



TFZWISSEN

Forschung für die Praxis

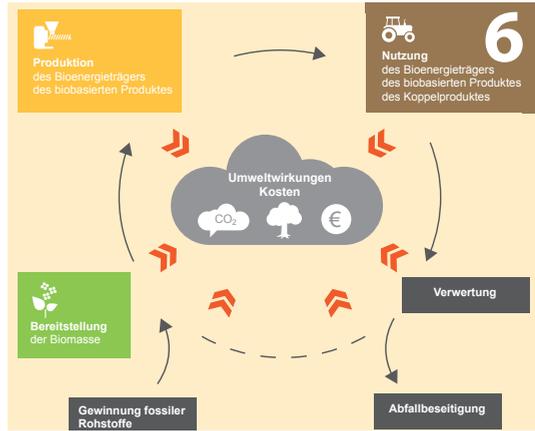
Dezember 2016 | #4



Kosteneffiziente Treibhausgas-Minderung
verschiedener Bioenergien

4

TFZWissen





15



21

F. Stahl [LWF]

Inhalt

Inhalt

Motivation	4
Zielsetzung	5
Hintergrundwissen	6
ExpRessBio – Bilanzierungsmethode	9
Ergebnisse	14
Übergreifende Handlungsempfehlungen	26
Quellen	28
Glossar	32

Impressum:

Autoren: Dr.-Ing. Daniela Dressler⁷, Karsten Engelmann⁷, Tobias Böswirth⁵, Taras Bryzinski⁵, Dr.-Ing. Mathias Effenberger¹, Rita Haas⁷, Dr. Omar Hijazi¹, Prof. Dr. Kurt-Jürgen Hülsbergen⁵, Dr. Daniel Klein², Dr. Mona Maze¹, Prof. Dr. Klaus Richter^{5a}, Prof. Dr. Hubert Röder², Christoph Schutz², Martina Serdjuk⁴, Dr. Bernhard Widmann⁷, André Tiemann³, Prof. Dr. Gabriele Weber-Blaschke^{6b}, Christian Wolf^{6a}, Prof. Dr. Peter Zerle⁴, Dr. Edgar Remmele⁷

- 1 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft • Institut für Landtechnik und Tierhaltung • Vöttinger Straße 36 • 85354 Freising
- 2 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft • Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1 • 85354 Freising
- 3 Hochschule Weihenstephan-Triesdorf • Betriebswirtschaftslehre Nachhaltiger Rohstoffe • Petersgasse 18 • 94315 Straubing
- 4 Hochschule Weihenstephan-Triesdorf • Fachgebiet für Ökonomie Nachhaltiger Rohstoffe • Hofgarten 1 • 85354 Freising
- 5 Technische Universität München • Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme • Liesel-Beckmann-Straße 2 • 85354 Freising
- 6 Technische Universität München • Holzforschung München • Winzerstraße 45 • 80797 München bzw. ^a Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2 • 85354 Freising
- 7 Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachhaltige Rohstoffe (TFZ) • Schulgasse 18 • 94315 Straubing

Herausgeber:

Technologie- und Förderzentrum (TFZ)
 Leiter: Dr. Bernhard Widmann
 Schulgasse 18
 94315 Straubing

Gestaltung: Uli Eidenschink (TFZ)

Fotos: TFZ, soweit nicht anders gekennzeichnet
 Fotos Titelseite: TFZ; Florian Stahl (LWF)
 Erscheinungsjahr: 2016
 Erscheinungsort: Straubing
 Verlag: Eigenverlag

© Alle Rechte vorbehalten

Das Forschungsvorhaben „Expertengruppe Ressourcenmanagement Bioenergie in Bayern - ExpRessBio“ wurde mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten unter dem Förderkennzeichen EW/12/11 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Unter Verwendung mineralölfreier (Mineralölanteil < 1 %) Druckfarben gedruckt auf chlorfreiem Papier aus nachhaltiger, zertifizierter Waldbewirtschaftung.

Motivation

Die Aufgaben des Klima- und Ressourcenschutzes stellen die bayerische Land- und Forstwirtschaft bei gleichzeitiger Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit vor besondere Herausforderungen. Um bestehende und zukünftige Potenziale zu realisieren, sich auf dem Markt zu etablieren und auf breite gesellschaftliche Akzeptanz zu stoßen, bedarf es einer ökologischen und ökonomischen Charakterisierung und Einordnung bestehender Produktionsverfahren bzw. in Entwicklung befindlicher Konzepte. Für eine aussagekräftige Analyse und Bewertung von Produktions- und Verarbeitungsverfahren sind vollständige Prozessketten („Lebenszyklen“) zu betrachten. Diese Lebenszyklen um-

fassen die jeweilige Rohstoffbereitstellung, Erst- und Weiterverarbeitung bis hin zur Bereitstellung von Produkten in entsprechenden Anlagen. Weiterhin sind die anfallenden Koppelprodukte sowie die Abfallbewirtschaftung einzubeziehen.

Um die Land- und Forstwirtschaft bei der Bewältigung dieser Herausforderungen zu unterstützen, wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten im Jahr 2012 im Rahmen der Umsetzung des bayerischen Energiekonzepts „Energie Innovativ“ (2011) [2] die „Expertengruppe Ressourcenmanagement Bioenergie in Bayern – ExpResBio“ ins Leben gerufen.



Zielsetzung

Das **übergeordnete, langfristige Ziel**, das durch die Expertengruppe ExpResBio bearbeitet und dessen Umsetzung unterstützt werden soll, ist die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) in Abwägung mit anderen wichtigen Umweltwirkungen in Bayern. Zu diesem Zweck werden Energie- und Stoffströme der land- und forstwirtschaftlichen Produktion von Biomasse zur Bereitstellung von Rohstoffen für die Energieumwandlung und die stoffliche Nutzung analysiert. Auf Basis dieser Analysen werden Handlungsempfehlungen zur Optimierung der genannten Produktionsketten erarbeitet. Gleichzeitig soll auch eine volks- und betriebswirtschaftliche Bewertung der untersuchten Verfahrensketten auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen erfolgen, sodass eine möglichst nachhaltige Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Ressourcen in Bayern sichergestellt werden kann.

In der **ersten Projektphase** wurden dazu folgende Arbeiten durchgeführt:

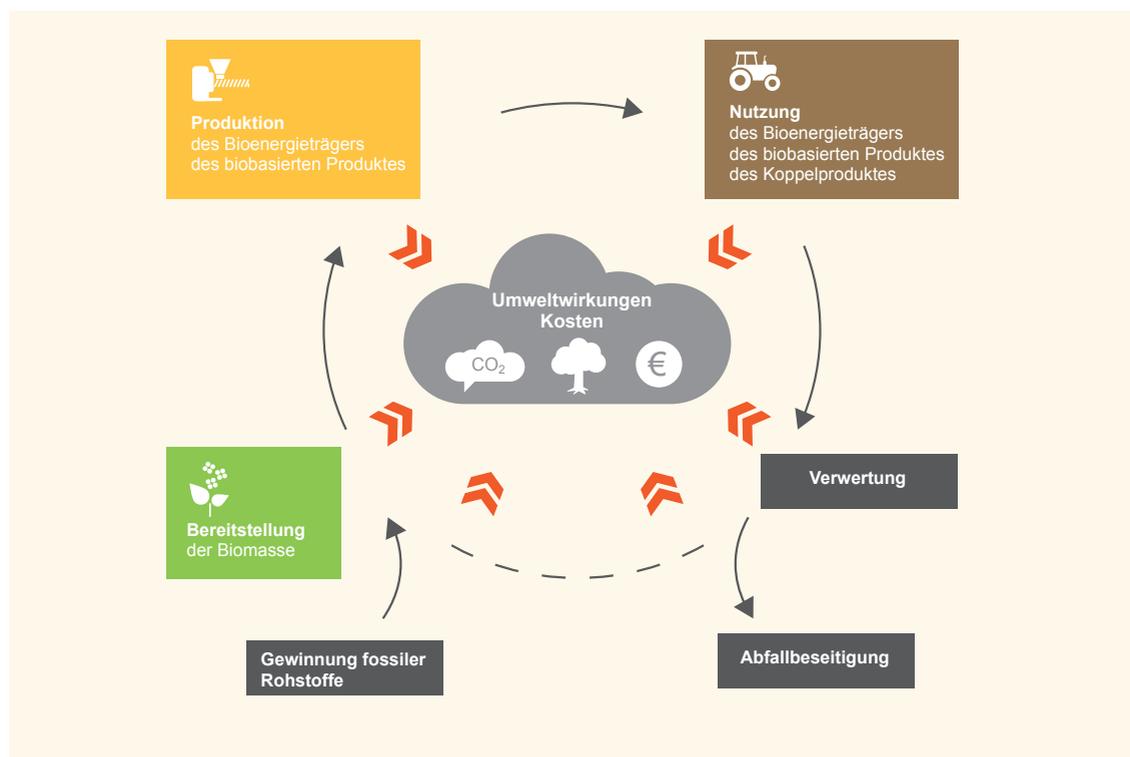
- Abstimmung und Harmonisierung der Methoden zur Bilanzierung ökologischer und ökonomischer Wirkungen von land- und forstwirtschaftlichen Produktsystemen innerhalb der Expertengruppe und mit (inter)nationalen Arbeitsgruppen unter Berücksichtigung gültiger Normen, Verordnungen und Richtlinien.
- Erhebung relevanter Daten – regionalspezifisch, einzelbetrieblich, modellhaft – für Anbau, Transformation, Konversion und Nutzung von Biomasse.
- Aufbau und Pflege des bayerischen Datenpools.
- Definition von Fallbeispielen (Standort, Betriebszweige, Fruchtfolgen, Baumartenzusammensetzung, Bewirtschaftungsformen, Umtriebszeiten etc.).
- Berechnung der THG-Emissionen und anderer Umweltwirkungen für Fallbeispiele (Biomasse aus Land- und Forstwirtschaft im festen, flüssigen und gasförmigen Aggregatzustand zur Verwendung als Rohstoff und zur Bereitstellung von Bioenergie (Wärme, Strom, Kraftstoff)) unter Berücksichtigung regionaltypischer und modellbetrieblicher Einflüsse.
- Volks- und betriebswirtschaftliche Bewertung (CO₂-Minderungskosten, Kostenanalyse für THG-optimierte Produktion).
- Ableitung von Maßnahmen zur Reduktion der THG-Emissionen der Land- und Forstwirtschaft in Bayern.
- Erstellung von Handlungsempfehlungen für Produzenten, Verbraucher und Entscheidungsträger.

Hintergrundwissen

Normen, Standards und politische Rahmenbedingungen

Die Umweltwirkungen von Produkten und Dienstleistungen können mithilfe der **Ökobilanzmethode** über ihren gesamten Lebenszyklus analysiert und bewertet werden. Die wesentlichen Grundsätze und Regeln zur Durchführung

von Ökobilanzen wurden in internationalen Standards festgelegt und in die deutschen Normenwerke DIN EN ISO 14040 [7] und DIN EN ISO 14044 [6] übertragen.



Lebenszyklus eines Produktsystems aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen

Die **Durchführung einer Ökobilanz** umfasst dabei grundsätzlich die folgenden vier Schritte:

1. Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen,
2. Sachbilanz,
3. Wirkungsabschätzung,
4. Auswertung.

Die Grundsätze der Normen DIN EN ISO 14040 [7] und DIN EN ISO 14044 [6] sind das Fundament für **weitere Richtlinien und Standards** zur Durchführung von Öko- oder THG-Bilanzen. So sind in der Norm DIN CEN ISO/TS 14067 [10] Anforderungen, Grundsätze und Leitlinien zur Quantifizierung und Kommunikation des

Carbon Footprints von Produkten (PCF) festgelegt. Mit dem von der Europäischen Kommission geförderten **International Reference Life Cycle Data System (ILCD)** wurde eine Reihe technischer Dokumente (ILCD-Handbuch) [19] herausgegeben. Hierdurch werden die Bestimmungen der DIN EN ISO 14040 [7] und 14044 [6] zur Erstellung einer Ökobilanz spezifiziert und somit eine Grundlage für die Generierung konsistenter, aussagekräftiger und qualitätsgesicherter Ökobilanzergebnisse geschaffen, wie sie von Industrie und Politik gefordert werden. Weiterhin bildet das ILCD-Handbuch die Grundlage für alle Arbeiten zum Thema Umweltbewertung von Produktsystemen auf europäischer Ebene und ist zudem Vorreiter der Initiative **Product Environmental Footprinting (PEF)** der Europäischen Kommission [18]. Die bisher genannten Normen, Standards und Initiativen sind grundsätzlich für alle Arten von Produkten und Dienstleistungen anwendbar. Spezifische methodische Fragestellungen zu Ökobilanzen bzw. THG-Bilanzen, zum Beispiel für Produktsysteme aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen, bleiben jedoch offen. Mit Inkrafttreten der **Erneuerbare-Energien-Richtlinie** [17] wurde für Biokraftstoffe und Strom aus flüssigen Biobrennstoffen erstmals eine Methode zur THG-Bilanzierung ordnungspolitisch vorgeschrieben, die auch Eingang in das deutsche Normenwerk DIN EN 16214-4 [9] fand – ein Trend, der sich auch in anderen Sektoren der Bioenergiebereitstellung und bei der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe, aber auch bei der Erzeugung von Nahrungsmitteln und Futtermitteln fortsetzen kann. Aus diesem Grund wird die Entwicklung geeigneter Methoden zur ökologisch-ökonomischen Analyse, Bewertung und Optimierung von Produktsystemen aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen zukünftig von großer

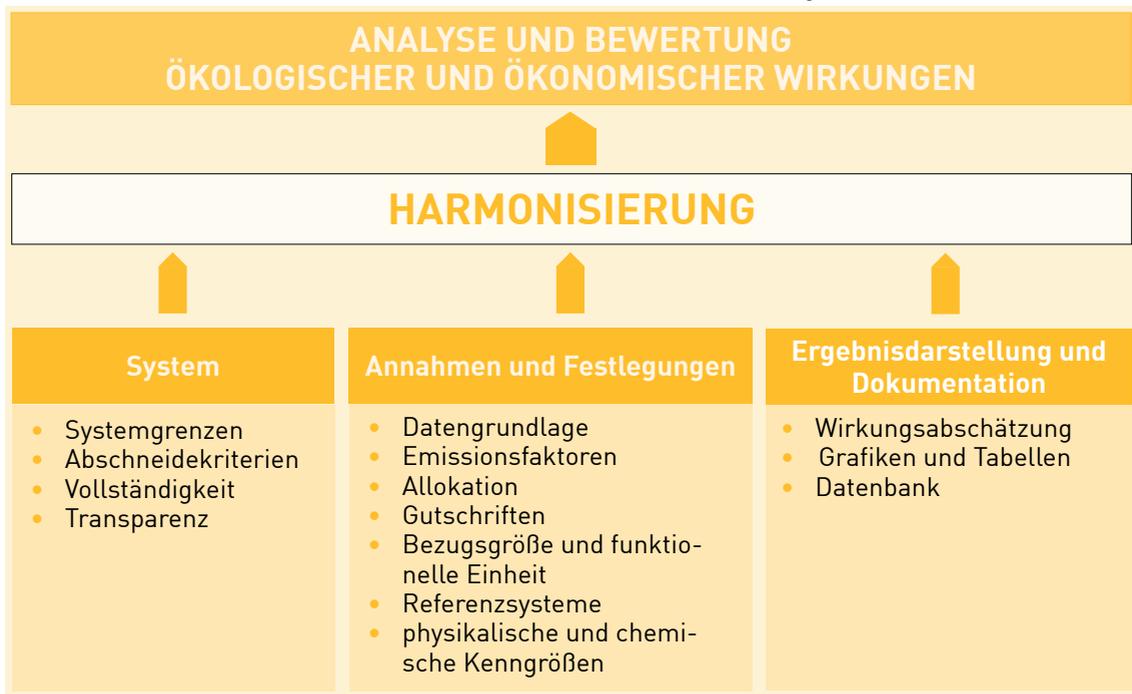
Bedeutung sein. Die ISO 13065 [24] legt in diesem Zusammenhang bereits Nachhaltigkeitsgrundsätze sowie Kriterien und Indikatoren für die Lieferkette von Bioenergie fest. Weiterhin wurde im Rahmen des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“ eine durchgängige Dokumentations- und Methodenbasis für wesentliche Kalkulations- und Bewertungsverfahren ausgewählter energetisch-ökonomisch-ökologischer Analysen erstellt [38]. Im Bereich der stofflichen Nutzung hat die Europäische Kommission dem Europäischen Komitee für Normung (CEN) im Oktober 2008 ein Mandat zur Entwicklung eines Normungsprogramms für biobasierte Produkte erteilt. Auf nationaler Ebene ist der Normungsausschuss „Biobasierte Produkte“ im Deutschen Institut für Normung (DIN) zuständig. Aktuell wurden hierzu zwei Normentwürfe veröffentlicht [11][12]. Zusätzlich entstanden in den letzten Jahren durch Anstoß von Firmen und Verbänden sowie Experten aus dem Bereich der Ökobilanzierung produktspezifische Richtlinien zum Beispiel für Holz und Holzwerkstoffe [13] oder Bauprodukte [14] als Hilfestellung für die arbeitseffiziente Bereitstellung vergleichbarer Ergebnisse. Weiterhin hat der Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB) eine Reihe von Nachhaltigkeitsstandards veröffentlicht [33]. Auch im Bereich der Nahrungsmittelerzeugung sind ähnliche Entwicklungen zu beobachten [30][29].

Herausforderungen der Analyse und Bewertung

Obwohl bereits zahlreiche methodische Festlegungen zur Bewertung von Produkten aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen getroffen wurden, zeigen zum Beispiel Literaturrecherchen zu Ökobilanzen für die Biogaserzeugung [21], Forstwirtschaft [26] und energetische Holznutzung [42], dass sich **Studien methodisch erheblich voneinander unterscheiden** können. Das betrifft sowohl die gewählten Systemgrenzen, Bezugsgrößen und funktionellen Einheiten als auch die berücksichtigten Prozesse, die zugrunde gelegte Datenbasis, die Auswahl der Wirkungskategorien und Methoden zur Berechnung der Wirkungsindikatoren sowie den Umgang mit Koppelprodukten und die Ergebnisaufbereitung bzw. -darstellung (aggregiert, teilweise aggregiert oder nach Prozessen stratifiziert) (siehe Abbildung unten). Insbesondere die Dokumentation und darauf aufbauend die Transparenz der zugrunde liegenden Daten und Informationen

sowie die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse sind oft nicht gegeben. Auch weisen aufgrund der methodischen Unterschiede die Ergebnisse in den ausgewerteten Studien, beispielsweise für THG-Emissionen, eine breite Streuung auf. **Eine abgestimmte Methodik ist folglich eine wichtige Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse.** Weiterhin müssen für die Ableitung praktisch umsetzbarer Minderungsstrategien, beispielsweise zur THG-Minderung, konkrete Produktionsbedingungen in Bayern berücksichtigt werden. Standort- und Bewirtschaftungseinflüsse (Böden, Klima, Ertragspotenziale, standortspezifische Produktionsverfahren, Fruchtfolgen, Baumartenzusammensetzung, Umtriebszeiten und Betriebssysteme) werden insgesamt noch zu wenig in Ökobilanzen einbezogen, obwohl sie erheblichen Einfluss haben.

Harmonisierungsfelder der Analyse und Bewertung ökologischer und ökonomischer Wirkungen



ExpResBio – Bilanzierungsmethode

Aus den dargelegten Gründen wurde von der Expertengruppe ExpResBio eine Bilanzierungsmethode zur Analyse und Bewertung ausgewählter ökologischer und ökonomischer Wirkungen von Produktsystemen aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen entwickelt. Diese Bilanzierungsmethode ist wissenschaftlich abgestimmt (harmonisiert) und steht mit nationalen und internationalen Regelwerken im Einklang [41]. Damit wurde eine wesentliche Grundlage geschaffen, um für alle künftigen Bewertungen der land- und forstwirtschaftlichen Produktion sowie der Bereitstellung und Nutzung von Bioenergieträgern und Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen vergleichbare und transparente Bilanzergebnisse sicherzustellen. Durch den Vergleich unterschiedlicher Produktions- und Konversionsverfahren können regionalspezifische und einzelbetriebliche Optimierungsmaßnahmen einzelner Verfahrensketten abgeleitet und Handlungsempfehlungen für Produzenten, Verbraucher und Entscheidungsträger erstellt werden.

Das zentrale Element der harmonisierten Bilanzierungsmethode ist die in Anlehnung an die DIN EN 15804 [8] entwickelte Systemdarstellung (vgl. Abbildung Seite 10 und 11). Hiermit können wesentliche Informationen zum Untersuchungsrahmen, wie beispielsweise das zu untersuchende Produktsystem, dessen Funktion und Systemgrenzen sowie die funktionelle Einheit und die Methode zum Umgang mit Koppelprodukten, eindeutig definiert und gleichzeitig visualisiert werden. Die Systemdarstellung ist damit eine wesentliche Grundlage, um Produktsysteme aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen einheitlich zu analysieren, zu bewerten und miteinander zu vergleichen. Zudem werden Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit der veröffentlichten Ergebnisse dadurch wesentlich erhöht.

ExpResBio-Systemdarstellung

Bezeichnung Produktsystem:				Rohstoffgewinnung		Produktion	
<input type="checkbox"/> [A] Erzeugung und Bereitstellung von Biomasse				<input type="checkbox"/> [B] Transformation			
<input type="checkbox"/> [A1] Bestandesbegründung <input type="checkbox"/> [A1.1] Bodenaufbereitung <input type="checkbox"/> [A1.2] Pflanzen/Aussaat <input type="checkbox"/> [A1.3] sonstige Flächenvorbereitung	<input type="checkbox"/> [A2] Bestandesführung <input type="checkbox"/> [A2.1] Pflege Pflanzung/Bestand <input type="checkbox"/> [A2.2] Zaunbau <input type="checkbox"/> [A2.3] Düngung <input type="checkbox"/> [A2.4] Kalkung <input type="checkbox"/> [A2.5] Pflanzenschutz und Unkrautregulierung <input type="checkbox"/> [A2.6] Bau/Instandhaltung von Wegen	<input type="checkbox"/> [A3] Ernte <input type="checkbox"/> [A3.1] Ernte Biomasse <input type="checkbox"/> [A3.2] Vorliefern zur Straße <input type="checkbox"/> [A3.3] Aufarbeitungsprozesse nach Ernte <input type="checkbox"/> [A3.4] Aufladen auf LKW/Traktor	<input type="checkbox"/> [A4] nicht-zuordenbar <input type="checkbox"/> [A4.1] C-Speicher Fläche <input type="checkbox"/> [A4.2] N ₂ O-Feldemissionen <input type="checkbox"/> [A4.3] andere Feldemissionen <input type="checkbox"/> [A4.4] Unterbringung von Personal	<input type="checkbox"/> [B1] Lagerung <input type="checkbox"/> [B1.1] Biomasselagerung <input type="checkbox"/> [B1.2] Produktlagerung <input type="checkbox"/> [B1.3] Ent- und Beladung <input type="checkbox"/> [B1.4] Verpacken <input type="checkbox"/> [B2] Vorbehandlung <input type="checkbox"/> [B2.1] Reinigung <input type="checkbox"/> [B2.2] Zerkleinerung <input type="checkbox"/> [B2.3] Trocknung <input type="checkbox"/> [B3] Umwandlung <input type="checkbox"/> [B3.1] chemische Transformation <input type="checkbox"/> [B3.2] mechanische Transformation <input type="checkbox"/> [B3.3] biologische Transformation			
<input type="checkbox"/> [A5] Rohstoffbereitstellung aus vorgelagerten Systemen							
<input type="checkbox"/> [L] Betriebliche Logistik							
<input type="checkbox"/> [L1] außerbetrieblicher Transport		<input type="checkbox"/> [L2] innerbetrieblicher Transport		<input type="checkbox"/> [T1] Transport Biomasse		<input type="checkbox"/> [T2] Transport Zwischenprodukte	
				<input type="checkbox"/> [M] Vorleistungen			
<input type="checkbox"/> [V1] Herstellung/Instandhaltung von Maschinen und Geräten <input type="checkbox"/> [V4] Bereitstellung von Kraft- und Brennstoffen <input type="checkbox"/> [V7] Bereitstellung von Pflanzenschutzmitteln				<input type="checkbox"/> [V2] Bau/Instandhaltung von Gebäuden <input type="checkbox"/> [V5] Bereitstellung von Prozess- und Betriebsstoffen		<input type="checkbox"/> [V3] Bereitstellung von Energie <input type="checkbox"/> [V6] Bereitstellung von Wasser <input type="checkbox"/> [V8] Bereitstellung von Betriebsstoffen	
Geographische Repräsentativität:				Zeitliche Repräsentativität:			

Systemdarstellung für die harmonisierte Bilanzierungsmethode zur Analyse und Bewertung ausgewählter ökologischer und ökonomischer Wirkungen von Produktsystemen aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen

Anwendung			Reststoff- und Abfallbehandlung		
<input type="checkbox"/> [C] Konversion <input type="checkbox"/> [C1] Stromerzeugung <input type="checkbox"/> [C2] Wärmeerzeugung <input type="checkbox"/> [C3] Kombinierte Strom und Wärmeerzeugung <input type="checkbox"/> [C4] Bereitstellung Antriebsenergie (z. B. für Mobilität) <input type="checkbox"/> [C5] Abgasreinigung		<input type="checkbox"/> [D] Nutzung <input type="checkbox"/> [D1] C-Speicher Produkt <input type="checkbox"/> [D2] Energiespeicherung		<input type="checkbox"/> [E] Abfallbewirtschaftung <input type="checkbox"/> [E1] Vorbereitung zur Wiederverwendung <input type="checkbox"/> [E2] stoffliche Verwertung <input type="checkbox"/> [E3] energetische Verwertung <input type="checkbox"/> [E4] Beseitigung	
<input type="checkbox"/> [T] Transporte					
Transport Energieprodukte	<input type="checkbox"/> [T3] Transport Endprodukte		<input type="checkbox"/> [T4] Transport Koppelprodukte und Abfälle		
... und Infrastruktur ... und Hilfsenergien ... und Verbrauchsmaterialien		<input type="checkbox"/> [V3] Produktion von Pflanzmaterial und Saatgut <input type="checkbox"/> [V6] Bereitstellung von Mineral- und Kalkdüngern			
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="color: blue; margin: 0;">Anmerkungen:</p> </div>					
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;">Ergänzende Informationen:</p> <input type="checkbox"/> [F] Effekte außerhalb der Systemgrenze <input type="checkbox"/> [F1] Gutschriften für vermiedene Lasten <input type="checkbox"/> [F2] Direkte Landnutzungsänderung <input type="checkbox"/> [F3] Indirekte Landnutzungsänderung <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <input type="checkbox"/> [F4] Gutschriften für vermiedenes Referenzsystem Koppelprodukte <input type="checkbox"/> [F5] Gutschriften für vermiedene Roh- und Brennstoffe durch Abfallbewirtschaftung <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> </div>					
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <input type="checkbox"/> [G] Substitution von Produkten eines Referenzsystems <input type="checkbox"/> [G1] Referenzsystem Hauptprodukt <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> </div>					

Die Lebenszyklusabschnitte (zum Beispiel Rohstoffgewinnung) sind in Prozessgruppen [A] bis [G] unterteilt (zum Beispiel [A] Erzeugung und Bereitstellung von Biomasse), die wiederum aus mehreren Prozess-Untergruppen bestehen (zum Beispiel [A1] Bestandesbegründung bis [A5] Rohstoffbereitstellung aus vorgelagerten Systemen). Für eine detaillierte Analyse von Produktsystemen kann es sinnvoll sein, bestimmte Prozess-Untergruppen nochmals in einzelne Prozesse aufzuteilen (zum Beispiel [A1.1] Bodenaufbereitung bis [A1.3] sonstige Flächenvorbereitung). In der Bilanzierung berücksichtigte betriebliche Logistik- [L], Vorleistungs- [V] und Transportprozesse [T] können gesondert ausgewiesen werden. Des Weiteren können in der Prozessgruppe [F] Effekte außerhalb der Systemgrenze berücksichtigt werden, z. B. Gutschriften für vermiedene Lasten durch die Nutzung von Koppelprodukten oder Abfällen. Auch mögliche Substitutionsgutschriften aus dem Vergleich von Biomassensystemen mit (fossilen) Referenzsystemen werden nachvollziehbar separat in Prozessgruppe [G] dargestellt (siehe Abbildung auf Seite 11).

Um diese harmonisierte Bilanzierungsmethode unter regionalspezifischen Anforderungen zu prüfen und weiterzuentwickeln, aber auch Ergebnisse abbilden zu können, wurden typische Fallbeispiele und Modellvarianten für die Bereitstellung von Bioenergie in Bayern auf der Ebene von Feldversuchen, Praxisbetrieben und Modellen untersucht. Auf Seite 13 ist die Bewertung des Produktsystems der Rapsenerzeugung und dezentralen Rapsölkraftstoffproduktion beispielhaft dargestellt. Der Schwerpunkt der Bilanzierungen lag auf der Bewertung der THG-Emissionen.

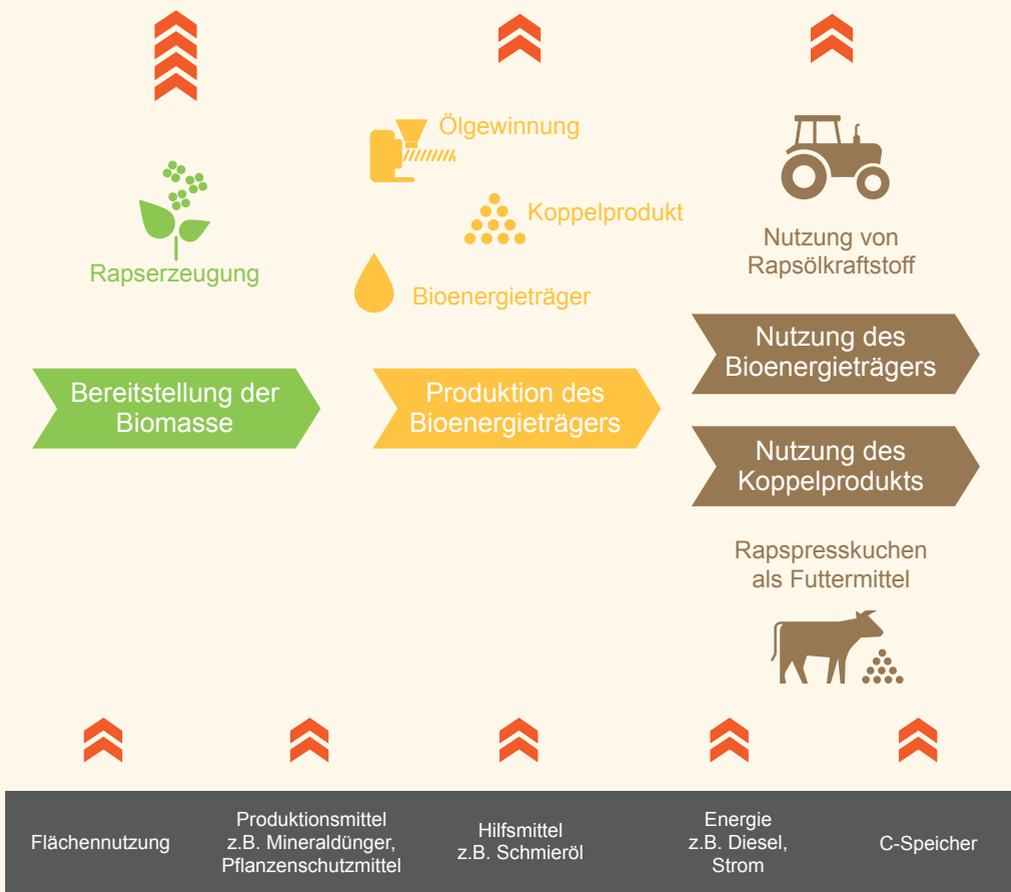
Weiterhin wurden die Kostenwettbewerbsfähigkeit und der Primärenergiebedarf bewertet sowie erste Bilanzierungen zu den Umweltwirkungskategorien Partikelemissionen, Eutrophierung, Versauerung und Primärenergiebedarf durchgeführt. Die ökonomische Bewertung erfolgte auf Basis von Gesteungskosten für die Zielmärkte Wärme, Strom und Kraftstoffe. Dabei wurden für die Produktsysteme Schlüsseleinflussgrößen identifiziert, Varianten- bzw. Szenarienanalysen durchgeführt und THG-Vermeidungskosten abgeleitet. Zudem wurden vergleichende Untersuchungen zum Einfluss der Bilanzierungsmethode (Systemgrenzen, einbezogene Prozesse, Stoff- und Energieflüsse, Modellparameter und Algorithmen) und der Bilanzierungswerkzeuge (zum Beispiel Umgang mit Koppelprodukten, Auswahl von Emissionsfaktoren) auf das Bilanzergebnis sowie zum Einfluss der Auswahl von Referenzsystemen auf die Bewertung mittels Substitutionsfaktoren durchgeführt.

Die THG-Emissionen der untersuchten Produktsysteme aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen wurden, untergliedert nach Teilprozessen entsprechend den ExpResBio-Methoden, in einer speziell konzipierten und programmierten Datenbank auf einem Server der bayerischen Land- und Forstwirtschaftsverwaltung abgelegt. Die transparente und konsistente Ablage der THG-Emissionen in der Datenbank ermöglicht die Nutzung aller bereits erarbeiteten Bilanzierungsergebnisse für zukünftige Arbeiten.

Umweltwirkung „Globale Erwärmung“ Emissionen: CO₂ CH₄ N₂O

Emissionen	Menge an Emissionen	THG-Potential nach IPCC 2007	Menge CO ₂ -Äquivalente
CO ₂	...	1	...
CH ₄	...	25	...
N ₂ O	...	298	...

Umrechnung in CO₂-Äquivalente für die Umweltwirkung „Globale Erwärmung“



Bewertung der Treibhausgasemissionen am Beispiel der Rapsölkraftstoffproduktion

Ergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Analyse und Bewertung ausgewählter ökologischer und ökonomischer Wirkungen von Produktsystemen aus land- und forstwirtschaftlichen

Rohstoffen in Kürze dargestellt. Ausführliche Erläuterungen dazu finden sich in der Langfassung des Abschlussberichts [16].

Strom und Wärme aus Biogas inklusive der Bereitstellung verschiedener landwirtschaftlicher Biogassubstrate

Die Biogaserzeugung nimmt aufgrund des bedeutenden Flächenumfangs der Substraterzeugung sowie des rapiden Ausbaus der Biogasanlagen im vergangenen Jahrzehnt eine herausragende Bedeutung in der bayerischen Landwirtschaft ein. Zum Stichtag 31.12.2015

zählte die Biogas-Betreiber-Datenbank Bayern 2.385 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Nennleistung von 882 MW und einer installierten Methaneinspeiseleistung von 12.777 Normkubikmeter je Stunde [35].



Bereitstellung landwirtschaftlicher Biogassubstrate



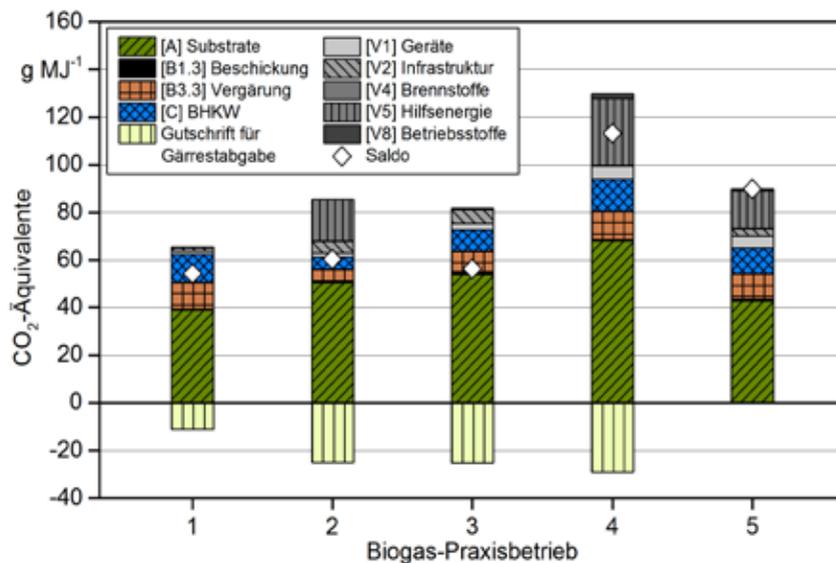
Verringert den Verbrauch fossiler Energieträger: landwirtschaftliche Biogasproduktion



Substitut von Erdöl und Erdgas: Strom und Wärme aus Biogas

Die Strom- und Wärmebereitstellung aus Biogasanlagen verringert den Verbrauch fossiler Energieträger wie Erdgas, Erdöl oder Kohle. Allerdings ist auch die Strom- und Wärmeerzeugung aus Biogasanlagen nicht klimaneutral. Auf Basis feldexperimenteller und betrieblicher Daten wurden ausgewählte ökologische und ökonomische Wirkungen der Strom- und Wärmebereitstellung aus Biogas untersucht und bewertet. Auf der **feldexperimentellen Ebene** (Systemversuch Viehhausen im Landkreis Freising [3]) erfolgten **Berechnungen zu Energiepflanzenfruchtfolgen als Einsatzstoffe für die Biogasproduktion**. Auf **Betriebsebene** wurden fünf Biogas-Praxisbetriebe in vier verschiedenen Boden-Klima-Räumen Bayerns hinsichtlich ihrer **betrieblichen Stoff- und Energieflüsse sowie der freigesetzten THG-Emissionen** betrachtet. Die Bilanzierung der Biogasprozessketten von der Substraterzeugung bis zur Bereitstellung von Nutzenergie wurde mit der Ökobilanzsoftware GaBi ts

[37] durchgeführt. Die betrieblichen Stoff- und Energieflüsse bei der Biogassubstraterzeugung und der Gärrestverwertung wurden zusätzlich mit der Betriebsbilanzierungssoftware REPRO [5][23] abgebildet. In allen fünf untersuchten Biogas-Praxisbetrieben verursacht die Stromerzeugung aus Biogas im Vergleich zur Stromerzeugung aus Erdgas (138 g MJ^{-1}) sowie dem deutschen Strommix (178 g MJ^{-1}) geringere THG-Emissionen (Angaben in CO_2 -Äquivalente; siehe Abbildung Seite 16). Hauptquelle für THG-Emissionen ist in allen untersuchten Betrieben die Substratbereitstellung. Wird der größte Teil des Biogasertrags aus Energiepflanzen gewonnen, ist dieser Anteil entsprechend höher als beim Einsatz von Reststoffen, Gülle und Mist. Als dominierende Einflussgrößen auf die THG-Emissionen aus dem Betrieb der Biogasanlagen wurden der Bezug von elektrischer Hilfsenergie und der Methanschluß aus dem BHKW identifiziert.



THG-Emissionen der Strombereitstellung aus Biogas als CO₂-Äquivalente für die untersuchten Biogas-Praxisbetriebe (Saldo und Aufteilung auf einzelne Prozessgruppen)

Aus diesen Untersuchungen kann eine Reihe von **Optimierungsansätzen zur Reduktion der THG-Emissionen** der Energiebereitstellung aus Biogas abgeleitet werden. Bei der Erzeugung von Energiepflanzen tragen die Lachgasfeldemissionen infolge der Stickstoffdüngung maßgeblich zu den produktspezifischen THG-Emissionen bei. Maßnahmen zur Reduktion der Lachgasemissionen liegen daher in der Reduktion des N-Mineraldüngereinsatzes, der Abgabe bzw. Vermarktung von Gärresten sowie einer an den Pflanzenbedarf angepassten N-Düngung (regelmäßige Nährstoffanalyse der Gärreste). Der Anbau von Zwischenfrüchten kann einerseits frei verfügbaren Stickstoff und andererseits durch Humusaufbau atmosphärischen Kohlenstoff binden. Auch auf Ebene der Biogasanlage gibt es eine Reihe von Maßnahmen zur Verringerung der THG-Emissionen. Hierzu zählen ein höherer Anteil von Gülle und Mist als Einsatzstoffe, die Minimierung des Einsatzes von elektrischer Hilfsenergie aus fossilen Quellen, die professionelle Wartung des

BHKW, die regelmäßige Kontrolle der Gärstrecke auf Leckagen, die Ausstattung der Gärrestlager mit Gaserfassung sowie die Steigerung des Wärmeabsatzes zur Substitution fossiler Energieträger.

Die **ökonomischen Untersuchungen** zeigen unter anderem die Chancen der Biogaserzeugung im ökologischen Landbau. Durch die Bereitstellung eines mobilen Wirtschaftsdüngers in Form des Gärrests können deutliche Ertragssteigerungen erzielt und so die Erlöse von Marktfrüchten gesteigert werden (Synergieeffekte). Durch eine möglichst weitgehende Wärmenutzung können bei Biogasanlagen die Produktionskosten für Energie (Strom und Wärme) und damit die THG-Vermeidungskosten gesenkt werden.

Aus den Untersuchungen lässt sich jedoch auch schlussfolgern, dass keine pauschalen Aussagen über die ökologischen und ökonomischen Wirkungen von Biogassystemen getroffen werden können und dürfen. Jedes Biogassystem stellt hinsichtlich der Biogassubstraterzeu-

gung (unter anderem Substratart, -qualität, -management) und des Biogasanlagenbetriebs

einen Einzelfall dar und muss entsprechend individuell analysiert und optimiert werden.

Bereitstellung und Nutzung von Biokraftstoffen aus landwirtschaftlichen Rohstoffen

Winterraps ist in Bayern die wichtigste Ölfrucht. In den Erntejahren 2009 bis 2014 betrug die durchschnittliche Anbaufläche in Bayern 136.100 ha mit einem durchschnittlichen Ertrag von 35,4 dt ha⁻¹ [34].



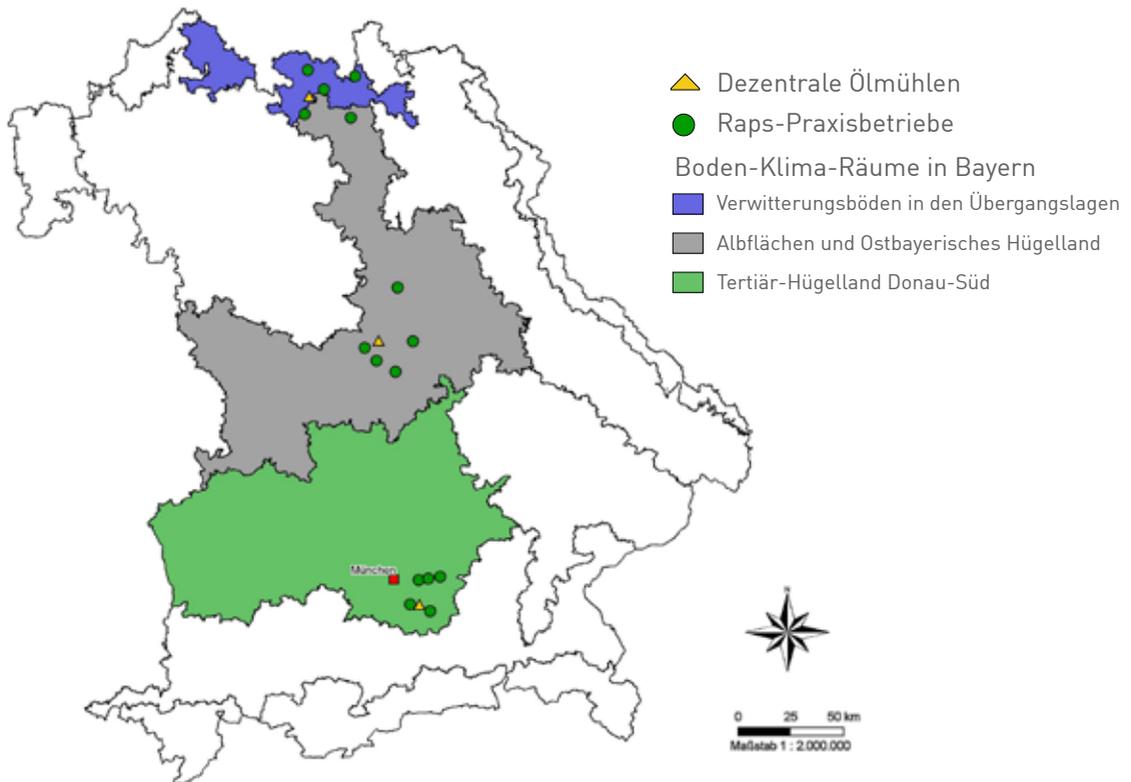
Wichtigste Ölfrucht in Bayern: Winterraps

Aus Rapssaad kann sowohl in industriellen Ölmöhlen (zentrale Ölmöhlen, Großanlagen) mit Verarbeitungskapazitäten bis zu 4.000 t Rapssaad pro Tag als auch in dezentralen Kleinanlagen (dezentrale Ölmöhlen) mit typischen Verarbeitungskapazitäten zwischen 0,5 und 25 t Rapssaad pro Tag Rapsöl produziert werden [31]. Die Rapssaadverarbeitung in dezentralen Ölmöhlen zu Rapsölkraftstoff für land- und forstwirtschaftliche Maschinen sowie zu Rapspresskuchen als hochwertiges Eiweißfuttermittel für die tierische Erzeugung ist in einigen bayerischen Regionen von Bedeutung [20].

Zur Analyse und Bewertung ausgewählter ökologischer und ökonomischer Wirkungen von Rapsölkraftstoff wurden die Betriebsdaten der Verarbeitungsjahre 2013/2014 und 2014/2015 von drei dezentralen Ölmöhlen erhoben. Die Anbaudaten für die Rapsverarbeitung der Erntejahre 2013 bis 2015 wurden in insgesamt 15 landwirtschaftlichen Praxisbetrieben ermittelt. Dabei liegen jeweils fünf landwirtschaftliche Praxisbetriebe im Umkreis von maximal 37 km um eine der drei dezentralen Ölmöhlen. Diese befinden sich in unterschiedlichen Boden-Klima-Räumen Bayerns (Tertiär-Hügelland Donau-Süd; Albflächen und Ostbayerisches Hügelland; Verwitterungsböden in den Höhenlagen). Hierdurch wird es möglich, regionalspezifische Einflussfaktoren der Rapsverarbeitung zu berücksichtigen (siehe Abbildung Seite 18).



Dezentrale Ölmühle: Hier kann Rapssaad zu Rapsölkraftstoff und Rapspresskuchen verarbeitet werden



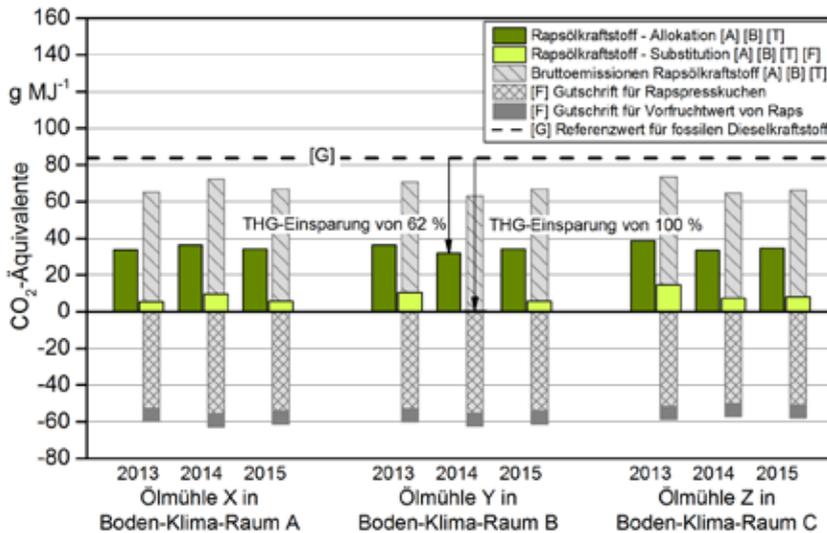
Teilnehmende landwirtschaftliche Praxisbetriebe und dezentrale Ölmöhlen in unterschiedlichen Boden-Klima-Räumen [32]

Die Untersuchungen zeigen, dass sich die THG-Emissionen als CO₂-Äquivalente (0,822 bis 0,873 kg kg⁻¹) und Produktionskosten (0,24 bis 0,26 € kg⁻¹) der Rapserzeugung in den drei untersuchten Boden-Klima-Räumen nur in geringem Maße unterscheiden. Auf einzelbetrieblicher Ebene zeigen sich jedoch, vor allem aufgrund des unterschiedlichen Düngungsmanagements, zum Teil erhebliche Variationen (0,640 bis 1,114 kg kg⁻¹ bzw. 0,21 bis 0,32 € kg⁻¹). Die THG-Emissionen der Rapserzeugung und die Kosten der Rapssaat haben mit Anteilen von 95 % bzw. 86 % einen entscheidenden Einfluss auf die THG-Bilanz und Wirtschaftlichkeit von Rapsölkraftstoff aus dezentraler Ölgewinnung. Aufgrund der kurzen Entfernungen und der energiesparenden Ölgewinnung bei der dezentralen Rapsverarbeitung weisen der Transport

und die Verarbeitung der Rapssaat mit 1 % bzw. 4 % nur geringe Anteile an den THG-Emissionen auf (siehe (15)).

Die Abbildung auf Seite 19 zeigt, dass Rapsölkraftstoff aus Bayern (beispielsweise Ölmühle Y im Erntejahr 2014) unter Verwendung der **Energie-Allokationsmethode** gemäß der RED ein THG-Einsparpotenzial von 62 % gegenüber Sojaschrotsubstitut: Einsatz von Rapspresskuchen als Futtermittel





THG-Emissionen als CO₂-Äquivalente und THG-Einsparung von Rapsölkraftstoff aus dezentraler Ölgewinnung im Vergleich zu fossilem Diesellokstoff in Abhängigkeit der Methode zur Bewertung des Rapspresskuchens und des Vorruchtwertes von Raps

gebildet, bei dem eine anteilige direkte Landnutzungsänderung von 8,4 % für den Sojaanbau in Südamerika zugrunde gelegt ist [36]. Die Anwendung der Substitutionsmethode führt im Vergleich zur

fossilen Kraftstoffen aufweisen kann. Dieser Wert liegt über dem RED-Standardwert von Rapsöl (57 %). Die Bewertung von Rapspresskuchen nach dessen tatsächlicher Verwendung als hochwertiges Eiweißfuttermittel in der tierischen Erzeugung und des Vorruchtwertes von Raps erfolgt in Ergänzung zur Energie-Allokation mit der **Substitutionsmethode**. Hierzu wird das substituierte Sojaschrot bzw. die Sojabohnen durch den deutschen Importmix ab-

Energie-Allokation zu deutlich unterschiedlichen Ergebnissen. Für Rapsölkraftstoff aus Ölmühle Y im Erntejahr 2014 wird hierbei ein THG-Einsparpotenzial von 100 % gegenüber fossilen Kraftstoffen erreicht (vgl. Abbildung oben). Können direkte Landnutzungsänderungen beim Anbau von Sojabohnen in Südamerika völlig ausgeschlossen werden, liegt die THG-Einsparung von Rapsölkraftstoff aus Ölmühle Y im Erntejahr 2014 bei 75 %.

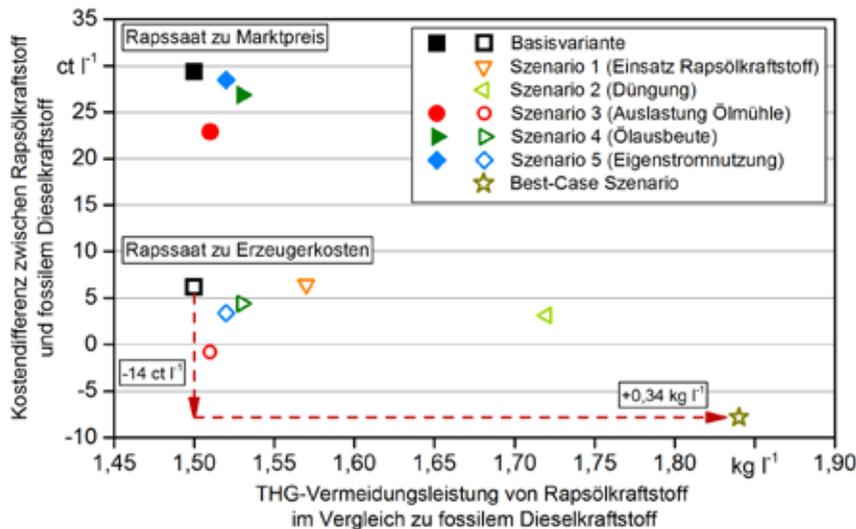


Anbau von Sojabohnen in Südamerika führt zu Landnutzungsänderungen durch Brandrodungen

Wichtige **Schlüsseleinflussgrößen** für die Optimierung der THG-Vermeidungsleistung von Rapsölkraftstoff sind die N-Düngung und die verwendete Kraftstoffart und -menge bei der Rapsrerzeugung sowie die Auslastung der Ölmühle, die Ölausbeute und der Stromeinsatz bei der Rapsverarbeitung. Aufbauend auf den bisherigen Ergebnissen (Basisvarianten) wurden regionalspezifische und einzelbetriebliche THG-Optimierungsmaßnahmen anhand von Szenarien abgeleitet (siehe Abbildung unten). Die **größte Stellschraube zur Optimierung der THG-Vermeidungsleistung ist demnach die N-Düngung** bei der Rapsrerzeugung. **Kostenseitig** wirkt sich vor allem eine **hohe Auslastung** der Verarbeitungskapazität positiv aus. Bei Durchführung aller vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahmen (Best-Case Szenario) können neben einer deutlichen Erhöhung der THG-Vermeidungsleistung von 1,50 auf 1,84 kg l⁻¹

auch die Kosten von Rapsölkraftstoff um rund 0,14 Euro je Liter reduziert werden. Bei der innerbetrieblichen Verarbeitung von Rapssaat zu Erzeugerkosten können sich für Rapsölkraftstoff im Vergleich zu fossilem Dieseldieselkraftstoff deutliche ökonomische Vorteile ergeben (siehe Abbildung unten).

Regional produzierter Rapsölkraftstoff weist somit auch niedrige volkswirtschaftliche Kosten (gegebenenfalls sogar volkswirtschaftliche Leistungen) auf. Mit Rapspresskuchen wird zudem ein hochwertiges Futtermittel aus der Region bereitgestellt. Darüber hinaus schafft die Ölmühle Arbeitsplätze und bewirkt Wertschöpfung für die Region. Aus ökologischen und ökonomischen Gründen sollte Dieseldieselkraftstoff zum Betrieb von Land- und Forstmaschinen langfristig durch Pflanzenölkraftstoff aus dezentralen Ölmühlen ersetzt werden.



Betriebsspezifische Basisvarianten und Optimierungsszenarien für die THG-Vermeidungsleistung von Rapsölkraftstoff im Vergleich zu fossilem Dieseldieselkraftstoff und für die Differenz der Kosten zwischen Rapsölkraftstoff und fossilem Dieseldieselkraftstoff

Wärme und Strom aus Holz inklusive der Bereitstellung der verschiedenen Holzsortimente aus der forstlichen Produktion

Das durchschnittliche Rohholzaufkommen in Bayern lag im Bezugszeitraum der dritten Bundeswaldinventur (2002 bis 2012) bei jährlich 22,3 Millionen Erntefestmetern ohne Rinde (Efm oR) [27], wobei seit 2010 in Deutschland mehr Holz

energetisch als stofflich verwendet wurde [28]. Mit einem Anteil von 12,6 % an der gesamten Wärmebereitstellung ist Wärme aus Holz in Bayern eine wichtige Säule für die Bereitstellung von Energie aus erneuerbaren Quellen [44].

Bereitstellung von Rohholz

Für die Berechnung der Umweltwirkungen sowie zur Analyse der Kosten durch die Bereitstellung von Rohholz bis Waldstraße bzw. bis Werk/Hof (Prozessgruppe [A]) wurden für die vier Hauptbaumarten in Bayern (Fichte, Kiefer, Buche, Eiche) über die baumartenspezifische Umtriebszeit deren Bestandesentwicklung und Rohholzaufkommen für einen Hektar Waldfläche modelliert. Durch die Kombination verschiedener Variablen (Baumart, Standortqualität, Sortiment, Bewirtschaftungsintensität, Mechanisierung) konnten die in Bayern gängigsten Varianten der Rohholzbereitstellung abgebildet werden.

Die THG-Emissionen als CO₂-Äquivalente liegen bei der Bereitstellung von Rohholz bis Waldstraße im Mittel über eine Umtriebszeit in einem Wertebereich zwischen 5 und 36 kg je Erntefestmeter mit Rinde (Efm mR⁻¹). Insbesondere das Industrieholz trägt zu dieser breiten Streuung bei, da der Einsatz von Maschinen und Kraftstoff aufgrund der geringen Dimension des Industrieholzstücks im Vergleich zum Stammholz relativ hoch ist (Stück-Masse-Gesetz). Dieser Wertebereich verdeutlicht die Notwendigkeit, bei der Ökobilanzierung von Holzprodukten oder Energie aus Holz auch für die Prozessgruppe [A] Rohholzbereitstellung die Umweltwirkungen individuell zu berechnen, anstatt aggregierte mittlere Werte aus der



Rohholzbereitstellung

Literatur zu veranschlagen. Jedoch sind trotz der hohen Bandbreite die THG-Emissionen im Vergleich zum Kohlenstoff, der durch die Forstwirtschaft zur Verfügung gestellt wird, sehr gering. So müssen lediglich 0,6 bis 4,8 % des gespeicherten biogenen Kohlenstoffs in Form fossiler THG-Emissionen aufgewendet werden. Die Bereitstellung von Rohholz bis Waldstraße ist somit fast klimaneutral.

Die höchsten THG-Emissionen bis Waldstraße entstehen durch den Kraftstoffverbrauch bei der Ernte und beim Vorliefern von Rohholz. Jedoch können auch Maßnahmen bei der Bestandesführung, wie die Instandsetzung von Wegen, von Bedeutung sein und dürfen in der Bilanzierung nicht vernachlässigt werden. Prozesse in der Bestandesbegründung sind meist von geringer Bedeutung. Die **Transportentfernung** von Rohholz bis Werk/Hof **beeinflusst die THG-Emissionen enorm** und kann neben dem Kraftstoffverbrauch bei der Holzernte als Schlüsselinflussgröße für die THG-Bilanz von Rohholz bezeichnet werden. So liegt beim Stammholz der Anteil der THG-Emissionen durch den Transport, selbst bei einer regionalen Verteilung von 50 km einfacher Strecke, bei bis zu 50 %.

Optimierungspotenziale der THG-Emissionen liegen insbesondere in der Einsparung von Kraftstoff, beispielsweise durch die motormanuelle Ernte mittels Motorsäge anstelle der maschinellen Ernte mittels Harvester, in der Substitution fossilen Kraftstoffs durch Rapsölkraftstoff, in der Nutzung von Kies als Wegebaumaterial anstelle von Schotter (unterschiedliche THG-Emissionen bei der Her-

stellung), in einer lokalen Weiterverarbeitung von Rohholz sowie in einer wenig aufwändigen Bestandesbegründung und -führung. Die **Kosten der Bereitstellung von Rohholz** wurden als Gesteungskosten über die gesamte Umtriebszeit der untersuchten Baumarten im Rahmen einer Vollkostenrechnung berechnet. Dabei werden die im Verlauf des Bestandeslebens jeweils zum Zeitpunkt der Maßnahme entstehenden Kosten und gegebenenfalls Erlöse mit einer internen Verzinsung auf den Endwert prolongiert. Damit haben Kosten, die sehr früh entstehen, wie zum Beispiel bei der Bestandesbegründung, einen großen Einfluss auf die Gesamtkosten, vor allem bei Baumarten mit hoher Umtriebszeit. Die Gesamtkosten für die untersuchten Sortimenten liegen in einem Wertebereich von 45 € Efm mR⁻¹ bei der vollmechanisierten Fichtenernte aus Naturverjüngung bis zu 90 € Efm mR⁻¹ bei der schwach mechanisierten Eichenholzernte aus künstlich verjüngten Beständen. Dabei hat die künstliche Bestandesbegründung insbesondere beim Laubholz einen sehr starken Einfluss. Die manuelle Pflanzung verursacht hier knapp ein Viertel der Gesamtkosten bis Waldstraße. Zur **Optimierung** sollten Waldbestände daher wenn möglich aus Naturverjüngung hervorgehen und es sollte auf den Zaunbau verzichtet werden. Auch sollte das Ernteverfahren auf die Rahmenbedingungen des Einzelbestandes abgestimmt sein. So führt die Ernte mit Harvester anstatt Motorsäge in den meisten Fällen zu sinkenden Kosten. Bei der Kiefer war dieser Zusammenhang aufgrund eines relativ hohen Industrieholzanteils nicht nachzuweisen.

Wärme und Strom aus Holz

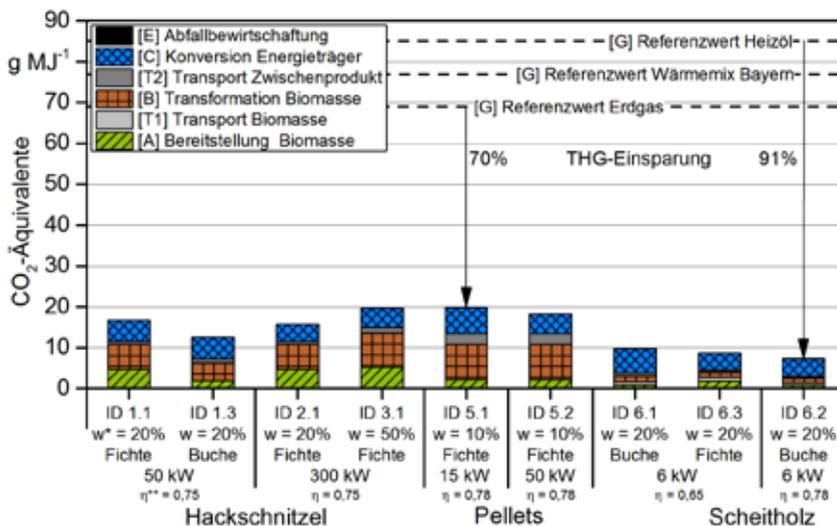
In ExpResBio wurden zehn Varianten der für Bayern wichtigsten energetischen Holzverwertungen ausgewählt und detailliert analysiert. Eine hohe Bedeutung haben die Wärmeerzeugung in kleineren Anlagen (Anteil von über 95 % der installierten Leistung [25]) sowie die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung in größeren Anlagen aufgrund des steigenden Anteils des Altholzes in der energetischen Verwertung [28]. Je nach Nutzungsform kommt zumeist Waldholz in Form von Industrie- oder Scheitholz, aber auch Industrierestholz oder Altholz zum Einsatz (Rohholzbereitstellung [A]). Für die Holzverwertung wurden zusätzlich die Lebenszyklusabschnitte Transformation [B], Konversion [C], Abfallbewirtschaftung [E], Transporte [T], Vorleistungen [V] und Logistik [L] analysiert und Vergleiche mit Referenzsystemen zur Wärmebereitstellung [G] (zum Beispiel Heizöl, Erdgas, Wärmemix Bayern) durchgeführt.

Die THG-Emissionen als CO₂-Äquivalente der Wärmebereitstellung aus Holz liegen zwischen 7,3 g MJ⁻¹ für Wärme aus Buchen-Scheitholz in



einer 6 kW Scheitholzfeuerung und 19,8 g MJ⁻¹ für Wärme aus Pellets in einer 15 kW Zentralheizung (siehe Abbildung unten). Die Bereitstellung von Wärme und Strom aus einer KWK-Anlage mit einer elektrischen Leistung von 20 MW verursacht THG-Emissionen in Höhe von 8,3 g MJ⁻¹ für Wärme und 30,9 g MJ⁻¹ für Strom.

Die energetische Holznutzung weist somit geringe THG-Emissionen im Vergleich zu fossilen Energieträgern auf. Alle untersuchten Produktsysteme tragen zu einer THG-Einsparung bei, wenn sie fossile Energieträger substituieren. Die THG-Vermeidungsleistung ist jedoch abhän-



THG-Emissionen als CO₂-Äquivalente ausgewählter Produktsysteme zur Wärmebereitstellung aus Holz in Bayern im Vergleich mit ausgewählten Referenzsystemen (ID= Nummer korrespondierend mit den Varianten im Abschlussbericht [Langfassung [16]])

*Wärmegehalt, **Jahresnutzungsgrad

gig von den jeweiligen Referenzsystemen, wie zum Beispiel Wärme aus Erdgas oder Erdöl [43]. Im Vergleich zur Stromerzeugung stellt die Wärmebereitstellung in den meisten Fällen die effizientere Nutzung von Waldholz dar. Für die kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme sollte der Fokus auf der Nutzung von Altholz möglichst aus einem Umkreis von max. 250 km liegen.

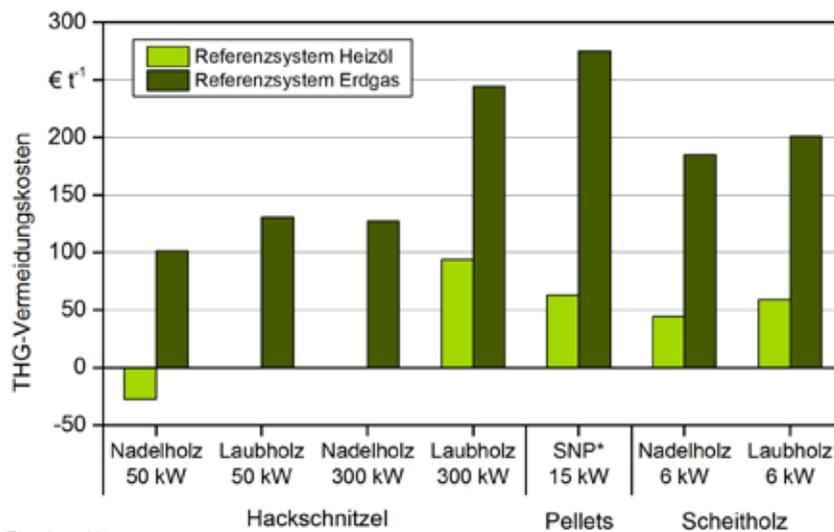
Der erwartete Anstieg des Anteils regenerativer Energien am Strommix in Deutschland wird zur Reduzierung der spezifischen THG-Emissionen der Wärmeerzeugung aus Pellets beitragen, da die Hilfsenergie für die Produktion der Pellets für ca. ein Drittel der THG-Emissionen verantwortlich ist. Als **größter Einflussfaktor auf die THG-Emissionen** muss jedoch neben **angepasster Transformationstechnologie** (zum Beispiel sortimentsgerechte Hacker) und **dem Wassergehalt des Brennstoffs** die **Effizienz der Holzverbrennung** (Ofentechnologie, Brennraumtemperatur etc.) genannt werden, die insbesondere im Bereich der Scheitholznutzung noch gesteigert werden kann.

Die THG-Emissionen durch die Bereitstellung von Wärme aus Scheitholz bzw. Hackschnitzeln sind grundsätzlich geringer als bei Wärme aus Pellets, jedoch müssen für eine umfassende ökologische Bewertung auch andere Umweltwirkungen (zum Beispiel Feinstaubemissionen) sowie Natur- und Bodenschutzaspekte (zum Beispiel Biodiversität, Nährstoffhaushalt) berücksichtigt werden. Wärme aus Pellets hat dabei den Vorteil, dass weniger Feinstaub emittiert wird. Zudem trägt die Verwendung von Koppelprodukten aus der Sägeindustrie zu einer gesteigerten Ressourceneffizienz bei.

Hackschnitzel, Pellets und Scheitholz: Einsatzstoffe zur Wärmebereitstellung aus Holz



Die **Kosten** für die Vermeidung von THG-Emissionen durch den Einsatz von Holz als Energieträger (THG-Vermeidungskosten) liegen für die ausgewählten Varianten in einer großen Spannweite von -27 bis 275 € t⁻¹ (siehe Abbildung rechts). Das Referenzsystem hat hierbei einen großen Einfluss auf die Höhe der Vermeidungskosten. Während



*Sägennebenprodukte
THG-Vermeidungskosten in € t⁻¹ ausgewählter Produktsysteme zur Wärmebereitstellung aus Holz

im Vergleich mit Heizöl verhältnismäßig geringe, keine oder sogar negative Vermeidungskosten (Kosteneinsparungen) entstehen, ergeben sich im Vergleich mit dem Referenzsystem Erdgas ausschließlich positive Vermeidungskosten. Der Grund für diese höheren Vermeidungskosten ist auf die um etwa 30 % geringeren Kosten bei der Wärmebereitstellung durch Erdgas zurückzuführen. Nadelholz-basierte Produktsysteme weisen grundsätzlich geringere Vermeidungskosten auf als Laubholz-basierte Produktsysteme, da letztere mit höheren Kosten aufgrund der aufwändigeren Bereitstellung verbunden sind. Im Gegensatz zum Nadelholz,

das meist aus Naturverjüngung hervorgeht, erfolgt die Verjüngung beim Laubholz häufig über manuelle Pflanzung mit gleichzeitigem Zaunbau. Mit der Zielstellung des kostengünstigen Klimaschutzes stellt sich die Substitution von Heizöl durch die Wärmebereitstellung aus Nadelholzhackschnitzeln als empfehlenswert dar. Darüber hinaus generiert die Produktion von Hackschnitzeln weitere volkswirtschaftliche Leistungen wie regionale Wertschöpfung oder geringe Wärmegestehungskosten für den Endnutzer.

Übergreifende Handlungsempfehlungen

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die gewählten Systemgrenzen und methodischen Freiheiten bei der Bewertung von Umweltwirkungen die Ergebnisse in großem Maße beeinflussen und Vergleiche erschweren. Aus diesem Grund wird empfohlen, die harmonisierte ExpResBio-Methode für die Analyse und Bewertung land- und forstwirtschaftlicher Produktsysteme in Bayern als Standardmethode zu verwenden. Durch diese Anleitung können insbesondere auch die Beschreibung der Produktsysteme sowie die Dokumentation der Daten verbessert und dadurch die Transparenz und somit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erhöht werden.

Da auch regionalspezifische Gegebenheiten wie zum Beispiel Boden, Klima und Betriebsstruktur Einfluss auf die Umweltwirkungen sowie die Produktionskosten bzw. Gestehungskosten land- und forstwirtschaftlicher Produktsysteme nehmen, müssen diese für die Ableitung gezielter Optimierungsansätze berücksichtigt werden.

Aufgrund der regionalen Bedeutung der Bioenergieerzeugung und der unterschiedlichen THG-Vermeidungsleistungen und -kosten in Abhängigkeit der gewählten Referenzsysteme sollte für die Berechnung stets das tatsächlich substituierte Referenzsystem dem Biomassensystem gegenübergestellt und immer separat ausgewiesen werden.

Die Wechselwirkungen zwischen Biomasse-, Bioenergie- und Nahrungserzeugung (Marktfruchtbau, Tierhaltung) werden infolge der methodischen Berechnungsvorgaben in der EU-RED zu gering bewertet oder bleiben

gänzlich unberücksichtigt (Fruchtfolgewirkungen). Diese Wechselwirkungen treten jedoch in der landwirtschaftlichen Praxis de facto auf. Deshalb wird empfohlen, die Bewertung des THG-Minderungspotenzials landwirtschaftlicher Rohstoffe, bei deren Erzeugung Koppelprodukte entstehen, die typischerweise keiner energetischen Nutzung zugeführt werden, ausschließlich oder zumindest zusätzlich zur Energie-Allokationsmethode mit der Substitutionsmethode zu bewerten.

Für die Entwicklung von Ressourcenstrategien müssen weitere Umwelt- sowie soziale und ökonomische Wirkungen und Stoffstrom- und Potenzialanalysen erfolgen. Erste Berechnungen für Bayern zeigen beispielsweise, dass die energetische Holznutzung einen überaus wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leistet. Aktuell kann von einer THG-Einsparung von ca. 6,4 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr durch die Substitution fossiler Energieträger bei der Wärmebereitstellung in Bayern ausgegangen werden (bei Gesamt-THG-Emissionen der Wärmebereitstellung durch alle Energieträger von ca. 49,6 Mio. t CO₂-Äquivalente pro Jahr [44]). Allerdings führt eine zusätzliche Erhöhung der Energieholznutzung zu keinen weiteren substantziellen THG-Minderungen bezogen auf den Wärmemix Bayerns. Eine 15%ige Steigerung der Energieholzmenge würde lediglich zu einer zusätzlichen THG-Reduktion von 2 % der Gesamt-THG-Emissionen der Wärmebereitstellung in Bayern führen, wobei eine gleichzeitige Erhöhung der Feinstaubemissionen um 12 % zu erwarten ist [44]. Die dargestellten Feinstaubemissionen bilden jedoch den zugrunde



gelegten Anlagenbestand (und nicht die beste verfügbare Anlagentechnik im Jahr 2016) ab. Die Novelle der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV) wird die Wärmebereitstellung aus Scheitholz und Hackschnitzel allerdings deutlich beeinflussen. Sollte es zu der erwarteten Modernisierung oder Stilllegung ineffizienter Feuerungsanlagen (insbesondere für Scheitholz) kommen, könnte dies in Zukunft bei gleichbleibender Holznutzung für Wärme zu einer Reduzierung der Feinstaubemissionen um ca. 50 % führen [40]. Darüber hinaus ist eine Verringerung des Wärmebedarfs in den Haushalten (durch Dämmung, Niedrigenergiehäuser etc.) mittelfristig zwingend erforderlich. Bei einer weiteren Verschiebung von der stofflichen zur energetischen Holznutzung sind keine Nettoeffekte hinsichtlich einer THG-Emissionsminderung, aber größere negative Auswirkun-

gen auf Beschäftigung und Wertschöpfung zu erwarten [39]. Eine nachhaltige Weiterentwicklung der energetischen neben der stofflichen Holznutzung ist anzustreben. Förderinstrumente sind hierbei maßvoll einzusetzen. Der aktuelle Stand mit ca. 50 % stofflicher und 50 % energetischer Nutzung der Holzverbraucher der 1. Absatzstufe erscheint gegenwärtig für den Klimaschutz durch die Substitution sowohl fossiler Energieträger als auch aufwändig produzierter Nicht-Holz-Produkte (insbesondere energieintensiver Baustoffe) eine sinnvolle Aufteilung zu sein. Im Rahmen der Kaskadennutzung lässt sich zudem durch eine stoffliche Erstnutzung und eine anschließende energetische Nutzung prinzipiell ein Mehrwert erzielen [22].

Quellen

- [1] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2015): Bioökonomie für Bayern! München: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 24 Seiten
- [2] BAYERISCHE STAATSRGIERUNG (2011): Bayerisches Energiekonzept „Energie Innovativ“, beschlossen am 24.05.2011. München: Bayerische Staatskanzlei, 80 Seiten
- [3] BRYZINSKI, T.; HÜLSBERGEN, K.-J. (2015): Energiebilanzen und Erträge ökologischer und konventioneller Anbausysteme: erste Analyseergebnisse eines Dauerfeldversuchs in Süddeutschland. In: HÄRING, A. M., HÖRNING, B., HOFFMANN-BAHNSEN, R. (Hrsg.): Beiträge zur 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Berlin: Verlag Dr. Köster, S. 248–251, ISBN-13: 9783895748851
- [4] BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (2014): Nationale Politikstrategie Bioökonomie. Nachwachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie. URL: http://www.bmbf.de/pubRD/Politikstrategie_Biooekonomie_barrierefrei.pdf (Stand: 19.04.2016)
- [5] CHRISTEN, O.; HÖVELMANN, L.; HÜLSBERGEN, K.-J.; PACKEISER, M.; RIMPAU, J.; WAGNER, B. (2009): Nachhaltige Landwirtschaftliche Produktion in der Wertschöpfungskette Lebensmittel. Initiativen zum Umweltschutz, Band 78. Berlin: Erich-Schmidt-Verlag, 187 Seiten, ISBN 978-3-503-12044-4
- [6] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2006): DIN EN ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Oktober 2006. Berlin: Beuth-Verlag, 84 Seiten
- [7] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2009): DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. November 2009. Berlin: Beuth-Verlag, 40 Seiten
- [8] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2012): DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. April 2012. Berlin: Beuth-Verlag, 52 Seiten
- [9] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2013): DIN EN 16214-4: Nachhaltigkeitskriterien für die Herstellung von Biokraftstoffen und flüssigen Biobrennstoffen für Energieanwendungen – Grundsätze, Kriterien, Indikatoren und Prüfer – Teil 4: Berechnungsmethoden der Treibhausgasemissionsbilanz unter Verwendung einer Ökobilanz. April 2013. Berlin: Beuth-Verlag, 44 Seiten
- [10] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2014): DIN CEN ISO/TS 14067: Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen an und Leitlinien für Quantifizierung und Kommunikation (ISO/TS 14067:2013). September 2014. Berlin: Beuth-Verlag, 104 Seiten
- [11] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2014): DIN EN 16751: Biobasierte Produkte – Nachhaltigkeitskriterien. Norm-Entwurf. Juli 2014. Berlin: Beuth-Verlag, 21 Seiten
- [12] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2014): DIN EN 16760: Biobasierte Produkte – Ökobilanzen. Norm-Entwurf. August 2014. Berlin: Beuth-Verlag, 36 Seiten

- [13] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2014): DIN EN 16485: Rund- und Schnittholz – Umweltproduktdeklarationen – Produktkategorieeregeln für Holz und Holzwerkstoffe im Bauwesen. Juli 2014. Berlin: Beuth-Verlag, 27 Seiten
- [14] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (DIN) (2014): DIN EN 15804: Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Juli 2014. Berlin: Beuth-Verlag, 67 Seiten
- [15] DRESSLER, D.; ENGELMANN, K. ; SERJUK, M.; REMMELE, E. (2016): Rapsölkraftstoffproduktion in Bayern – Analyse und Bewertung ökologischer und ökonomischer Wirkungen nach der ExpResBio-Methode. Berichte aus dem TFZ Nr. 50. Straubing: Technologie- und Förderzentrum
- [16] DRESSLER, D.; ENGELMANN, K. ET AL. (2016): EXPRESSBIO-ERGEBNISSE: Analyse und Bewertung ausgewählter ökologischer und ökonomischer Wirkungen von Produktsystemen aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen. Abschlussbericht – Langfassung. Straubing: Technologie- und Förderzentrum, 748 Seiten
- [17] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (2009): Richtlinie 2009/28/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG
- [18] EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (2012): Product Environmental Footprint (PEF) Guide. Deliverable 2 and 4A of the Administrative Arrangement between DG Environment and the Joint Research Centre No. N 070307/2009/552517, including Amendment No. 1 from December 2010. Authors: Manfredi, S.; Allacker, K.; Chomkhamsri, K.; Pelletier, N.; Maia de Souza, D.; Ispra, Italy: European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability (JRC IES); Ref. Ares(2012)873782 – 17/07/2012, 160 Seiten
- [19] EUROPEAN COMMISSION (2012): The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. Towards more sustainable production and consumption for a resource-efficient Europe. First Edition. Authors: Wolf, M.-A.; Pant, R.; Chomkhamsri, K., Sala, S.; Pennington, D.; Ispra, Italy: European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability (JRC IES); Publication Office of the European Union. EUR – Scientific and Technical Research series, EUR24982 EN, 72 Seiten, ISBN 978-92-79-21640-4
- [20] HAAS, R.; REMMELE, E. (2013): Dezentrale Ölsaatenverarbeitung 2012/2013 – eine bundesweite Befragung. Im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF). Berichte aus dem TFZ Nr. 34. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, 51 Seiten
- [21] HIJAZI, O.; MUNRO, S.; ZERHUSEN, B.; EFFENBERGER, M. (2016): Review of life cycle assessment for biogas production in Europe. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Jg. 54, S. 1291–1300

- [22] HÖGLMEIER, K.; WEBER-BLASCHKE, G.; RICHTER, K. (2015): LCA-based optimization of wood utilization in southeast Germany under special consideration of a cascading use of wood. *Journal of Environmental Management*, Nr. 152, S. 158–170
- [23] HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. *Berichte aus der Agrarwissenschaft*. 1. Aufl., Aachen: Shaker-Verlag, 292 Seiten, ISBN 978-3832214647
- [24] INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION (ISO) (2015): ISO 13065:2015-09 Sustainability criteria for bioenergy. Berlin: Beuth-Verlag, 57 Seiten
- [25] JOA, B. (2014): Analyse der Bestandesstruktur und der Emissionen von Holzfeuerungsanlagen zur Erzeugung von Wärme und Strom in Bayern. Bachelorarbeit, Holzforschung München: Technische Universität München
- [26] KLEIN, D.; WOLF, C.; SCHULZ, C.; WEBER-BLASCHKE, G. (2015): 20 years of life cycle assessment (LCA) in the forestry sector: state of the art and a methodical proposal for the LCA of forest production. *International Journal of Life Cycle Assessment*, Jg. 20, Nr. 4, S. 556–575
- [27] KLEMMT, H. J.; NEUBERT, M.; MÖßNANG, M.; HOPF, C. (2014): Nachhaltig und natur-nah. Wald und Forstwirtschaft in Bayern. Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 32 Seiten, ISSN 1865-8709
- [28] MANTAU, U. (2012): Holzrohstoffbilanz und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015. Studie. Hamburg: INFRO Informationssysteme in Deutschland und Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, Arbeitsbereich Ökonomie der Holz- und Forstwirtschaft, 65 Seiten
- [29] MÜLLER-LINDENLAUF, M.; CORNELIUS, C.; GÄRTNER, S.; REINHARDT, G.; RETTENMAIER, N.; SCHMIDT, T. (2014): Umweltbilanz von Milch und Milcherzeugnissen – Status quo und Ableitung von Optimierungspotenzialen. Abschlussbericht. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH (ifeu), 116 Seiten
- [30] REINHARDT, G.; GÄRTNER, S.; MÜNCH J.; HÄFELE, S. (2009): Ökologische Optimierung regional erzeugter Lebensmittel: Energie- und Klimagasbilanzen. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH (ifeu), 60 Seiten
- [31] REMMELE, E. (2009): Handbuch Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen. 2. Aufl. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., 88 Seiten, ISBN 978-3-9803927-9-2
- [32] ROßBERG, D.; MICHEL, V.; GRAF, R.; NEUKAMPF, R. (2007): Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*. Stuttgart: Eugen Ulmer KG, Jg. 59, Nr. 7, S. 155–161, ISSN 0027-7479
- [33] ROUNDTABLE ON SUSTAINABLE BIOMATERIALS (RSB) (2015): RSB – Sustainability standards. URL: <http://rsb.org/sustainability/rsb-sustainability-standards/> (Stand: 26.04.2016)
- [34] STATISTISCHES BUNDESAMT (2016): Wachstum und Ernte 2015. Fachserie 3, R 3.2.1, Feldfrüchte Nr. 16. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, Abteilung Land- und Forstwirtschaft, Fischerei
- [35] STROBL, M. (2015): Biogas in Zahlen – Statistik zur bayerischen Biogasproduktion. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur. URL: <http://www.lfl.bayern.de/iba/energie/031607/index.php> (Stand: 03.06.2016)

- [36] SUTTER, J. (2007): Soybean. In: JUNGBLUTH, N. (Hrsg.): Life Cycles Inventories of Bioenergy. Ecoinvent report No. 17: Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, S. 125–140
- [37] THINKSTEP AG (2015): GaBi Software and database contents for Life Cycle Assessment. Leinfelden-Echterdingen: Thinkstep AG (Stand: Juni 2015)
- [38] THRÄN, D.; PFEIFFER, D. (2013): Methodenhandbuch Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseffekte. Methoden zur Bestimmung von Technologiekennwerten, Gestehungskosten und Klimagaseffekten von Vorhaben im Rahmen des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“. Version 4 (Oktober 2013). Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Nr. 04. Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ), 159 Seiten, ISSN 2192-1806
- [39] WEBER-BLASCHKE, G.; LUBENAU, C.; WILNHAMMER, M.; HÄRTL, F.; FRIEDRICH, S.; HAMMERL, R.; HELM, S.; HELM, D.; BORCHERT, H.; WITTKOPF, S.; KNOKE, T.; RICHTER, K. (2015): Konkurrenz um Holz: Ökologische, soziale und ökonomische Effekte der stofflichen und energetischen Verwertung von Holz. Abschlussbericht der Technischen Universität München, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf und Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising. Kurzbericht, 36 Seiten, Langfassung 266 Seiten
- [40] WILNHAMMER, M.; WITTKOPF, S.; RICHTER, K.; WEBER-BLASCHKE, G. (2016): The impact of a new emission control act on particulate matter emissions from residential wood energy use in Bavaria, Germany. *Journal of Cleaner Production* (in Begutachtung)
- [41] WOLF, C.; DRESSLER, D.; ENGELMANN, K.; KLEIN et al. (2016): ExpResBio – Methoden. Methoden zur Analyse und Bewertung ausgewählter ökologischer und ökonomischer Wirkungen von Produktsystemen aus land- und forstwirtschaftlichen Rohstoffen. Berichte aus dem TFZ Nr. 45. Straubing: Technologie- und Förderzentrum, 166 Seiten. ISSN 1614-1008
- [42] WOLF, C.; KLEIN, D.; WEBER-BLASCHKE, G.; RICHTER, K. (2015): Systematic Review and Meta-Analysis of Life Cycle Assessments for Wood Energy Services. *Journal of Industrial Ecology*, 20 (4), S. 743-763. DOI: 10.1111/jiec.12321
- [43] WOLF, C.; KLEIN, D.; WEBER-BLASCHKE, G.; SCHULZ, C. (2015): Treibhausgasvermeidung durch Wärme aus Holz. LWF-Merkblatt 34
- [44] WOLF, C.; KLEIN, D.; RICHTER, K.; WEBER-BLASCHKE, G. (2016): Environmental effects of shifts in a regional heating mix through variations in the utilization of solid biofuels. *Journal of Environmental Management*, Nr. 177, S. 177–191

Glossar

Die im Glossar angeführten Definitionen beschreiben die wichtigsten Begriffe dieser Studie in alphabetischer Reihenfolge. In der Literatur werden manche Begriffe in unterschiedlichem Kontext oder gar als Synonyme verwendet (z. B.

Reststoff, Koppelprodukt, Abfall). Um Missverständnisse zu vermeiden, ist in nachfolgenden Erläuterungen festgeschrieben, was unter den jeweiligen Begriffen im Projekt ExpResBio konkret zu verstehen ist.

Abfall

Abfälle im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes sind alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss. Abfälle zur Verwertung sind Abfälle, die verwertet werden; Abfälle, die nicht verwertet werden, sind Abfälle zur Beseitigung.

definiert. Der Ausschluss dieser Teilsysteme darf das Ergebnis nur marginal beeinflussen.

Abpressgrad

Prozentualer Anteil des gewonnenen Öls am Ölgehalt der Rapssaat.

Aktivitätsdaten

Aktivitätsdaten bezeichnen alle Material-, Energie- und Transportmengen, die als Input und Output im Produktlebenszyklus relevant sind.

Abschneidekriterien (Cut-off-Kriterien)

Abschneidekriterien beschreiben in Ökobilanzen getroffene Entscheidungen über den Ausschluss von geringfügigen Stoffmengen, Energieflüssen oder des Grades von Umweltrelevanz aus einem betrachteten System. Bei der Analyse eines Produktsystems (z. B. Bereitstellung einer bestimmten Menge an Kraftstoff) ist festzustellen, dass alle erdenklichen Teilsysteme in gewisser Weise miteinander verknüpft sind. Um ein spezifisches System für sich untersuchen zu können, ist es zwangsläufig notwendig, bestimmte „geringfügige“ Teilsysteme aus der Betrachtung auszuschließen. Was unter „geringfügig“ zu verstehen ist, ist durch spezifische Abschneidekriterien (z. B. definierte Anteile an Masse, Energie, Umweltrelevanz)

Allokation

Zuordnung der über den Lebensweg auftretenden Umweltbelastungen auf mehrere in einem Produktionsprozess entstehende Produkte gemäß einem physikalischen oder ökonomischen Zusammenhang.

Allokationsfaktor

Größe für die Zuordnung der Umweltlasten (\nearrow Allokation) über einen physikalischen oder ökonomischen Zusammenhang auf mehrere Produkte.

Arbeitszeitbedarf

Zeitbedarf für Arbeitskräfte oder Dienstleister, z. B. durch einen Lohnunternehmer, zur Durchführung eines spezifischen Prozesses inklusive der Rüstzeit für Maschinen.

Basisvariante

Die Basisvariante ist ein definiertes Bezugssystem und bildet die Grundlage für die Ableitung und Definition von Szenarien, anhand derer Sensitivitätsanalysen durchgeführt werden können. Die Basisvariante beschreibt z. B. das untersuchte Produktsystem auf Grundlage von Feldversuchen, betriebsspezifischen Erhebungen, definierten Fallbeispielen und Varianten sowie weiteren Festlegungen zum Untersuchungsrahmen (z. B. Allokation bei Koppelprodukten).

Brennwert (H_g)

Wärmemenge, die bei vollständiger Oxidation eines Brennstoffs, inklusive der Kondensationswärme des im Abgas befindlichen Wasserdampfs nutzbar gemacht wird.

Charakterisierungsfaktor

Faktor, der aus einem Charakterisierungsmodell abgeleitet wurde, das für die Umwandlung des zugeordneten Sachbilanzergebnisses (z. B. N_2O -Emission) in die gemeinsame Einheit des Wirkungsindikators (z. B. CO_2) angewendet wird (DIN EN ISO 14040, 2006, S. 12). Ein Beispiel für einen Charakterisierungsfaktor in Ökobilanzen ist das „Global Warming Potential“.

Direkte Landnutzungsänderungen (direct land use change, dLUC)

Direkte Landnutzungsänderungen beschreiben die Umwandlung von Land einer der vom IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) definierten Kategorien (Wald, Ackerland, Grasland, Siedlungen, Feuchtgebiete, Sonstiges) in eine andere. Die Renewable Energy Directive (Richtlinie 2009/28/EG (RED)) unterscheidet eine weitere Kategorie, nämlich sog. Dauerkulturen. Landnutzungsänderungen sind mit einer Änderung von Umweltwirkungen verbunden.

Emissionsfaktor

Im Bereich von Product Carbon Footprints (PCF) werden Emissionsfaktoren verwendet, die das Verhältnis von THG-Emissionen zur eingesetzten Menge eines Ausgangsstoffs (z. B. Benzin) darstellen, der in einem Prozess eingesetzt wird (z. B. THG-Emissionen von Heizöl bei der Wärmebereitstellung bzw. Heizung). Die Multiplikation eines Ausgangsstoffes mit einem spezifischen Emissionsfaktor ergibt die emittierte Menge eines Schadstoffs.

Endenergie

Energieformen, die der Endverbraucher bezieht (z. B. Heizöl, Rapsöl, Hackschnitzel, Fernwärme), welche aus Sekundärenergieträgern oder ggf. aus Primärenergieträgern entstehen, vermindert um Umwandlungs- und Verteilverluste, den Eigenverbrauch und den nicht energetischen Verbrauch.

Erntefestmeter

Ein Erntefestmeter beschreibt einen Kubikmeter geerntetes Holz, mit oder ohne Rinde, bei dem Ernteverluste und gegebenenfalls Rinde bereits abgezogen sind. Im Gegensatz dazu beschreibt ein Vorratsfestmeter einen Kubikmeter Holz im Waldbestand. Generell beschreibt ein Festmeter Holz im Gegensatz zum Raummeter oder Schüttraummeter einen Kubikmeter an fester Biomasse ohne Zwischenräume.

Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit beschreibt den Nutzen eines untersuchten Produkts und somit die Basis, auf die die Ergebnisse der Ökobilanz (oder des PCF) bezogen werden (z. B. die Bereitstellung von einem Liter Rapsölmethylester an einer Tankstelle). Die internationale Organisation für Normung (International Organization

for Standardization, ISO) definiert die funktionelle Einheit als „quantifizierter Nutzen eines Produktsystems für die Verwendung als Vergleichseinheit“ (DIN EN ISO 14040, 2006, S. 10).

Global Warming Potential (GWP)

Das Global Warming Potential (GWP) beschreibt den potenziellen Beitrag eines Stoffs zum Klimawandel, ausgedrückt in der Masse an Kohlendioxid-Äquivalenten (CO₂-Äq.) GWPs werden vom IPCC definiert und veröffentlicht. Die THG werden anhand des THG-Potenzials in CO₂-Äq umgerechnet, um eine Vergleichbarkeit und Verrechnung verschiedener THG zu ermöglichen.

Da die unterschiedlichen THG aufgrund ihrer Stabilität eine unterschiedliche troposphärische Lebensdauer aufweisen, wird bei der Modellberechnung ein Zeithorizont vorgegeben, für den die Rechnung gelten soll. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse führen dazu, dass sich diese Werte verändern können, weshalb immer mit den neuesten GWPs gerechnet werden sollte. Als gängige Zeithorizonte werden 20, 100 und 500 Jahre verwendet. Standard ist üblicherweise das 100-Jahr GWP.

Heizwert (H_i)

Diejenige Wärmemenge, die bei vollständiger Oxidation eines Brennstoffs ohne Berücksichtigung der Kondensationswärme des im Abgas befindlichen Wasserdampfs freigesetzt wird.

Holzfeuchte

Verhältnis des Wasseranteils eines Stoffs zu dessen Trockenmasse.

Indirekte Landnutzungsänderung (indirect land use change, iLUC)

Indirekte Landnutzungsänderungen (iLUC) entstehen, wenn auf Flächen zum Biomasseanbau eine vorherige andere Nutzung (z. B. Nahrungs- oder Futtermittelanbau) verdrängt wird. Falls weiterhin der Bedarf an den vorher produzierten Nahrungs- oder Futtermitteln besteht, wird deren Produktion zumindest teilweise auf andere Flächen verlagert. Diese anderen Flächen können einen hohen Kohlenstoffvorrat aufweisen (z. B. Feuchtgebiete), der bei Umwandlung dieser Flächen für die Bereitstellung der „verdrängten“ Nahrungs- oder Futtermittel teilweise freigesetzt wird.

Jahresnutzungsgrad

Der Jahresnutzungsgrad setzt die mit einem Wärmeträgermedium (z. B. Dampf) abgeführte Wärmeenergie in Beziehung zur zugeführten Brennstoffenergie über den Betrachtungszeitraum von einem Jahr.

Kaskadennutzung

Unter Kaskadennutzung versteht man die mehrmalige, nacheinander stattfindende Verwendung von Ressourcen zur Herstellung von Produkten, gefolgt von einer abschließenden energetischen Verwertung oder Entsorgung.

Kesselwirkungsgrad

Der Kesselwirkungsgrad ist der Quotient aus der mit einem Wärmeträgermedium (z. B. Dampf) abgeführten Wärmeenergie und der zugeführten Brennstoffenergie.

Koppelprodukt

Fällt ein Stoff oder Gegenstand bei einem Herstellungsverfahren an, dessen hauptsächlicher Zweck nicht auf die Herstellung dieses Stoffs

oder Gegenstands gerichtet ist, ist er als Koppelprodukt und nicht als Abfall anzusehen, wenn

1. sichergestellt ist, dass der Stoff oder Gegenstand weiter verwendet wird,
2. eine weitere, über ein normales industrielles Verfahren hinausgehende Vorbehandlung hierfür nicht erforderlich ist,
3. der Stoff oder Gegenstand als integraler Bestandteil eines Herstellungsprozesses erzeugt wird und
4. die weitere Verwendung rechtmäßig ist; dies ist der Fall, wenn der Stoff oder Gegenstand alle für seine jeweilige Verwendung anzuwendenden Produkt-, Umwelt- und Gesundheitsschutzanforderungen erfüllt und insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt führt.

Kraft-Wärme-Kopplung

Die gleichzeitige Bereitstellung von Strom und Wärme aus einem Energiewandlungsprozess, z. B. in Blockheizkraftwerken.

Lebensweg

Der Lebensweg eines Produkts ist definiert als „aufeinander folgende und miteinander verbundene Stufen eines Produktsystems von der Rohstoffgewinnung oder Rohstoffherzeugung bis zur endgültigen Beseitigung“ (DIN EN ISO 14040, 2006, S. 7). In dieser Studie wird der „physikalische“ Lebensweg eines Produkts (von der Wiege bis zur Bahre, engl. ‚cradle to grave‘) untersucht und nicht der betriebswirtschaftliche „Lebenszyklus“, welcher üblicherweise dann endet, wenn ein Produkt vom Markt genommen wird.

Maschinenzeit

Zeitbedarf für eigene Arbeitsmittel (Maschinen, Geräte, technische Anlagen) zur Durchführung eines spezifischen Prozesses.

Nachwachsende Rohstoffe

Land- und forstwirtschaftlich erzeugte Produkte, die nicht als Nahrungs- oder Futtermittel Verwendung finden, sondern stofflich oder zur Umwandlung in Strom, Wärme oder Kraftstoffe genutzt werden.

Nebenprodukt

↗Koppelprodukt

Nutzenergie

Als Nutzenergie wird die Energie bezeichnet, die nach der letzten Umwandlung in den Geräten des Verbrauchers für die Befriedigung der jeweiligen Bedürfnisse (z. B. Raumtemperierung) zur Verfügung steht. Sie wird gewonnen aus Endenergieträgern vermindert um die Verluste dieser letzten Umwandlung.

Nutzungsgrad

Der Nutzungsgrad setzt die mit einem Wärmeträgermedium (z. B. Dampf) abgeführte Wärmeenergie in Beziehung zur zugeführten Brennstoffenergie über einen längeren Betrachtungszeitraum (z. B. Heizperiode).

Nutzungspotenzial, technisches

Anzahl der Nutzungseinheiten, nach deren Ablauf/Ausstoß die Maschine durch Nutzung verschlissen ist, gemessen in maschinenspezifischen Nutzungseinheiten (h, ha, t, m³).

Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA)

Eine Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment, LCA) ist eine international genormte Metho-

de (DIN EN ISO 14040/44) zur ökologischen Produktanalyse. Sie erfasst und analysiert die Umweltaspekte und potenziellen ökologischen Auswirkungen von Produktsystemen systematisch über den gesamten Lebensweg („von der Wiege bis zur Bahre“). Dazu zählen die Umweltwirkungen (z. B. umweltrelevante Entnahmen aus der Umwelt sowie Emissionen in die Umwelt) während der Produktion, der Nutzungsphase und der Entsorgung des Produkts sowie die damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse (z. B. Herstellung der Rohstoffe).

Primärdaten

Unter Primärdaten versteht man bei Ökobilanzen und PCF jene Daten, die direkt und spezifisch bei einem Unternehmen oder Prozess erhoben bzw. gemessen werden. Sowohl Aktivitätsdaten als auch Emissionsfaktoren können aus primären oder sekundären Datenquellen stammen.

Primärenergie

Energieformen, die noch keiner technischen Umwandlung unterworfen wurden, wie beispielsweise Rohsteinkohle, Roherdöl, Rohbiomasse, Windkraft, Solarstrahlung.

Product Carbon Footprint (PCF)

Der Product Carbon Footprint („CO₂-Fußabdruck“) bezeichnet die Bilanz der THG-Emissionen entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts in einer definierten Anwendung und bezogen auf eine definierte Nutzeinheit. Der PCF stellt ein Instrument dar, um Möglichkeiten der Reduzierung von THG-Emissionen von Produkten entlang des gesamten Produktlebensweges zu ermitteln.

Product Category Rules (PCR)

Sogenannte Product Category Rules (PCR) beschreiben einen Satz spezifischer Regeln, Anforderungen und Richtlinien zur Entwicklung von Umweltproduktdeklarationen für eine oder mehrere Produktgruppen, die die gleiche Nutzeinheit beschreiben.

Produktsystem

Beschreibt den Lebenszyklus eines land- oder forstwirtschaftlichen Rohstoffs von der Erzeugung, inklusive dessen stofflicher oder energetischer Nutzung, bis hin zur Verwertung bzw. Beseitigung der anfallenden Abfallstoffe.

Prozessgruppe

Definierter Lebenszyklusabschnitt eines Produktsystems z. B. nach Systemdarstellung.

Prozess

Definierte Vorgänge innerhalb der Lebenszyklusabschnitte eines Produktsystems, z. B. nach Systemdarstellung.

Referenzsystem

(Fossile) Vergleichssysteme, die einen funktionell gleichen Nutzen zum Untersuchungssystem bereitstellen.

Reststoff

Der Begriff Reststoff wird in der entwickelten Bilanzierungsmethode nicht verwendet. Reststoffe sind entweder Koppelprodukte oder wiederzuverwendende, wiederzuverwertende oder zu beseitigende Abfälle.

Sachbilanz

Unter dem Begriff Sachbilanz versteht man einen „Bestandteil der Ökobilanz, der die Zusammenstellung und Quantifizierung von Inputs

und Outputs eines gegebenen Produktes im Verlauf seines Lebensweges umfasst“ (DIN EN ISO 14040, 2006, S. 7). Das Ergebnis einer Sachbilanz ist demnach eine deskriptive Auflistung aller Inputs und Outputs, die über die Systemgrenze hinweg mit der Systemumgebung ausgetauscht werden. Dies stellt den Ausgangspunkt für die spätere \nearrow Wirkungsabschätzung dar.

Sekundärdaten

Aus Primärdaten abgeleitete und zusammengefasste Daten bezeichnet man als Sekundärdaten (z. B. durchschnittliche Emissionen bei der Herstellung von Strom in Deutschland). Sie sind weniger spezifisch, sondern stellen meist einen Durchschnitt oder eine generelle Größe zu vergleichbaren Prozessen dar.

Sekundärenergie

Energieträger, der durch technische Umwandlung aus Primär- oder anderen Sekundärenergieträgern hergestellt wird. Es kommt dabei zu Umwandlungs- und Verteilverlusten.

Sensitivitätsanalyse

Mit der Sensitivitätsanalyse werden unterschiedliche Szenarien in Bezug auf die Basisvarianten untersucht. Sie beschreibt somit die Veränderungen der Umweltwirkungen und Kosten aufgrund unterschiedlicher Annahmen innerhalb einer Bereitstellungskette. Verändert werden dabei z. B. die Produktivität von Maschinen bzw. von Prozessen, der Kraftstoffverbrauch, die Kraftstoffart oder die Nutzungspotenziale von Maschinen und Aggregaten.

Substitutionsfaktor

Der Substitutionsfaktor gibt an, in welchem Umfang ein Koppelprodukt (bezogen auf die

Bezugsgröße/funktionelle Einheit) ein anderes Produkt (Referenzprodukt) substituieren kann. Dabei ist die gleiche Wertigkeit von Koppelprodukt und Referenzprodukt zu berücksichtigen. Der Substitutionsfaktor ist damit eine entscheidende Größe zur Bestimmung der Gutschriftenhöhe bei einer Systemraumerweiterung mit Substitutionspotenzial und Gutschriften.

Systemerweiterung

Unter dem Begriff Systemerweiterung versteht man im Kontext von Ökobilanzen eine Ausweitung des betrachteten Systems, beispielsweise um Koppelprodukte. Dabei muss die \nearrow funktionelle Einheit (z. B. Bereitstellung von einem Liter Rapsöl) ebenso um das betreffende Koppelprodukt erweitert werden (z. B. Bereitstellung von einem Liter Rapsöl und 2 kg Presskuchen). Hierdurch kann eine Allokation vermieden werden, da das gesamte Koppelprodukt im System verbleibt und mitbilanziert wird. Die Systemerweiterung wird in der DIN EN ISO 14040 und 14044 gegenüber der Allokation empfohlen, hat jedoch den Nachteil, dass sie zwangsläufig zu komplexeren Systemen und größerem Datenbedarf führt.

Systemgrenze

Die Systemgrenze ist ein Satz von Kriterien, welcher definiert, was Teil des betrachteten Systems ist und was nicht. Systemgrenzen können auf räumlicher, zeitlicher und technischer (z. B. Umgang mit Allokation, Abschneidekriterien etc.) Ebene existieren.

Szenarien

Szenarien sind Veränderungen der Basisvariante(n), wobei die Veränderungen innerhalb der Bereitstellungskette liegen (z. B. Veränderungen der Produktivität von Maschi-

nen bzw. von Prozessen, des Kraftstoffverbrauchs sowie der Kraftstoffart (Biokraftstoff anstatt fossilen Kraftstoffs)). Anhand definierter Szenarien in Bezug auf die Basisvariante lassen sich Sensitivitätsanalysen durchführen.

Treibhauseffekt

Unter Treibhauseffekt wird die Erwärmung der Erde bzw. der Atmosphäre infolge sogenannter THG verstanden. In der Klimadiskussion (Wirkungskategorie Klimawandel) versteht man unter dem Begriff Treibhauseffekt den zusätzlichen, anthropogen verursachten Effekt infolge der Emission klimarelevanter Gase (\nearrow THG-Emission).

Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen)

Der Ausstoß gasförmiger Stoffe in die Atmosphäre, die zum Treibhauseffekt beitragen, wird allgemein als THG-Emission bezeichnet. Das bekannteste und wichtigste THG ist Kohlenstoffdioxid (CO_2). Beispiele für weitere THG sind Methan (CH_4) oder Lachgas (N_2O , Distickstoffmonoxid). THG-Emissionen entstehen bei einer Vielzahl von menschlichen Aktivitäten, etwa bei der Verbrennung fossilen Kohlenstoffs (CO_2), infolge industrieller Prozesse (halogenierte Lösungsmittel, N_2O), bei der Deponierung von Abfall (CH_4 , CO_2) sowie in der Landwirtschaft (CH_4 , N_2O). Jene CO_2 -Emissionen, die aus erneuerbaren Rohstoffen stammen und erst vor relativ kurzer Zeit durch Assimilation von atmosphärischem CO_2 gebildet wurden, werden in der Regel nicht als anthropogene THG-Emissionen betrachtet. Dies kann jedoch nur für CO_2 gelten, da z. B. in die Atmosphäre emittiertes Methan (CH_4) ein höheres THG-Potenzial (\nearrow Global Warming Potential) aufweist und nicht direkt im Zuge der Primärproduktion in den Kohlenstoffkreislauf zurückgeführt werden kann. THG-

Emissionen werden in der Einheit kg CO_2 -Äq. (Kohlenstoffdioxid-Äquivalente) angegeben.

Variantenanalyse

Die Variantenanalyse beschreibt die Darstellung von Umweltwirkungen und Kosten verschiedener Bereitstellungsketten sowie daraus abgeleitete Unterschiede zwischen den Ketten. Folglich dient sie dem Vergleich verschiedener Basisvarianten untereinander.

Wassergehalt

Verhältnis des Wasseranteils eines Stoffs zu dessen Nassgewicht, also dem Gesamtgewicht des trockenen Stoffs sowie des Wassers.

Wirkungsabschätzung

Der Begriff Wirkungsabschätzung beschreibt den „Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf des Lebensweges des Produktes dient“ (DIN EN ISO 14040, 2006, S. 7). Es gibt unterschiedliche methodische Ansätze zur Wirkungsabschätzung, welche auch subjektive Einflüsse haben (z. B. über Auswahl der Indikatoren, optionale Normierung, Ordnung oder Gewichtung etc.).

Wirkungsindikator

Quantifizierbare Darstellung einer Wirkungskategorie. Eigentlich Wirkungskategorie-Indikator. Die Kurzbezeichnung „Wirkungsindikator“ wird zur besseren Lesbarkeit auch gemäß den ISO-Normen 14040 und 14044 verwendet.

Wirkungskategorie

Klasse, die wichtige Umweltthemen repräsentiert und der Sachbilanzergebnisse zugeordnet werden können.

