers ### behandelt werden, sind die Ergebnisse der Analyse für Zellstoff in Pozo et al. (2024) dargestellt.

Nachfolgend werden hier beispielhaft die wesentlichen Ergebnisse für Rindfleisch vorgestellt.

Konzept

Um eine umfassende Bewertung der Nachhaltigkeitseffekte von importierten Rohstoffen in ihren Produktionsländern durchzuführen und den Anteil Deutschlands an diesen Effekten durch Importe zu bestimmen, wenden wir einen integrierten Ansatz bestehend aus, Materialflussanalyse (MFA), Lebenszyklus-Nachhaltigkeitsbewertung (LCSA) und Logical Framework for Sustainability Assessment (LOFASA) an.

Nachhaltigkeitseffekte von importiertem Rindfleisch aus Argentinien

Rindfleisch ist ein wichtiger landwirtschaftlicher Rohstoff, der etwa 19 % des weltweiten Produktionswerts der Viehwirtschaft ausmacht und im Jahr 2020 weltweit bei über 245 Milliarden US-Dollar lag (FAO 2021). Obwohl die weltweite Nachfrage nach Rindfleisch als Proteinquelle steigt, macht es in den meisten Ländern weniger als die Hälfte des gesamten Fleischkonsums aus.

Zwischen 2012 und 2020 war Argentinien der wichtigste außereuropäische Exporteur von Rindfleisch nach Deutschland. Die wichtigsten Exportprodukte sind „Fleisch: von Rindern, Teile ohne Knochen, frisch oder gekühlt“ und „Fleisch: von Rindern, Teile mit Knochen (ausgenommen Schlachtkörper und Schlachtkörperhälften), frisch oder gekühlt“.

Da viele Waren über Rotterdam in die EU gelangen und von dort zum endgültigen Bestimmungsort transportiert werden, sollten auch die Importe in die und Exporte aus den Niederlanden identifiziert werden. Ein erheblicher Teil dieses importierten Rindfleischs wird verarbeitet und in Länder wie Deutschland, Frankreich, Italien, Spanien und Dänemark re-exportiert. Da sich die in Tracing Methode zur Rückverfolgung von Produkten leider nicht auf Agrarprodukte anwenden lässt und daher derzeit nicht identifiziert werden kann, wieviel Rindfleisch aus den Niederlanden re-exportiert wird (s. AP 2), sind Nachhaltigkeitseffekte nur für die Menge des direkt importierten Rindfleischs bestimmt worden.

Um Nachhaltigkeitseffekte der Rindfleischproduktion insgesamt und den durch Exporte nach Deutschland bedingten Anteil daran bestimmen zu können, ist zunächst eine Materialflussanalyse und eine Analyse des Rindfleischproduktionssystems durchgeführt worden.

Im Jahr 2022 wurden in Argentinien 12,90 Millionen Rinder geschlachtet, was zu einer Produktion von 2,96 Millionen Tonnen Fleisch nach Schlachtgewicht (CW) führte (s. Abbildung 18). Im gleichen Zeitraum exportierte Argentinien etwa 0,70 Millionen Tonnen Rindfleisch im Wert von 1,9 Milliarden Dollar. Die wichtigsten Importeure waren China (75 %), Israel (5 %), Deutschland (4 %), Chile (3 %), die USA (3 %) und die Niederlande (3 %) (USDA 2023a).

Generell kann die Rindfleischproduktion in Argentinien in zwei Hauptsysteme unterteilt werden (Kuh-Kalb und Aufzucht- und Mastsystem) mit drei Hauptphasen: Zucht, Aufzucht und Mast auf der Weide oder Aufzucht und Mast hauptsächlich mit Kraftfutter. In den letzten 30 Jahren ist Argentinien von einem weitgehend weidebasierten Produktionssystem zu einem intensiveren System übergegangen, bei dem etwa 80 % der Rinderproduktion in Mastbetrieben erfolgt.

Aufgrund des fehlenden Zugangs zu regionalen Daten sowie aufgrund des Fehlens regionalspezifischer Nachhaltigkeitsindikatoren ist die räumliche Systemgrenze die Rindfleischproduktion in Argentinien insgesamt. Die zeitliche Systemgrenze variiert zwischen dem Jahr 2000 und 2023, abhängig vom bewerteten Nachhaltigkeitseffekt. Die verwendete funktionale Einheit ist 1 Tonne Rindfleisch (Schlachtgewicht).

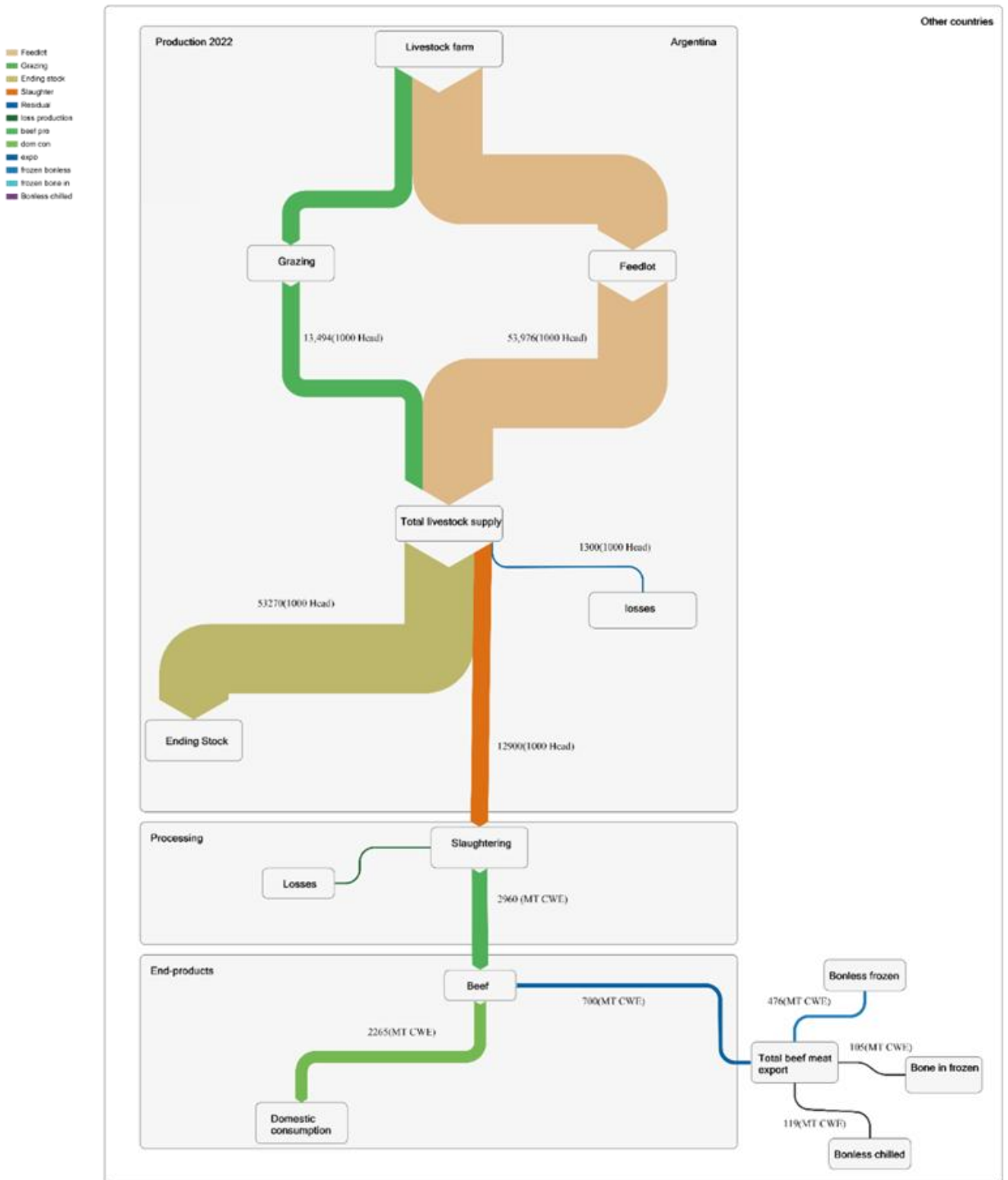


Abbildung 18: Materialfluss der Rindfleischproduktion in Argentinien im Jahr 2022 basierend auf Daten des USDA (2022)

Entwaldung

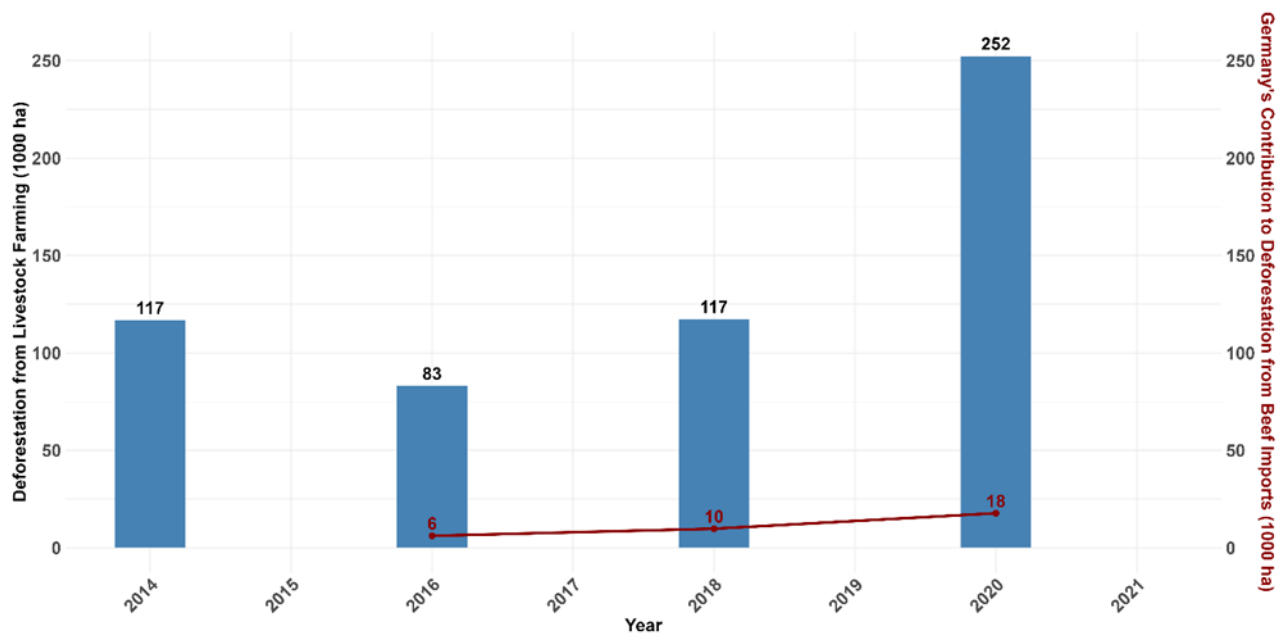


Abbildung 19: Entwaldung durch Viehwirtschaft in Argentinien und der Anteil Deutschlands durch Rindfleischimporte zwischen 2014 und 2021 - basierend auf Daten aus Primer Reporte de Actualización Bienal de la República Argentina (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable 2015)

Abbildung 19 zeigt, dass obwohl die Waldumwandlung zwischen 2014 und 2016 leicht zurückging, kehrte sich dieser Rückgang 2018 um. Die Umwandlungsrate erreichte wieder das Niveau von 2014. Bis 2021 hat sich die umgewandelte Waldfläche im Vergleich zu 2018 mehr als verdoppelt, wobei allein im Jahr 2020 mehr als 250.000 Hektar Wald in die landwirtschaftliche Nutzung überführt wurden. Der Beitrag Deutschlands zur direkten Entwaldung aufgrund von Rindfleischimporten aus Argentinien betrug 2016, 2018 und 2020 jeweils 6.000 ha, 10.000 ha und 18.000 ha. Das sind um die 10%.

THG-Emissionen

Die Ergebnisse dargestellt in Abbildung 20 zeigen, dass die enterische Fermentation den größten Beitrag zu den THG-Emissionen in den verschiedenen Bereichen der Rindfleischproduktion leistet, wobei die Emissionswerte von 2010 bis 2018 relativ stabil blieben. Direkte Emissionen aus kultivierten Böden sind die zweitgrößte Quelle, die in diesem Zeitraum ebenfalls stabil blieb, aber im Vergleich zum längerfristigen Trend von 2002 bis 2018 einen Rückgang aufwies. Die Schlachtphase wird bei diesen Berechnungen bewusst ausgeklammert, da ihr Beitrag zu den gesamten Treibhausgasemissionen vernachlässigbar ist und die Ergebnisse nicht wesentlich beeinflusst. Die rote Linie in der Abbildung 10 veranschaulicht den Beitrag Deutschlands zu den gesamten THG-Emissionen aus der Rindfleischproduktion, berechnet auf der Grundlage der Importmenge aus Argentinien in den jeweiligen Jahren. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde die rote Linie skaliert, um die Sichtbarkeit zu gewährleisten. Der Beitrag Deutschlands zu den Treibhausgasemissionen bleibt im Laufe der Zeit ziemlich konstant und liegt zwischen 90.000 und 130.000 Tonnen CO₂-Äquivalenten. Das sind weniger als 0,5%.

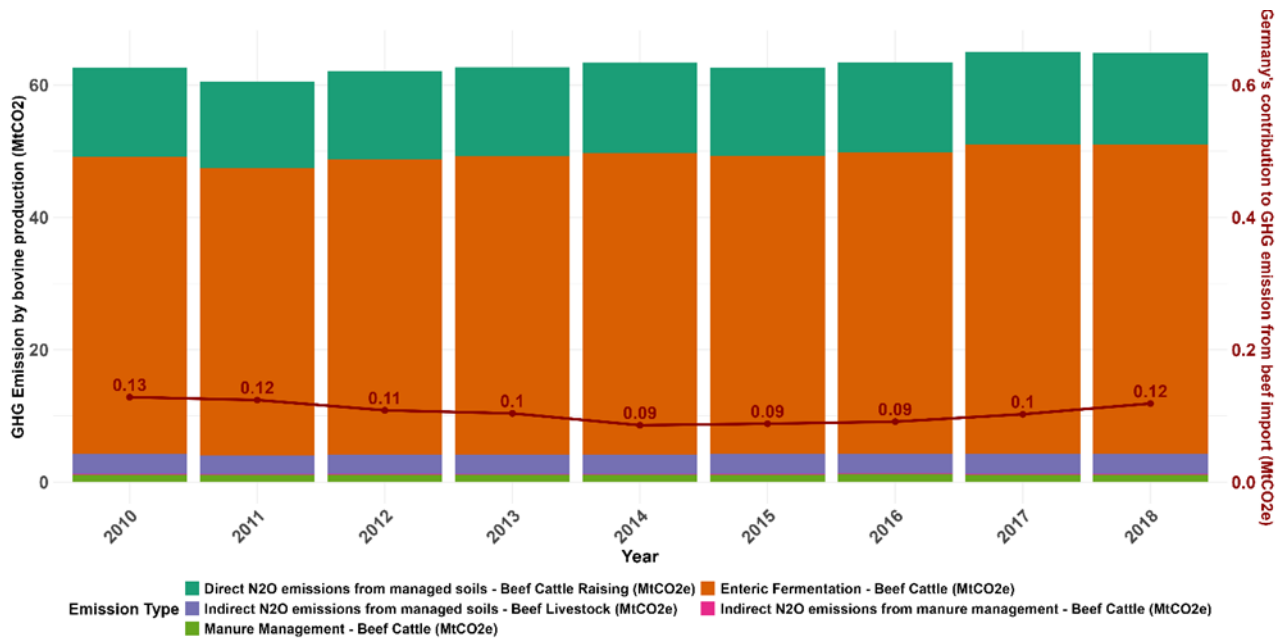


Abbildung 20: Treibhausgasemissionen von Rindern in Argentinien und der Beitrag Deutschlands zwischen 2010 und 2018 basierend auf Daten aus dem INVENTARIO NACIONAL DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2019) und (SENASA 2023).

Ökonomische Nachhaltigkeitseffekte: Bruttoinlandsprodukt der Rindfleischproduktion

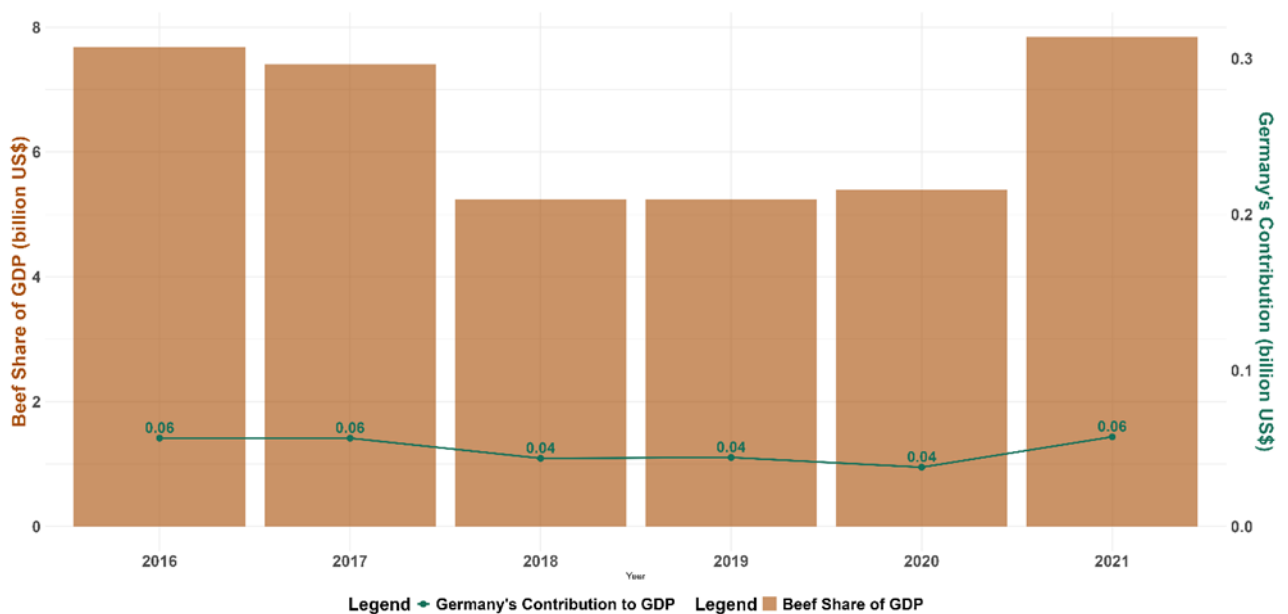


Abbildung 21: Beitrag der Rindfleischproduktion zum argentinischen BIP und der Beitrag Deutschlands durch Importe zwischen 2016 und 2021

Abbildung 21 veranschaulicht den Beitrag des Rindfleischsektors zum BIP von 2016 bis 2021 und zeigt einen Rückgang in den Jahren 2018, 2019 und 2020, gefolgt von einem Wiederanstieg im Jahr 2021. Die grüne Linie stellt den Beitrag Deutschlands zum BIP dar und spiegelt den Anteil der Rindfleischimporte aus Argentinien wider. Dieser Beitrag ist relativ stabil geblieben und schwankt während des gesamten Zeitraums zwischen 40 und 60 Mio. USD. Das sind weniger als 1% des Anteils der Viehwirtschaft am BIP Argentiniens.

Soziale Nachhaltigkeitseffekte: Beschäftigung in der Rindfleischproduktion

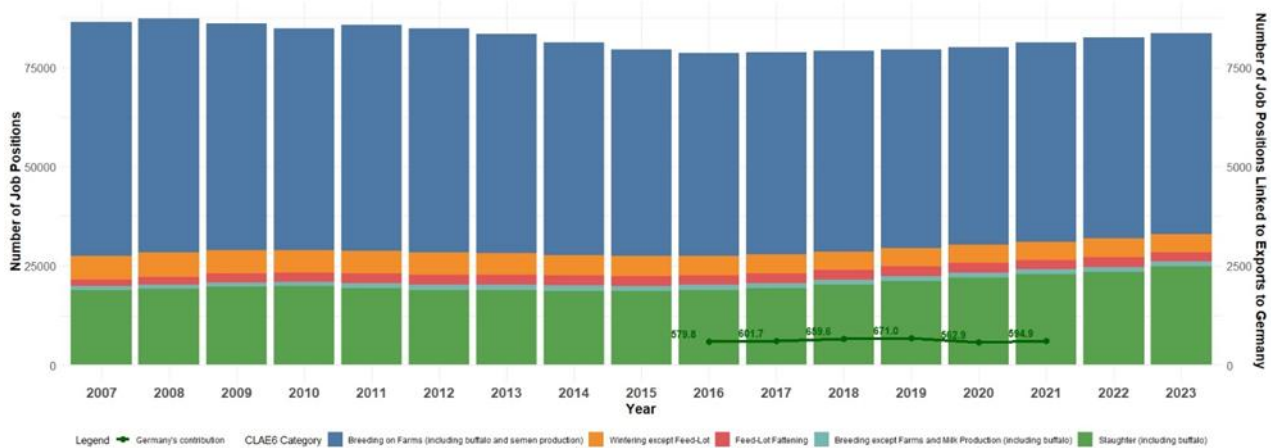


Abbildung 22: Arbeitsplätze in der argentinischen Rindfleischproduktion in Abhängigkeit von den Exporten nach Deutschland zwischen 2007 und 2023 auf der Grundlage des Ministerio de Desarrollo Productivo. Unidad Gabinete de Asesores. Dirección Nacional de Estudios para la Producción, (AFIP et al. 2023).

Abbildung 22 veranschaulicht die durchschnittliche jährliche Zahl der Arbeitsplätze in den verschiedenen Stufen der Rindfleischproduktion in Argentinien von 2007 bis 2023. Auf die „Zucht in landwirtschaftlichen Betrieben (einschließlich Stier- und Spermaproduktion)“ entfällt durchweg der größte Anteil an Arbeitsplätzen. Die übrigen Tätigkeiten - wie „Überwinterung ohne Mast“, „Fütterungsmast“, „Zucht außerhalb von Farmen und Milcherzeugung“ und „Schlachtung“ - tragen zu einem kleineren, aber stabilen Anteil zur Gesamtzahl der Arbeitsplätze in der Rindfleischproduktion bei.

Insgesamt zeigt Abbildung 12 eine gleichmäßige Verteilung der Arbeitsplätze über die Jahre hinweg, ohne wesentliche Veränderungen. Diese Stabilität deutet auf einen widerstandsfähigen Wirtschaftszweig hin, in dem das Beschäftigungsniveau im Laufe der Zeit relativ konstant geblieben ist. Die grüne Linie zeigt die Zahl der Arbeitsplätze, die vom Export von Rindfleisch nach Deutschland abhängen. Das sind im Zeitraum 2016 bis 2021 zwischen 560 und 620. Das sind weniger als 1% der in der Rindfleischproduktion Beschäftigten.

Zusammenfassung

Um eine umfassende Bewertung der Nachhaltigkeitseffekte von importierten Rohstoffen in ihren Produktionsländern durchzuführen, haben wir einen integrierten Ansatz bestehend aus Materialflussanalyse (MFA), Lebenszyklus-Nachhaltigkeitsbewertung (LCSA) und Logical Framework for Sustainability Assessment (LOFASA) angewendet. Am Beispiel von Rindfleisch aus Argentinien, Soja aus Brasilien und Zellstoff aus Uruguay können wir zeigen, dass mit dem gewählten Ansatz eine differenzierte Analyse von Nachhaltigkeitseffekten wichtiger Import-Commodities für alle Schritte der Wertschöpfungskette möglich ist. Führt man die Informationen aus den Produzentenländern mit Informationen zur Weiterverarbeitung, Verwendung und Entsorgung zusammen, erhält man ein vollständiges Bild von Nachhaltigkeitseffekten von Produkten, die aus importierter Biomasse hergestellt werden.

Aufgrund der Größe einzelner Produzentenländer (z. B. Brasilien, Argentinien) sollten vor allem ökologische Nachhaltigkeitseffekte möglichst regional erhoben werden, um den regionalen geographischen, klimatischen und naturräumlichen Unterschieden Rechnung tragen zu können. Nationale Durchschnittswerte tun dies nicht und können zu erheblicher Unter- oder Überschätzung von Effekten führen. Während für Brasilien regionale Daten vorliegen, sind diese für Argentinien noch nicht in vergleichbarer Qualität verfügbar. Insgesamt ist die Datenlage aber zufriedenstellend. Daten sind in amtlichen Statistiken, Verbandsstatistiken und wissenschaftlichen Untersuchungen zu finden. Bei deren Verwendung ist darauf zu achten, dass sie jeweils für den gleichen Bilanzraum erhoben worden sind. Ist dies nicht der Fall und können sie nicht auf den gleichen Bilanzraum skaliert werden, ist von einer Verwendung abzusehen.

Literatur

- AFIP, SIPA y. Aduana (2023): Estadísticas e Indicadores Nacionales. Online verfügbar unter <https://datos.produccion.gov.ar/dataset/puestos-de-trabajo-por-sector-productivo>.
- Allwood, Julian M. (2014): Squaring the Circular Economy. In: Ernst Worrell und Markus A. Reuter (Hg.): Handbook of recycling. State-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists. Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Sydney, Tokyo: Elsevier, S. 445–477.
- Beck-O'Brien M, Bringezu S, Banse M, Barrelet J, Bezama A, Bösch M, Brüning S, Bührlen B, Cabezas A, Cyffka K-F, Dzene I, Gordillo Vera F, Helander H, Henke J, Hennenberg K, Iost S, Kilian D, Pozo Inofuentes PS, Schweinle J, Weimar H, et al (2024) Monitoring the German bioeconomy: Status, performance, trends and implications for sustainable development. Kassel: Center for Environmental Systems Research (CESR); University of Kassel, 193 p, DOI:10.17170/kobra-2024111510679
- Blomsma, Fenna; Brennan, Geraldine (2017): The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. In: Journal of Industrial Ecology 21 (3), S. 603–614. DOI: 10.1111/jiec.12603.
- BMBF; BMEL (2020): Nationale Bioökonomiestrategie. Online verfügbar unter <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/nationale-bioekonomiestrategie-langfassung.pdf>, zuletzt geprüft am 27.01.2020.
- Brödner R., Cyffka K.-F., Fais A., Günther S., Kalcher J., Kazmin S., Naegeli de Torres F., Radtke K. S., Selig M., Sittaro F., Thrän D., Wilske B. (2024) Biomassepotenziale aus Abfällen und Reststoffen (Version v1). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10404436>
- Brosowski A. 2021. National Resource Monitoring for biogenic residues, by-products and wastes: Development of a systematic data collection, management and assessment for Germany. Dissertationsschrift. (DBFZ-Report, 41). Leipzig: DBFZ. [128] S. ISBN: 978-3-946629-74-0, <https://www.dbfz.de/pressemediathek/publikationsreihen-des-dbfz/dbfz-reports/dbfz-report-nr-41>
- Brosowski A, Krause T, Mantau U, Mahro B, Noke A, Richter F, Raussen T, Bischof R, Hering T, Blanke C, Müller P, Thrän D. 2019a. Schlussbericht „Arbeitsgruppe Biomassereststoffmonitoring“. Hrsg. Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe. <https://projekte.fnr.de/fileadmin/projektdateibank/22019215.pdf>
- Brosowski A, Krause T, Mantau U, et al. 2019b. How to measure the impact of biogenic residues, wastes and by-products: Development of a national resource monitoring based on the example of Germany. Biomass and Bioenergy 127:105275. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105275>
- Brüning S (2023) 27% Selbstversorgung auf deutschem Markt Warenstrom Hering und Heringserzeugnisse im Jahr 2021. Fischmag(5):44-46
- Carus, Michael; Dammer, Lara (2018): The Circular Bioeconomy—Concepts, Opportunities, and Limitations. In: Industrial Biotechnology 14 (2), S. 83–91. DOI: 10.1089/ind.2018.29121.mca.
- Cullen, Jonathan M. (2017): Circular Economy: Theoretical Benchmark or Perpetual Motion Machine? In: Journal of Industrial Ecology 21 (3), S. 483–486. DOI: 10.1111/jiec.12599.
- DBFZ-Ressourcendatenbank (2024) DE-Biomassemonitor. Open online Access zu den Potenzialen biogener Abfälle, Reststoffe und Nebenprodukte 2010–2020 in Deutschland; <https://datalab.dbfz.de/resdb/potentials?lang=de>
- FAO (2021): FAOSTAT. Online Database. Hg. v. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. Online verfügbar unter <http://faostat.fao.org/>.
- Fehrenbach, Horst; Köppen, Susanne; Kauertz, Benedikt; Detzel, Andreas; Wellenreuther, Frank; Breitmayer, Elke et al. (2017): Biomassekaskaden Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse - von der Theorie zur Praxis. Hg. v. UBA (53). 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 11.03.2020.
- Figge, Frank; Thorpe, Andrea Stevenson; Givry, Philippe; Canning, Louise; Franklin-Johnson, Elizabeth (2018): Longevity and Circularity as Indicators of Eco-Efficient Resource Use in the Circular Economy. In: Ecological Economics 150, S. 297–306. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2018.04.030.
- Figge, Frank; Thorpe, Andrea Stevenson; Gutberlet, Melissa (2023): Definitions of the circular economy: Circularity matters. In: Ecological Economics 208, S. 107823. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2023.107823.
- Fraanje, Peter J. (1997): Cascading of pine wood. In: Resources, Conservation and Recycling 19 (1), S. 21–28. DOI: 10.1016/S0921-3449(96)01159-7.

- Giampietro, Mario (2019): On the Circular Bioeconomy and Decoupling: Implications for Sustainable Growth. In: *Ecological Economics* 162, S. 143–156. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2019.05.001.
- Jarre, Matteo; Petit-Boix, Anna; Priefer, Carmen; Meyer, Rolf; Leipold, Sina (2020): Transforming the bio-based sector towards a circular economy - What can we learn from wood cascading? In: *Forest Policy and Economics* 110, S. 101872. DOI: 10.1016/j.forpol.2019.01.017.
- JRC (2023): Biomass production, supply, uses and flows in the European Union. Unter Mitarbeit von AVITABILE Valerio, BALDONI Edoardo, BARUTH Bettina, BAUSANO Giovanni, BOYSEN-URBAN Kirsten, CALDEIRA Carla et al. Hg. v. Publications Office of the European Union.
- Justus-Liebig-Universität Giessen. 2020. Gewährleistung einer ausreichenden Humusreproduktion bei der Nutzung von Getreidestroh für die Biogasproduktion / Maintaining soil organic matter levels in arable farming with straw removal for bioenergy production (Akronym: SOMenergy). Projekt-Schlussbericht. FNR, <https://www.fnr.de/ftp/pdf/berichte/22402914.pdf>
- Kalverkamp, Matthias; Pehlken, Alexandra; Wuest, Thorsten (2017): Cascade Use and the Management of Product Lifecycles. In: *Sustainability* 9 (9), S. 1540. DOI: 10.3390/su9091540.
- Kirchherr, Julian; Reike, Denise; Hekkert, Marko (2017): Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. In: *Resources, Conservation and Recycling* 127, S. 221–232. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.
- Kirchherr, Julian; Yang, Nan-Hua Nadja; Schulze-Spüntrup, Frederik; Heerink, Maarten J.; Hartley, Kris (2023): Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. In: *Resources, Conservation and Recycling* 194, S. 107001. DOI: 10.1016/j.resconrec.2023.107001.
- Mair, Claudia; Stern, Tobias (2017): Cascading Utilization of Wood: a Matter of Circular Economy? In: *Curr Forestry Rep* 3 (4), S. 281–295. DOI: 10.1007/s40725-017-0067-y.
- Mantau, Udo (2012): Wood flows in Europe. Hg. v. CEPI und CEI-Bois. Celle. Online verfügbar unter <http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/forest/2012/CEPIWoodFlowsinEurope2012.pdf>, zuletzt geprüft am 25.04.2019.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019): INVENTARIO NACIONAL DE GASES DE EFECTO INVERNADERO. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Online verfügbar unter <https://datos.gob.ar/dataset/agroindustria-producciones-sostenibles---emisiones-gei-provenientes-agricultura-ganaderia-otros>.
- Naegeli de Torres F, Brödner R, Cyffka K.-F, Fais A, Kalcher J, Kazmin S, Meyer R, Radtke KS, Richter F, Selig M, Wilske B, Thrän D. (2024) DBFZ Resource Database: DE-Biomass Monitor. Biomass Potentials and Utilization of Biogenic Wastes and Residues in Germany 2010-2020 [Data set]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10370137>, <https://zenodo.org/records/14273285>
- Navare, Kranti; Muys, Bart; Vrancken, Karl C.; van Acker, Karel (2021): Circular economy monitoring – How to make it apt for biological cycles? In: *Resources, Conservation and Recycling* 170, S. 105563. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105563.
- Odegard, Ingrid; Croezen, Harry; Bergsma, Geert (2012): Cascading of biomass 13 solutions for a sustainable bio-based economy. Making better choices for use of biomass residues, by-products and wastes. CE Delft. Delft.
- Oenning, Anja (1997): Theorie betrieblicher Kuppelproduktion. Heidelberg: Physica-Verlag HD.
- Olsson, Olle; Roos, Anders; Guisson, Ruben; Bruce, Lena; Lamers, Patrick; Hektor, Bo et al. (2018): Time to tear down the pyramids? A critique of cascading hierarchies as a policy tool. In: *WIREs Energy Environ* 7 (2), e279. DOI: 10.1002/wene.279.
- Pozo Infuentes PS, Bösch M, Schweinle J (2024) Monitoring the sustainability of the EU biomass supply: A novel hybrid approach combining tracing and selected sustainability impacts. *Land* 13(9):1366, DOI:10.3390/land13091366
- Reike, Denise; Vermeulen, Walter J.V.; Witjes, Sjors (2018): The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. In: *Resources, Conservation and Recycling* 135, S. 246–264. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.08.027.
- Ronzon T, Gurria P, Carus M, Cingiz K, El-Meligi A, Hark N, Iost S, M'Barek R, Philippidis G, van Leeuwen M, Wesseler J (2024) Assessing the bioeconomy's contribution to evidence-based policy: A comparative analysis of value added measurements. *Bio-Based App Econ* 13(4):317-331, DOI:10.36253/bae-14563 [Titel anhand dieser DOI in Citavi-Projekt übernehmen]
- Ronzon T, Iost S, Philippidis G (2022) An output-based measurement of EU bioeconomy services: Marrying statistics with policy insight. *Structural Change Econ Dynam* 60:290-301, DOI:10.1016/j.strueco.2021.10.005

Ronzon T, Iost S, Philippidis G(2022) Has the European Union entered a bioeconomy transition? Combining an output-based approach with a shift-share analysis. *Environ Dev Sustain* 24(6):8195–8217, DOI:10.1007/s10668-021-01780-8

Sanchez Lopez, J.; Patinha Caldeira, C.; Laurentiis, V. de; Sala, S.; Avraamides, M. (2020): Brief on food waste in the European Union. Hg. v. EU Commission. Online verfügbar unter https://joint-research-centre.ec.europa.eu/reports-and-technical-documentation/brief-food-waste-european-union_en, zuletzt geprüft am 30.06.2024.

Schweinle, J, Banse M, Barrelet J, Brüning S, Cyffka K-F, Gordillo Vera F, Iost S, Kilian D, Omid Saravani F, Weimar H, Wilske B (2025) Setting up a bioeconomy monitoring: Sustainability – Resources – Products. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 146 p, Thünen Working Paper 266, [10.3220/253-2025-27](https://www.thuenen.de/en/working-papers/266)

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2015): Primer Reporte de Actualización Bienal de la República Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires. Online verfügbar unter <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/informespais/primer-informe-bienal>.

SENASA (2023): National Service for Agri-Food Health and Quality. Animal chain - statistics. Online verfügbar unter <https://www.argentina.gob.ar/senasa/mercados-y-estadisticas/estadisticas/animal-estadisticas>.

Sirkin, Ted; Houten, Maarten ten (1994): The cascade chain. In: *Resources, Conservation and Recycling* 10 (3), S. 213–276. DOI: 10.1016/0921-3449(94)90016-7.

USDA (2022): Livestock and Products Annual. Argentina. United States Department of Agriculture (AR2022-0015). Online verfügbar unter https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Livestock%20and%20Products%20Annual_Buenos%20Aires_Argentina_AR2022-0015.pdf.

Vis, Martijn; Mantau, Udo; Allen, B. (Hg.) (2016): *Cascades - Study on the optimised cascading use of wood*. Report. Brussels.

vom Berg, Christopher; Carus, Michael; Piltz, Gunilla (2022): The Biomass Utilisation Factor (BUF). A new metric combining cascading use and production efficiency into one indicator for the circular bioeconomy. Hg. v. Nova-Institute.

Witing F, Prays N, O’Keeffe S, Gründling R, Gebel M, Kurzer H-J, Daniel-Gromke J, Franko U. 2018. Biogas production and changes in soil carbon input - A regional analysis. *Geoderma* 320, 105-114, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.030>

2. Verwertung

a) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Keine

b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Die Entwicklung eines Konzepts für das Monitoring der deutschen Bioökonomie hat keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten. Die Implementierung des Monitorings kann dennoch von großer Bedeutung für die Entwicklung der deutschen Bioökonomie sein, da es Informationen für z. B. einzelne Investitionsentscheidungen aber auch die nachhaltigere nationale und regionale wirtschaftliche Entwicklung zur Verfügung stellt. Akteure aus Industrie und Planungsprojekten belegen darüber hinaus, dass Bedarf nach Ergebnissen des Monitorings besteht.

c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Die im Projekt erarbeiteten Daten und Informationen zur deutschen Bioökonomie stehen Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft zur weiteren Verwendung in Planung, Entscheidungsfindung oder auch weiterer Forschung zur Verfügung. Die veröffentlichten MoBi II Ergebnisse, und im Besonderen die erweiterte ResDB, unterstützen zudem den Informationsauftrag der DBFZ gGmbH und stärken die Beratungskompetenz des DBFZ.

Das Monitoringkonzept ist so weit entwickelt, dass es implementiert werden kann. Es hat den Vorteil gegenüber anderen Ansätzen, dass die Bioökonomie in ihrer Gesamtheit erfasst wird und nicht auf die Primärproduktion und damit verbundene Umweltwirkungen fokussiert ist. Sowohl das stoffstrombasierte als auch das sektorale Monitoring umfasst die Bioökonomie als Ganzes. Stoffströme werden von der Primärproduktion bis zur Abfallverwertung erfasst und ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeitseffekte des gesamten Stoffstroms quantifiziert. Das sektorale Monitoring umfasst alle voll oder teilweise bio-basierten Wirtschaftszweige im Primär-, Sekundär- und Tertiärsektor. Die Erfassung von

Nachhaltigkeitseffekten erfolgt für die Gesamtheit der bio-basierten Wirtschaftszweige und fokussiert nicht wie andere Ansätze auf ökologische Effekte der Primärproduktion.

Das sektorale Monitoringkonzept ist nahezu identisch mit dem von der EU verfolgten Ansatz. Auch die EU betrachtet alle voll oder teilweise bio-basierten Wirtschaftszweige. Die Entwicklung fand im engen Austausch zwischen dem Thünen Institut und dem Joint Research Center der EU statt. Damit bestehen gute Voraussetzungen für ein harmonisiertes Monitoring der Bioökonomie in Deutschland und der EU.

In Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und/oder internationalen Organisationen und/oder Regierungen kann das entwickelte Monitoringkonzept auf andere Länder übertragen und angepasst werden. Dies ist für Uruguay bereits erfolgt.

d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die Entwicklung des Bioökonomie-Monitoring Konzeptes ist so weit fortgeschritten, dass kurz bis mittelfristig ein regelmäßig wiederkehrendes stoffstrombasiertes und sektorales Monitoring der deutschen Bioökonomie durchgeführt werden kann. Dazu müssen im nächsten Schritt die genauen Ziele, der Umfang, die zu erhebenden Kennzahlen und die Frequenz des Monitorings festgelegt werden und – falls erforderlich – das Monitoringkonzept darauf angepasst werden.

Sollten internationale Initiativen wie die G20 Initiative on Bioeconomy (GIB) mit dem Ziel fortgeführt werden, einen international harmonisierten Monitoringrahmen zu schaffen, müsste das Konzept wahrscheinlich noch entsprechend angepasst werden.

Die durch MoBi-II Teilvorhaben 2 erzielten technischen und wissenschaftlichen Fortschritte im Bereich Reststoffmonitoring rücken eine Fortführung des Monitorings und einem damit anwachsenden Informationsvolumen in greifbare Nähe.

Wissenschaftliche Nahziele in Bezug auf des Reststoffmonitoring sind auf der methodischen Seite vor allem die Berücksichtigung von Importen, und auf der taxonomischen Seite die Harmonisierung der begrifflichen und inhaltlichen Nutzung zwischen DBFZ-ResDB und den Monitoring-Projekten der Europäischen Kommission.

Weiterer Forschungsbedarf besteht im Hinblick auf die Integration von Ansätzen zur Erfassung von Substitutionseffekten und Kaskadennutzung in das Monitoring sowie die Herkunftsanalyse und Quantifizierung von Nachhaltigkeitseffekten weiterer Import-Commodities. Die Erfassung von Nachhaltigkeitseffekten sollte auf die gesamte Wertschöpfungskette von Import-Commodities ausgedehnt werden, um ein vollständigeres Bild zu erhalten.

3. Erkenntnisse von Dritten

Keine

4. Veröffentlichungen

Beck-O'Brien M, Bringezu S, Banse M, Barrelet J, Bezama A, Bösch M, Brüning S, Bührlen B, Cabezas A, Cyffka K-F, Dzene I, Gordillo Vera F, Helander H, Henke J, Hennenberg K, Iost S, Kilian D, Pozo Inofuentes PS, Schweinle J, Weimar H, et al (2024) Monitoring the German bioeconomy: Status, performance, trends and implications for sustainable development. Kassel: Center for Environmental Systems Research (CESR); University of Kassel, 193 p, DOI:10.17170/kobra-2024111510679

Brödner R., Cyffka K.-F., Fais A., Günther S., Kalcher J., Kazmin S., Naegeli de Torres F., Radtke K. S., Selig M., Sittaro F., Thrän D., Wilske B. (2024) Biomassepotenziale aus Abfällen und Reststoffen (Version v1). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10404436>

Brüning S (2023) 27% Selbstversorgung auf deutschem Markt Warenstrom Hering und Heringserzeugnisse im Jahr 2021. *Fischmag* (5):44-46

DBFZ-Ressourcendatenbank (2024) DE-Biomassemonitor. Open online Access zu den Potenzialen biogener Abfälle, Reststoffe und Nebenprodukte 2010–2020 in Deutschland; <https://datalab.dbfz.de/resdb/potentials?lang=de>

Naegeli de Torres F, Brödner R, Cyffka K.-F, Fais A, Kalcher J, Kazmin S, Meyer R, Radtke KS, Richter F, Selig M, Wilske B, Thrän D. (2024) DBFZ Resource Database: DE-Biomass Monitor. Biomass Potentials and Utilization of Biogenic Wastes and Residues in Germany 2010-2020 [Data set]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10370137>, <https://zenodo.org/records/14273285>

Pozo Inofuentes PS, Bösch M, Schweinle J (2024) Monitoring the sustainability of the EU biomass supply: A novel hybrid approach combining tracing and selected sustainability impacts. *Land* 13(9):1366, DOI:10.3390/land13091366

Ronzon T, Gurria P, Carus M, Cingiz K, El-Meligi A, Hark N, Iost S, M'Barek R, Philippidis G, van Leeuwen M, Wesseler J (2024) Assessing the bioeconomy's contribution to evidence-based policy: A comparative analysis

of value added measurements. *Bio-Based App Econ* 13(4):317-331, DOI:10.36253/bae-14563 [Titel anhand dieser DOI in Citavi-Projekt übernehmen]

Ronzon T, Iost S, Philippidis G (2022) An output-based measurement of EU bioeconomy services: Marrying statistics with policy insight. *Structural Change Econ Dynam* 60:290-301, DOI:10.1016/j.strueco.2021.10.005

Ronzon T, Iost S, Philippidis G (2022) Has the European Union entered a bioeconomy transition? Combining an output-based approach with a shift-share analysis. *Environ Dev Sustain* 24(6):8195–8217, DOI:10.1007/s10668-021-01780-8

Schweinle, J, Banse M, Barrelet J, Brüning S, Cyffka K-F, Gordillo Vera F, Iost S, Kilian D, Omid Saravani F, Weimar H, Wilske B (2025) Setting up a bioeconomy monitoring: Sustainability – Resources – Products. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, ### p, Thünen Working Paper ### (in Vorbereitung)

ANHANG

Teilvorhaben 1: Nachhaltigkeit – Ressourcen – Produkte

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Ziel des Teilvorhabens ist es, die in der ersten Phase des Aufbaus eines systematischen Bioökonomie-Monitorings erarbeiteten Ergebnisse sowie die diesen Ergebnissen zugrunde liegenden methodischen Grundlagen wie folgt zu vertiefen und um folgende neue Aspekte zu erweitern/ergänzen:

- Aktualisierung und Vertiefung der Stoffstromanalysen
- Herkunftsanalyse von Import-Commodities
- Monitoring von Substitutionseffekten, Kaskadennutzung, Ressourceneffizienz
- Aktualisierung der stoffflussbasierten Erfassung von Nachhaltigkeitseffekten
- Best Practice Beispiele für die Identifizierung und Quantifizierung von nachhaltiger erzeugten und weniger nachhaltig erzeugten Import-Commodities
- Aktualisierung und Anpassung der sektoralen Erfassung von Nachhaltigkeitseffekten

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Arbeitspaket 1: Stoffstromanalysen

1.1 Aktualisierung der Daten und Fortschreibung Konzeption aus der Pilotphase

- Task 1.1: Aktualisierung des Gesamtstoffstroms der Bioökonomie
- Task 1.2: Identifizierung und Quantifizierung von relevanten Stoffströmen aus den Sektoren
- Task 1.3: Fortschreibung Konzeption des Monitorings: Strukturierung der Datenquellen zur regelmäßigen aktualisierten Abbildung der ausgewählten Stoffströme
- Task 1.4: Weiterentwicklung der Erfassung und Verknüpfung von Stoffströmen im Bereich pflanzlicher und tierischer Agrarproduktion
- Task 1.5: Aufteilung der Reststoffaufkommen auf Verwendungswege der Hauptbiomassen
- Task 1.6: Aktualisierung biobasierte Anteile der Wirtschaftszweige
- Task 1.7: Entwicklung von Konzepten zur Verknüpfung des Bioökonomie-Monitorings und des Monitorings von Lebensmittelverluste

Arbeitspaket 2: Herkunftsanalyse

- Task 2.1: Aufbereitung verfügbarer globaler Daten für Agrar, Holz und Fischerei
- Task 2.2: Adaption der bestehenden Tracing-Methode für aggregierte Analysen in den Rohstoffbereichen Agrar, Forst, Fischerei
- Task 2.3: Verfeinerung der Tracing-Methode zur Rückverfolgung spezifischer Import-Commodities

Arbeitspaket 3: Substitutionseffekte, Kaskadennutzung und Ressourceneffizienz

- Task 3.1: Literaturanalysen zu Substitutionseffekten, Kaskadennutzung und Ressourceneffizienz
- Task 3.2: Methodisches Konzept für ein Bioökonomie-Monitoring
- Task 3.3: Fallbeispiele

Arbeitspaket 4: Monitoring von Nachhaltigkeitseffekten

- Task 4.1: Analyse und Aufbereitung länderspezifischer Information zu Nachhaltigkeitseffekten der Erzeugung von Commodities
- Task 4.2: Best Practice Beispiele der Identifizierung und Quantifizierung von Nachhaltigkeitseffekten ausgewählter Import-Commodities
- Task 4.3: Anpassung des Monitoringkonzepts zur Erfassung von Nachhaltigkeitseffekten von Kaskadennutzung und Substitution

Task 4.4: Aktualisierung und Erweiterung der Quantifizierung von Nachhaltigkeitseffekten biobasierter Stoffflüsse

Task 4.5: Aktualisierung und Anpassung der Quantifizierung von sektoralen Nachhaltigkeitseffekten

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Stoffstromanalyse

Im Rahmen des Projektes sind der bio-basierte Gesamtstoffstrom sowie die Teilstoffströme Agrar, Holz und Aquatische Biomasse aktualisiert und weiter differenziert worden. Die jeweiligen Stoffströme sind im Abschnitt Ergebnisse Arbeitspaket 1: Stoffstromanalysen sowie ausführlich im Thünen Working Paper Nr. ### dargestellt und erläutert.

Das Monitoring der bio-basierten Stoffströme der deutschen Bioökonomie zeigt die wichtigsten Biomassequellen und ihre Verwendung im Jahr 2020:

- **Landwirtschaft:** Sie ist die größte Quelle mit **140 Mio. t TM**, einschließlich **117 Mio. t TM** aus Ackerkulturen und Gartenbau sowie **23 Mio. t TM** Rückstände. Die Landwirtschaft produziert auch **23 Mio. t** an Ernterückständen. Insgesamt wurden **117,1 Mio. t** agrarische Primärbiomasse produziert.
 - **Nutzung:**
 - **Futtermittel:** Der Großteil der landwirtschaftlichen Biomasse wird als Futtermittel verwendet (ca. 80 Mio. t). Davon ist ein Großteil Raufutter, das nur von Wiederkäuern verwertet werden kann.
 - **Lebensmittel:** Ein kleinerer Teil wird für Lebensmittel verwendet (21 Mio. t).
 - **Energie:** Ein bedeutender Anteil wird energetisch genutzt (34 Mio. t). Landwirtschaftliche Rückstände werden zur Energiegewinnung (7 Mio. t) genutzt.
 - **Stoffliche Nutzung:** Ein geringerer Teil wird stofflich genutzt (10 Mio. t).
 - **Tierhaltung:** Pflanzliche Biomasse und Rückstände werden in der landwirtschaftlichen Tierhaltung verwendet, der Output sind tierische Produkte und Gülle. Ein Teil des Mists wird zur Energieerzeugung genutzt, der Rest wird als Dünger verwendet oder geht als Verluste in Form von Körperwärme oder anderen Emissionen ein.
- **Forstwirtschaft:** Sie lieferte **42 Mio. t TM** Rohstoffe, hauptsächlich als Rundholz. Zusätzlich sind **Altpapier (10 Mio. t)** und **Altholz (8 Mio. t)** bedeutend. Insgesamt wurden **79 Mio. m³(f)** Rundholz aus dem Wald entnommen.
 - **Nutzung:**
 - **Energetisch:** Ein Teil des Rundholzes wird energetisch genutzt (28 %). Die Verwendung von Rundholz aus Nicht-Nadelholz dominiert dabei in privaten Haushalten.
 - **Stofflich:** Ein größerer Teil der forstwirtschaftlichen Biomasse wird stofflich genutzt (24 Mio. t).
 - **Papier:** Altpapier wird zur Herstellung von Papierhalbfabrikaten verwendet.
 - **Holzprodukte:** Holz wird für die Herstellung von Schnittholz, Holzwerkstoffen, Zellstoff, Furnieren und Pellets verwendet.
- **Aquatische Biomasse:** Die Fischerei und Aquakultur trugen **58.000 t TM** bei. Im Vergleich zu anderen Sektoren ist die Menge gering.
 - **Nutzung:**
 - **Lebensmittel:** Aquatische Biomasse wird hauptsächlich für Lebensmittel verwendet.
 - **Non-Food:** Ein kleiner Teil wird für Futtermittel und stoffliche Nutzung verwendet.

Herkunftsanalyse

Die für den Handel mit Holzprodukten entwickelte Tracing-Methode zur Rückverfolgung der verwendeten Biomasse ins Herkunftsland konnte aufgrund der sehr unterschiedlichen Verfügbarkeit globaler Daten, zwar nicht direkt umgesetzt werden, es wurden daher für die in AP 4 analysierten Import Commodities spezifische Berechnungsverfahren angewendet, um die Herkunftsländer der nach Deutschland eingeführten Biomassen zu identifizieren. Für den Agrarbereich wurden die Import Commodities Rindfleisch und Soja, für den Forst-

und Holzbereich Zellstoff und die Fischerei Lachs betrachtet. Das methodische Vorgehen und die Ergebnisse werden ausführlich in Kapitel 4 des Thünen Working Papers ### (Schweinle et al. 2025), in Pozo et al. (2024) und im Abschnitt Ergebnisse **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschrieben.

Substitutionseffekte, Kaskadennutzung und Ressourceneffizienz

Eine systematische Literaturanalyse zeigt, dass Lebenszyklusanalyse (LCA) bzw. Ökobilanzierung der vorherrschende methodische Ansatz für die Analyse von Substitutionseffekten ist. Zur Untersuchung der spezifischen Veränderungen, die sich aus der Wahl einer Ressource gegenüber einer anderen ergeben, werden bevorzugt Indikatoren zur Klimaschutzwirkung (z. B. Treibhausgasemissionen) herangezogen. Ein verbreiteter Ansatz zur Ermittlung der Effizienz von Biomasse bei der Reduktion von Treibhausgasemissionen ist die Berechnung eines Verdrängungsfaktors (DF)

Drei Ansätze scheinen besonders geeignet und konsistent mit dem bestehenden Stoffstrom-basierten Monitoring Konzept und könnten für eine Integration in Betracht gezogen werden:

- **Cascading Factor:** Bezieht sich auf die Häufigkeit, mit der ein (hölzerner) Rohstoff als Input verwendet wird und damit neues Material ersetzen kann (Mantau 2012).
- **Cascade-Use-Potential:** Ermittelt das Potenzial der Kaskadennutzung durch den Vergleich der stofflichen mit der energetischen Nutzung von Primär- und Sekundärrohstoffen auf Basis von Zeitreihen (JRC 2023).
- **Biomass Utilization Factor:** Untersucht gleichzeitig, wie viel und wie oft eine Biomasse innerhalb eines biobasierten Lebenszyklus oder innerhalb eines bestimmten Sektors genutzt wurde (vom Berg et al. 2022).

Eine ausführlichere Darstellung der Ergebnisse finden sich im Thünen Working Paper ### und im Abschnitt Arbeitspaket 3: Substitutionseffekte, Kaskadennutzung und Ressourceneffizienz

Monitoring von Nachhaltigkeitseffekten

Um eine umfassende Bewertung der Nachhaltigkeitseffekte von importierten Rohstoffen in ihren Produktionsländern durchzuführen und den Anteil Deutschlands an diesen Effekten durch Importe zu bestimmen, wenden wir einen integrierten Ansatz bestehend aus, Materialflussanalyse (MFA), Lebenszyklus-Nachhaltigkeitsbewertung (LCSA) und Logical Framework for Sustainability Assessment (LOFASA) an.

Dass mit dem gewählten Ansatz ein differenziertes Bild von Nachhaltigkeitseffekten unterschiedlicher Import-Commodities und Deutschlands Beitrag zu den Effekten gezeichnet werden kann, zeigen die Beispiele Rindfleisch aus Argentinien, Soja aus Brasilien und Zellstoff aus Uruguay. Die Ergebnisse sind ausführlich im Thünen Working Paper ### und für Rindfleisch zusammengefasst auch in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sowie für Zellstoff in Pozo et al. (2024) dargestellt.

Für Rindfleisch aus Argentinien zeigt sich bezüglich der untersuchten Nachhaltigkeitseffekte:

- **Entwaldung:** Die Rindfleischproduktion in Argentinien trägt zur Entwaldung bei. Obwohl es zwischen 2014 und 2016 einen leichten Rückgang gab, hat sich dieser Trend umgekehrt, und bis 2021 hat sich die umgewandelte Waldfläche im Vergleich zu 2018 mehr als verdoppelt. Allein im Jahr 2020 wurden mehr als 250.000 Hektar Wald in die landwirtschaftliche Nutzung überführt. Der Beitrag Deutschlands durch Rindfleischimporte betrug im Jahr 2020 etwa 18.000 Hektar. Das sind um die 10%.
- **THG-Emissionen:** Der Beitrag Deutschlands zu den gesamten THG-Emissionen aus der Rindfleischproduktion in Argentinien liegt mit 90.000 und 130.000 Tonnen CO₂-Äquivalenten bei weniger als 0,5%.
- **Wirtschaftliche Bedeutung:** Die Importe aus Deutschland tragen mit einem relativ stabilen Beitrag von 40 bis 60 Mio. USD zum BIP Argentinien bei. Das sind weniger als 1% des Anteils der Viehwirtschaft am BIP Argentinien.
- **Beschäftigung:** Die Rindfleischproduktion schafft Arbeitsplätze in Argentinien, insbesondere in der Viehzucht. Die Zahl der Arbeitsplätze, die vom Export nach Deutschland abhängen, liegt zwischen 560 und 620. Das sind weniger als 1% der in der Rindfleischproduktion Beschäftigten.

Teilvorhaben 2: Aktualisierung Reststoffmonitoring

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Während der ersten Phase des Aufbaus eines systematischen Bioökonomie-Monitorings lag der Schwerpunkt der Forschung und Entwicklung auf der Schaffung methodischer Grundlagen des Monitorings, das mit einer ersten Quantifizierung der Ressourcenbasis auf sektoraler und Stoffflussebene verbunden wurde. Als Ergebnis lag die vollständige Aufstellung der Potenziale biogener Abfälle, Reststoffe und Nebenprodukte für das Referenzjahr 2015 vor. Oberstes Ziel des Teilvorhabens 2 Aktualisierung Reststoffmonitoring war es zum einen zusammen mit den Kooperationspartnern das entwickelte Monitoringkonzept zu verfeinern, und zum anderen umfangreiche Daten zu recherchieren, um Zeitreihen der Reststoffpotenziale 2010–2020 erstellen und interpretieren zu können. Das dritte Ziel war die gesamte Information zu den Potenzialen der Sekundärbiomasse wieder der Öffentlichkeit zu Verfügung zu stellen.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Arbeitspaket 1: Stoffstromanalysen

1.2 Aktualisierung der Daten und Fortschreibung Konzeption aus der Pilotphase

Task 1.1: Aktualisierung des Gesamtstoffstroms der Bioökonomie

Task 1.4: Weiterentwicklung der Erfassung und Verknüpfung von Stoffströmen im Bereich pflanzlicher und tierischer Agrarproduktion

Task 1.5: Aufteilung der Reststoffaufkommen auf Verwendungswege der Hauptbiomassen

Zu den drei Tasks trug das DBFZ sowohl Daten als auch wissenschaftlichen Diskurs bei.

1.2 Aktualisierung des Reststoffmonitorings

Task 1.8: Aktualisierung der Datenbasis

Task 1.9: Integration der Daten in die DBFZ-Webapp

Task 1.10: Qualitative Interpretation der Zeitreihen

Die drei Tasks konnten mit erheblicher zeitlicher Verzögerung umfänglich erfüllt werden

Arbeitspaket 3: Substitutionseffekte, Kaskadennutzung und Ressourceneffizienz

Task 3.3: Fallbeispiele

Zum Task trug das DBFZ regelmäßig wissenschaftlichen Diskurs bei. Die Ausarbeitung eines Fallbeispiels war auf der Basis der zugreifbaren Information jedoch nicht innerhalb des gesteckten Zeitrahmens (2 PM) möglich.

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Technische Ergebnisse:

Der technische Prozess des Monitorings der biogenen Abfälle, Reststoffe und Nebenprodukte wurde in MoBi II von Grund auf überarbeitet und mithilfe des DBFZ-Datenabors von einer bislang Worksheet-basierten Ressourcendatenbank (ResDB) in eine relationale Datenbank überführt, um ein kontinuierliches Monitoring praktisch umsetzbar zu gestalten. Die technischen Möglichkeiten zur Beschleunigung der Monitoringprozesse sind – soweit das heute beurteilt werden kann – vorläufig ausgeschöpft.

Gleichzeitig wurde eine neue Webseite entwickelt um die wachsende Datenbasis weiterhin öffentlich zugänglich zu machen. Die Potenzialzeitreihen der biogenen Sekundärressourcen sind in der neuen ResDB im Modul Biomassemonitor sichtbar und abrufbar.

Mit der Neuentwicklung des ResDB-Biomassemonitors wurden die Voraussetzungen für kürzere Monitoringintervalle geschaffen bzw. das Reststoffmonitoring in die Lage versetzt das Monitoring mit geringerem personellem Aufwand zu bewältigen. Aus heutiger Sicht wurde allerdings nach Fertigstellung des Projekts AG BioRestmon der Aufwand zur Erstellung von Zeitreihen 2010–2020 unterschätzt. Aus diesem

Grund soll hier nicht vorschnell ein mögliches Monitoringintervall festgeschrieben werden. Für keinen der fünf Sektoren aus denen Sekundärbiomassen hervorgehen können die Potenziale allein über einen programmierten Direktabruf von Daten erstellt werden. Darüber hinaus ist zu befürchten, dass im Zuge des vielfach geforderten Bürokratieabbaus auch bislang verlässlichere offizielle Statistiken zu Datenlücken im Reststoffmonitoring beitragen könnten. Damit würde nicht nur Information zur Steuerung der Bioökonomie fehlen, sondern es wird auch das falsche Signal gesetzt, dass die Bioökonomie nicht das richtungsweisende Element zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele ist.

Wissenschaftliche Ergebnisse zur Entwicklung der Bioökonomie

In Mobi II Teil 2 des Kooperationsprojekts, hat das DBFZ die vorhandene Quantifizierung der biogenen Sekundärressourcen für das Bezugsjahr 2015 um Daten für die Jahre 2010 bis 2020 erweitert.

Aus der Berechnung von Minimum- und Maximumwerten für die Biomassepotenziale ergeben sich, wie nicht anders zu erwarten, weite Spannen für die meisten Biomassen, ihre Sektoren und alle Jahresscheiben. Für welchen Prozentsatz der Quelldaten jeweils höhere oder niedrigere Reststofffaktoren anzusetzen sind ist schlichtweg nicht feststellbar. Minimum- und Maximumpotenziale sind daher nicht mit den üblichen wissenschaftlichen Fehlern gleichzusetzen. Da die meisten Biomassen aggregiert sind, wie z. B. als Reststoffe aus unterschiedlichem Gemüseanbau, und die sektoralen Potenziale sich aus vielen Potenzialen zusammensetzen, sind Minimum- und Maximumpotenzial jeweils als höchstwahrscheinlicher Fall zu betrachten. Der Mittelwert ist damit die beste Näherung und wird nicht durch Betrachtung der weiten Potenzialgrenzen infrage gestellt. Größeres Gewicht bekommen die Potenzialgrenzen, wenn es z. B. um Entscheidungen zur Nutzung einzelner Biomassen geht. In diesen Fällen hilft zur besseren Risikoeinschätzung zusätzlich die Betrachtung der Grenzen über die aufgezeichneten Jahre zusammen mit der Betrachtung der Dynamik des Mittelwerts über die Zeitreihe.

Im Jahr 2020, das bis auf weiteres letzte Monitoringjahr im Biomassemonitor, liegt das theoretische Biomassspotenzial bei einem Mittelwert von 208,7 Millionen Tonnen Trockenmasse (Mt TM). Damit hat sich das gemittelte theoretische Potenzial für 2020 im Vergleich zum bisherigen Referenzjahr 2015 um 4,3 Mt TM verringert. Betrachtet man den Mittelwert der Stichprobe 2010–2020, dann lag das theoretische Biomassepotenzial in 2020 allerdings 0,5 Prozentpunkte über dem 11-Jahres Mittelwert.

Das technische Biomassepotenzial der Sekundärressourcen lag im Zeitraum 2010–2020 im Mittel bei 110,9 Mt TM) mit einer Standardabweichung der 11-jährigen Stichprobe von 1,2 Mt TM. Als technisches Potenzial stand der Bioökonomie in 2020 im Mittel eine biogene Sekundärressource von 110,3 Mt TM zur Verfügung.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz trat Mitte 2012, d. h. eineinhalb Jahre nach dem ersten im Biomassemonitor dargestellten Monitoringjahr (2010) in Kraft. In den beiden Folgejahren 2013 und 2014 wuchs der Kennwert des technischen Biomassspotentials biogener Sekundärressourcen um 1,9 Mt TM bzw. 1,8 Mt TM. Danach sank das Potenzial mit Schwankungen generell ab. Die Abnahme beruhte im Wesentlichen auf der Abnahme wichtiger Biomassepotenziale, wie z.B. Altpapier, Rindergülle und Rindermist.

Die stoffliche Nutzung der biogenen Sekundärressource betrug im Mittelwert (\pm Standardabweichung) der Monitoringperiode 2010–2020 $43,4 \pm 0,8$ Mt TM. Sie erreichte einen Höchstwert in 2014 und fiel seitdem kontinuierlich auf $42,5$ Mt TM in 2020 ab.

Die energetische Nutzung lag in 2010 bei $28,9$ Mt TM und ist mit Schwankungen auf $32,8$ Mt TM in 2020 angewachsen. Die Differenz zwischen technischem Potential und der Summe der beiden Nutzungen besteht aus nicht- und nicht eindeutig zuordenbaren Potenzialen.

Im Schnitt der Monitoringperiode blieben 30 Mt TM oder 27% des technischen Biomassepotenzials in der Form des mobilisierbaren Potenzials übrig.

In hochkondensierter Form sind die Ergebnisse des Reststoffmonitorings, dass (a) viele der Zeitreihen wichtige Merkmale im Wandel von Gesellschaft, Klima sowie Land- und Ressourcennutzung nachzeichnen, (b) gegenläufige Trends verschiedener wichtiger Sekundärbiomassen insgesamt wenig Aussicht auf ein signifikantes Ansteigen des nationalen Reststoffpotenzials geben. Der hohe Anteil des mobilisierbaren Potenzials von fast einem Drittel des technischen Potenzials schlägt vor massive Anstrengungen zu unternehmen, um einen größeren Teil des mobilisierbaren Potenzials zu heben. Daneben können nur Regulierungen und Anreize die derzeitigen Nutzungen in mögliche höherwertige und/oder Mehrfachnutzung bewirken. Dazu scheint u. a. eine Harmonisierung verschiedener Gesetze und Regulierungen, und zwar in Richtung eines funktionellen KwG äusserst wichtig. Es muss klar sein, dass ohne das Erreichen von angestrebter Dekarbonisierung und globaler Nachhaltigkeit, langfristig z. B. auch Naturschutz in allen seinen Bereichen unter den negativen Auswirkungen leiden wird.

