

**Sven Gärtner
Gunnar Hienz
Heiko Keller
Maria Müller-Lindenlauf**



Gesamtökologische Bewertung der Kaskadennutzung von Holz

**Umweltauswirkungen stofflicher und energetischer
Holznutzungssysteme im Vergleich**



Heidelberg, Januar 2013

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 03KB016C im Rahmen des Förderprogramms „*Förderung von Forschung und Entwicklung zur klimaeffizienten Optimierung der energetischen Biomassenutzung*“ gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit



**Energetische
Biomassenutzung**

Zitierweise:

Gärtner, Sven; Hienz, Gunnar; Keller, Heiko; Müller-Lindenlauf, Maria: Gesamtökologische Bewertung der Kaskadennutzung von Holz – Umweltauswirkungen stofflicher und energetischer Holznutzungssysteme im Vergleich. IFEU Heidelberg, 2013

Bildquellen:

© RainerSturm / pixelio.de

© Erika Hartmann / pixelio.de

© Low500 / pixelio.de

© Alexander Besheimer / pixelio.de



ifeu -
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg GmbH

Gesamtökologische Bewertung der Kaskadennutzung von Holz

Umweltauswirkungen stofflicher und energetischer
Holznutzungssysteme im Vergleich

Erarbeitet im Rahmen des Verbundvorhabens

Regionale Konzepte zum Ausbau der Bioenergieerzeugung aus Holz –
nachhaltige und energieeffiziente Strategieentwicklung
unter besonderer Berücksichtigung der Holzkaskadennutzung

gefördert mit Mitteln des BMU
Förderkennzeichen 03KB016C

Autoren:

Dipl.-Phys. Ing. Sven Gärtner

Dipl.-Geoökol. Gunnar Hienz

Dr. Heiko Keller

Dr. Maria Müller-Lindenlauf

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
Wilckensstraße 3, D-69120 Heidelberg
Tel.: +49 (0)6221 47 67-64; Fax: -19
sven.gaertner@ifeu.de
<http://www.ifeu.de>

Heidelberg, Januar 2013

Danksagung

In erster Linie möchten wir dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) für die finanzielle Förderung danken, ohne die diese Studie nicht hätte realisiert werden können.

Weiterhin möchten wir unseren Projektpartnern Prof. Frank Baur und Bernhard Wern von der IZES gGmbH (Institut für ZukunftsEnergieSysteme, Saarbrücken), Prof. Dr. Andreas Schulte, Dr. Marcus Wenzelides und Dr. Florian Stockmann vom Wald-Zentrum (Internationales Institut für Wald und Holz NRW e.V. an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster) sowie allen weiteren Beteiligten für eine stets angenehme Zusammenarbeit und anregende Diskussionen übergreifender Themen danken.

Für die Bereitstellung hilfreicher Daten und die zahlreichen wertvollen Rückmeldungen sowie die vielfältigen Diskussionen gilt unser Dank den Mitgliedern des Nationalen Beirates, insbesondere Herrn Dr. Peter Sauerwein vom Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. (VHI), Herrn Uwe Groll und Frau Anemon Strohmeier vom Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter e.V. (BAV), Herrn Dr. Bernhard Dreher vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie Herrn Johann Dengg vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV).

Die Arbeit in diesem Arbeitspaket wurde von einem Workshop zur Methodik der projektspezifischen Ökobilanz ergänzt, dessen Teilnehmern wir für die fruchtbaren Diskussionen und wertvollen Anregungen herzlich danken.

Darüber hinaus haben wir auch unermüdliche Unterstützung und viele wertvolle Hinweise von unseren Kolleginnen und Kollegen im IFEU-Institut erhalten, denen wir hiermit danken möchten.

Sven Gärtner

Gunnar Hienz

Heiko Keller

Maria Müller-Lindenlauf

Inhalt

Kurzfassung	vi
Abstract	vii
1 Einordnung und Ziel der Studie	1
2 Methodik und Festlegungen für die ökobilanzielle Bewertung	2
2.1 Grundsätzliche Vorgehensweise der Ökobilanz	2
2.2 Allgemeine Systemfestlegungen.....	2
2.2.1 Systemgrenzen.....	2
2.2.2 Geografischer Bezug.....	3
2.2.3 Zeitlicher Bezug.....	3
2.3 Systemraumerweiterungen	4
2.3.1 Umgang mit Kuppelprodukten	4
2.3.2 Alternativnutzungen.....	4
2.3.3 Ansatz für Referenzprodukte.....	4
2.3.4 Nutzenkorbansatz.....	5
2.4 Darstellung	5
2.4.1 Bezugsgrößen	5
2.4.2 Betrachtete Umweltwirkungen.....	5
2.4.3 Untersuchte Lebenswege und Referenzsysteme.....	7
2.4.4 Grafische Darstellung der Lebenswege	10
2.4.5 Grafische Darstellung der Ergebnisse.....	11
2.5 Datenbasis	11
3 Ökobilanz-Ergebnisse	12
3.1 Einführung.....	12
3.2 Sensitivität der Lebenswegabschnitte und Optimierungspotenziale	15
3.2.1 Energetische Nutzung	15
3.2.2 Stoffliche Nutzung	16
3.2.3 Holznutzung für die Produktion von Betriebsstoffen.....	19

3.3	Vergleich möglicher Holzlebenswege	21
3.3.1	Nutzung verschiedener Holzsortimente.....	21
3.3.2	Stoffliche oder direkte energetische Nutzung	26
3.4	Verstärkte stoffliche Holznutzung.....	30
3.4.1	Direkte energetische Nutzung hochwertiger Sortimente	32
3.4.2	Mehreinsatz von Spanplatten aufgrund von Altholzeinsatz in Spanplatten	33
3.4.3	Leimholz und Spanplatten: fossiler und biogener Ressourcenverbrauch ..	36
3.4.4	Einsatz von Altholz statt Industrierestholz in Spanplatten	39
3.4.5	Recycling höherwertigen Altholzes in höherwertigen Nutzungen.....	40
3.4.6	Zeitliche Aspekte	43
3.5	Einordnung der Ergebnisse.....	49
3.5.1	Vergleich mit anderen Ökobilanzen.....	49
3.5.2	Vergleich mit anderer Literatur	51
3.5.3	Übertragbarkeit der Ergebnisse.....	51
3.5.4	Belastbarkeit der Daten	52
4	Ökologische Auswirkungen einer Erschließung neuer Holzpotenziale.....	53
4.1	Definition dendromasseoptimierter Waldbausysteme und weiterer nicht erschlossener Potenziale	54
4.2	Ökologische Auswirkungen eines dendromasseoptimierten Waldbausystems	54
4.2.1	Herabsetzung der Aufarbeitungsgrenze.....	54
4.2.2	Nutzung von Holz aus der Erstdurchforstung.....	58
4.2.3	Verzicht auf FSC-Zertifizierung	58
4.3	Ökologische Auswirkungen der Erschließung anderer Holzpotenziale.....	59
4.3.1	Bepflanzung von Rückegassen	59
4.3.2	Vermehrte Nutzung von Landschaftspflegegut	59
4.3.3	Anlage von Kurzumtriebsflächen (KUF)	60
5	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	64
5.1	Zusammenführung und Schlussfolgerungen	64
5.1.1	Einzelne Holznutzungsformen und deren Optimierungspotenziale.....	65
5.1.2	Ausweitung der Holzproduktion.....	66
5.1.3	Effiziente Holznutzung.....	68
5.1.4	Zukünftige Entwicklungen.....	72

5.2	Handlungsempfehlungen	75
5.2.1	An die Politik.....	75
5.2.2	An die Holzverarbeitende Industrie	77
5.2.3	An Betreiber von Biomasse(heiz)kraftwerken	78
5.2.4	An Architekten und Bauingenieure	78
5.2.5	An Verbraucher	79
5.3	Ausblick.....	79
6	Literatur.....	81
7	Anhang	87
7.1	Marginalmixe für Strom und Wärme	87
7.2	Einwohnerbezogene Höhe der Umweltwirkungen	88
7.3	Lebenswege stofflicher und energetischer Holznutzung.....	88
7.4	Ergebnisse ausgewählter Kaskadennutzungswege.....	90
7.5	Ergebnisse in Tabellenform	91
7.6	Steinkohle-Mitverbrennung Gesamtbilanz	92
7.7	Veranschaulichung der Stoffströme bei der Kaskadennutzung	94
7.8	Lebensdauern ausgewählter Holzprodukte.....	95
7.9	Ansätze zur Bewertung temporärer Kohlenstoffspeicher	96
	Abkürzungsverzeichnis	98

Kurzfassung

Die Nachfrage nach Holz steigt, aber seine Produktion kann nur bis zu einem gewissen Grad weiter ausgebaut werden, so dass Prioritäten bezüglich möglicher Holznutzungen gesetzt werden müssen. Hierfür wurden die Umweltauswirkungen der energetischen und stofflichen Nutzung von Holz mit und ohne Kaskadennutzung im Rahmen einer umfassenden Ökobilanz sowie qualitativ die ökologischen Auswirkungen einer Erschließung neuer Holzpotentiale untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Umweltauswirkungen in den meisten Fällen umso niedriger sind, je mehr Stufen einer möglichst hochwertigen stofflichen Nutzung aufeinander folgen, bevor das Holz energetisch genutzt wird. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die erweiterten Holznutzungskaskaden eine Verzögerung der energetischen Verwertung um Jahrzehnte zur Folge haben können. Dies kann dazu führen, dass zukünftig sauberere Energiequellen ersetzt werden, was zunächst zu einer Verschlechterung der Umweltbewertung von langlebigen Holzprodukten führt. Gleichzeitig können Holzprodukte als vorübergehender oder, falls die stoffliche Nutzung von Holz allgemein zunimmt, sogar langfristiger Kohlenstoffspeicher dienen. Dies führt zu verzögerten Treibhausgasemissionen. Je nach Bewertungsmethode führen diese beiden gegenläufigen Effekte in Summe zu gleich bleibenden bis verringerten Auswirkungen auf das Klima durch langlebige Holzprodukte. Hochwertige stoffliche Nutzungen sind aber – unabhängig von der Bewertungsmethode – aus Umweltsicht besser als eine direkte energetische Nutzung.

Bei der Betrachtung der stofflichen Nutzung von Holz schneidet insbesondere die möglichst hochwertige Nutzung hochwertiger Holzsortimente (z. B. Massivholz in tragender Funktion im Baubereich) unter Umweltschutzaspekten positiv ab. Hierbei erweisen sich die Wahl des Nicht-Holz-Referenzproduktes und die mit dessen Produktion verbundenen Umweltwirkungen als entscheidende Einflussfaktoren auf die ökobilanziellen Ergebnisse. Bezüglich der direkten energetischen Nutzung von Holz weist der Einsatz in einem Heizkraftwerk mit hohem Gesamtnutzungsgrad die größten Vorteile aus Umweltsicht auf.

Aus den Schlussfolgerungen wurden unter anderem die folgenden Handlungsempfehlungen abgeleitet:

- An die **Politik** geht insbesondere die Empfehlung, besonders umweltfreundliche stoffliche Nutzungsformen von Holz zu fördern oder zumindest die Benachteiligung durch eine einseitige Förderung der energetischen Holznutzung auszugleichen. Dieses Ungleichgewicht verursacht ansonsten Nachteile für die Umwelt. Weiterhin sollte eine Kaskadennutzung dadurch gefördert werden, dass die Entsorgungsträger zu einer besseren Erfassung des Altholzes verpflichtet werden.
- **Die holzverarbeitende Industrie** sollte die Holzsortimente in der hochwertigsten Weise einsetzen. Bei Holzwerkstoffen sollte auf Verfahren gesetzt werden, die möglichst wenig

Energie und Leim benötigen. Schadstoffe und schwer recycelbare Stoffe sollten vermieden werden, um die optimale Wiederverwendbarkeit von Altholz zu gewährleisten, und Möbel sollten so designt und hergestellt werden, dass diese eine möglichst lange Lebensdauer aufweisen bzw. wechselnden Trends angepasst werden können.

- **Betreibern von Biomasse(heiz)kraftwerken** ist zu raten, einen möglichst hohen Gesamtnutzungsgrad zu gewährleisten und möglichst nur minderwertiges Holz einzusetzen, das nicht mehr stofflich verwendet werden kann.
- **Verbraucher** sollten alle Produkte so lange wie möglich verwenden und nicht mehr benötigte Möbel nicht entsorgen, sondern dem Nutzungskreislauf durch Verkauf o.Ä. erneut zuführen. Bei einem Hausbau sollte Holz als Baumaterial in Erwägung gezogen werden.

In der qualitativen ökologischen Bewertung der Erschließung neuer Holzpotentiale wurden im Besonderen eine Holzgewinnung aus Anlage und Nutzung von Hecken, der Bepflanzung von Rückegassen, der Absenkung der Aufarbeitungsgrenze sowie dem Anlegen von Kurzumtriebsflächen betrachtet. Auf dieser Basis wird eine standortbezogene Analyse empfohlen, bevor die Bewirtschaftung in einem Forst intensiviert wird oder Kurzumtriebsflächen angelegt werden, damit spezifische Umweltauswirkungen ausgemacht werden können – je nach Standortbedingungen können diese akzeptabel sein oder auch negative Auswirkungen haben.

Abstract

Wood demand is rising and its production can only be extended to a certain degree. This requires a prioritisation of wood use options. Therefore, the environmental aspects of using wood for energy production or as a material with and without cascading recycling steps of stepwise lower value are studied in a comprehensive life cycle assessment (LCA). In addition, the environmental impacts of tapping new wood resources are assessed qualitatively.

The results show that under most conditions the environmental impacts are the lower the more steps of a high-value material use are performed before the wood is used for energy production. One has to consider, though, that extended material use cascades can cause decades of delays of the energy recovery step, which may lead to the replacement of cleaner energy sources in the future and thus impair the results for the long-lived wood products. At the same time, wood products can represent a temporary or even – if material wood use generally increases – a long-term carbon stock. This leads to a delay of the greenhouse effect. Depending on the assessment method, these opposing effects result in unchanged to diminished impacts of long-lived wood products on the climate. Nevertheless, from an environmental point of view, high-value material use is advantageous compared to a direct use of wood for energy production independent of the assessment method.

When comparing material use options of wood, especially the high-quality use of high-value wood assortments (e.g. solid wood as construction wood) is associated with positive results from an environmental perspective. In this context, the main effects on the LCA results come

from the choice of the non-wood reference product and its associated environmental impacts. Regarding the direct use of wood for energy production, the most advantageous option from an environmental point of view is a combined heat and power plant (CHP) with a high overall efficiency.

The conclusions lead, amongst others, to the following recommendations:

- To politicians: they are recommended to especially support the most environmentally friendly material use options of wood or, at least, to even out the one-sided support of the energy production from wood. Furthermore, the cascading use of wood should be supported by obliging those responsible for the disposal of waste to better collect recovered wood.
- To the wood working industry: it is recommended to use each wood assortment to the highest possible value for the product; to opt for processes in the production of derived timber products that require as little energy and resin as possible; to avoid hazardous substances or those that are hard to recycle in order to facilitate the reusability of recovered wood; to design and manufacture furniture so that they last long and can be easily refurbished according to new tastes.
- To operators of biomass CHP or power plants: an overall energy use efficiency as high as possible should be ensured and, wherever possible, only low grade wood should be incinerated that is not suitable for material use any more.
- To consumers: all products should be used as long as possible; furniture that is not needed any more should not be disposed of but should be handed over to other users e.g. by selling it. When building a new home, timber should be considered as construction material.

The qualitative ecological assessment of options to increase the wood supply analysed especially the wood production from creating and using hedge cuttings, planting logging trails, reducing the minimal diameter of logged stems, as well as planting short rotation coppice. Based on this, a site-specific assessment is recommended before the forest management is intensified or short rotation coppice is planted to identify specific environmental effects – depending on the site, they may be acceptable or disadvantageous.

1 Einordnung und Ziel der Studie

In Deutschland steigt die Nachfrage nach Holz mehr und mehr an. Die Nutzung dieser begrenzten Ressource kann aber nur bis zu einem gewissen Grad ausgebaut werden, ohne dass Prinzipien der Nachhaltigkeit angegriffen werden. Um dem hohen Bedarf optimal gerecht zu werden, müssen Prioritäten bezüglich möglicher Holznutzungen gesetzt werden. Vor diesem Hintergrund wurde vom Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES), dem Wald-Zentrum an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster und dem IFEU-Institut das Projekt „Holzkaskade“ („*Regionale Konzepte zum Ausbau der Bioenergieerzeugung aus Holz – nachhaltige und energieeffiziente Strategieentwicklung unter besonderer Berücksichtigung der Holzkaskadennutzung*“) ins Leben gerufen. Dieses hatte zum Ziel, eine regionalisierte Strategie für einen nachhaltigen Ausbau oder eine nachhaltige Stabilisierung der Holzenergienutzung unter Berücksichtigung der Holzkaskadennutzung zu formulieren und zu begründen.

In diesem Kontext ist das Ziel der hier beschriebenen Teilstudie die Bewertung der Umweltauswirkungen der stofflichen im Vergleich zur energetischen Nutzung von Holz. Hierzu werden anhand ausgewählter Beispiele insbesondere Holzkaskadennutzungen und ökologische Optimierungspotenziale der Holznutzung untersucht. Nach einer Einführung (siehe Kapitel 3.1) wird dieses Thema mit Hilfe von Ökobilanzen auf drei verschiedenen Ebenen betrachtet:

1. **Einzelne Prozesse:** Welche Lebenswegabschnitte der Bereitstellung, Verarbeitung, Nutzung und Entsorgung von Holz haben welche Umweltauswirkungen? Lassen sich daraus Optimierungspotenziale ableiten? (siehe Kapitel 3.2)
2. **Direkter Vergleich von Lebenswegen:** Wie kann man die begrenzte Ressource Holz aus Umweltschutzsicht am besten bereitstellen und nutzen? (siehe Kapitel 3.3)
3. **Verstärkte stoffliche Nutzung in einem System konkurrierender Holznutzungen:** Welche Umweltauswirkungen hat die Nutzung von Holz in optimierten Kaskaden gegenüber der jetzigen typischen Nutzung? (siehe Kapitel 3.4)

Die Auswirkungen der Holznutzung, die in der generalisierenden und quantitativen Betrachtungsweise der Ökobilanzen nicht erfassbar sind, werden ergänzend mit folgender Zielsetzung diskutiert:

4. **Ökologie:** Welche ökologischen Auswirkungen hat die Erschließung bislang nicht mobilisierter Holzpotenziale? Welche Umweltfolgen hat die zusätzliche Bioenergienutzung heute nicht erschlossener Potenziale wie Landschaftspflegegut oder Waldrestholz? (siehe Kapitel 4)

Im Folgenden werden kurz die Methodik und weitere Festlegungen beschrieben (Kapitel 2), bevor auf die Ergebnisse der Ökobilanz eingegangen wird (Kapitel 3). Anschließend werden in Kapitel 4 die waldökologischen Fragestellungen behandelt und abschließend Schlussfolgerungen und Empfehlungen gegeben (Kapitel 5).

2 Methodik und Festlegungen für die ökobilanzielle Bewertung

Im Folgenden werden die Rahmenbedingungen für die in diesem Vorhaben durchgeführte ökobilanzielle Bewertung der Kaskadennutzung von Holz dargestellt. Die für diese Rahmenbedingungen und mit dieser Methodik ermittelten Ergebnisse sind in Kapitel 3 dokumentiert. Gegenstand der Untersuchung ist die ökologische Bewertung verschiedener Holznutzungen und Holzsortimente unter der Voraussetzung einer gleich bleibenden Holzernte; die Effekte eines veränderten Einschlags werden qualitativ beschrieben. Die ökologischen Auswirkungen der Erschließung neuer Holzpotenziale (= Steigerung der Holzernte) werden in Kapitel 4 diskutiert, wobei hier jedoch nicht auf die Methodik der Ökobilanz zurückgegriffen wird.

2.1 Grundsätzliche Vorgehensweise der Ökobilanz

Die im Kapitel 3 betrachteten Fragestellungen werden mittels Übersichtsökobilanzen bearbeitet, die sich an den internationalen Ökobilanznormen ISO 14040 und 14044 (ISO 2006) orientieren. Der Grundansatz dabei ist, den gesamten Lebensweg des Holzes von der Forstwirtschaft bis zu seiner Entsorgung, welche in diesem Fall immer eine energetische Nutzung beinhaltet, zu untersuchen. In den Fällen, wo Lebenswegvergleiche durchgeführt werden, sind die jeweiligen Nicht-Holz-Referenzprodukte, ihre Produktion und Entsorgung eingeschlossen. Darauf aufbauend werden Variationen über wichtige Lebenswegabschnitte durchgeführt. Anhand dessen können die wesentlichen ökologischen Zusammenhänge der stofflichen und energetischen Nutzung von Holz aufgezeigt und bewertet werden.

Für eine solche Bilanzierung sind einige allgemeine Festlegungen erforderlich, die zwischen den Fördernehmern, dem Projektbeirat und externen Ökobilanzexperten abgestimmt wurden und im Folgenden dargestellt werden.

2.2 Allgemeine Systemfestlegungen

2.2.1 Systemgrenzen

Die Systemgrenzen einer Ökobilanz umfassen im Allgemeinen alle Prozesse „von der Wiege bis zur Bahre“, also angefangen von der Rohstoffgewinnung über die Nutzung des Endproduktes bis zur Abfallentsorgung. Dabei werden alle zugeführten Energieträger und stofflichen Inputs sowie die aus dem System abgegebenen Reststoffe und Emissionen in die Berechnung einbezogen. Die Systemgrenzen der Holznutzungs-Systeme umfassen dementsprechend den Lebensweg von der Holzproduktion und -bereitstellung einschließlich aller dafür benötigten Inputs über die Produktion der Holzprodukte bis hin zur energetischen Nutzung des (Alt-)Holzes. Dabei wird angesetzt, dass das Altholz nach der letzten stofflichen Nutzung zu 100 % energetisch genutzt wird, da eine Deponierung in Deutschland verboten ist. In

Standardszenarien wird dafür eine energetische Nutzung in einem Mix von Bestandsanlagen angesetzt. Bei der Bewertung der Nutzenäquivalenz zu Referenzprodukten (verschiedene Produkte mit gleichem Nutzen) wurden Unterschiede wie Masse, Volumen, Lebensdauer und Wärmedurchgangskoeffizient berücksichtigt.

Die Umweltwirkungen der verschiedenen Holznutzungs-Systeme werden mit den Umweltwirkungen entsprechender nicht erneuerbarer Referenzsysteme (Nicht-Holz-Produkte, Strommix, Wärmemix) verglichen, um Aussagen über ökologische Vor- bzw. Nachteile der verstärkten Nutzung von Holz bei gleichzeitiger Verdrängung konventioneller Produkte treffen zu können (z.B. Treibhausgaseinsparungen etc.).

Wenn Lebenswege verglichen werden, die von unterschiedlichen Mengen bestimmter Holzsortimente ausgehen, muss berücksichtigt werden, dass Waldholz und verschiedene Arten von Restholz anderen Nutzungsalternativen (Referenznutzungen) entzogen werden. Im Fall von Holz von Kurzumtriebsflächen werden die genutzten Flächen anderen Nutzungsformen entzogen. Die ökologischen Vor- und Nachteile dieser Referenznutzungen sind dann ebenfalls in die Bilanz mit einzubeziehen.

2.2.2 Geografischer Bezug

Der geografische Bezug gibt an, für welche Region die Ökobilanz erstellt wird. Der geografische Bezug bestimmt eine Reihe von Bilanzparametern, z.B. landwirtschaftliche Anbaubedingungen, Infrastruktur oder verwendete Strom- und Wärmemixe.

Generell ist der geografische Bezug dieser Untersuchung Deutschland. Davon abweichend werden für Energieträger und Hilfsstoffe die Bedingungen der realen Förder- bzw. Produktionsstandorte angesetzt.

2.2.3 Zeitlicher Bezug

Ebenso wie der geografische Bezug ist auch der zeitliche Bezugsrahmen für die Ergebnisse der Ökobilanz bedeutsam. Der zeitliche Bezug bestimmt z.B. rechtliche, technische und energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen. Als zeitlicher Bezug für dieses Vorhaben wird der Zeitbereich um das Jahr 2010 gesetzt.

Bei Ökobilanzen wird im Normalfall die zeitliche Dauer einer Prozesskette als vernachlässigbar kurz im Verhältnis zu Änderungen der Rahmenbedingungen angesehen. Außerdem wird eine zeitliche Verzögerung von Emissionen (insbesondere CO₂) in der Regel nicht betrachtet. Diese Vorgehensweise kann bei Holzprodukten mit teils sehr langen durchschnittlichen Nutzungsdauern und entsprechenden Zeitdauern zwischen Produktion und Entsorgung je nach Fragestellung eventuell zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen. Da Abschätzungen der Rahmenbedingungen in z.B. 80 Jahren allerdings nur sehr eingeschränkt möglich sind, werden in dieser Studie im Normalfall trotzdem alle Lebenswegabschnitte auf der Basis des Jahres 2010 im Rahmen eines „Steady-State-Ansatzes“ verglichen. Das heißt, dass davon ausgegangen wird, dass schon in der Vergangenheit die gleiche Menge eines bestimmten Holzprodukts produziert wurde und daher auch immer die gleiche Menge Altholz zeitlich verzögert anfällt. Dann ist es möglich, den Gleichgewichtszustand, also die Entsorgung des Altholzes der vorherigen Produktgeneration zusammen mit der zeitgleichen Produktion der

nächsten Produktgeneration zu betrachten. Die Auswirkungen der zeitlichen Verschiebungen werden am Ende des Kapitels 3.4 gesondert in einer Sensitivitätsanalyse betrachtet.

2.3 Systemraumerweiterungen

2.3.1 Umgang mit Kuppelprodukten

Bei der Rohholzproduktion und bei holzwirtschaftlichen Produktionsprozessen fallen unter Umständen Kuppelprodukte an. Die Art und Weise, wie Kuppelprodukte in Ökobilanzen berücksichtigt werden, hat zum Teil erhebliche Auswirkungen auf das Ergebnis. Entsprechend den Standards für Ökobilanzen ist der so genannten Systemraumerweiterung Vorrang vor einer Allokation zu geben. Daher werden den Kuppelprodukten in dieser Studie Gutschriften für die durch diese Produkte eingesparten Aufwendungen erteilt. Dies ist eine analoge Vorgehensweise zur Systemraumerweiterung durch das Referenzprodukt des „Haupt“-produktes.

2.3.2 Alternativnutzungen

Für alle Rohstoffe, deren Produktion nicht oder nur begrenzt ausgeweitet werden kann, wird als weitere Systemraumerweiterung eine Alternativnutzung betrachtet. In dieser Studie trifft dies aus verschiedenen Gründen auf alle Holzarten zu (egal ob Frischholz, Altholz oder Restholz). Als Alternativnutzung wird in einem Referenzszenario eine energetische Nutzung in einem Mix von bestehenden Biomasse(heiz)kraftwerken angesetzt. Soweit nicht anders beschrieben, ist die Alternativnutzung jedoch nicht in den angegebenen Salden enthalten, sondern wird als eigenes Szenario separat dargestellt.

2.3.3 Ansatz für Referenzprodukte

Es werden zwei unterschiedliche Ansätze bezüglich der stofflichen Referenzprodukte verfolgt. Auf der einen Seite werden Nicht-Holz-Produkte als Referenz angesetzt, die anstelle der Holzprodukte typischerweise oder oft eingesetzt werden. Dabei werden die Entsorgung und gegebenenfalls das Recycling der Referenzprodukte mitberücksichtigt. Der zweite Ansatz geht von einem Holz-Referenzprodukt aus. Hierbei wird die Referenz für das betrachtete Holzprodukt aus anderen Holzsortimenten produziert. Da davon ausgegangen wird, dass die zur Verfügung stehende oder neu bereitgestellte Holzmenge in jedem Fall auf irgendeine Art genutzt wird, wird in diesem Fall eine weitere Systemraumerweiterung durch die Betrachtung einer Alternativnutzung dieses Holzsortimentes durchgeführt. Hinsichtlich energetischer Referenzprodukte werden bei einem Netto-Energieverbrauch innerhalb eines zeitlich und räumlich zusammenhängenden Lebenswegabschnittes (z.B. der Produktion) Gutschriften entsprechend dem aufgewendeten energetischen Durchschnittsmix angesetzt. Für Gutschriften, die darüber hinausgehen, wird der Marginalansatz nach UBA / ISI für Strom und Wärme gewählt (FRAUNHOFER ISI 2009, UBA 2009). Danach ersetzt zusätzlich erzeugte Energie die Energie aus solchen Kraft- und / oder Heizwerken, die zusätzlich gebaut würden, um den Energiebedarf in Deutschland zu decken. Dabei wird davon ausgegangen, dass erneuerbare Energien ohnehin so weit wie möglich ausgebaut werden, aber nicht den gesamten

derzeitigen Bedarf an neuen Kraft- und / oder Heizwerken decken können. Da keine Kernkraftwerke mehr gebaut werden, stammt der Marginalmix für Strom und Wärme daher aus Gas- und Kohlekraftwerken bzw. verschiedenen Heizungen und Heizwerken (s. Tab. 7-1 im Anhang).

2.3.4 Nutzenkorbansatz

Wenn Prozesse verglichen werden, die sowohl auf der Produktebene als auch auf der Rohstoffebene miteinander in Konkurrenz stehen, kann der Ansatz der Systemraumerweiterung dazu führen, dass komplexe mehrstufige Referenzsysteme betrachtet werden müssen. Zum Beispiel kann die verstärkte stoffliche Nutzung von Altholz zur Mehrproduktion von Spanplatten führen, was zur Verdrängung von Massivholzmöbeln führt, was zur größeren Verfügbarkeit von hochwertigem Stammholz führt, das wiederum im Baubereich eingesetzt werden und im Endeffekt eine Verdrängung von Stahlträgern verursachen kann. Diese Systemverschiebungen sind nur schwer durch klassische Vergleiche Produkt – Referenzprodukt darstellbar. Stattdessen sind die Ergebnisse bei einer Darstellung mit Hilfe eines Nutzenkorbes besser nachvollziehbar. Dabei werden Systeme miteinander verglichen, die jeweils einen identischen Korb von verschiedenen stofflichen und energetischen Nutzen (z. B. die Nutzung eines Möbelstücks, eines Hauses und einer bestimmten Menge Energie) mit verschiedenen Produkten aus unterschiedlichen Rohstoffen abdecken. Dabei ist die Menge der verwendeten Rohholzsortimente, deren Produktion nicht ausgeweitet werden kann, jeweils konstant. Indirekte Effekte wie die oben beispielhaft angeführten Verschiebungen sind hier gut nachzuvollziehen. Die Ergebnisdifferenz zwischen den betrachteten Systemen ist dabei unabhängig von der gewählten Darstellungsform identisch. In dieser Studie wird die Nutzenkorbdarstellung teils in Kapitel 3.4 bei der Betrachtung komplexer Systeme verwendet.

2.4 Darstellung

2.4.1 Bezugsgrößen

Diese Studie verwendet zwei verschiedene Arten von Vergleichen. In den meisten Fällen werden Lebenswege oder Szenarien auf der Basis der eingesetzten Rohstoffmenge verglichen, wobei die Bezugsgröße eine Tonne Trockenmasse Rohholz ohne Rinde ist (absolut trocken, atro). Die Bezeichnung Rohholz wird dabei für alles Holz verwendet, welches im untersuchten Prozess eingesetzt wird, also ggf. auch für Altholz und Industrierestholz. Bei dem Vergleich einzelner Lebenswege hinsichtlich einer optimalen Nutzung von Ackerflächen wurde als Bezugsgröße die Ackerfläche gewählt, die jedes Jahr genutzt wird (angegeben pro Hektar und Jahr).

2.4.2 Betrachtete Umweltwirkungen

Folgende Umweltwirkungen wurden im Rahmen dieses Vorhabens für die stoffliche und energetische Nutzung von Holz untersucht:

- Aufwand nicht erneuerbarer Energieträger (kurz auch: Energieaufwand)
- Treibhauseffekt

- Versauerung
- Nährstoffeintrag in Böden
- Fotosmog (Sommersmog)
- Stratosphärischer Ozonabbau
- Humantoxizität: Emission von Feinstaub und Feinstaubvorläufersubstanzen
- Ressourcenbedarf biogen (Holz)

Im Zusammenhang mit Kurzumtriebsflächen zusätzlich:

- Flächenbelegung
- Nährstoffeintrag in Gewässer

Tab. 2-1 Quantitativ untersuchte Umweltwirkungen

Wirkungs-kategorie	Einheit	Kurzbeschreibung
Energie-aufwand	MJ	Energieeinsatz bzw. -einsparung ist ein Indikator der Ressourcenbeanspruchung. Üblicherweise wird in Ökobilanzen die nicht erneuerbare Primärenergie ausgewiesen. Zu den nicht erneuerbaren Energieträgern zählen die fossilen Brennstoffe Erdöl, Erdgas und Kohle sowie Uranerz. Die Primärenergie unterscheidet sich von der Endenergie dadurch, dass auch der Aufwand für die Bereitstellung der Energieträger mit erfasst wird (Förderung, Raffinerie, Transporte etc.). Im Folgenden wird diese Umweltwirkungskategorie der besseren Begrifflichkeit halber mit „Energieaufwand“ bezeichnet.
Treibhaus-effekt	kg CO ₂ -Äquiv.	Bezeichnet die Erwärmung der Atmosphäre in Folge der vom Menschen verursachten Freisetzung von klimawirksamen Gasen. Neben Kohlenstoffdioxid (CO ₂) werden auch Methan (CH ₄) und Lachgas (Distickstoffoxid, N ₂ O) sowie eine Reihe von Spurengasen erfasst.
Versauerung	kg SO ₂ -Äquiv.	Verschiebung des Säuregleichgewichts in Böden und Gewässern durch den Eintrag Säure bildender Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Ammoniak und Chlorwasserstoff in Böden und Gewässer (Stichwort „saurer Regen“). Versauerung schädigt sensible Ökosysteme wie Wälder oder Magerwiesen, aber auch Gebäude.
Nährstoff-eintrag in Böden	kg PO ₄ ³⁻ -Äquiv.	Einbringung von Nährstoffen in Böden natürlicher und empfindlicher Ökosysteme über atmosphärische Deposition. Die Eutrophierung der Böden natürlicher Ökosysteme führt zur Verdrängung seltener und gefährdeter Arten. Die wichtigsten Quellen atmosphärischer Nährstoffdeposition sind Emissionen von Ammoniak und Stickstoffoxiden.

Wirkungskategorie	Einheit	Kurzbeschreibung
Nährstoffeintrag in Gewässer	kg PO ₄ ³⁻ -Äquiv.	Einbringung von Nährstoffen in Gewässer über direkte Einleitung, Erosion, Grundwassereintrag und Auswaschungen an der Oberfläche. Die Eutrophierung der Gewässer natürlicher Ökosysteme führt zur Verdrängung seltener und gefährdeter Arten. Die wichtigsten Beiträge liefern wasserlösliche Stickstoffverbindungen wie Ammonium und Nitrat sowie Phosphat.
Fotosmog (Sommermog)	kg C ₂ H ₄ -Äquiv.	Bildung von so genannten Fotooxidantien wie z.B. Ozon in bodennahen Luftschichten (Stichwort „Ozonalarm“) durch Zusammenwirken mehrerer Faktoren, zu denen Sonneneinstrahlung, Stickstoffoxide und ungesättigte Kohlenwasserstoffe gehören.
Human-toxizität: Feinstaub	kg PM10-Äquiv.	Humantoxische Wirkung von Feinstaub (PM10) in der Luft, der durch direkte Emission freigesetzt werden oder über die Vorläufersubstanzen Stickoxide, Kohlenwasserstoffe, Ammoniak und Schwefeldioxid entstehen kann.
Flächenbelegung	Darstellung pro (ha · a)	Land- und forstwirtschaftliche Produktion benötigt Fläche, die dadurch nicht mehr für alternative Verwendungen, z.B. Naturschutz, zur Verfügung steht.
Ozonabbau	kg R-11-Äquiv.	Zerstörung des schützenden Ozons in der Stratosphäre durch bestimmte Gase wie FCKW oder Lachgas (Stichwort „Ozonloch“).
Ressourcenbedarf biogen (Holz)	MJ Heizwert bei gegebener Feuchte pro Nutzeinheit des Holzproduktes	Aufgrund der Begrenztheit der Ressource Holz ist der Input je funktioneller Größe trotz der Eigenschaft von Holz als nachwachsendem Rohstoff von Bedeutung.

Tab. 2-1 stellt die quantitativ untersuchten Umweltwirkungen zusammenfassend dar. Die Sachbilanzgrößen der einzelnen Umweltwirkungen sowie die zugehörigen Äquivalenzfaktoren finden sich in Tab. 2-2. Zur besseren Vergleichbarkeit wird in den meisten Fällen eine Normierung auf deutsche Einwohnertageswerte vorgenommen (zur Bedeutung s. Kapitel 3.1, zu den Werten s. Anhang, Kapitel 7.2).

2.4.3 Untersuchte Lebenswege und Referenzsysteme

Die untersuchten Lebenswege (Tab. 2-3) sind beispielhaft bis typisch für die jeweilige Branche, in der Holz und Holzwerkstoffe eingesetzt werden. Die Referenzsysteme und -produkte können typischerweise hinsichtlich der Funktion äquivalent zu den betrachteten Holzprodukten eingesetzt werden. Weitere ebenfalls relevante Lebenswege mit etwas geringerem Stellenwert wurden im Rahmen dieses Projektes identifiziert, aber nicht in vergleichbarer Detailtiefe analysiert (s. Anhang, Kapitel 7.3), u.a. aus dem Bereich Zellstoff- und Papierproduktion, da hier die Anknüpfungspunkte zu den übrigen Bereichen gering sind.

Tab. 2-2 Untersuchte Umweltwirkungen mit den jeweiligen Äquivalenzfaktoren nach CML (2004), IPCC (2007), Klöpffer & Renner (1995), Leeuw (2002), Ravishankara et al. (2009) sowie IFEU (2012) auf der Basis von IPCC (2007)

Wirkungskategorie	Einheit	Sachbilanzgröße	Formel	Äquivalenzfaktor
Energieaufwand	MJ kumulierter Primärenergieaufwand aus nicht-erneuerbaren Quellen	Erdöl Erdgas Steinkohle Braunkohle Uranerz	—	—
Treibhauseffekt	kg CO ₂ -Äquivalente (Kohlenstoffdioxid-Äquivalente)	Kohlendioxid fossil Lachgas (Distickstoffoxid) Methan biogen Methan fossil	CO ₂ N ₂ O CH ₄ CH ₄	1 298 25 27,74
Versauerung	kg SO ₂ -Äquivalente (Schwefeldioxid-Äquivalente)	Schwefeldioxid Stickstoffoxide Ammoniak Chlorwasserstoff	SO ₂ NO _x NH ₃ HCl	1 0,7 1,88 0,88
Nährstoffeintrag in Böden	kg PO ₄ ³⁻ -Äquivalente (Phosphat-Äquivalente)	Stickstoffoxide Ammoniak	NO _x NH ₃	0,13 0,346
Nährstoffeintrag in Gewässer	kg PO ₄ ³⁻ -Äquivalente (Phosphat-Äquivalente)	Nitrat Stickstoff Phosphor	NO ₃ ⁻ N P	0,095 0,42 3,07
Fotosmog (Sommersmog)	kg C ₂ H ₄ -Äquivalente (Ethen-Äquivalente)	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe Methan	NMHC CH ₄	1 0,007
Humantoxizität: Feinstaub	kg PM10-Äquivalente (aggregierter Parameter)	Partikel Schwefeldioxid Stickstoffoxide Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe Ammoniak	PM10 SO ₂ NO _x NMHC NH ₃	1 0,54 0,88 0,012 0,64
Flächenbelegung	Darstellung pro (ha · a)	Fläche	—	—
Ozonabbau	kg R-11-Äquivalente (CFCl ₃ -Äquivalente)	Trichlorfluormethan Lachgas (Distickstoffoxid) Andere FCKWs, HFKWs, FKWs, ...	CFCl ₃ N ₂ O ver-schie-dene	1 0,017 ver-schiedene
Ressourcenbedarf biogen (Holz)	MJ Heizwert bei gegebener Feuchte pro Nutzeneinheit des Holzproduktes	Holz	—	—

Tab. 2-3 Untersuchte Lebenswege stofflicher und energetischer Holznutzung (unterstrichene Lebenswege wurden genauer analysiert)

Holzprodukt	Äquivalenzprodukt
Bauholz (gehobelt)	Metallständer (Profil)
<u>Bauholz in Holzständerwand</u>	Porenbetonwand, Metallträgerwand
Leimholz	Möbelteile aus furnierten Spanplatten, Glas oder Edelstahl
Brettschichtholz	Stahlträger
<u>Unbeschichtete Spanplatten mit verschiedenen Rohstoffanteilen von recycelten Spanplatten</u>	Möbelteile aus Stahl
Spanplatte furniert	Möbelteile aus Leimholz, Glas, Edelstahl Polyethylen / Polypropylen oder beschichtete MDF-Platte
Spanplatte Bau (P5-Qualität)	Gipsfaserplatte, Gipskartonplatte
<u>Beschichtete MDF-Platte (Mitteldichte Faserplatte)</u>	Möbelteile aus beschichteten Spanplatten, Formteile aus Duroplast
<u>Holzfaserdämmstoffplatte (Softboard)</u>	Dämmstoffplatten aus Mineralwolle oder XPS (Extrudierter Polystyrol-Hartschaum)
<u>Laminatboden</u>	Bodenbelag aus PVC
<u>Europool-Palette</u>	Mehrwegpalette aus Polyethylen
<u>Harnstoff-Formaldehyd-Harz</u> (chemische Umwandlung via Synthesegas)	Harnstoff-Formaldehyd-Harz aus Erdgas
<u>Mix von bestehenden Biomasse- / Altholz-Heizkraftwerken und -Kraftwerken</u>	Marginalmix Deutschland Strom und marginaler Industrie- bzw. Fernwärmemix
<u>Biomasse- / Altholz-Heizkraftwerk</u>	Marginalmix Deutschland Strom und marginaler Industrie- bzw. Fernwärmemix
<u>Biomasse- / Altholz-Heizwerk 100 kW</u>	Marginalmix Deutschland marginaler Industrie- bzw. Fernwärmemix
Biomasse- / Altholz-Kraftwerk	Marginalmix Deutschland Strom
Müllverbrennungsanlage	Marginalmix Deutschland Strom
<u>Pelletheizung</u>	Marginalmix Deutschland Haushaltswärme
<u>Scheitholzofen</u>	Marginalmix Deutschland Haushaltswärme
<u>Mitverbrennung im Steinkohlekraftwerk</u>	Steinkohle
Zukunftsoption: Vergasung (innerhalb von Biomasse- / Altholz-Heiz(kraft)werken)	Zukünftiger Marginalmix Deutschland Strom und ggf. marginaler Industrie- bzw. Fernwärmemix
Zukunftsoption: Synthetische Kraftstoffe (Biomass-to-liquid, BTL)	Dieselmotortreibstoff

Aus der Vielzahl der hier untersuchten Einzellebenswege ergibt sich eine Fülle möglicher kaskadierter Nutzungen, deren Darstellung hier den Rahmen sprengen würde und zudem nicht zielführend ist. Vielmehr werden im Folgenden bestimmte Fragestellungen beantwortet, die nur im Ausnahmefall die Darstellung eines vollständigen Holzkaskaden-Lebensweges benötigen. Aus diesem Grund werden die im Detail untersuchten Kaskaden im Anhang, Kap. 7.4, dargestellt. Ferner wurde eine Vielzahl von Sensitivitätsanalysen durchgeführt, deren differenzierte Auflistung den Rahmen des Berichts sprengen würde. Beispiele sind ähnliche Lebenswege mit anderen Referenzprodukten (z.B. Bauholz im Holzrahmenbau vs. Kalksandstein-Mauerwerk), die Betrachtung extremer Werte für einzelne Parameter (z.B. besonders hohe oder niedrige Wirkungsgrade in der energetischen Nutzung) oder andere Formen der Energiebereitstellung (z.B. Stromerzeugung aus anfallendem Restholz mittels KWK).

2.4.4 Grafische Darstellung der Lebenswege

In Abb. 2-1 bis Abb. 2-3 sind allgemeine Übersichts-Lebenswege der stofflichen, der energetischen und der Kaskadennutzung von Holz dargestellt. Für jeden Prozessschritt entlang der Kette werden die Emissionen bzw. Umweltwirkungen ermittelt. So gelingt es, die Bedeutung der einzelnen Prozesse zu identifizieren, um Optimierungsmaßnahmen ableiten zu können. Die Prozesskette erzeugt einen Nutzen, hier in Form des stofflichen Nutzens des Holzproduktes, des ins öffentliche Netz eingespeisten Stroms und der extern nutzbaren Wärme. Durch diesen Nutzen können andere Produktionsprozesse ersetzt werden. In der Abbildung sind rechts die sogenannten Vergleichssysteme für Strom und Wärme und unterhalb das Vergleichssystem für eine Bereitstellung des gleichen Produktnutzens durch Produkte aus nicht erneuerbaren Rohstoffen dargestellt.

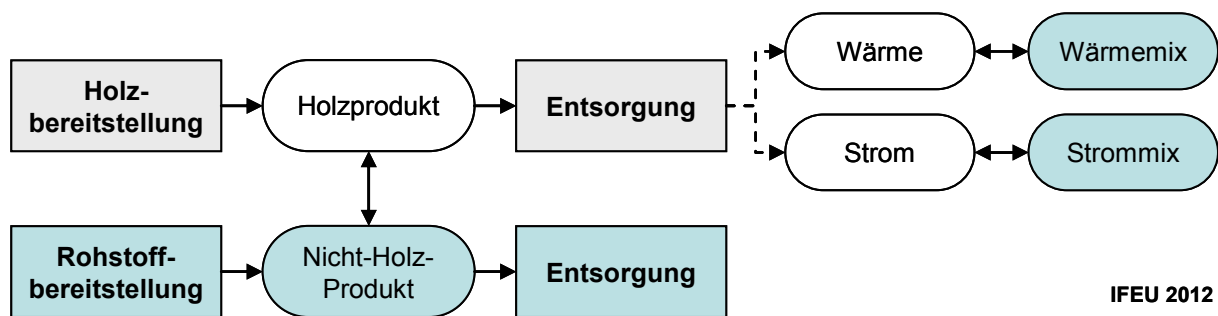


Abb. 2-1 Übersichts-Lebensweg der stofflichen Nutzung von Holz. Die Entsorgung der Nicht-Holz-Produkte enthält gegebenenfalls das Recycling und / oder die energetische Verwertung.

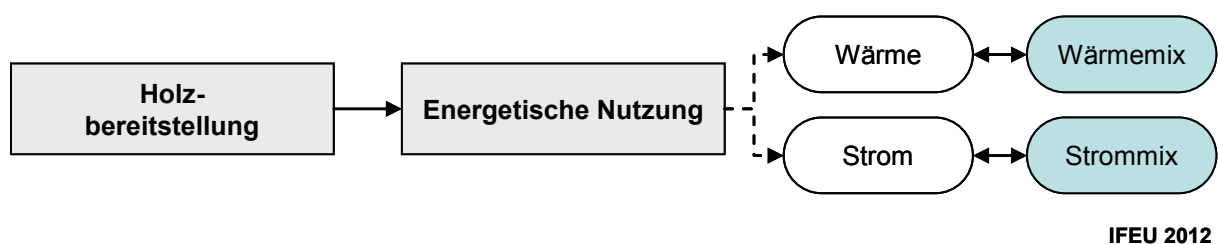


Abb. 2-2 Übersichts-Lebensweg der energetischen Nutzung von Holz

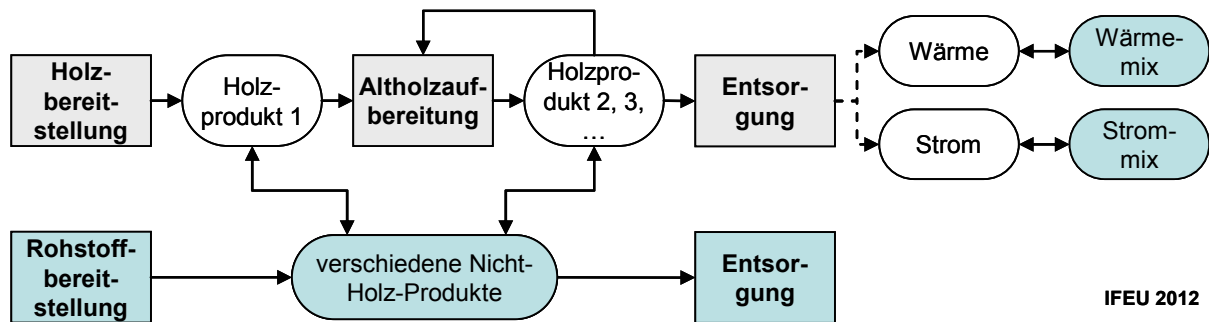


Abb. 2-3 Übersichts-Lebensweg der Kaskadennutzung von Holz. Die Entsorgung der Nicht-Holz-Produkte enthält gegebenenfalls das Recycling und / oder die energetische Verwertung.

2.4.5 Grafische Darstellung der Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse wird im Kapitel 3.1 beschrieben. Äquivalenzfaktoren für die Darstellung in Einwohnertageswerten finden sich im Anhang (Kapitel 7.2).

2.5 Datenbasis

Diese Studie zieht im Wesentlichen die Prozess- und Stoffstromdaten der Holzbereitstellung und -verarbeitung aus verschiedenen Ökobilanzdatenbanken und Studien heran, harmonisiert sie und verknüpft sie zu zusammenhängenden Systemen (s. Tab. 2-4). Dies ermöglicht es, aufeinander folgende Prozesse (Kaskaden) und indirekte Effekte in konkurrierenden Systemen abzubilden. Aus diesen Prozess- und Stoffstromdaten wurden nach den oben aufgeführten einheitlichen Festlegungen kumulierte Sachbilanzen und Umweltwirkungen berechnet. Für Nicht-Holz-Produkte und -Rohstoffe sowie Energiemixe wurden dabei die Datenbanken ecoinvent, GEMIS sowie des IFEU verwendet (ECOINVENT 2010, GEMIS 2011, IFEU 2012). Emissionsfaktoren und Einwohnerwerte wurden errechnet auf der Basis von UBA (2011), UBA (2012), DESTATIS (2012) und weiterer Daten.

Tab. 2-4 Herkunft der Stoffstrom- und Prozessdaten für Holzproduktion und -verarbeitung

Prozess	Datenquellen
Forstwirtschaft	SCHWEINLE & THOROE (2001)
Kurzumtriebsflächen	IFEU (2012) auf Basis von KALTSCHMITT & REINHARDT (1997) und SCHNEIDER et al. (2005)
Holzverarbeitende Industrie	IFEU (2012) auf Basis von RÜTER & KREIßIG (2007), RÜTER & DIEDERICHS (2012), WERNER et al. (2007), ALBRECHT et al. (2008)
Harnstoff-Formaldehyd Harz aus Holz	IFEU (2012) auf Basis von JUNGBLUTH et al. (2007)
Energetische Nutzung von Holz: Emissionsdaten und Wirkungsgrade	IFEU (2012) auf Basis von eigenen Daten, BMU (2005), ECOINVENT (2010), GEMIS (2011), DBFZ (2011), THRÄN (2011), BMU (2012)

3 Ökobilanz-Ergebnisse

Der Ergebnisteil ist in fünf Unterkapitel gegliedert. Teil 3.1 führt am Beispiel des Lebensweges der Spanplatte in die Vorgehensweise dieser Studie und die Darstellungsweise der Ergebnisse ein. Danach werden in 3.2 einzelne Lebenswege und die Optimierungsmöglichkeiten innerhalb dieser Szenarien separat voneinander betrachtet, während in 3.3 die verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten von Holz miteinander verglichen werden. Im Unterkapitel 3.4 werden Nutzungskaskaden und indirekte Effekte durch eine Konkurrenz der Holznutzungsarten untereinander untersucht. In der Einordnung in Kap. 3.5 wird die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Studien diskutiert.

3.1 Einführung

In diesem Kapitel werden die verwendete Methodik der Ökobilanz und daraus resultierende Ergebnisse am Beispiel der Spanplatte eingeführt. Die Spanplatte wurde ausgewählt, weil sie ein zentrales Produkt für die Kaskadennutzung von Holz ist, denn sie bietet die Möglichkeit, kleinteiliges Holz in Form von größeren Bauteilen (wieder) stofflich zu nutzen. Dieses Produkt ist flexibel in Bezug auf eingesetzte Rohstoffe und ihre Verwendung in Endprodukten. Darin unterscheidet sich die Spanplatte von einer MDF-Platte (mitteldichte Faserplatte). Diese hat im Untersuchungsgebiet Saarland eine größere Bedeutung, ist aber bei der Altholznutzung eingeschränkt.

Eine wichtige Festlegung für die Untersuchung der Umweltauswirkungen „von der Wiege bis zur Bahre“ ist gerade bei flexibel einsetzbaren Produkten die Auswahl eines bestimmten Szenarios aus den verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten. Dies ist beispielhaft in Abb. 3-1 dargestellt. In diesem Beispiel werden einfache Regalböden aus unbeschichteten Spanplatten z.B. für Abstellräume mit Regalböden aus Stahlblech in der gleichen Funktion verglichen. Hier wird aus Gründen der Anschaulichkeit und Vergleichbarkeit mit den folgenden Szenarien zugrunde gelegt, dass die Spanplatte nicht recycelt und das Altholz im Heizkraftwerk energetisch verwertet wird.¹ Die zugehörigen Ökobilanzergebnisse in allen detailliert betrachteten Umweltwirkungen zeigt Abb. 3-2. Da dieser Bericht einen Schwerpunkt auf die effiziente Nutzung von Holzressourcen legt, werden die Ergebnisse pro Tonne Trockenmasse (absolut trocken, atro) des Rohholzes dargestellt und nicht in variierenden nutzenbasierten Einheiten wie z.B. 1 m² Regalboden.

¹ In der Realität werden ca. 20 % des gesamten deutschen Altholzes stofflich verwertet, darunter selbstverständlich auch Produkte aus Spanplatten. Zur Analyse mit Recycling mehr Informationen im Anhang, Tab. 7-4.

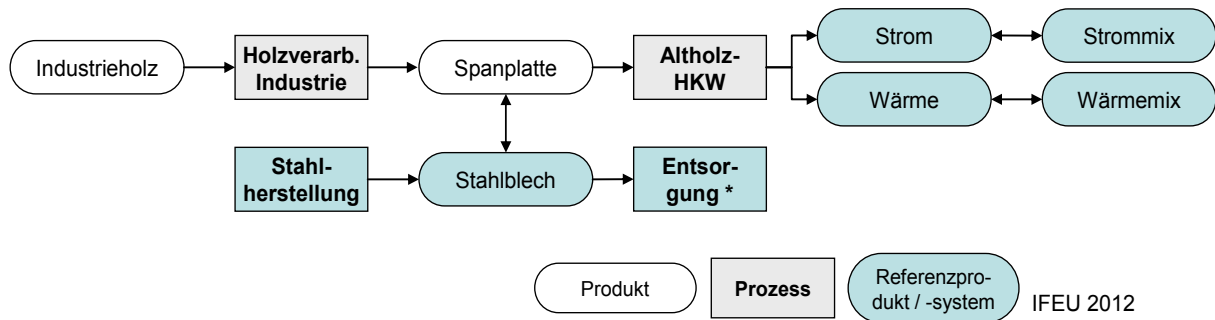


Abb. 3-1 Lebensweg von Spanplatten aus Industrieholz beim Einsatz als Regalbrett im Vergleich zu Stahlblech.

* Die Entsorgung des Stahlblechs schließt typische Recyclinganteile ein.

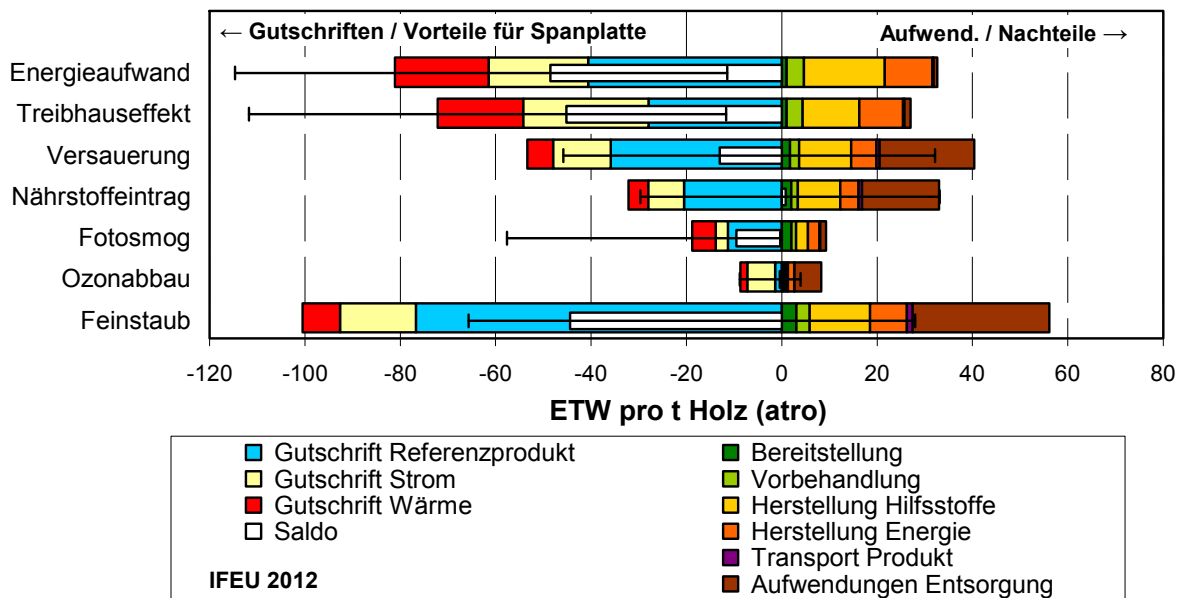


Abb. 3-2 Umweltauswirkungen des Lebensweges von Spanplatten aus 1 t Rohholz (Trockenmasse: absolut trocken, atro) beim Einsatz als Regalbrett im Vergleich zu Stahlblech. Die Bandbreiten der Salden stellen realistische Szenarien mit besonders guter bzw. schlechter Prozessgestaltung dar. ETW: Einwohnertageswerte.

Lesebeispiel für den zweiten Balken „Treibhauseffekt“:

Der zweite Balken weist die Aufwendungen und Gutschriften hinsichtlich des Treibhauseffekts für den Lebensweg von Spanplatten aus 1 t Rohholz aus (ca. 76 m² Spanplatte mit einer Dicke von 20 mm). Die Aufwendungen entsprechen den durchschnittlichen täglichen Treibhausgasemissionen von knapp 30 Bundesbürgern; die Gutschriften entsprechen den durchschnittlichen täglichen Emissionen von gut 70 Bundesbürgern. Im Saldo (weißer Balken) ergibt sich hieraus für den Lebensweg der Spanplatte eine Treibhausgaseinsparung in Höhe der durchschnittlichen täglichen Emissionen von ca. 45 Bundesbürgern. Alternative Szenarien mit besonders guter bzw. schlechter Prozessgestaltung (Bandbreite) führen zu Gesamtemissionen in Höhe der durchschnittlichen täglichen Emissionen von ca. 15 – 110 Bundesbürgern, deren Einzelbeiträge hier nicht aufgeführt sind.

In der Darstellung der einzelnen Lebenswegabschnitte werden den Aufwendungen, d.h. Umweltlasten, die durch die Spanplattenproduktion verursacht werden, verschiedene Gutschriften gegenübergestellt. Diese Gutschriften stellen vermiedene Umweltlasten dar, da das Referenzprodukt Stahlblech sowie die durch die energetische Verwertung von Altholz ersetzte konventionelle Energie nicht mehr benötigt werden (s. Abb. 3-2). Der Saldo, also die Differenz zwischen Aufwendungen und Gutschriften, gibt die Vor- oder Nachteile der Verwendung von Spanplatten in Bezug auf die einzelnen Umweltwirkungen an. Die Bandbreiten stellen eine mögliche Variation des Saldos dar, falls in allen Lebenswegabschnitten gleichzeitig jeweils besonders gute oder schlechte Ergebnisse erzielt werden. Die Ergebnisse sind normiert auf Einwohnertageswerte (ETW) dargestellt, also bezogen auf die durchschnittlichen Emissionen in den verschiedenen Kategorien, die ein Bürger Deutschlands täglich verursacht. Diese Darstellung in ETWs bietet eine Orientierung, wie stark die betrachteten Umweltwirkungen ins Gewicht fallen².

Die Spanplatte als Regalbrett zeigt je nach Umweltwirkungskategorie im Vergleich zum Stahlblech-Regalboden Vorteile oder ähnliche Ergebnisse. Bei der Berücksichtigung der Bandbreiten lässt sich feststellen, dass in den Kategorien mit gewissen Nachteilen im Einzelfall genauso auch gewisse Umweltvorteile auftreten können, weshalb diese Ergebnisse neutral zu bewerten sind. Daher ist die Spanplattenproduktion mit anschließender energetischer Altholzverwertung verglichen mit dem Einsatz von Möbelteilen aus Stahlblech insgesamt aus Umweltschutzsicht weitgehend positiv zu bewerten³.

Hinsichtlich der Einzelbeiträge zu den jeweiligen Salden ist zu beobachten, dass in den Kategorien Erschöpfung nicht-erneuerbarer Energieressourcen (im Folgenden: fossiler Energieaufwand oder kurz Energieaufwand, da weitere nicht gesondert ausgewiesen werden), Treibhauseffekt, Versauerung, Nährstoffeintrag in Böden und Feinstaubbelastung oft große Aufwendungen und Gutschriften vorhanden sind, während die normierten Beiträge zu Ozonabbau und Fotosmog weniger bedeutsam sind. Daher können in den ersteren Kategorien größere Netto-Auswirkungen entstehen, während in den letzteren die möglichen Effekte begrenzt bleiben. Dies ist auch bei anderen Varianten der Holznutzung ähnlich. In den folgenden Abbildungen dieses Berichtes werden daher die Ergebnisse zu Ozonabbau und Fotosmog nicht dargestellt. Außerdem laufen die größten Einzelbeiträge in den Kategorien Versauerung und Nährstoffeintrag parallel, da sie jeweils von Stickstoffoxid-Emissionen dominiert werden. Deshalb wird im Folgenden von diesen beiden jeweils nur die Kategorie Versauerung dargestellt. Die gesamten Ergebnisse sind zusätzlich im Anhang in Tabellenform dokumentiert (Kapitel 7.5).

² Die Normierung in ETWs sagt allerdings nichts über das ökologische Gefährdungspotenzial aus, welches durch die Gesamtbelastungen in Deutschland in einer Kategorie entsteht. Falls also von einer Umweltwirkung wesentlich höhere Gefahren ausgehen als von anderen, kann sie trotz geringer ETWs bedeutsam sein.

³ In diesem Kapitel wird aus Gründen der Vereinfachung nicht auf eine mögliche alternative Nutzung der begrenzten Ressource Holz eingegangen. Dies wird in Kapitel 3.3 näher thematisiert.

3.2 Sensitivität der Lebenswegabschnitte und Optimierungspotenziale

Der Schwerpunkt dieser Studie liegt auf der stofflichen Nutzung von Holz in der holzverarbeitenden Industrie und der energetischen Nutzung durch Verbrennung. Für diese Bereiche werden jeweils im Folgenden die Bedeutung der einzelnen Lebenswegabschnitte aus Umweltschutzsicht sowie Optimierungsmöglichkeiten untersucht.

3.2.1 Energetische Nutzung

Abb. 3-3 stellt die Umweltwirkungen der energetischen Nutzung von Holz hinsichtlich des fossilen Energieaufwands, des Treibhauseffektes, der Versauerung und der Feinstaubbelastung dar. Es wurde jeweils die direkte energetische Nutzung ohne vorherige stoffliche Nutzung betrachtet (s. auch Lebenswegschema in Abb. 2-2). Als Rohstoff wurde beispielhaft Industrieholz gewählt.

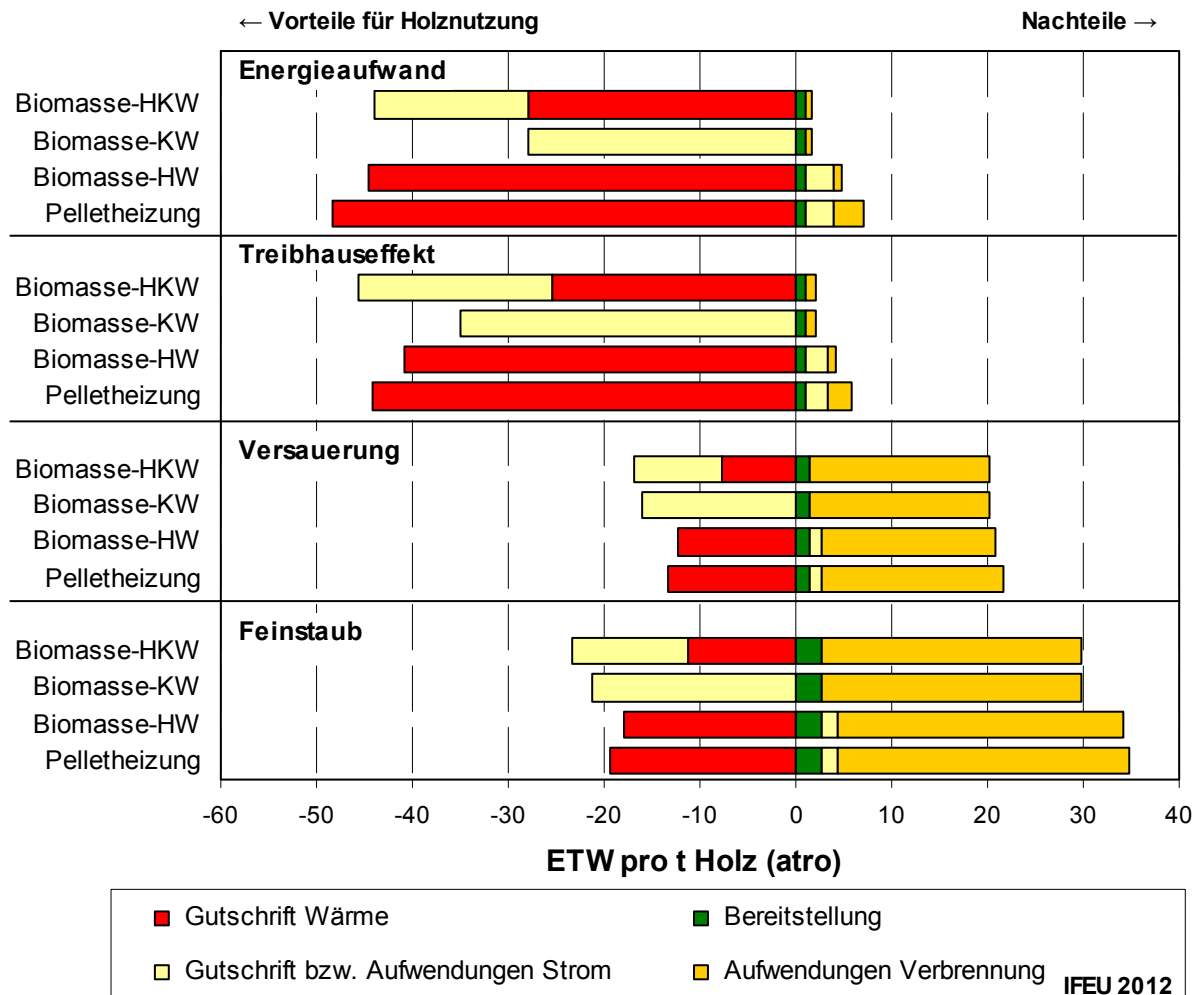


Abb. 3-3 Fossiler Energieaufwand, Treibhauseffekt, Versauerung und Feinstaubbelastung durch die direkte energetische Nutzung von 1 t Industrieholz in verschiedenen Verfahren. Betrachtet wurden jeweils Neuanlagen. HKW: Heizkraftwerk, KW: Kraftwerk, HW: Heizwerk

In Bezug auf Energieaufwand und Treibhauseffekt sind vor allem die Gutschriften aufgrund der ersetzten konventionellen Energieträger ergebnisbestimmend (Abb. 3-3). Dabei werden die geringsten Umweltlasten erreicht, wenn die Energieumwandlung und -nutzung möglichst effizient ist. Dies ist der Fall bei Kraft-Wärme-Kopplung mit hohem Wärmenutzungsanteil oder einer optimalen Wärmenutzung mit hohem Nutzungsgrad. Die Aufwendungen entlang des gesamten Lebensweges sind nur von untergeordneter Bedeutung. Dabei macht der Stromverbrauch in direktem Zusammenhang mit der Holzverbrennung, d.h. je nach Technik die Holzerkleinerung und / oder der Betriebsstrom der Anlagen, den größten Anteil aus. Bei den Umweltwirkungen Versauerung und Feinstaubbelastung tragen auch die direkten Emissionen aus dem Verbrennungsprozess maßgeblich zu den Umweltlasten bei. Sie sind in den meisten Fällen etwas höher als die eingesparten Emissionen durch die vermiedene Verbrennung von konventionellen Energieträgern und bedingen dadurch aus Umweltschutzsicht im Saldo Nachteile.

In allen Umweltwirkungen lassen sich bessere Ergebnisse erzielen, wenn die im Holz enthaltene Energie möglichst effizient genutzt wird. Die größten Potenziale bestehen dabei in der Nutzung der Abwärme bei Verbrennungsprozessen. Die zusätzlichen Belastungen hinsichtlich der Versauerung und Feinstaubbelastung lassen sich durch eine bessere Verbrennungs- bzw. Filtertechnik mindern. Dabei steigt typischerweise die ökonomisch erzielbare Minderung mit der Anlagengröße (KALTSCHMITT & HARTMANN 2001). Zwar halten sich die Unterschiede der Emissionen typischer kleinerer und mittlerer Anlagen z.B. von Feinstaub und dessen Vorläufersubstanzen in Grenzen (hier bilanziert), das Verhalten beim Hoch- und Herunterfahren der Brenner ist aber statistisch schlecht bis gar nicht erfasst. Wesentliche Verbesserungen in Form von Elektrofiltern sind nur in größeren Anlagen realisierbar.

3.2.2 Stoffliche Nutzung

Abb. 3-4 stellt am Beispiel von sieben verschiedenen Holzprodukten die Auswirkungen des Einsatzes von Holz hinsichtlich der Umweltwirkungen fossiler Energieaufwand, Treibhauseffekt, Versauerung und Feinstaubbelastung dar. Dabei umfasst jede stoffliche Nutzung jeweils auch die folgende energetische Nutzung von Altholz. Als Rohstoff wurde beispielhaft Stammholz gewählt und für die energetische Altholzverwertung ein Altholz-Heizkraftwerk. In diesem Kapitel werden die relative Bedeutung der einzelnen Lebenswegabschnitte und deren Optimierungspotenziale untersucht. Vergleichende Untersuchungen zwischen den Lebenswegen sind Gegenstand von Kapitel 3.3.2.

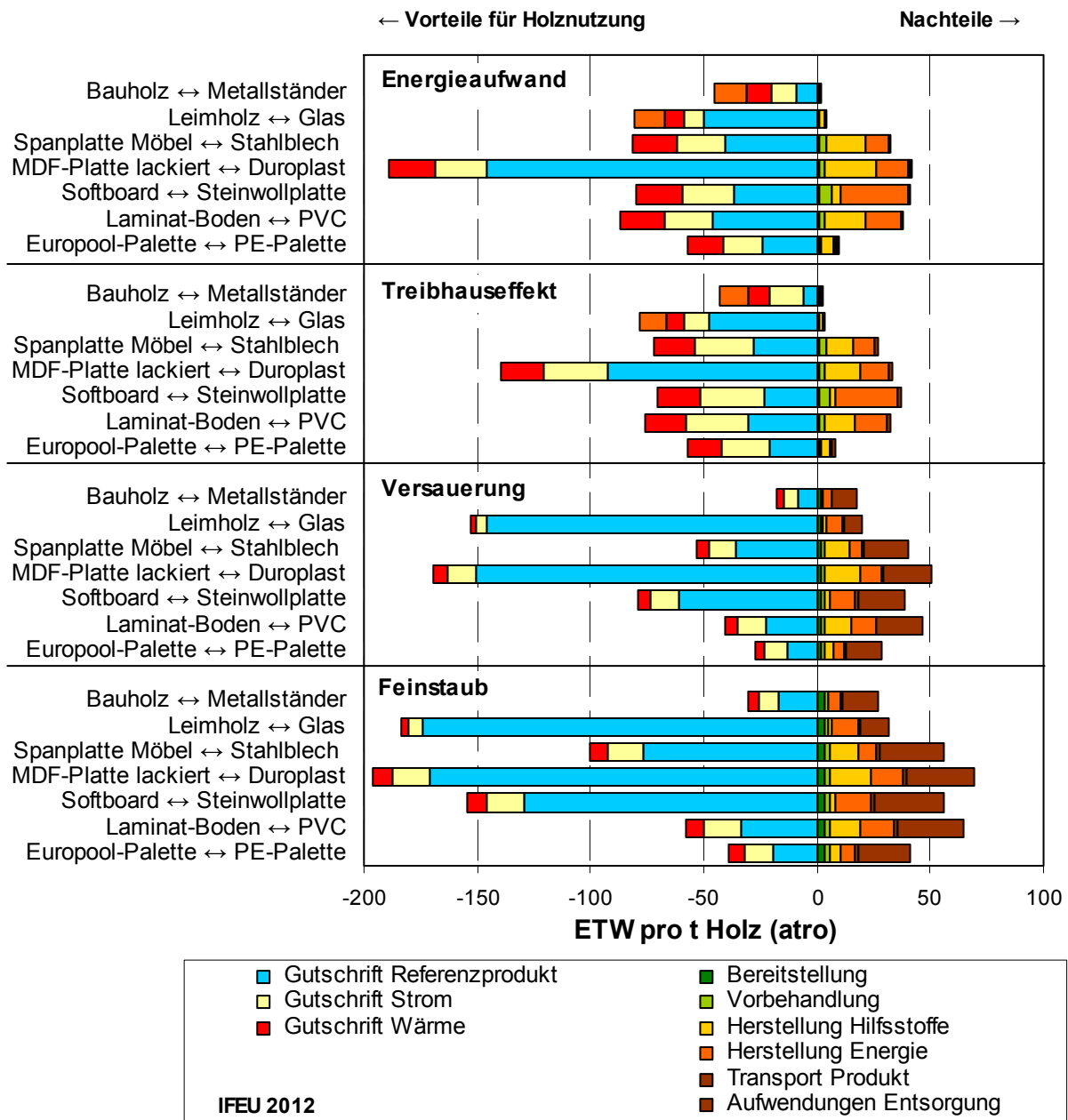


Abb. 3-4 Umweltauswirkungen von verschiedenen Holzprodukten verglichen mit ihren Nicht-Holz-Alternativen. In den Gutschriften für Referenzprodukte sind jeweils deren gesamte Lebenswege inklusive Recycling und / oder energetischer Verwertung enthalten. Der Ursprung negativer Werte für den Abschnitt „Herstellung Energie“ wird im Text erläutert.

Die Umweltwirkungen der Holzprodukte werden maßgeblich vom angesetzten Nicht-Holz-Referenzprodukt beeinflusst. Die Gutschriften hierfür übertreffen in den meisten Fällen sämtliche anfallenden Aufwendungen, die mit der Produktion des Holzproduktes verbunden sind. Besonders große Gutschriften entstehen dabei durch die Substitution von aufwendigen Produkten wie z.B. solchen aus Duroplast oder Glas. Obwohl das Referenzprodukt für ein bestimmtes Holzprodukt durch die Funktion vorgegeben wird, ist bei diesem Einzelbeitrag das größte Optimierungspotenzial vorhanden, welches allerdings oft vernachlässigt wird:

Wesentlich größere Gutschriften können durch die Verlängerung der Lebensdauer der Holzprodukte erzielt werden. Bei der Bereitstellung von Holz und der Produktion von Holzprodukten sind insbesondere diejenigen Lebenswegabschnitte von großer Bedeutung, bei denen thermische Energie benötigt wird (Holztrocknung, Dämpfung und Pressung), aber auch Prozesse mit einem hohen Strombedarf spielen eine Rolle (Sägen und Pressen). Der Energieaufwand ist in der Grafik anhand des Lebenswegabschnitts „Herstellung Energie“ zu erkennen. Insgesamt lassen sich die stofflichen Nutzungsformen in zwei Gruppen einteilen: Vollholzprodukte mit geringem Produktionsaufwand und Produkte wie MDF- oder Spanplatten mit höherem Verarbeitungsgrad und somit -aufwand. Negative Aufwendungen in diesem Lebenswegabschnitt kommen dadurch zustande, dass durch die energetische Nutzung von Holzabfällen mehr Energie bereitgestellt wird, als für die Herstellung dieses Produktes nötig ist. Diese Energie wird innerhalb der Holzverarbeitenden Industrie für andere Prozesse verwendet und führt zu entsprechenden Gutschriften. Ein hoher Verarbeitungsaufwand allerdings ist nicht notwendigerweise nachteilig, wenn dadurch wie im hier dargestellten Fall der MDF-Platten aufwendige konventionelle Produkte ersetzt werden können⁴. Dementsprechend sind die wichtigsten Optimierungspotenziale für ein gegebenes Produkt im Bereich der effizienteren Gestaltung von Produktionsprozessen, der effizienteren Energiebedarfsdeckung und der Verbesserung der Haltbarkeit zu sehen. Für die Effizienz der Produktionsprozesse von Holzwerkstoffen sind neben der Energieeffizienz auch weitere Faktoren wichtig: Hier trägt der eingesetzte Leim stark zu den Umweltlasten bei, weshalb geprüft werden sollte, ob weniger oder umweltfreundlicherer Leim eingesetzt werden kann. Da Holzwerkstoffe nicht massiv sein müssen, sollten Möglichkeiten untersucht werden, wie leichtere Holzwerkstoffe, die mit ansonsten gleichen Eigenschaften aus weniger Holz hergestellt werden können, verstärkt Verbreitung finden können. Bisher haben Sandwich- und andere leichte Platten aus Holzwerkstoffen schon Einzug in aktuelle Normen gefunden, werden aber üblicherweise nur in gewichtskritischen Bereichen wie dem Transportsektor eingesetzt. Bei der Energiebedarfsdeckung ist zu beachten, dass durch die verstärkte energetische Nutzung von Holz in der Produktion zwar dort z.B. die Treibhausgasemissionen gesenkt werden, dies aber dadurch wieder ausgeglichen wird, dass die Produktmenge pro t Rohholz gesenkt wird und daher weniger Gutschriften für die energetische Nutzung des Altholzes anfallen. Zu den verschiedenen energetischen Nutzungsformen des Altholzes, deren Gutschriften auch bei vorheriger stofflicher Nutzung einen großen Beitrag zum Ergebnis leisten, siehe die detaillierten Ausführungen zu Holz-Heizkraftwerken und -Kraftwerken im Kapitel 3.2.1. Die Forstwirtschaft hat dagegen keinen großen Einfluss auf die meisten Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebensweges (Abb. 3-4, „Bereitstellung“). Sogar wenn, wie im Fall von Altholz möglich, keine Umweltlasten aus der ursprünglichen Holzproduktion angerechnet würden, beeinflusst das die Umweltauswirkungen des gesamten Lebensweges nicht wesentlich. Eine Verbesserung hinsichtlich des Rohstoffes ist vor allem durch vorrangige Verwertung von bereits trockenem Holz wie Altholz oder Industrierestholz oder nicht-technische Trocknung erzielbar (Abb. 3-4, „Vorbehandlung“). Holz von Kurzumtriebsflächen wird in Kapitel 3.3.1 gesondert betrachtet.

⁴ Außerdem können bei erhöhtem Verarbeitungsgrad teils auch andere Holzsortimente genutzt werden. Dies wird in Kapitel 3.4 näher betrachtet.

3.2.3 Holznutzung für die Produktion von Betriebsstoffen

Im Rahmen einer möglichen Optimierung der Stoffströme in der Holzverarbeitenden Industrie stellt sich die Frage, inwiefern Betriebsstoffe aus vorhandenen Reststoffen hergestellt werden können. Leim ist ein wichtiger Betriebsstoff, dessen Bereitstellung besonders bei Spanplatten oder MDF-Platten einen bedeutenden Anteil der Umweltlasten verursacht. Unter anderem kann das häufig als Bindemittel verwendete Harnstoff-Formaldehyd-Harz anstatt aus fossilen Rohstoffen auch zum großen Teil aus Holz herzustellen. Diese Verfahren sind noch in der Erprobungsphase. Dazu wird aus Holz, wie im konventionellen Prozess aus Erdgas, zunächst Synthesegas hergestellt, welches dann über Methanol in Formaldehyd oder über Ammoniak in Harnstoff umgewandelt wird. Abb. 3-5 stellt die Auswirkungen der Bereitstellung von Harnstoff-Formaldehyd-Harz aus Holz anstatt aus fossilen Rohstoffen auf verschiedene Umweltwirkungen des Lebensweges von unbeschichteten Spanplatten dar. Dieser Prozess wurde auf Basis von existierenden Pilotanlagen und Literaturwerten bilanziert. Dabei wurden der ersetzte Harnstoff und das ersetzte Formaldehyd getrennt betrachtet. Falls beide Bestandteile aus Holz hergestellt werden, können additive Auswirkungen erreicht werden.

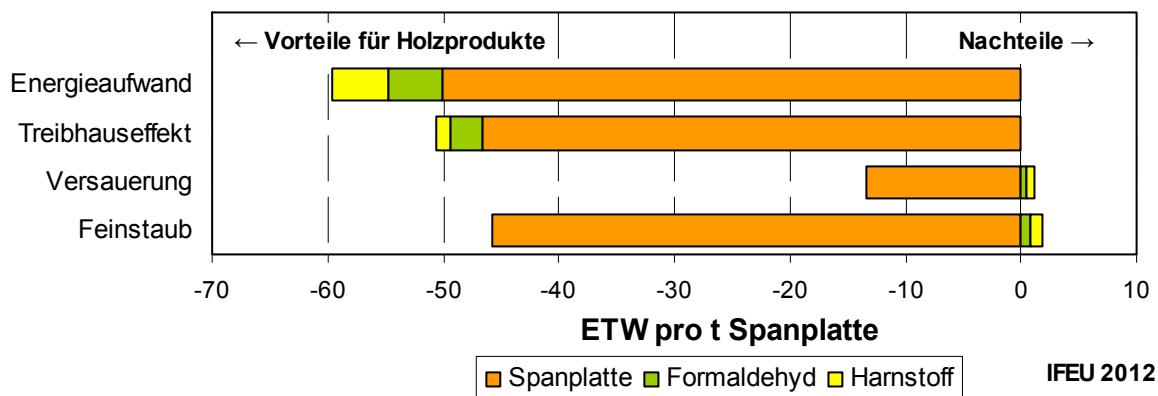


Abb. 3-5 Auswirkungen der Verwendung von Harnstoff-Formaldehyd-Harz aus Holz anstatt aus fossilen Rohstoffen auf die Umweltwirkungen von Regalböden aus Spanplatten. Dargestellt sind Einwohnertageswerte von 1 t herkömmlicher Spanplatten mit Harnstoff-Formaldehyd-Harz aus fossilen Rohstoffen bei einer Substitution von Regalböden aus Stahlblech (oranger Balkenabschnitt). Die zusätzlichen Balkenabschnitte stellen die Verbesserungen oder Verschlechterungen dar, die sich aus der Verwendung von Holz für die Herstellung von Formaldehyd bzw. Harnstoff ergeben.

Durch den Ersatz von Harnstoff-Formaldehyd-Harz aus fossilen Rohstoffen durch Harnstoff-Formaldehyd-Harz aus Holz kann man Energie und Treibhausgase einsparen, wogegen in den anderen Umweltwirkungen zusätzliche Belastungen auftreten (Abb. 3-5). Pro Tonne Spanplatten werden dann allerdings ungefähr 2.000 kg Holz benötigt. Das sind 900 kg mehr als für eine Tonne Spanplatten mit herkömmlichem Leim. Um die Höhe der Vor- und Nachteile einordnen zu können, werden die Ergebnisse verglichen mit den Auswirkungen der Nutzung von Regalböden aus Spanplatten anstatt von solchen aus Stahlblech. Hier zeigt sich, dass sich auf dem derzeitigen Stand der Technik die Vorteile bei Energieaufwand und

Treibhauseffekt etwas vergrößern, während die relativen Vorteile bei Versauerung und Feinstaubbelastung leicht zurückgehen. Im Verhältnis zur Menge an verbrauchtem Holz wird die Bilanz von Spanplatten allerdings nicht entscheidend verbessert. In Zukunft ist sicherlich eine Effizienzsteigerung und somit eine Verringerung der Umweltlasten der Herstellung von Bindemitteln aus Holz oder Holzbestandteilen zu erwarten, wenn die Prozesse ausgereift sind und in größerem Maßstab eingesetzt werden. Allerdings ist in dieser Studie nicht zu klären gewesen, inwieweit die Leimproduktion aus Holz langfristig ähnlich günstig wie die Spanplattenproduktion abschneiden kann.

3.3 Vergleich möglicher Holzlebenswege

Wie in Kapitel 3.2 gezeigt, stehen bei fast allen Varianten der Holznutzung in den meisten Umweltwirkungen große Umweltentlastungen (Gutschriften) kleineren oder höchstens ähnlich großen zusätzlichen Umweltlasten (Aufwendungen) gegenüber. Daher ist es also überwiegend vorteilhaft, Holz anstatt konventioneller Rohstoffe zu nutzen. Allerdings kann die Produktion von Frischholz nicht massiv erweitert werden, ohne Verdrängungseffekte oder andere Umweltschäden zu verursachen (s. Kapitel 3.3.1 und 4). Diese Konkurrenz um den Rohstoff Holz bedingt, dass dieser so vorteilhaft wie möglich eingesetzt werden sollte. Zu diesem Zweck werden in Kapitel 3.3.2 verschiedene Holznutzungen direkt miteinander verglichen.

3.3.1 Nutzung verschiedener Holzsortimente

Um den Einfluss der Holzbereitstellung auf den gesamten Lebenszyklus der Holznutzung darzustellen, wurden exemplarisch die Umweltlasten durch je eine Form der stofflichen und energetischen Nutzung (Spanplatte und Heizkraftwerk) von ausgewählten Holzsortimenten untersucht. Dafür wurde als Holzsortiment mit minimalen Umweltlasten Industrierestholz gewählt, welchem in diesem Ansatz als Reststoff keine Aufwendungen der Forstwirtschaft zugerechnet werden⁵. Waldrestholz stellt das Sortiment dar, welches mit den höchsten relativen Energieaufwendungen aus dem Forst gewonnen wird, weil bei gegebenem Sammel- und Transportaufwand nur relativ geringe Massen geerntet werden⁶. Herkömmliches Stammholz und Industrieholz weist Aufwendungen zwischen den beiden ersten Sortimenten auf und wird daher nicht aufgeführt. Eine Alternative zu Waldholz stellt Holz aus Kurzumtriebsflächen (KUF) dar, welches in den meisten Fällen nur energetisch genutzt werden kann. Auf KUF sind unter optimalen Rahmenbedingungen deutlich höhere Erträge als in der Forstwirtschaft möglich. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Kulturformen derzeit aktiv weiterentwickelt werden und in näherer Zukunft mit weiteren Ertragssteigerungen zu rechnen ist.

Abb. 3-6 zeigt, dass die Herkunft des Holzes die Umweltwirkungen in fast allen ökobilanziell erfassten Kategorien nur minimal beeinflusst verglichen mit den Bandbreiten, die durch Variationen in anderen Lebenswegabschnitten entstehen. Einen Sonderfall stellt jedoch der Nährstoffeintrag in Gewässer dar. Hier verursachen die Kurzumtriebsflächen deutliche Umweltlasten, da dort Düngemittel eingesetzt werden, was im Forst in Deutschland nicht stattfindet⁷. Da für den Nährstoffeintrag in Gewässer aufgrund von Düngemittelausbringung nur ein typischer Wert für Deutschland bestimmt ist (MÜLLER-LINDENLAUF 2011), wurde nur ein

⁵ Diese Vorgehensweise stellt einen Minimalansatz dar, um die untere Grenze der Aufwendungen aus der Holzbereitstellung aufzuzeigen. Durch eine Allokation der Aufwendungen aus der Holzernnte würden höhere Lasten für das Industrierestholz entstehen, die jedoch immer noch unter denen für das Waldrestholz liegen.

⁶ Waldrestholz schließt in dieser Studie nicht die Ernte von Baumstümpfen ein.

⁷ Nötige Waldkalkungen beheben Schäden aus versauernden Emissionen der Industrie, des Verkehrs und von Haushalten und werden hier den Verursachern zugerechnet.

Mittelwert für Deutschland angegeben und es wurde auf die Darstellung von Bandbreiten verzichtet. Kurzumtriebsflächen stellen also eine Alternative zur Forstwirtschaft dar, durch die sich die Holzproduktion ausweiten lässt, wenn ein zusätzlicher Nährstoffeintrag in Gewässer in Kauf genommen wird.

In dieser Studie wurde eine Veränderung des Kohlenstoffbestandes durch den Holzeinschlag im Allgemeinen oder durch einen künftig verstärkten Einschlag sowie das Anlegen und Bewirtschaften von KUF aus verschiedenen Gründen nicht betrachtet. Bei gleich bleibender nachhaltiger Praxis in der Forstwirtschaft bleibt der über Jahrzehnte oder viele Bestände verschiedenen Alters gemittelte Kohlenstoffbestand im Forst gleich, wenn keine Einmaleffekte wie z.B. Sturmschäden und anschließende Erholungsprozesse stattfinden. Obwohl diese einen nicht unerheblichen Einfluss haben können, sind sie nicht Gegenstand dieser Studie. Bei Änderungen der Bewirtschaftungspraxis (Anlegen von KUF, Ausweisen von Naturschutzflächen und damit langfristige Konversion in Naturwald, Intensivierung der Bewirtschaftung etc.) sind viele Faktoren zu berücksichtigen, über die derzeit aber teils nur ungenügende Daten vorliegen. In diese Betrachtung muss der Kohlenstoffbestand im Forst und auf KUF sowie dem vergleichsweise zu betrachtenden Naturwald, Grünland oder Acker einfließen. Dieser setzt sich aus einem oberirdischen, relativ gut bestimmbareren Anteil und dem Bodenkohlenstoffbestand zusammen, der weniger gut bestimmbar ist. Kritisch für die Bewertung ist ebenfalls, ob der Kohlenstoffbestand eines Waldes nach der bisherigen Lehrmeinung langfristig ein Maximum erreicht oder noch über Jahrhunderte stetig zunimmt (LUYSSAERT et al. 2008). Daher sind die Auswirkungen einer geänderten Bewirtschaftungspraxis auf den Kohlenstoffbestand schwer zu quantifizieren und können in dieser Studie mangels Daten nicht betrachtet werden. Generell ist jedoch davon auszugehen, dass eine intensivere Bewirtschaftung zu einer Abnahme des Kohlenstoffbestandes im Forst führt (s. auch Kapitel 4.2.1). Da ein großer Teil des geernteten Holzes nicht sofort verbrannt, sondern teils über Jahrzehnte stofflich genutzt wird, ist der zusätzliche durchschnittliche Kohlenstoffbestand in Holzprodukten (näher betrachtet in Kapitel 3.4.6) mit dem verringerten durchschnittlichen Bestand im Forst zu verrechnen. Ferner ist zu betrachten, inwiefern Naturwald und Forst unterschiedlich anfällig für Schäden durch Stürme oder Schädlinge sind und welcher Bestand sich besser an den Klimawandel anpassen kann (zusammengefasst in ERLER et al. 2012). Eine besondere Situation besteht darüber hinaus in Deutschland, weil viele Forste erst jetzt ihren Zielvorrat, unter anderem aufgrund der Reparationshiebe nach den Weltkriegen, wieder erreichen (GEYER 1985). Nach Beendigung dieser Erholungsphase kann daher auch eine langfristige geringfügige Erhöhung des Holzeinschlags gegenüber den vergangenen Jahren nachhaltig sein.

Für den Vergleich von KUF mit Ackerflächen ist eine deutliche Erhöhung des durchschnittlichen Kohlenstoffbestandes zu erwarten, während dies für den Vergleich von KUF mit Dauergrünland unklar ist. In letzterem Fall ist vor allem ausschlaggebend, ob KUF einen ähnlich hohen Bodenkohlenstoffbestand wie Dauergrünland erreichen. Hierzu existieren noch nicht genügend Daten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Auswirkungen der Holznutzung auf den Kohlenstoffbestand im Forst, auf Anbauflächen und in Produkten weiter untersucht werden muss. Eine Zurechnung möglicher Gesamtänderungen auf die Holzprodukte ist derzeit nur unzureichend möglich.

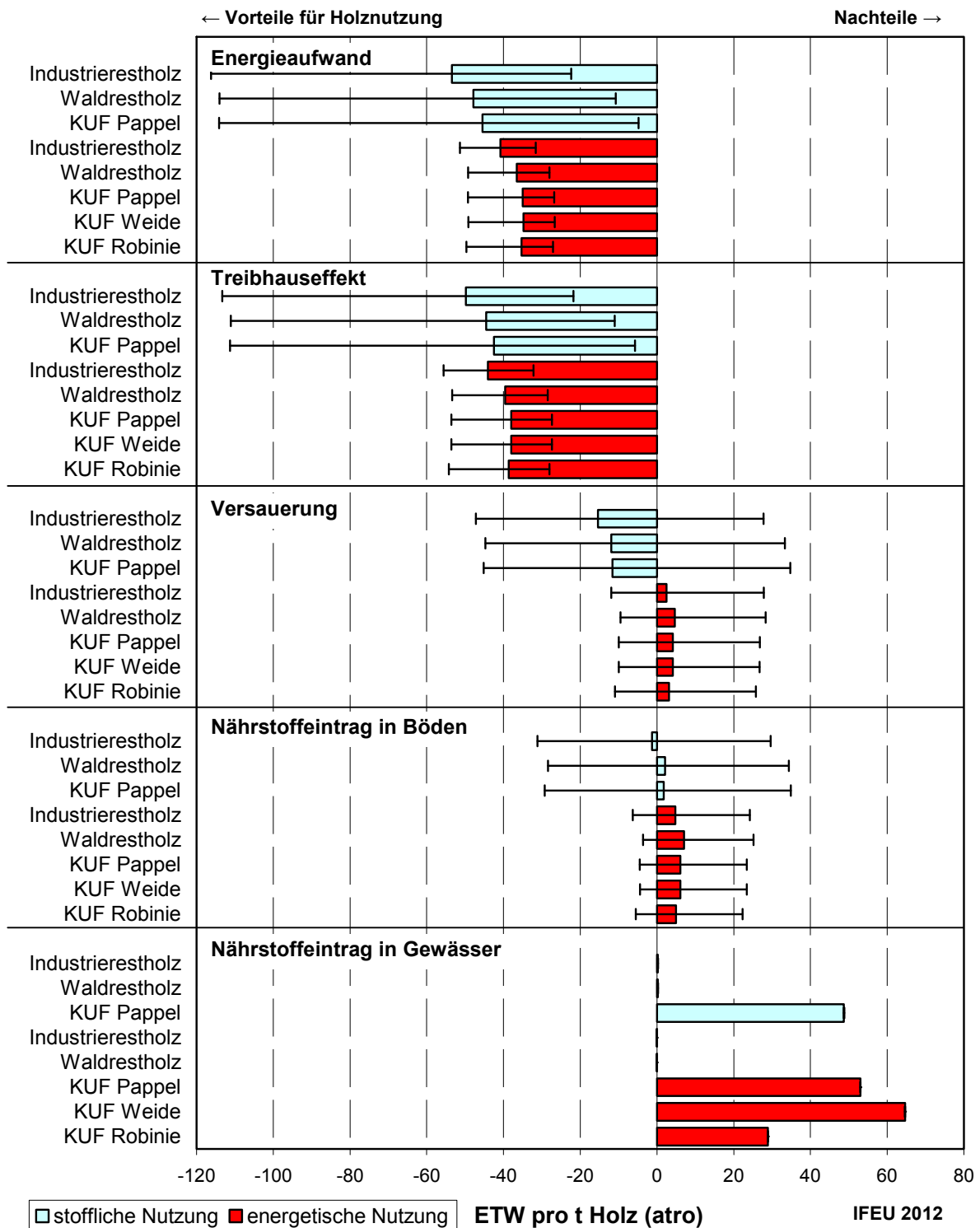


Abb. 3-6 Vergleich der Umweltwirkungen des gesamten Lebensweges von stofflicher (Spanplatten) und energetischer Nutzung (Holz-Heizkraftwerk) aus verschiedenen Holzsortimenten. Von den betrachteten KUF-Holzsorten kann nur Pappelholz langer Rotationszeiten stofflich genutzt werden. Die Bandbreiten werden vor allem von späteren Lebenswegabschnitten wie der Produktion oder energetischen Nutzung verursacht. Für den Nährstoffeintrag in Gewässer wurde mangels Berechnungsgrundlagen nur ein typischer Wert dargestellt (Details s. Text).

Hinsichtlich des Flächenbedarfs stellen Alt- und Restholz die besten Alternativen dar, da sie ohne zusätzliche Flächenbelegung anfallen. Stammholz, Industrieholz und Holz aus KUF lassen sich in dieser Hinsicht nicht vergleichen, da Stammholz und Industrieholz zwangsläufig gemeinsam anfallen und für die Produktion von Waldholz und KUF unterschiedliche Flächen genutzt werden.

Da für Kurzumtriebsflächen Ackerland benötigt wird, entsteht eine Flächenkonkurrenz zu anderen Kulturen. Neben der hier quantifizierten Verdrängung von anderen Pflanzen zur energetischen Nutzung (Abb. 3-7) ist vor allem eine Verdrängung der Nahrungsmittelproduktion zu nennen. Letztere verursacht durch vielfältige Marktverschiebungen mit indirekten globalen Auswirkungen letztendlich vielfach eine Abholzung von tropischen Regenwäldern (indirekte Landnutzungsänderungen). Andererseits ist Deutschland ein Nettoimporteur von Holz und trägt dadurch potenziell auch über indirekte Effekte der Holznutzung zur Abholzung von tropischen Regenwäldern bei, was sich durch eine verstärkte inländische Bereitstellung von Holz aus KUF verringern ließe. Daher sind die Auswirkungen besonders auf das Klima schwer zu quantifizieren und können im Rahmen dieser Studie nicht berücksichtigt werden. Zum Stand der internationalen Debatte um indirekte Landnutzungsänderungen wird auf spezifische Publikationen zu diesem Thema verwiesen (IFEU 2009, EC 2010a, NL AGENCY 2010, EDWARDS et al. 2010).

Die Ackerflächen, die neben der Nahrungsmittelproduktion für die Produktion von Bioenergie zur Verfügung stehen, können als Kurzumtriebsflächen, aber auch z.B. für die Produktion von Biogas aus Mais oder Bioethanol aus Weizen genutzt werden. Ein Vergleich dieser Kulturen für die energetische Nutzung zeigt, dass sich durch KUF höhere Treibhausgaseinsparungen erreichen lassen als durch herkömmliche Energiepflanzen (Abb. 3-7). In dieser Untersuchung wurde wie oben diskutiert nicht berücksichtigt, dass der höhere durchschnittliche Bestand von Biomasse auf KUF einen Kohlenstoffspeicher darstellt. Dadurch würde der Vorteil von KUFs gegenüber Weizen oder Mais hinsichtlich der Klimawirkung noch größer als hier dargestellt. Der zusätzliche Nährstoffeintrag und die zusätzliche Versauerung fällt bei KUFs je nach Rahmenbedingungen etwa so aus wie die durch den Anbau von Weizen, ist aber niedriger als die durch den Anbau von Mais.

Weitere Umweltauswirkungen durch die Neuanlage von KUF werden in Kapitel 4.3.3 untersucht.

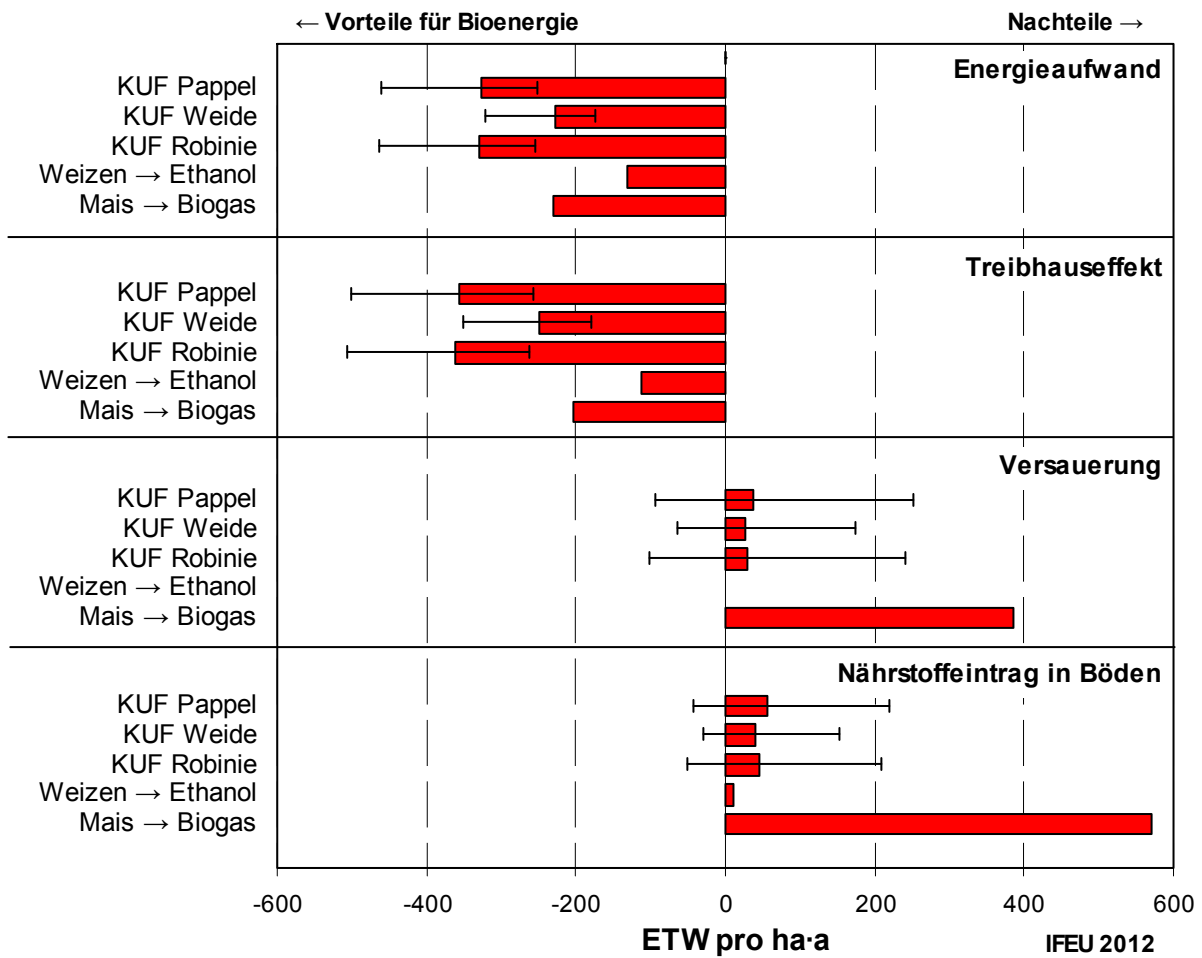


Abb. 3-7 Vergleich der Umweltauswirkungen des Anbau von verschiedenen Pflanzen für die Energieerzeugung auf der gleichen Ackerfläche. Darstellung in Einwohnertageswerten pro Hektar und Jahr, die durch Produktion und Nutzung der Biomasse sowie durch Verdrängung fossiler Energieträger verursacht werden. Der Vergleich beinhaltet Anbau, wenn zutreffend die Konversion in andere Energieträger und die Nutzung. Die Auswirkungen von möglichen Landnutzungsänderungen werden hier nicht betrachtet.

3.3.2 Stoffliche oder direkte energetische Nutzung

Die Begrenztheit der Ressource Holz erfordert eine möglichst effiziente Nutzung. Daher werden in diesem Kapitel verschiedene Nutzungsformen einer Tonne Rohholz (atro) inklusive der dabei ersetzten Nicht-Holz-Produkte direkt miteinander verglichen. Zu diesem Zweck wurden Prozessdaten aus verschiedenen Quellen herangezogen, harmonisiert und einheitlich bewertet (s. auch Kapitel 2.5). Weitere indirekte Effekte wie Marktverschiebungen und zeitliche Verzögerungen durch eine langfristige stoffliche Nutzung werden in Kapitel 3.4 gesondert betrachtet. Bei dem Vergleich der stofflichen Nutzung einschließlich nachfolgender energetischer Nutzung mit verschiedenen Formen der direkten energetischen Nutzung ist zu beachten, dass in beiden Lebenswegen jeweils die gleichen energetischen Nutzungsformen angesetzt werden⁸. Daher wird hier beispielhaft eine stoffliche Nutzung mit Nutzung des Altholzes in bestehenden Biomasse(heiz)kraftwerken mit der direkten energetischen Nutzung in bestehenden Biomasse(heiz)kraftwerken verglichen. Die Ergebnisse lassen sich auf die energetische Nutzung in möglichen neuen Biomasse(heiz)kraftwerken und -heizwerken übertragen.

Der Vergleich der stofflichen Nutzung bei anschließender energetischer Nutzung mit der direkten energetischen Nutzung fällt unter Berücksichtigung der Bandbreiten in allen Kategorien positiv oder neutral für die stoffliche Nutzung aus (Abb. 3-8). In den hier nicht dargestellten Kategorien Nährstoffeintrag in Böden und Fotosmog werden ähnlich vorteilhafte Ergebnisse erzielt. Besonders vorteilhaft sind Anwendungen, in denen massive Metallträger oder andere aufwendige Materialien wie Glas oder Duroplast ersetzt werden. Diese aufwendigen konventionellen Materialien werden in der Regel durch Massivholzprodukte ersetzt; nur bei Spezialanwendungen kommen Holzwerkstoffe (z. B. Produkte aus MDF statt Duroplast) zum Einsatz. Einen Sonderfall stellt die chemische Umwandlung von Holz in Harnstoff-Formaldehyd-Harz dar. Zwar sind auf dem heutigen Stand der Technik schon eigenständig betrachtet Vorteile bezüglich Treibhauseffekt und Energieaufwand zu erzielen (negative Absolutwerte), die aber wesentlich kleiner sind als bei den anderen betrachteten Nutzungsformen der gleichen Holzmenge. Daher ist diese Form der chemischen Konversion derzeit aus Umweltschutzsicht noch nicht konkurrenzfähig. Hinsichtlich der Belastbarkeit der Ergebnisse ist zu beobachten, dass die Bandbreiten der Umweltwirkungen bei der stofflichen Nutzung größer ausfallen als bei der energetischen Nutzung, weil es in der Holzverarbeitung wesentlich mehr Prozessparameter gibt, die das Ergebnis beeinflussen⁹. Daher kann eine ineffiziente Produktion in manchen Fällen auch zu deutlichen Nachteilen gegenüber der direkten energetischen Nutzung führen.

⁸ So sagt z.B. der Vergleich der direkten Verbrennung in potenziellen neuen Biomasse-Heizkraftwerken (s. Abb. 3-9) mit der Kaskadennutzung in Form von Bauholz mit anschließender Nutzung in bestehenden Biomasseheiz(kraft)werken (s. Abb. 3-8) wenig aus, da gebrauchtes Bauholz ebenfalls in neuen Biomasse-Heizkraftwerken energetisch genutzt werden könnte, so sie dafür zugelassen sind. Es wird davon ausgegangen, dass Holz in derzeitigen stofflichen Nutzungen nicht mit problematischen Schadstoffen kontaminiert wird, so dass es unabhängig von einer vorherigen stofflichen Nutzung gleichwertig in Großfeuerungsanlagen eingesetzt werden kann.

⁹ Dabei ist zu beachten, dass in der Bandbreite der Kaskadennutzungen die Bandbreite der energetischen Nutzung teilweise enthalten ist, weil die energetische Nutzung des Altholzes Teil der Kaskade ist.

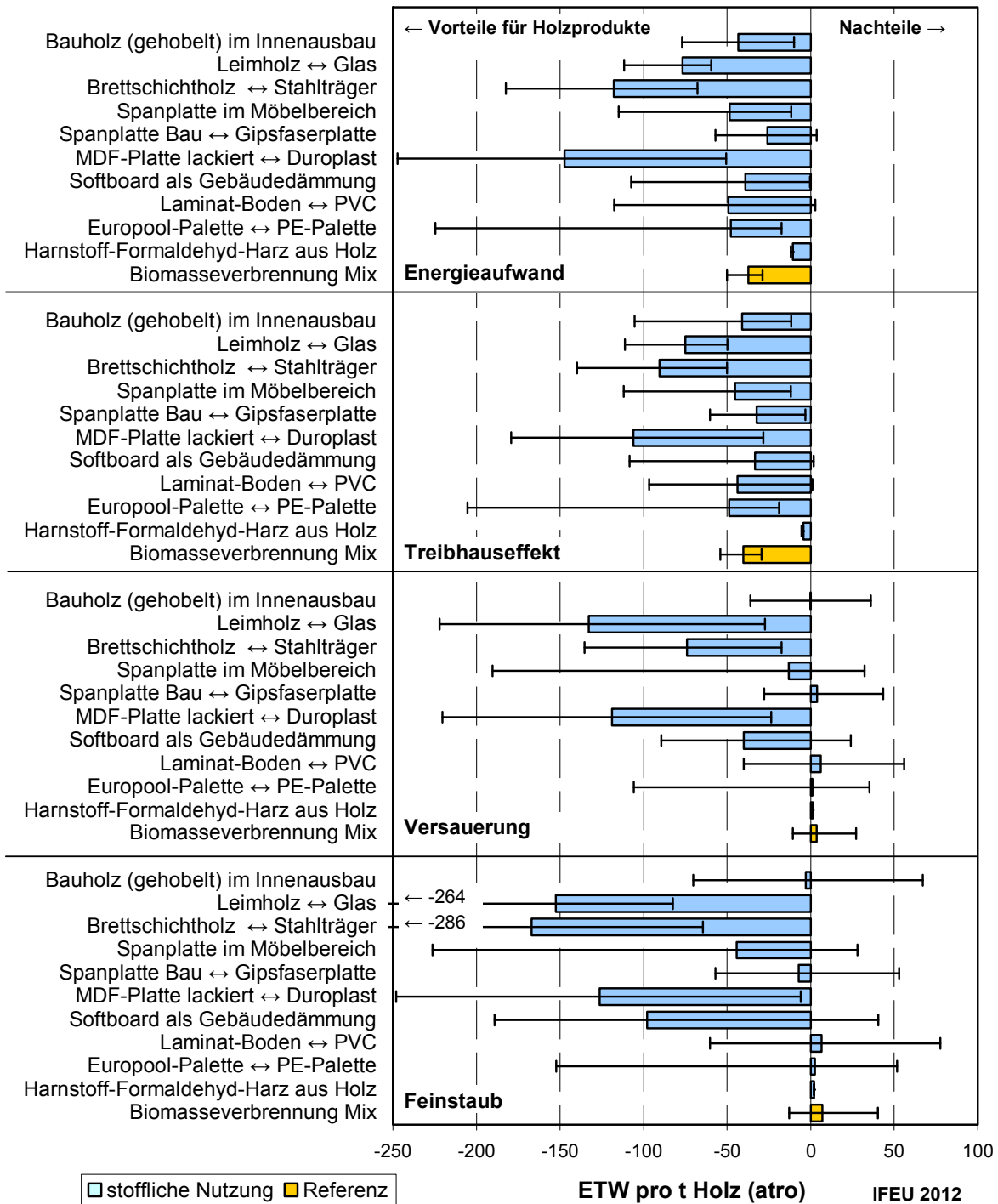


Abb. 3-8 Umweltauswirkungen verschiedener stofflicher Nutzungsformen von 1 t Rohholz (atro) mit anschließender energetischer Nutzung in einem Mix von Bestandsanlagen. Als Referenz ist die direkte energetischen Nutzung in einem Mix von Bestandsanlagen dargestellt. Wenn kein konkretes Referenzprodukt angegeben ist, enthalten die Bandbreiten verschiedene Szenarien, in denen unterschiedliche in dem Anwendungsbereich typische Produkte ersetzt werden.

Falls die direkte energetische Nutzung von Holz ausgebaut werden soll, gibt ein Vergleich der energetischen Nutzungsformen untereinander Auskunft über die effizienteste Form. Abb. 3-9 zeigt, dass eine Nutzung in neuen großen Biomasseheizkraftwerken (mit mindestens 50 % Wärmenutzungsanteil) und eine Mitverbrennung in Steinkohlekraftwerken in allen Umweltwirkungen am besten oder ähnlich gut wie die Spitzenreiter abschneiden. Eine Verbrennung in Scheitholzöfen ist in allen Kategorien am ungünstigsten. Weiterhin lässt sich feststellen, dass reine Biomassekraftwerke ohne Wärmenutzung in den Kategorien Energieaufwand und Treibhauseffekt ebenfalls schlechter abschneiden, während in den Kategorien Versauerung und Feinstaub Kleinanlagen zur Heizung von Häusern und kleineren Industrieanlagen nachteilig sind.

Im Allgemeinen ist also eine energetische Holznutzung in effizienten Großanlagen vorteilhaft. Diese wird bei Biomasse-Heizkraftwerken durch einen guten elektrischen Wirkungsgrad zusammen mit effizienter Wärmenutzung erreicht und im Fall der Mitverbrennung in Kohlekraftwerken durch einen sehr hohen elektrischen Wirkungsgrad¹⁰. Ein entscheidender Vorteil für die Mitverbrennung stammt dabei daher, dass bei der Mitverbrennung zu 100 % die klimaschädliche Steinkohle ersetzt wird¹¹, während Strom aus Biomasse-Heizkraftwerken abhängig vom Markt eine Mischung aus verschiedenen größtenteils umweltfreundlicheren Stromquellen ersetzt. Allerdings können bei der Mitverbrennung von Holz in Kohlekraftwerken Probleme entstehen, die unter der gegebenen Randbedingung der nachhaltigen Holzgewinnung keinen Niederschlag in der Ökobilanz, speziell auch den quantitativ bestimmten Umweltwirkungen haben: Durch die hier potenziell entstehende enorm große Holz Nachfrage könnte die genannte nachhaltige Holzbeschaffung gefährdet sein. Außerdem könnte der oben diskutierten umweltfreundlicheren stofflichen Nutzung der Rohstoff Holz entzogen werden, was auch schwerwiegende sozioökonomische Auswirkungen haben kann (z.B. Wegfall von Arbeitsplätzen). Daneben darf eine Mitverbrennung von umweltfreundlichem Holz kein Argument für Bau neuer Kohlekraftwerke sein, weil diese auch mit hohem Anteil von Holz an den Brennstoffen umweltschädlicher sind als z.B. neue Erdgaskraftwerke (s. Anhang, Kapitel 7.6) Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch eine Studie der DENA (2011), die große Potenziale für eine Mitverbrennung von Holz in Kohlekraftwerken feststellt, aber auch darauf verweist, dass dafür zunächst nachhaltige internationale Biomassemärkte aufgebaut werden müssen, da der Holzbedarf das inländische Angebot übersteige. Der Aufbau solcher „nachhaltiger internationaler Biomassemärkte“ für Deutschland ist auf Grund der Konkurrenzsituation mit anderen Ländern und mit anderen Nutzungspräferenzen jedoch ungewiss.

¹⁰ In diesem Szenario wurden zusätzliche Aufwendungen für die Bereitstellungen des Holzes zur Mitverbrennung in Steinkohlekraftwerken in Höhe von 500 – 800 MJ pro t Holz angesetzt. Eine Mitverbrennungsquote von über 20 % oder die Verwendung von Altholz statt Frischholz sind derzeit mit technischen Schwierigkeiten verbunden, deren Überwindung deutlich höhere Zusatzaufwendungen zur Folge haben könnte.

¹¹ Es würden noch bessere Ergebnisse erzielt werden, wenn noch umweltschädlichere Braunkohle ersetzt würde.

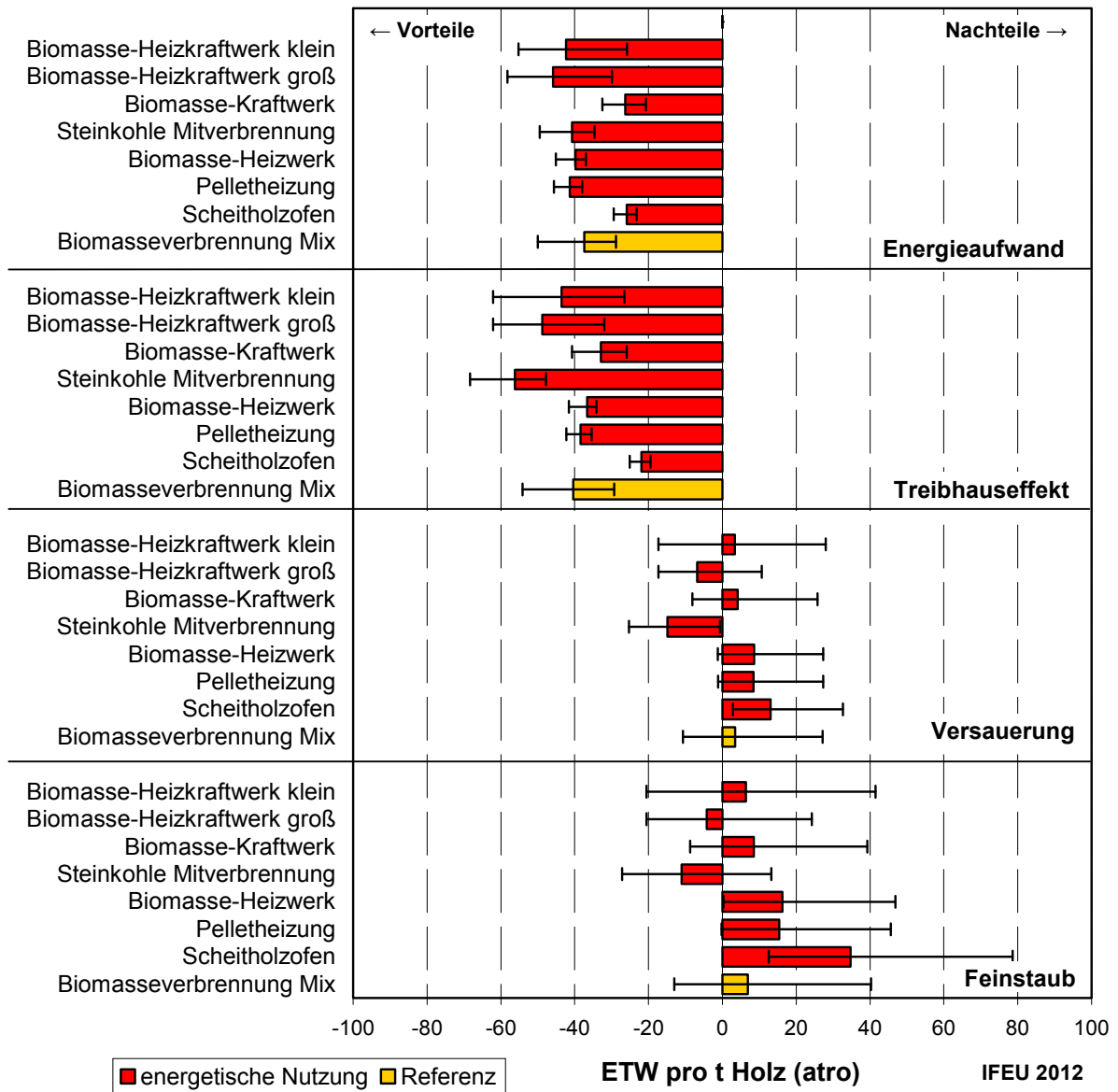


Abb. 3-9 Umweltauswirkungen verschiedener Formen der zusätzlichen direkten energetischen Nutzung von 1 t Rohholz (atro) verglichen mit der direkten energetischen Nutzung in einem Mix von Bestandsanlagen als Referenz. Alle Formen der zusätzlichen energetischen Nutzung beziehen sich auf Neuanlagen außer der Mitverbrennung in Steinkohle-Kraftwerken. In diesem Fall kann eine zusätzliche Nutzung von Holz in bestehenden Kraftwerken realisiert werden.

3.4 Verstärkte stoffliche Holznutzung

In diesem Kapitel wird diskutiert, welche Holzsortimente verstärkt stofflich genutzt werden könnten und welche Auswirkungen derartige Marktverschiebungen auf andere Bereiche der Holznutzung haben können. Um die Auswirkungen anschaulich zu machen, werden Nutzenkörbe miteinander verglichen, die jeweils den gleichen stofflichen und energetischen Nutzen durch verschiedene Holz- und Nicht-Holz-Produkte abdecken. Die Komplexität wird dadurch vermindert, dass aus dem gesamten Nutzenkorb für bestimmte Fragestellungen jeweils nur einzelne Produktströme herausgegriffen und miteinander verglichen werden.

Wie in Abb. 3-10 gezeigt, können die einzelnen Holzsortimente nur für bestimmte Anwendungen genutzt werden bzw. werden in der Praxis hauptsächlich so eingesetzt. Beispielsweise kann Altholz im Wesentlichen nur für Spanplatten und in großen Altholz(heiz)kraftwerken genutzt werden. Wie in Kapitel 3.3.2 festgestellt, bringen diese Massivholzprodukte die größten Umweltvorteile mit sich. Daher sind also Umweltvorteile zu erwarten, wenn die minderwertigere Verwendung von Stammholz weiter eingeschränkt wird. Dies wird im Detail in Kapitel 3.4.1 untersucht.

Das größte Potenzial zur verstärkten stofflichen Nutzung besteht bei Altholz und kleinteiligen Holzsortimenten wie Industrieholz, Industrierestholz oder Holz von KUF, die derzeit zu einem großen Teil energetisch genutzt werden (Abb. 3-10). Diese können aber nur für Produkte wie Spanplatten oder Faserplatten (MDF: mitteldichte Faserplatte) eingesetzt werden, die normalerweise im Möbelbereich oder in Spezialanwendungen zum Einsatz kommen. Hier sind die Umweltvorteile geringer, da die Produktion dieser Holzwerkstoffe viel Energie benötigt (s. Kapitel 3.2.2 und 3.3.2). Außerdem besteht gerade im Möbelbereich kaum ein Substitutionspotenzial für Nicht-Holz-Produkte, sondern vor allem eine Konkurrenz mit Massivholzprodukten. In Kapitel 3.4.2 wird daher betrachtet, welche direkten und indirekten Marktverschiebungen durch eine verstärkte Produktion von Spanplatten aus Altholz ausgelöst werden können und welche Umweltauswirkungen diese haben. Eine andere mögliche Auswirkung der verstärkten Produktion von Spanplatten aus Altholz wäre bei gleich bleibendem Marktvolumen eine Verdrängung von z.B. Industrierestholz aus deren Produktion, was im Kapitel 3.4.4 untersucht wird. Im Kapitel 3.4.5 wird betrachtet, welche Optionen für ein wiederholtes stoffliches Recycling von Holz bestehen und wie sich dies auf die Umwelt auswirkt.

In Kapitel 3.4.6 werden schließlich verschiedene Bewertungsmethoden von zeitlich verzögerten CO₂-Emissionen verglichen, die bei langlebigen Holzprodukten und besonders mehrfacher stofflicher Nutzung von Holz eine Rolle spielen (vgl. Kapitel 2.2.3). Dies ergänzt die vorherigen Unterkapitel, welche diese zeitlichen Verzögerungen nicht beinhalten.

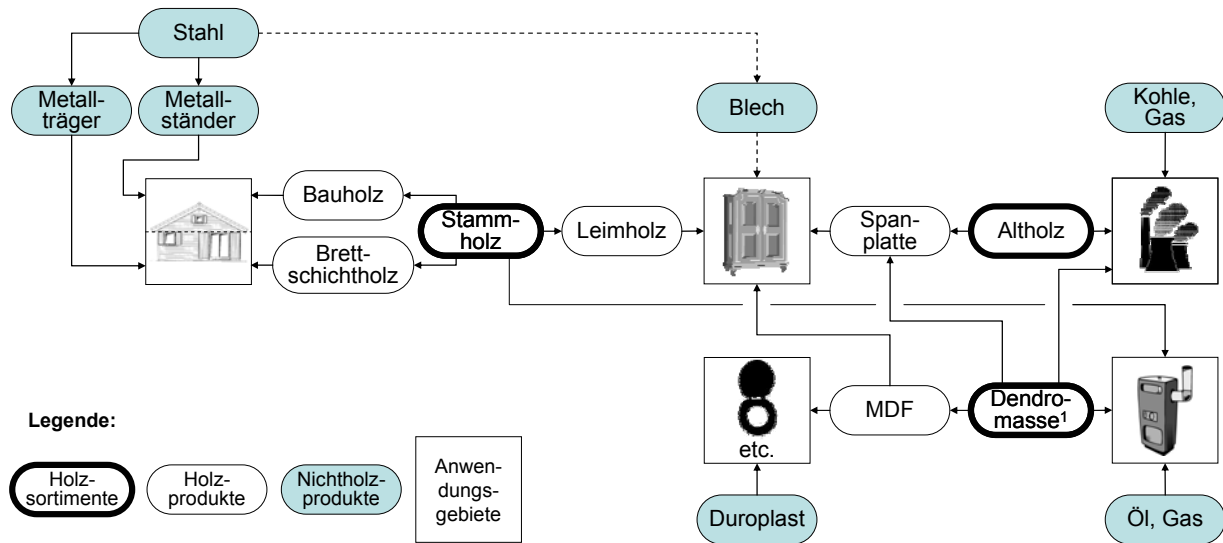


Abb. 3-10 Konkurrenz zwischen Holzprodukten um Rohstoffe (Holzsortimente) und Anwendungsgebiete (Bau, Möbel, Spezialanwendungen, Großfeuerungsanlagen, Kleinfeuerungsanlagen). Ausgewählt wurden wichtige Anwendungsgebiete je Holzsortiment. Gestrichelte Pfeile stehen für einen begrenzten Einsatz. MDF: mitteldichte Faserplatte, ¹: „Dendromasse“ bezeichnet hier kleinteilige Holzsortimente wie Industrieholz, Industrierestholz, Waldrestholz, stofflich nutzbares Holz aus KUF u. Ä., welche nicht für höherwertige stoffliche Nutzung geeignet sind.

3.4.1 Direkte energetische Nutzung hochwertiger Sortimente

Dieses Szenario beschreibt die Umweltauswirkungen einer energetischen Nutzung von Stammholz. Obwohl Stammholz sehr hochwertig z.B. im Baubereich eingesetzt werden kann, ist eine energetische Nutzung vor allem als Scheitholz zu beobachten.

Sogar wenn eine wenig vorteilhafte stoffliche Nutzung anstelle von Ständern aus Metallprofilen ansetzt wird, die im Vergleich zu effizienten Biomasseheizkraftwerken kaum Umweltvorteile erzielen kann, schneidet diese stoffliche Nutzung im Vergleich zur Verbrennung in Scheitholzöfen in allen Umweltwirkungen besser ab (Abb. 3-11). Dabei ist allerdings anzumerken, dass die Datenbasis für die Eigenschaften von Scheitholzöfen verbesserungswürdig ist und einzelne Öfen und deren Nutzungsweise sich stark voneinander unterscheiden können.

Da Scheitholz vor allem im ländlichen Raum in erheblichen Mengen genutzt wird (MANTAU & SÖRCEL 2006, MANTAU 2009), besteht hier ein großes Einsparpotenzial. Wenn das gesamte Stammholz, das in Deutschland als Scheitholz genutzt wird, im Baubereich verwendet würde, ließen sich dadurch jährlich Treibhausgasemissionen in der Größenordnung von 1 – 2 Mio. t CO₂-Äquivalenten einsparen, was den Treibhausgasemissionen von ca. 150.000 Bundesbürgern entspricht.

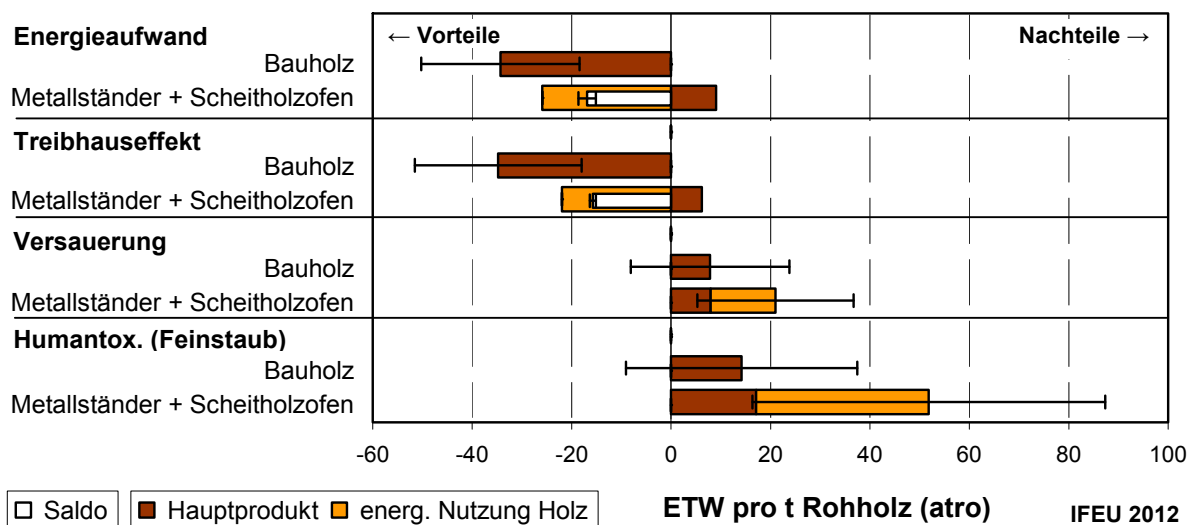
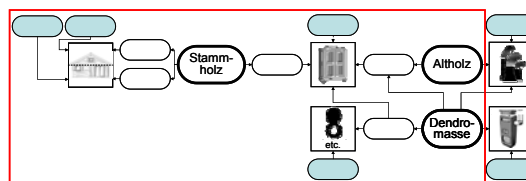


Abb. 3-11 Umweltauswirkungen der Bereitstellung eines Nutzenkorbes von Ständern im Innenausbau und Energie. Die Bereitstellung erfolgt entweder durch Bauholz bei einer späteren Entsorgung in einem Mix bestehender Heiz(kraft)werke oder durch die Anwendung von Metallständern im Baubereich und Nutzung von Stammholz in einem Scheitholzöfen.

3.4.2 Mehreinsatz von Spanplatten aufgrund von Altholzeinsatz in Spanplatten

Hier wird davon ausgegangen, dass mehr Altholz in der Spanplattenproduktion eingesetzt wird und dies zu einer Mehrproduktion an Spanplatten führt. Daher werden bei der Betrachtung eines konstanten Nutzenkorbes (s. Kapitel 2.3.4) verschiedene alternative Nicht-Holz- und Holzprodukte verdrängt. Wenn Holzprodukte verdrängt werden, wird das dort eingesetzte Rohholz für andere Anwendungen frei und indirekte Verdrängungseffekte finden statt (s. Einleitung des Kapitels 3.4). Da diese Verdrängungseffekte einen weiten Bereich des Marktes für Holzprodukte umfassen können (s. Übersichtsbox und Abb. 3-10), wird in diesem Kapitel ein großer Nutzenkorb mit mehreren Varianten der Bereitstellung der einzelnen Güter betrachtet (Abb. 3-12).



Übersicht: In diesem Kapitel betrachteter Marktausschnitt (s. auch Abb. 3-10)



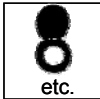

	→ Energie	→ Stahlblech	→ Duroplast	→ Metallständer Bau	→ Metallträger Bau
 Möbel	a) Industrieholz (Spanplatte)	Industrieholz (Spanplatte)	Altholz (Spanplatte)	Industrieholz (Spanplatte)	Industrieholz (Spanplatte)
	b) Stammholz (Leimholz)	Stammholz (Leimholz)	Stammholz (Leimholz)	Altholz (Spanplatte)	Altholz (Spanplatte)
	c) Stahl (Blech)	Altholz (Spanplatte)	Stahl (Blech)	Stahl (Blech)	Stahl (Blech)
 Bau	a) Stahl (Ständer)	Stahl (Ständer)	Stahl (Ständer)	Stammholz (Bauholz)	Stahl (Ständer)
	b) Stahl (Träger)	Stahl (Träger)	Stahl (Träger)	Stahl (Träger)	Stammholz (Brettschicht-holz)
 Spezial etc.	Duroplast	Duroplast	Industrieholz (MDF)	Duroplast	Duroplast
 Energie	Altholz	Fossil	Fossil	Fossil	Fossil

Abb. 3-12 Übersicht des betrachteten Nutzenkorbes und der Varianten zur Bereitstellung der einzelnen Güter. Die Bezeichnung der Varianten gibt an, welches Nicht-Holz-Produkt direkt oder indirekt durch den Einsatz von Altholz verdrängt wird (z.B. → Stahlblech). Für jedes Anwendungsgebiet ist der Rohstoff und in Klammern das Produkt angegeben, das den Nutzen bereitstellt (z.B. Stammholz (Leimholz)). Alle Anwendungsgebiete, in denen eine Verschiebung gegenüber der Basisvariante der energetischen Nutzung von Altholz stattfindet, sind farblich hervorgehoben und die, in denen ein Nicht-Holz-Produkt ersetzt wird, sind fett geschrieben. MDF: mitteldichte Faserplatte

Abb. 3-13 stellt die Umweltauswirkungen der in Abb. 3-12 skizzierten Systeme dar. Zunächst fällt auf, dass einige Güter im Nutzenkorb in den meisten Umweltwirkungskategorien sehr hohe Lasten verursachen (z.B. Bau b: tragende Konstruktion und Spezialanwendungen:

robuste Formteile), während andere Anwendungen geringe oder sogar negative Lasten aufweisen (z.B. Möbel b: hochwertige Möbel). Negative Aufwendungen entstehen dabei in der Einzelbetrachtung eines Lebensweges methodisch begründet durch Gutschriften für Nebenprodukte, insbesondere durch Industrierestholz mit hohem Energiegehalt (s. auch Anhang, Kapitel 7.5).

Diejenigen Varianten des Nutzenkorbes schneiden in allen Umweltwirkungen im Saldo am besten ab, in denen Holzprodukte zur Bereitstellung des Nutzens eingesetzt werden, der ansonsten durch aufwendige Nicht-Holz-Produkte abgedeckt wird (→ Duroplast und → Metallträger Bau). Dabei haben allerdings auch die jeweilige Effizienz und Gestaltung der einzelnen Prozesse einen großen Einfluss, die teils erhebliche Abweichungen vom typischen Fall verursachen können. Dies führt zu relativ hohen Bandbreiten.

In der Variante des Nutzenkorbes, in der Metallständer im Innenausbau durch Holzprodukte verdrängt werden, ist zu beobachten, dass ein direkter Vorteil höheren indirekten Nachteilen gegenübersteht, so dass diese Variante in allen betrachteten Umweltwirkungen am schlechtesten abschneidet. Dies wird am Beispiel des Energieaufwands deutlich: Nachteile im Vergleich zur Basisvariante (→ Energie) entstehen dadurch, dass das Altholz nicht energetisch genutzt werden kann (Balkenabschnitt Energie) und aufwendig zu Spanplatten verarbeitet wird; gleichzeitig ersetzt es aber im Möbelbereich Massivholzprodukte, die einen höheren Netto-Energieüberschuss durch Restholz aus der Produktion und Altholzverbrennung nach Nutzung der Möbel erzielen (Balkenabschnitt Möbel b, s. auch Kapitel 3.4.3). Der Vorteil, der dadurch entsteht, dass freiwerdendes hochwertiges Stammholz Metallständer im Innenausbau ersetzt (Balkenabschnitt Bau a), gleicht diese Nachteile nicht aus. Dieses Bild ändert sich jedoch, wenn für Möbel aus Spanplatten und solchen aus Vollholz eine gleiche Lebensdauer angesetzt wird (z.B. weil die Möbel wegen einer veralteten Gestaltung vorzeitig entsorgt werden, obwohl zumindest die Vollholzmöbel noch benutzbar wären). In diesem Anwendungsbereich würde eine Produktion von Spanplatten aus Altholz bei gleichzeitiger Verwendung des Stammholzes im Innenausbau Umweltvorteile ergeben.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die zusätzliche Produktion von Spanplatten aus Altholz ähnliche Ergebnisse oder leichte Nachteile für die Umwelt bewirkt, wenn dadurch **weniger aufwendige Nicht-Holz-Produkte** ersetzt werden (obwohl sie in der Einzelbetrachtung zunächst positiv abschneidet, s. Kapitel 3.3.2) sowie bei einer ineffizienten Prozessgestaltung. Dagegen können bei der Verdrängung von **aufwendigen Nicht-Holz-Produkten** deutliche Umweltvorteile erzielt werden. Zum Beispiel ließen sich durch die Substitution von Metallträgern im Baubereich bei gleichzeitiger indirekter Kompensation des dann fehlenden Stammholzes durch mehr Spanplattenprodukte pro Tonne stofflich genutztem Altholz Treibhausgasemissionen in Höhe von ca. 50 Einwohnertageswerten oder 1,5 t CO₂-Äquivalenten einsparen. Unter der Annahme, dass der Marktanteil der Träger aus Holz von 10 % auf 16 % gesteigert wird und dafür der Marktanteil der Massivholzmöbel zugunsten von Spanplattenmöbeln von 15 % auf 10 % sinkt sowie entsprechend viel weniger minderwertiges Holz energetisch genutzt wird (in Anlehnung an ALBRECHT et al. 2008), ließen sich in ganz Deutschland 330.000 t Treibhausgase vermeiden. Diese Einsparungen durch die Ausweitung in einem einzigen vielversprechenden Produktsegment entsprechen den gesamten jährlichen Treibhausgasemissionen von fast 30.000 Bundesbürgern. Ergebnisbestimmend ist also, in welchen Anwendungsbereichen Holzprodukte bei welcher Prozesseffizienz eingesetzt werden.

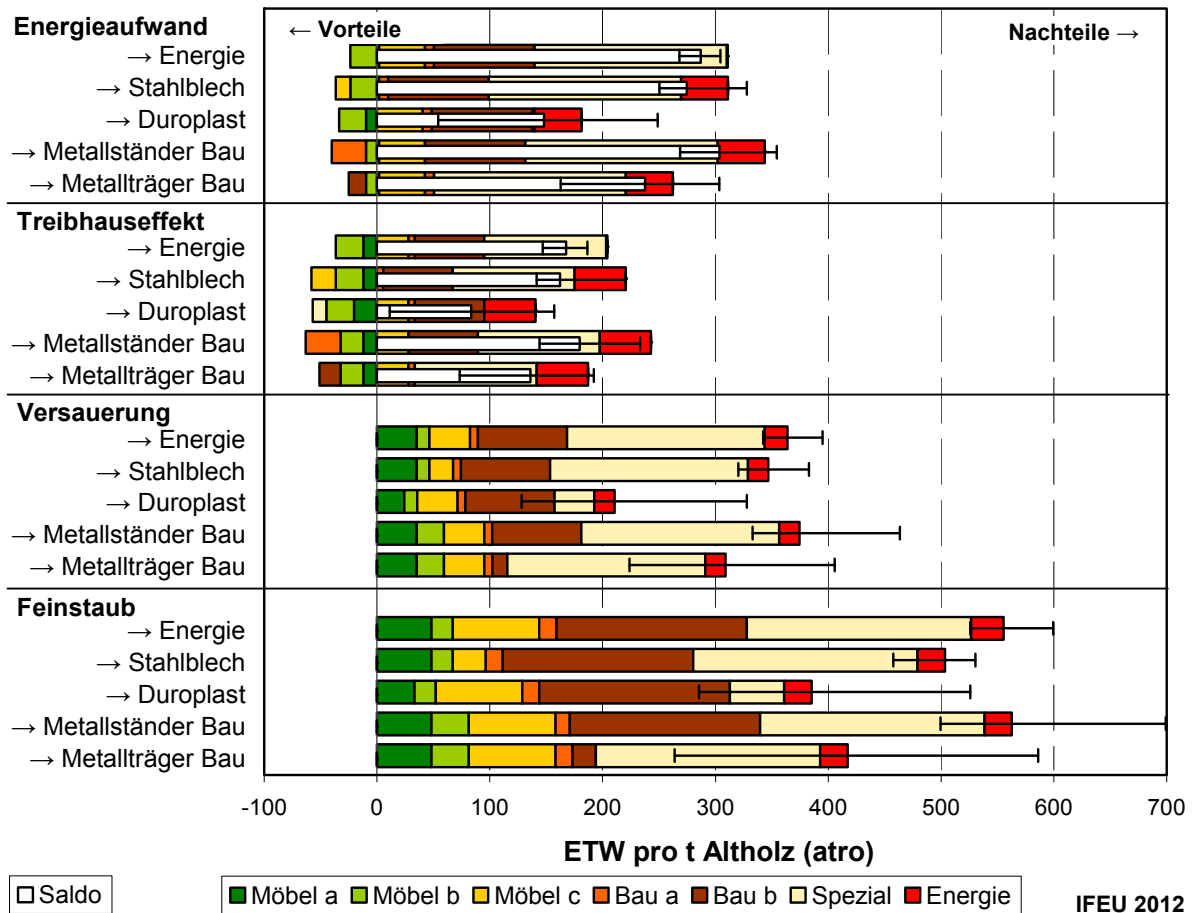


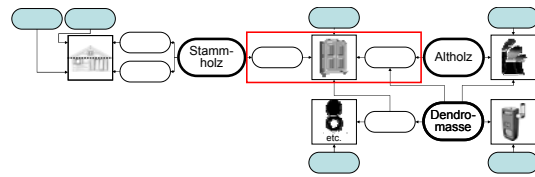
Abb. 3-13 Umweltauswirkungen der Bereitstellung eines umfangreichen Nutzenkorbes durch verschiedene Holz- und Nicht-Holz-Produkte (s. Abb. 3-12). Dabei wird 1 t Altholz entweder direkt energetisch genutzt (→ Energie) oder in der Spanplattenproduktion eingesetzt und verdrängt dabei direkt oder indirekt Nicht-Holz-Produkte (→ verdrängtes Produkt) in verschiedenen Anwendungsbereichen. Abgebildet sind jeweils die Umweltlasten, die bei Bereitstellung eines identischen Nutzenkorbes bei gleichem Holzeinsatz entstehen.

Lesebeispiel für die ersten zwei Balken der Umweltwirkung „Energieaufwand“:

Der Energieaufwand für die Bereitstellung des gesamten Nutzenkorbes, bei direkter energetischer Nutzung von 1 t Altholz bzw. beim Einsatz des Altholzes zur Spanplattenproduktion mit Verdrängung von Stahlblech entspricht im typischen Fall etwa dem durchschnittlichen täglichen Energiebedarf von 280 bzw. 270 Bundesbürgern (weiße Saldobalken). Dies ergibt sich aus der Summe der Aufwendungen für die einzelnen Güter. Negative Einzelaufwendungen entstehen dabei durch Gutschriften für Nebenprodukte (s. auch Anhang, Kapitel 7.5). Je nach Effizienz und Gestaltung der Prozesse können im Einzelfall (ebenso möglich wie der typische Fall aber als weniger wahrscheinlich eingeschätzt) allerdings auch Umweltvorteile durch die energetische Nutzung entstehen (abgebildete Bandbreiten).

3.4.3 Leimholz und Spanplatten: fossiler und biogener Ressourcenverbrauch

Leimholz und furnierte Spanplatten haben in der Möbelproduktion eine ähnliche Funktion. Dabei wird Leimholz unter Anfall von relativ großen Mengen Industrierestholz aus Stammholz hergestellt, während Spanplatten mit relativ hohem Energieaufwand aus Industrieholz oder Altholz hergestellt werden können. Daher stellt sich die Frage, ob oder unter welchen Umständen eine stärkere Nutzung der Ressource Holz oder der Ressource Energie sinnvoll ist.



Übersicht: In diesem Kapitel betrachteter Marktausschnitt (s. auch Abb. 3-10)

Die Auswirkungen des gesamten Lebenszyklus auf sämtliche Umweltwirkungen, die in den jeweiligen Einzeldarstellungen gezeigt werden (Kapitel 3.2.2), hängen dabei stark davon ab, wie der Lebenszyklus definiert wird. Wichtige Festlegungen sind dabei, wie das Industrierestholz aus der Leimholzproduktion genutzt wird und woher die Energie zur Produktion der Spanplatten stammt. Daher ist es sinnvoll, die beiden Lebenswege zusätzlich auf der Ebene der Ressourcennutzung zu vergleichen und nicht nur auf der Ebene der daraus resultierenden Umweltauswirkungen.

Abb. 3-14 zeigt die Mengen an Holz und Energie, die jeweils aufgewendet werden müssen, um Regalbretter mit gleichem Nutzen herzustellen. Da Holz ein Energieträger ist, kann die Ressource Holz in die Ressource Energie umgewandelt werden. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde daher der Energiegehalt anstatt der Masse der jeweiligen Holzmassen angegeben¹².

Generell ist festzustellen, dass bei der Produktion von Leimholz viel Restholz anfällt, während bei der Spanplatten-Produktion viel Energie benötigt wird. Wenn – wie hier – auf der Basis des stofflichen Nutzens verglichen wird, müssen allerdings wegen der kürzeren typischen Lebensdauer mehr Spanplatten produziert werden als Leimholz-Bretter, so dass auch der Holzbedarf für Spanplatten höher ausfällt als der für Leimholz (Abb. 3-14, Spanplatte, Leimholz). Falls die Lebensdauer der Spanplatte identisch mit der von Leimholz wäre, wäre der Holzbedarf für die Spanplatte allerdings wesentlich geringer (Abb. 3-14, Spanplatte langlebig, Leimholz).

Beim Vergleich von Holzbedarf und Energiebedarf ist zu beachten, dass stofflich genutztes Holz anschließend in Form von Altholz noch auf verschiedene Weisen genutzt werden kann, während energetisch genutztes Holz verbraucht wird. Der Netto-Holzverbrauch entspricht daher jeweils nur dem Teil des Holzes, das energetisch genutzt wird. Falls der gesamte Energiebedarf durch Rest- und Altholz abgedeckt wird, entspricht der Netto-Holzverbrauch daher ungefähr dem jeweiligen Energiebedarf. Dieser Energiebedarf ist beim Leimholz nur

¹² Allerdings ist zu beachten, dass ein Vergleich in dieser Form nur ungefähre Richtwerte liefern kann. Einerseits können fossile Energieträger beim derzeitigen Stand der Technik oft nicht direkt durch Holz ersetzt werden (z.B. Diesel in Forstmaschinen), sondern allenfalls indirekt (z.B. Pellets statt Heizöl und Heizöl statt Diesel). Dabei sind die Wirkungsgrade der Energienutzung im Fall von Holz tendenziell etwas geringer. Andererseits enthalten Holzprodukte noch andere Komponenten wie z.B. Leim, dessen Energiegehalt in Abb. 3-14 zur Vereinfachung nicht dargestellt ist, den Heizwert des Altholzes aber um bis zu 15 % erhöhen kann. Daher gleichen sich diese Effekte je nach Lebensweg größtenteils aus.

ungefähr halb so hoch bei der Spanplatte. Im Fall der Spanplatte muss das gesamte Altholz energetisch genutzt werden, um den Bedarf an fossilen Energieträgern nachträglich annähernd auszugleichen¹³ (Abb. 3-14). Im Fall des Leimholzes ist dafür nur ein Teil nötig und ca. 60 % des Holzes stehen noch für andere stoffliche oder energetische Verwendungen zur Verfügung (Leimholz, Balken Holznutzung minus Energieaufwand).

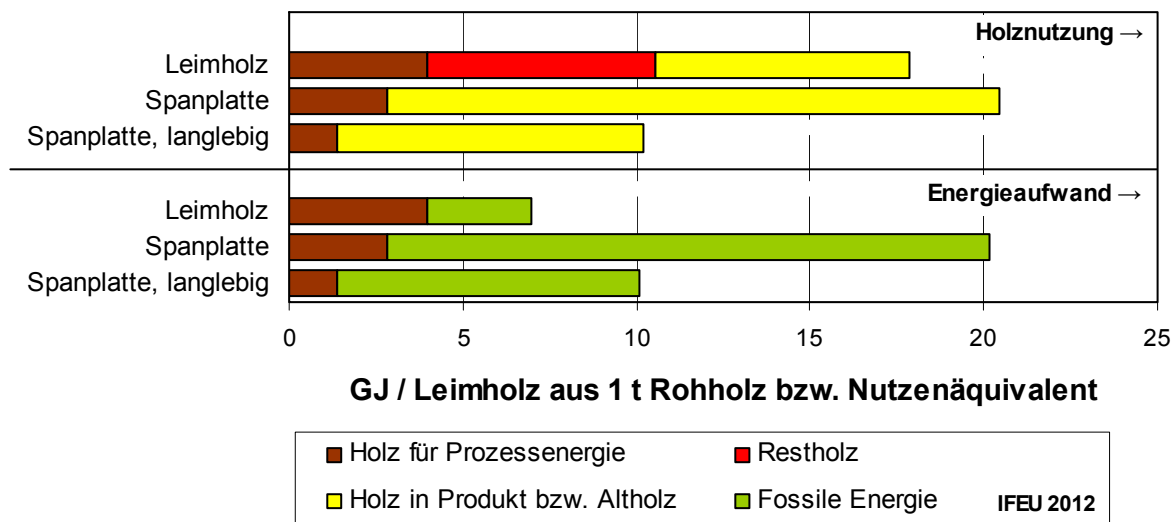


Abb. 3-14 Ressourcennutzungen für die Bereitstellung von Regalbrettern aus Leimholz oder Spanplatte bei gleichem Nutzen. Zur besseren Vergleichbarkeit mit anderen Darstellungen wurde als Nutzeneinheit die Produktmenge gewählt, die der Menge Leimholz entspricht, die aus 1 t Rohholz (atro) hergestellt werden kann. Es wird der Primärenergiegehalt der genutzten Holzmenge und Energie dargestellt.

Lesebeispiel für die jeweils ersten Balken beider Abschnitte (Leimholz):

Bei der Leimholzherstellung wird ein kleinerer Teil des insgesamt eingesetzten Holzes zur Deckung des Energiebedarfs der unmittelbaren Produktion von ca. 4 GJ eingesetzt (Holznutzung und Energieaufwand, braune Balkenabschnitte), ein Teil des Holzes mit einem Heizwert von ca. 6,5 GJ fällt als überschüssiges Restholz an (Holznutzung, roter Balkenabschnitt) und ein Teil von ca. 7 GJ ist im Produkt enthalten (Holznutzung, gelber Balkenabschnitt). Weitere Energie aus fossilen Quellen in Höhe von ca. 3 GJ wird in anderen Lebenszyklusabschnitten eingesetzt, um z.B. den benötigten Leim herzustellen (Energieaufwand, grüne Balkenabschnitte). Falls das vorhandene Restholz oder das nach der Nutzung des Produktes anfallende Altholz energetisch genutzt würden, um den fossilen Energieaufwand zu kompensieren, stünden danach noch ungefähr 60 % des Alt- und Restholzes mit einem Heizwert von ca. 11 GJ für andere Zwecke zur Verfügung.

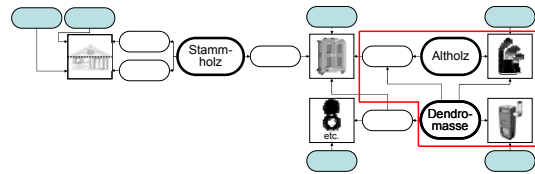
¹³ siehe Fußnote ¹²

Dieser Vergleich verdeutlicht zwei Handlungsoptionen, wie der Netto-Energiebedarf verringert werden kann. Erstens kann bevorzugt Leimholz mit geringerem Energieaufwand produziert werden, was bei der angesetzten geringeren Lebensdauer von Spanplatten nicht einmal einen höheren Holzbedarf erfordern würde. Der zunächst erscheinende Konflikt „höherer Holzbedarf vs. höherer Energiebedarf“ besteht also dann nicht, wenn bei gleicher Nutzung die Lebensdauer des Leimholzes doppelt so hoch ist wie die der Spanplatte. Daher ist Leimholz zu bevorzugen, wenn genug Stammholz zur Verfügung steht, das für dessen Produktion benötigt wird. Wenn nicht, dann kann die Produktion von Spanplatten mit entsprechend hohem Energieaufwand Holzpotenziale in Form von minderwertigeren Holzsortimenten erschließen. Wie im Unterkapitel 3.4.2 diskutiert, stellt dies immerhin noch einen kleinen Umweltvorteil gegenüber der Produktion von Möbelteilen aus Metall dar (vgl. Abb. 3-13). Außerdem kann sich der zusätzliche Energieaufwand lohnen, wenn das dann nicht benötigte Stammholz anderweitig hochwertig eingesetzt wird (Abb. 3-13).

Die zweite Möglichkeit, den Netto-Energiebedarf zu verringern, ist, Altholz und Restholz zur Deckung des Energieaufwands einzusetzen. Dies entspricht dem Konflikt zwischen stofflicher und energetischer Holznutzung, der ein zentrales Thema dieses Berichtes darstellt. Wie sich eine Änderung der Randbedingungen auswirken kann, wird in Kapitel 3.4.6 näher untersucht.

3.4.4 Einsatz von Altholz statt Industrierestholz in Spanplatten

Hier werden die Auswirkungen untersucht, die der Einsatz von unbelastetem Altholz anstelle von beispielsweise Industrierestholz in der Spanplattenproduktion hat. Industrierestholz kann sowohl in stofflicher als auch in energetischer Hinsicht flexibler eingesetzt werden als Altholz. In der energetischen Nutzung lässt sich Industrierestholz im Gegensatz zu Altholz beispielsweise in Form von Pellets für Kleinfeuerungsanlagen verwenden. Hier ist die Nutzung von Altholz durch bestehende Gesetze ausgeschlossen. Außerdem wäre eine dazu nötige Sortierung von Altholz und die Überwachung der Schadstofffreiheit wirtschaftlich zu aufwendig.



Übersicht: In diesem Kapitel betrachteter Marktausschnitt (s. auch Abb. 3-10)

In Abb. 3-15 sind die Umweltwirkungen des Einsatzes von Altholz in der Spanplattenproduktion bei gleichzeitiger energetischer Nutzung des Industrierestholzes in einer Pelletheizung im Vergleich zum Einsatz des Industrierestholzes in der Spanplattenproduktion bei gleichzeitiger energetischer Nutzung des Altholzes in einem Heizkraftwerk dargestellt. Die Spanplatten werden in beiden Fällen am Ende des Lebensweges energetisch genutzt. In allen betrachteten Umweltwirkungskategorien werden vergleichbare Ergebnisse erzielt. Ähnliche Resultate ergeben sich auch für vergleichbare kleinteilige Frischholzsortimente wie Industrierestholz. Daher sind unbelastetes Altholz und andere niederwertigere Holzsortimente aus Umweltschutzsicht als gleichwertig einzustufen und es ist unerheblich, welches Sortiment je nach Verfügbarkeit und Verwendungszweck ausgewählt wird.

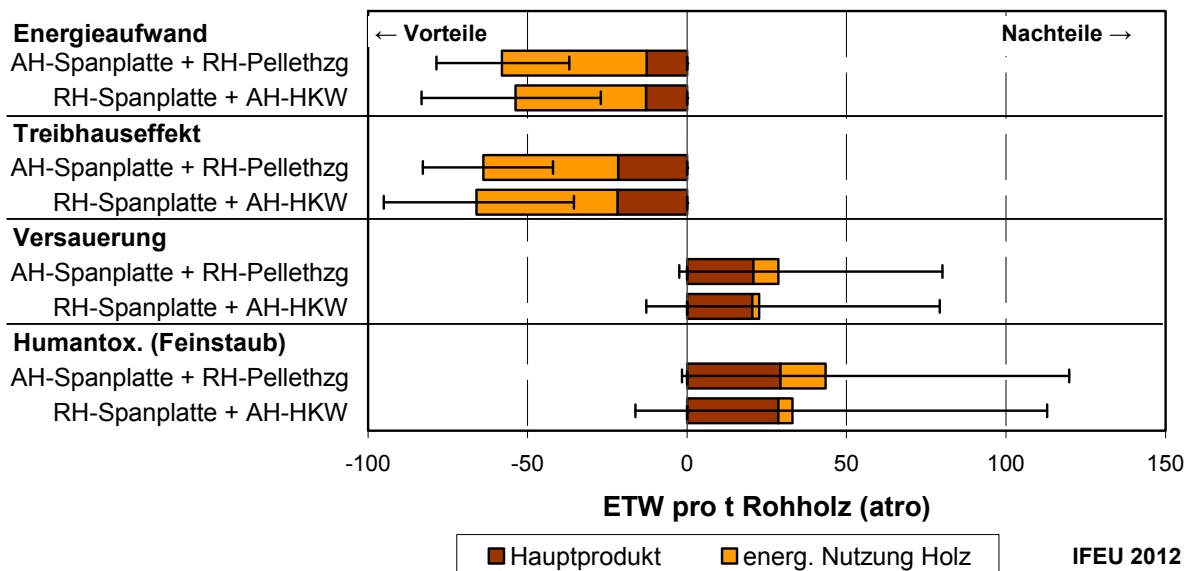


Abb. 3-15 Umweltauswirkungen der Nutzung von Industrierestholz (RH) oder Altholz (AH) in der Spanplattenproduktion bei direkter energetischen Nutzung des jeweils anderen Sortiments in Altholz-Heizkraftwerken (HKW) bzw. Pelletheizungen. Abgebildet sind jeweils die Umweltlasten, die bei Bereitstellung eines identischen Nutzenkorbes mit einem stofflichen und einem energetischen Nutzen entstehen.

3.4.5 Recycling höherwertigen Altholzes in höherwertigen Nutzungen

Dieses Szenario stellt die Umweltauswirkungen einer optimierten mehrstufigen Holzkaskadennutzung denen einer einfachen stofflichen Nutzung mit energetischer Entsorgung und einer einfachen energetischen Holznutzung gegenüber. Im optimierten Szenario wird höherwertiges Altholz, in diesem Fall unbelastetes Holz, das in Form von großen Balken vorliegt, höherwertig genutzt.¹⁴ Dies ist zunächst eine Nutzung in Form von Leimholz, wie es z.B. in der Altholztischlerei hergestellt werden kann, und dann in Form von mehrfach recycelten Spanplatten (durchschnittlich vier Umläufe). Außerdem werden verschiedene Zwischenstufen zwischen der einfachen stofflichen Nutzung und der längsten optimierten Kaskade untersucht. Alle Holzprodukte werden nach ihrer letzten stofflichen Nutzungsphase energetisch genutzt.

Zur Veranschaulichung der mit den einzelnen Kaskaden verbundenen Prozesse dient Abb. 3-16. Für den Vergleich der unterschiedlichen Kaskaden wird jeweils die gleiche Holzmenge eingesetzt und der stoffliche Nutzen (Mengen an Baustoffen und Möbelteilen) der optimierten Kaskade wird für alle Kaskaden vorausgesetzt. Dieser wird bei den kürzeren Kaskaden durch einen Einsatz von Nicht-Holz-Produkten ausgeglichen.

Abb. 3-17 zeigt die Umweltauswirkungen unterschiedlicher Kaskadennutzungen unter Berücksichtigung der zusätzlichen Menge an Nicht-Holz-Produkten, die produziert werden müssen, um den gleichen Nutzenkorb bereitzustellen. In allen betrachteten Umweltwirkungskategorien beeinflusst die Länge der Kaskadennutzung das Ergebnis bei den ausgewählten Nutzungsformen positiv. Allerdings sind auch die konkreten Produktionsbedingungen, welche in den Bandbreiten abgebildet sind, entscheidend für das Ergebnis. Besonders große Umweltentlastungen werden durch eine Produktion von Massivholz-Möbelteilen erzielt. Ein bisher wenig genutztes Potenzial stellt dabei die Herstellung von Leimholz aus größeren Altholzteilen dar. Diese Form des Recyclings lässt sich nur in Kaskadennutzungen realisieren und stellt daher einen spezifischen Vorteil für diese Nutzungsform dar. Holzkaskaden bringen aber hinsichtlich Energieaufwand und Treibhauseffekt weniger Vorteile mit sich, wenn diese lediglich ein vermehrtes Spanplattenrecycling umfassen (Optimierungspotenziale s. Kapitel 3.2.2). Außerdem können Spanplatten mit ähnlichem Aufwand auch aus Frischholz hergestellt werden, so dass eine Nutzung von Altholz im Rahmen einer Kaskade keinen zusätzlichen Vorteil erzielt.

¹⁴ Hierbei ist zu beachten, dass diese in Abrissgebäuden häufig mit Holzschutzmitteln behandelt sind, so dass große Potenziale erst in einigen Jahrzehnten frei werden, wenn heutige Gebäude am Ende ihrer Lebensdauer angelangt sind.

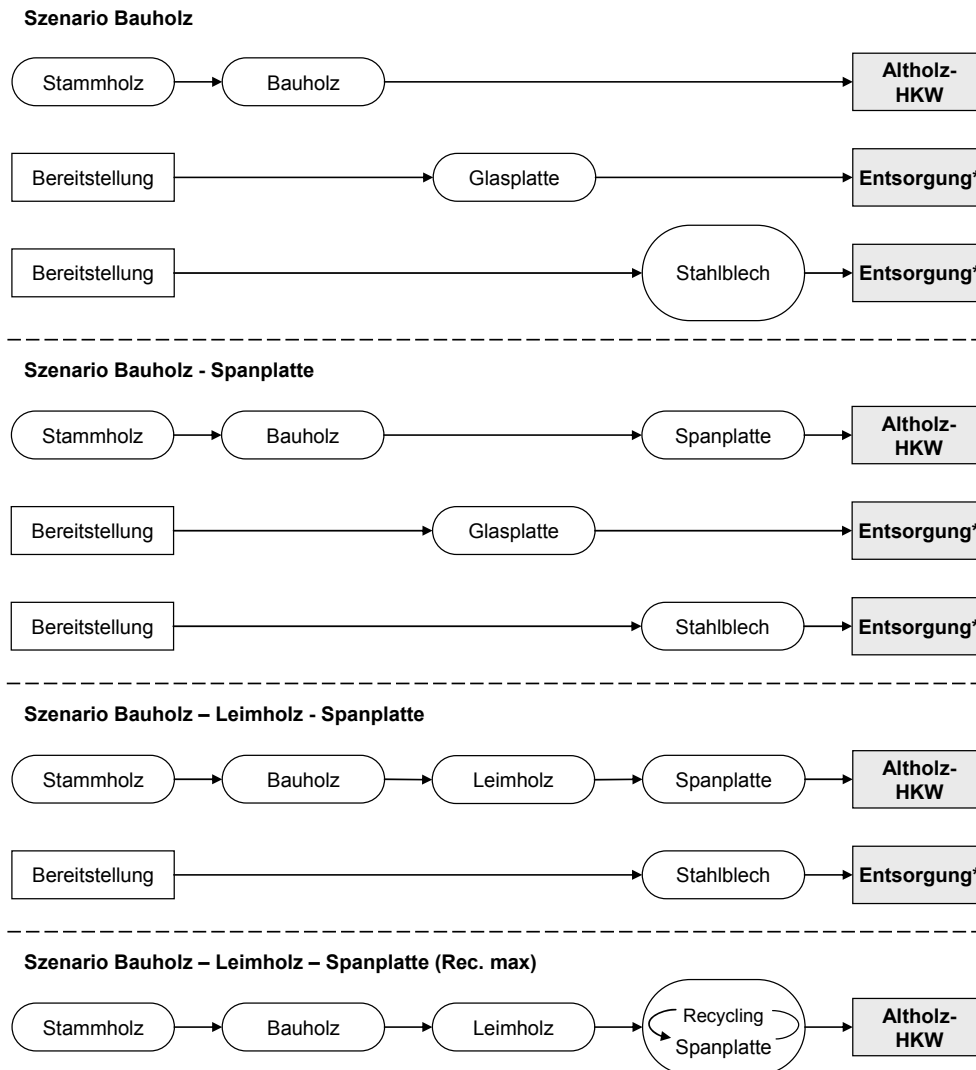


Abb. 3-16 Schema der Nutzung von Stammholz in unterschiedlich langen Nutzungskaskaden. HKW: Heizkraftwerk; *: Bereitstellung und Entsorgung der Referenzprodukte (Nicht-Holz-Produkte) berücksichtigen auch ihr Recycling.

Ein oft vorgebrachtes Argument für die Kaskadennutzung von Holz ist, dass mehr Holz für die energetische und die stoffliche Nutzung zur Verfügung stünde, wenn das stofflich genutzte Holz verstärkt recycelt, also in Kaskaden genutzt würde. Dies ist allerdings nur zum Teil korrekt, da bei einer gleich bleibenden Menge an Holzprodukten nur genau die Menge Frischholz für die energetische Nutzung frei wird, die an Altholz dann zusätzlich stofflich genutzt wird und somit nicht energetisch genutzt werden kann (vgl. Abb. 7-3 im Anhang). Bei einer gewünschten Steigerung der Holzproduktmenge z.B. durch verstärkte Altholznutzung würde dagegen heute übergangsweise weniger Holz für die energetische Nutzung zur Verfügung stehen. Die gleiche Menge stünde erst nach der Nutzungsdauer zukünftig zusätzlich in Form von Altholz zur energetischen oder stofflichen Nutzung bereit (s. Anhang, Kapitel 7.7).

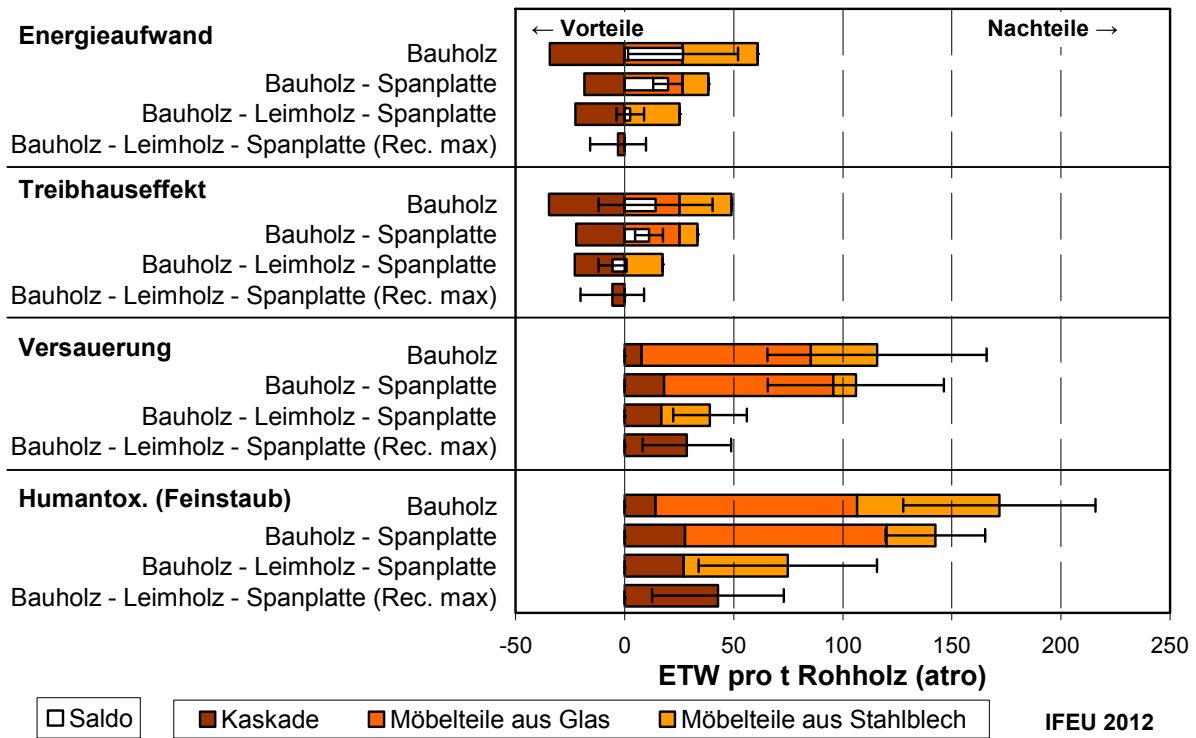


Abb. 3-17 Umweltauswirkungen von verschiedenen langen Kaskadennutzungen von 1 t Stammholz bei Entsorgung in einem Mix bestehender Heiz(kraft)werke unter Berücksichtigung ergänzender Nicht-Holz-Produkte (Leimholz: Glas; Spanplatte: Stahlblech), die benötigt werden, um den gleichen Nutzenkorb zur Verfügung zu stellen.

3.4.6 Zeitliche Aspekte

Holzprodukte können eine sehr lange Lebensdauer aufweisen. Besonders im Fall der Kaskadennutzung kann der letzte Lebenswegabschnitt, die energetische Nutzung, weit in die Zukunft verschoben wird. Weil Holzprodukte gleichzeitig viel Kohlenstoff und Energie enthalten, verursacht dies drei Effekte, die das Ergebnis der Ökobilanzen beeinflussen können:

- Die **energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen** werden sich in der Zwischenzeit ändern. Daher ersetzt die aus dem Altholz erzeugte Energie in Zukunft andere Energieträger als heute.
- Holzprodukte enthalten viel Kohlenstoff und stellen daher einen **temporären Kohlenstoffspeicher** dar. Diese vorübergehende Speicherung verlangsamt den Klimawandel.
- Falls die durchschnittliche Menge der vorhandenen Holzprodukte steigt, wird **Kohlenstoff dauerhaft gespeichert**. Dies mindert den Klimawandel langfristig.

Da diese Effekte in anderen Fällen nicht relevant sind, werden sie in Ökobilanzen im Standardfall nicht berücksichtigt. In den vorhergehenden Kapiteln wurden nur die Effekte jeweiliger Nachfrage- oder Produktionsänderungen auf die heutige Situation dargestellt (s. nächster Abschnitt). Vor diesem Hintergrund werden in den nachfolgenden Sensitivitätsanalysen die Auswirkungen der oben genannten drei Aspekte einer verstärkten langfristigen stofflichen Nutzung von Holz hinsichtlich des Treibhauseffektes analysiert. Zwecks Vereinfachung wird die zeitliche Verschiebung der energetischen Nutzung dabei jeweils getrennt von der zwischenzeitlichen stofflichen Nutzung betrachtet, so dass die Ergebnisse dieses Kapitels jeweils nur einen zusätzlichen Effekt und keine Gesamtbewertung des Lebensweges darstellen.

Als erster Effekt wird die zu erwartende **Veränderung der energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen** untersucht. Normalerweise werden Ökobilanzen mit einem gleich bleibenden Hintergrund von z.B. rechtlichen, technischen und energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen berechnet (s. Kapitel 2.5). Konkret wurden in dieser Studie die Umweltauswirkungen verschiedener Handlungsoptionen in der Gegenwart untersucht, z.B. die Verarbeitung von altem Bauholz zu Leimholz bei gleichzeitiger Verarbeitung alten Leimholzes zu Spanplatten in Kapitel 3.4.5. Dies entspricht einem Steady-State-Ansatz mit gleich bleibenden Rahmenbedingungen über einen längeren Zeitraum, wenn man vom Lebensweg ein und desselben Stücks Rohholz ausgeht, das verschiedene Nutzungen durchläuft. In dieser Sensitivitätsanalyse wird dagegen davon ausgegangen, dass der deutlich reduzierte, noch fossil abzudeckende Strom- und Wärmebedarf 2050 fast ausschließlich durch Erdgas abgedeckt und überwiegend effiziente KWK eingesetzt wird¹⁵. Außerdem wird angesetzt, dass

¹⁵ Dies setzt voraus, dass 2050 weiterhin ein Einspeisevorrang für erneuerbare Energien besteht (was eine Konkurrenz zwischen erneuerbaren Energien vermeidet), die Energiewende noch nicht abgeschlossen ist und fast keine neuen Kohlekraftwerke oder Öl-Heizwerke mehr gebaut werden (s. auch PROGNOS AG & ÖKO-INSTITUT 2009). Da detailliertere Annahmen zu Fernwärmenetzen sehr unsicher wären, wurde auch für 2010 auf eine Betrachtung von Fernwärme verzichtet, weshalb die Ergebnisse von anderen in diesem Bericht gezeigten abweichen. Bei den Wirkungsgraden der Energiebereitstellung wird davon ausgegangen, dass bei einer allgemeinen Steigerung der Unterschied zwischen Holzfeuerung und fossiler Feuerung kleiner wird. Derzeit in der Entwicklung befindliche Konversionsprozesse zu Synfuel wurden auf einem dann zu erwartenden Stand der Technik bilanziert.

ineffiziente Nutzungen kaum noch vorkommen, so dass die Bandbreite der Ergebnisse sich verringert. Unsicherheiten über das tatsächliche Eintreten dieser Szenarien sind in den Bandbreiten nicht enthalten, da sie kaum quantifiziert werden können. Zusätzlich wird die Option betrachtet, dass Holz in flüssige Kraftstoffe („Synfuel“) umgewandelt wird und fossile Kraftstoffe ersetzt. Unter diesen Bedingungen sind in 40 Jahren je nach Nutzungsform um 30 – 50 % geringere Treibhausgaseinsparungen durch die energetische Holznutzung zu erwarten (Abb. 3-18, grüne Balken; s. Anhang, Tab. 7-5). Allerdings kann in Zukunft auch eine Konversion von Holz in Kraftstoffe – trotz unvermeidbarer Verluste – aus Klimasicht konkurrenzfähig sein, weil im Kraftstoffbereich klimaschädlichere Ölprodukte ersetzt werden, die in stationären Anlagen nach dem zugrunde gelegten Szenario dann kaum noch eingesetzt werden. Dieser Effekt stellt also einen Nachteil für die heutige langfristige stoffliche Nutzung gegenüber der heutigen energetischen Nutzung dar. Gleichzeitig ist allerdings auch absehbar, dass sich in Zukunft ein immer größerer Vorteil für die stoffliche gegenüber der energetischen Holznutzung ergibt, weil die Gutschriften für die direkte energetische Nutzung sinken werden.

Der zweite Effekt betrifft die **temporäre Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten**. Hier muss allerdings nicht nur betrachtet werden, dass das Holz später verbrannt wird, sondern auch, dass dafür bei gleichem Energiebedarf heute andere Energieträger zusätzlich verbrannt werden müssen (Abb. 3-19 Schema oben). Daher verringern sich die gesamten CO₂-Emissionen nur, wenn diese anderen Energieträger mehr Kohlenstoff pro Energiemenge als Holz enthalten und somit mehr CO₂ pro erzeugter Energiemenge freisetzen. Da Holz aber einen geringeren spezifischen Energiegehalt pro kg Kohlenstoff besitzt als viele fossile Energieträger, wird bei einer Verbrennung von Holz in der Zukunft und einer – daher erforderlichen – heutigen Verbrennung der äquivalenten Menge fossiler Energieträger zwischenzeitlich weniger CO₂ emittiert als im entgegengesetzten Fall (Abb. 3-19). Somit ergibt sich eine Netto-Kohlenstoffspeicherung durch eine verzögerte Verbrennung von Holz. Eine alternative Betrachtungsweise bezieht hier auch die vorübergehende Reduktion des Kohlenstoffbestands im Forst mit ein. Hier wird der bestehende Forst als Ausgangsbasis (Nulllinie) gewählt. Die energetische Holznutzung erzeugt daher zunächst eine „Kohlenstoffschuld“ (carbon debt), weil mehr CO₂ emittiert wird als durch die Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern (BOWYER et al. 2012). Diese Schuld wird dann durch das Nachwachsen des Forstes abgetragen. Da es jedoch von verschiedenen Einflussgrößen abhängt, wie schnell sich die Holzmasse im gesamten Forst nach einem Einschlag wieder erhöht, wird die vorübergehende Reduktion des Kohlenstoffspeichers im Forst hier nicht weiter betrachtet. Auch hier ergibt sich aus der Zwischenspeicherung von CO₂ in Holzprodukten ein Vorteil, weil zunächst gar keine Kohlenstoffschuld entsteht und die Biomasse zumindest zum Teil nachgewachsen ist, bevor das CO₂ in der anschließenden energetischen Nutzung aus den Holzprodukten freigesetzt wird.

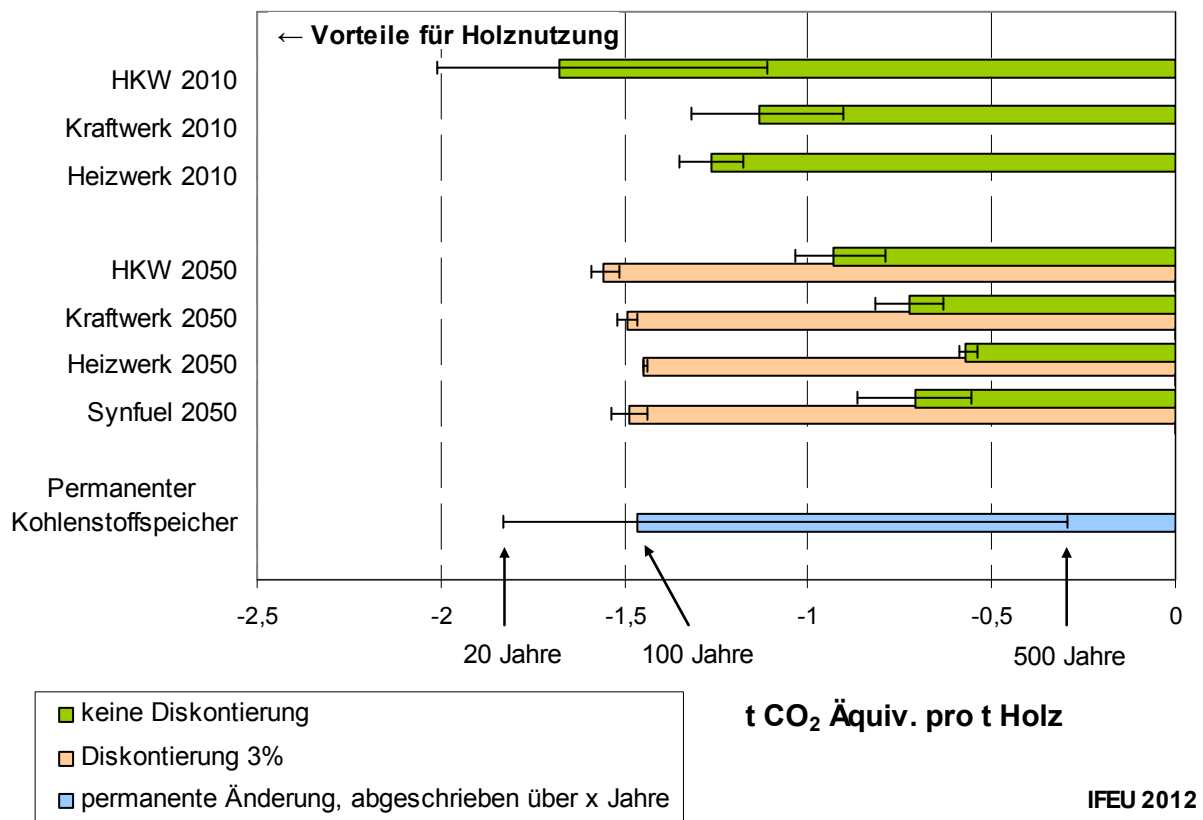


Abb. 3-18 Bewertungsmöglichkeiten einer Verzögerung oder Vermeidung der CO₂-Freisetzung aus langlebigen Holzprodukten. Hier werden verschiedene Formen der energetischen Nutzung von 1 t Altholz im Jahr 2010 oder 2050 losgelöst von einer vorherigen stofflichen Nutzung oder zwischenzeitlichen Lagerung betrachtet (grüne Balken). Die Bandbreiten der Szenarien für 2050 bilden ähnliche Variabilitäten in der Ausführung ab wie 2010, aber enthalten keine Bewertung, wie wahrscheinlich es ist, dass diese Szenarien zutreffen. Dies wird verglichen mit einer energetischen Nutzung im Jahr 2050, bei der die verzögerte CO₂-Freisetzung mittels Diskontierung bewertet wurde (orange Balken) und mit dem Verzicht auf die energetische Nutzung, also dem Anlegen eines Kohlenstoffspeichers (blauer Balken). HKW: Heizkraftwerk

Die Bewertung der Auswirkungen dieser Zwischenspeicherung von CO₂ in Holzprodukten auf den Treibhauseffekt und seine Folgen wird unter Wissenschaftlern kontrovers diskutiert, ohne dass bisher eine bevorzugte Methode feststeht (BRANDÃO et al. 2012). Um mögliche Effekte dieser Gutschrift für eine temporäre CO₂-Vermeidung zu illustrieren, wurde derjenige von mehreren derzeit diskutierten Ansätzen gewählt, der unter gegebenen Bedingungen die größten Gutschriften ergibt: Dieser Ansatz bewertet zukünftige Emissionen mittels Diskontierung analog zu wirtschaftlichen Bewertungen von zukünftigen Gewinnen (DELUCCHI 2011)¹⁶. Diese Methode wird damit legitimiert, dass die *Auswirkungen* von Klimaveränderungen von

¹⁶ CO₂-Emissionen aus fossilem und regenerativem Kohlenstoff in der Zukunft werden um eine bestimmte Diskontierungsrate r pro Jahr reduziert: gegenwärtiger Wert = zukünftiger Wert / $(1 - r)^t$

den meisten Menschen wegen steigender Unsicherheiten als umso unwichtiger bewertet werden, je weiter sie in der Zukunft liegen. Problematisch ist allerdings die Festlegung einer Diskontierungsrate, da diese Unsicherheiten der Auswirkungen kaum zu quantifizieren sind. DELUCCHI hält basierend auf einer volkswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Betrachtung eine Diskontierungsrate von maximal 3 % für sinnvoll, verweist aber auch auf prinzipielle Probleme dieses Ansatzes. Dieser Bewertungsansatz mit einer Diskontierungsrate von 3 % misst Emissionen in 40 Jahren den geringsten Wert aller evaluierten Ansätze bei (s. Anhang, Kapitel 7.9). Dies führt zu den größten Gutschriften für eine temporäre CO₂-Speicherung, weil die Emissionen in 40 Jahren viel geringer bewertet werden als dieselben Emissionen heute. Die Auswirkungen auf den Szenarienvergleich der energetischen Holznutzung heute oder in 40 Jahren sind in Abb. 3-18 (orange Balken) dargestellt. Hier ist festzustellen, dass sich die Effekte der Veränderungen im Energiesektor und der zwischenzeitlichen CO₂-Speicherung ungefähr ausgleichen, falls letztere mittels Diskontierung mit einer Diskontierungsrate von 3 % bewertet werden (Abb. 3-18, orange Balken 2050 vs. grüne Balken 2010). Falls für die zwischenzeitliche CO₂-Speicherung im anderen Extremfall keine Gutschriften gegeben werden, ergeben sich zusätzliche Treibhausgasemissionen aus der Verzögerung der energetischen Holznutzung (Abb. 3-18, grüne Balken 2050 vs. grüne Balken 2010). Insgesamt beträgt der mögliche zusätzliche Effekt durch die Verzögerung der energetischen Nutzung von 1 t Holz um 40 Jahre ca. 0 – 1 t CO₂-Äquivalente oder ca. 0 – 30 ETW (s. Anhang, Kapitel 7.9). Hierbei ist zu beachten, dass Lebensdauern von 40 Jahren und mehr vor allem im Baubereich erreicht werden, wo überwiegend Massivholzprodukte eingesetzt werden. Spanplatten sind dagegen wegen der kürzeren Lebensdauer von diesem Effekt weniger betroffen.

Bezogen auf das in Kapitel 3.4.2 erwähnte Beispiel, welches eine verstärkte Produktion von Tragelementen in Baubereich aus Holz inklusive möglicher Verdrängungseffekte durch die Konkurrenz um den Rohstoff Holz und Marktanteile berücksichtigt, bedeutet dies Folgendes: Wenn die für die stoffliche Holznutzung vorteilhafteste Bewertungsmethode angewendet wird, ändert sich nichts an dem Ergebnis, dass durch diese beispielhafte hochwertige Holznutzung 330.000 t Treibhausgase pro Jahr eingespart werden können. Falls der Zeitpunkt der Emissionen nicht berücksichtigt wird (s. Kapitel 7.9 im Anhang), sind noch Emissionsreduktionen von 130.000 t Treibhausgasen pro Jahr zu verzeichnen. In jedem Fall ist also eine sehr umweltfreundliche und möglichst hochwertige stoffliche Verwendung von Holz einer direkten energetischen Nutzung vorzuziehen.

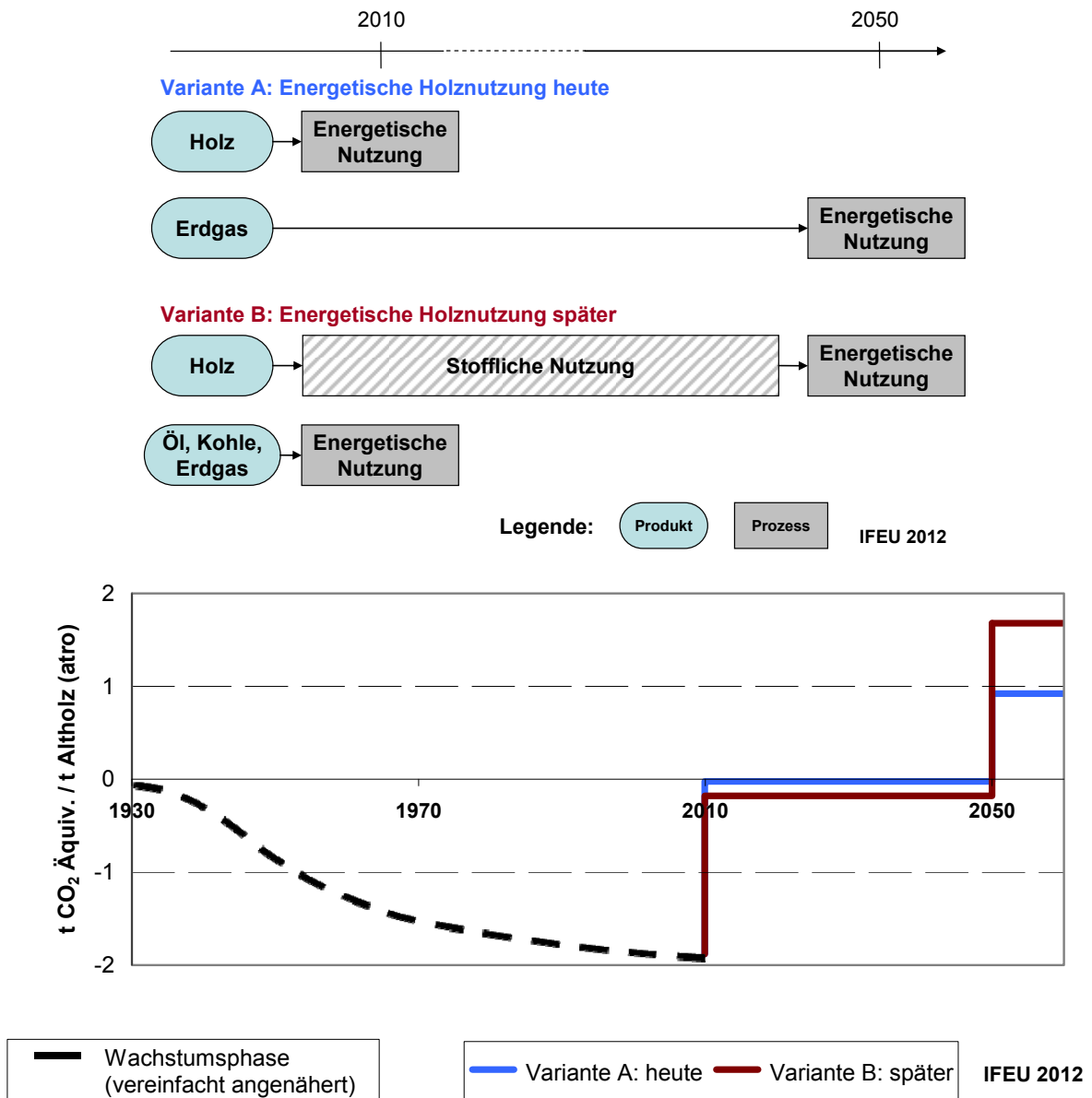


Abb. 3-19 Kumulierte Treibhausgasemissionen aus regenerativen und fossilen Quellen, die durch die Bereitstellung der jeweils gleichen Energiemengen im Jahr 2010 und 2050 durch die energetische Nutzung von 1 t Altholz in einem Altholz-Heizkraftwerk oder der äquivalenten Menge fossiler Energieträger entstehen. Emissionen oder deren Einsparungen durch eine zwischenzeitliche stoffliche Nutzung des Holzes wurden nicht betrachtet.

Der dritte Effekt tritt ein, wenn eine nachhaltige Umstellung der Nutzungsgewohnheiten von Holz erfolgt und zukünftig **im Durchschnitt mehr Holzprodukte** vorhanden sind. Durch diese Umstellung wird der durchschnittliche langfristige Kohlenstoffspeicher in Form von Holzprodukten einmalig vergrößert und im Gegenzug auf die energetische Nutzung dieses Holzes verzichtet. Wenn alte Holzprodukte ständig durch neue ersetzt werden, kann dieser Kohlenstoffspeicher als permanent angesehen werden. Dies entspricht der Annahme, dass für eine definierte Zeitspanne aufgrund erhöhter stofflicher Nutzung weniger Holz verbrannt wird und dass anschließend, nach dem Ende des Nutzungszeitraumes, das Altholzaufkommen

und dessen energetische Nutzung wieder steigt, da dann wieder genau so viele alte Holzprodukte entsorgt werden wie neue hinzukommen. Dieser zusätzliche permanente Kohlenstoffspeicher sollte einzelnen Holzprodukten allerdings wegen der Unsicherheiten der tatsächlichen zukünftigen Entwicklungen nur unter Vorbehalt zugerechnet werden. Dies wird daher hier nur beispielhaft anhand eines verstärkten Einsatzes von Holz im Häusern mit einer Lebensdauer von 80 Jahren berechnet. Die Vorteile des zusätzlichen Kohlenstoffspeichers werden dabei teilweise folgenden Produktgenerationen zugerechnet, weil der Speicher aktiv aufrechterhalten werden muss. Dazu wird in Anlehnung an die Bewertung von Landnutzungsänderungen eine Abschreibung vorgenommen. Je nach angesetztem Abschreibungszeitraum ergeben sich hier sehr unterschiedliche Bewertungen (Abb. 3-18, blauer Balken). Das Anlegen eines Kohlenstoffspeichers in Form von langlebigen und immer wieder erneuerten Holzprodukten spart je nach Bewertungsmethode in etwa Treibhausgasemissionen in Höhe der derzeit realisierbaren Einsparungen bei einer effizienten energetischen Nutzung von Holz ein. Für politische Entscheidungen ist allerdings die Treibhausgas-einsparung durch eine Erhöhung des durchschnittlichen Bestandes an Holzprodukten relevanter als dieses anschauliche Beispiel. Hier wird keine Aufteilung des Effektes auf einzelne Produkte und somit auch keine Abschreibung vorgenommen. Somit lassen sich pro t zusätzlicher im Umlauf befindlicher Holzprodukte ca. 1,8 t CO₂-Äquivalente speichern (gleicher Wert wie für 20 Jahre Abschreibungszeit: Bandbreite des blauen Balkens in Abb. 3-18), während deren energetische Nutzung heute ungefähr 0,9 – 2 t CO₂-Äquivalente einspart (Abb. 3-18, grüne Balken für 2010). Das Anlegen eines Kohlenstoffspeichers kann jedoch in Zukunft sehr vorteilhaft sein, wenn die energetische Nutzung von Holz nur noch geringe Treibhausgas-Einsparungen erreicht (Abb. 3-18, blauer Balken vs. grüne Balken für 2050). Wenn genug klimaschonende Energieträger verfügbar sind, lässt sich somit CO₂ durch Holz aus der Atmosphäre entfernen.

3.5 Einordnung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse dieser Studie zunächst mit anderen ähnlichen Ökobilanz-Studien verglichen (3.5.1) und in den Kontext anderer Literatur zum Thema eingeordnet (3.5.2). Dann wird diskutiert, inwiefern sich die Ergebnisse auf andere Regionen (je nach Fokus) übertragen lassen (3.5.3) und wie belastbar die Ergebnisse sind (3.5.4).

3.5.1 Vergleich mit anderen Ökobilanzen

Diese Studie zieht die Prozess- und Stoffstromdaten der Holzbereitstellung und -verarbeitung aus verschiedenen Ökobilanzdatenbanken und Studien heran, harmonisiert sie und berechnet daraus resultierende Umweltwirkungen (s. Kapitel 2.5). Bei dem Vergleich mit den ursprünglichen Studien und Datenbanken, aus denen die ursprünglichen Prozess- und Stoffstromdaten stammen, fällt auf, dass teilweise erhebliche Unterschiede in den berechneten Umweltwirkungen bestehen. Dies liegt zum größten Teil an den unterschiedlichen Zielsetzungen und somit gesetzten Randbedingungen der Studien. Kritische Punkte sind hier vor allem:

- die Bewertung von **Restholz**, das in teilweise erheblichen Mengen in der Produktion anfällt
- die Nutzung von **Altholz** am Ende des Lebensweges
- die Emissionen, die im Prozess genutzter oder erzeugter Wärme und elektrischer **Energie** zugeschrieben werden
- die Auswahl und Bewertung von **Referenzprodukten**

In der Studie von RÜTER & DIEDERICHS (2012) sowie der Datenbank ECOINVENT (2010), die Durchschnittswerte für Produktdeklarationen und / oder Ökobilanzen zur Verfügung stellen, werden für das **Restholz** ökonomische Allokationen von Umweltlasten durchgeführt. Die Studie von ALBRECHT et al. (2008), die Einsparpotenziale durch die Substitution von Nicht-Holz Produkten durch Holzprodukte berechnet, wendet hier teils eine ökonomische und teils eine massenbasierte Allokation an. Im Gegensatz dazu wird in dieser Studie eine Systemraumerweiterung durchgeführt unter der Annahme, dass im Standardfall überschüssiges Restholz in anderen Produktionsanlagen der Holzverarbeitenden Industrie oder vergleichbaren Anlagen energetisch genutzt wird. Da die gutgeschriebenen Umweltwirkungen die Aufwendungen in der Produktion teilweise überschreiten können, sind hier auch negative Umweltlasten nur für den Lebenszyklusabschnitt der Produktion möglich (s. Anhang, Kapitel 7.5).

Die Nutzung des **Altholzes** nach der stofflichen Nutzung von Holzprodukten wird in dieser Studie wie auch von RÜTER & DIEDERICHS (2012) und ALBRECHT et al. (2008) betrachtet, wenn auch auf der Basis aktuellerer Daten zur energetischen Altholznutzung in Deutschland. Die Datenbank ECOINVENT (2010) berücksichtigt diesen Lebenszyklusabschnitt nicht, da er außerhalb der gewählten Systemgrenzen liegt (Wiege bis Werkstor, cradle to gate).

Hinsichtlich der Umweltauswirkungen von eingesetzter oder erzeugter **Energie** greifen RÜTER & DIEDERICHS (2012), ECOINVENT (2010) und ALBRECHT et al. (2008) jeweils auf

andere Durchschnittswerte zurück, während in dieser Studie für erzeugte Energie der Marginalansatz gewählt wurde (s. Kapitel 2.3.2). Für die in dieser Studie betrachteten Fragestellungen sind die gewählten Bewertungen relevanter, während die abweichenden Bewertungen der anderen Studien in dem jeweils dort gegebenen Kontext zutreffend sind.

Aufgrund des gewählten Ansatzes werden in den Studien von RÜTER & DIEDERICHS (2012) und ECOINVENT (2010) nur die Holzprodukte betrachtet, aber nicht mit den dadurch ersetzten **Referenzprodukten** verglichen. Die Studie von ALBRECHT et al. (2008) weist für einige ausgewählte Holzprodukte exzellente Vergleiche zu Referenzprodukten auf und kommt zu qualitativ sehr ähnlichen Bewertungen wie diese Studie.

Um die Auswirkungen der methodischen Unterschiede zu verdeutlichen, werden hier exemplarisch die Ergebnisse für das Produkt Spanplatte aus dieser Studie mit denen von RÜTER & DIEDERICHS (2012) verglichen, die weitgehend auf den gleichen Prozessdaten beruhen (Tab. 3-1). Wenn ähnliche Lebenswegabschnitte (mit leicht unterschiedlichen Grenzen) bei Umrechnung in die gleiche Einheit gegenübergestellt werden, ergeben sich Werte, die sich in die gleiche Richtung weisen, aber sich in der Höhe erheblich unterscheiden. Ein Grund dafür ist z.B. die Menge an CO₂, die pro verbrauchter oder erzeugter kWh Strom angesetzt wird und sich je nach methodischem Ansatz stark unterscheiden kann. Bei Betrachtung der Bandbreiten weichen die Summen der Treibhausgasemissionen aus in beiden Studien betrachteten Lebenswegabschnitten allerdings nicht stark voneinander ab. Jedoch wird deutlich, dass für detailliertere vergleichende Aussagen nur solche Ergebnisse herangezogen werden können, die unter gleichen Randbedingungen berechnet worden sind.

Tab. 3-1 Exemplarischer Vergleich eines Ergebnisses dieser Studie zur Klimawirkung von Spanplatten mit den Ergebnissen zum gleichen Produkt von RÜTER & DIEDERICHS (2012). Die in dieser Studie nicht separat ausgewiesene CO₂-Aufnahme und Re-Emission im Fall von Holz wurde in kursiver Schrift ergänzt.

<i>in kg CO₂-Äquivalenten / t Rohholz (atro)</i>	Diese Studie	RÜTER & DIEDERICHS (2012)
Holzbereitstellung	30	-1400
separat dazu: CO ₂ -Aufnahme	-1830	
Produktion	770	140
separat dazu: Referenzprodukt	-870	—
Energetische Verwertung	-1340	-660
separat dazu: CO ₂ aus Holz	1830	1610
Summe ohne Referenzprodukt	-540	-310
Bandbreite: bester Fall	-1180	-720
Bandbreite: schlechtester Fall	220	-20

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass diese Studie, die teils auf den Basisdaten der zitierten Studien aufbaut, mit anderen Bewertungsansätzen zu qualitativ ähnlichen Ergebnissen bei vergleichbaren Lebenswegabschnitten kommt, also in diesen Aussagen mit den genannten Studien übereinstimmt. Darüber hinaus erlauben die hier verwendeten Methoden eine weitergehende Betrachtung von direkten und indirekten Verdrängungseffekten bezüglich der Rohstoffe und Produkte sowie eine Bewertung von langlebigen Holzprodukten unter Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen.

3.5.2 Vergleich mit anderer Literatur

Neben Ökobilanzen, die eine Holznutzung nach dem „Bottom-Up“-Ansatz, das heißt als Summe aller möglichst detaillierten Einzelschritte betrachten, kann auch ein umgekehrter Ansatz verfolgt werden. Ein Beispiel für solch eine „Top-Down“-Betrachtung ist eine aktuelle Studie der Deutschen Akademie der Naturforscher LEOPOLDINA (2012). Hier wurde ausgehend von der nachhaltig nutzbaren Gesamtmenge an Biomasse und Flächen weltweit untersucht, welche Nutzungsformen langfristig nachhaltig sein können. Dies erlaubt nur grobe Aussagen, umgeht allerdings dafür die größten methodischen Unsicherheiten von Ökobilanzen hinsichtlich möglicher Verdrängungseffekte (indirekte Landnutzungsänderungen, Wechselwirkungen mit anderen Formen der Energiebereitstellung), weil die Gesamtmenge verfügbarer Ressourcen betrachtet wird. Daher stellt diese Art von Studien eine wertvolle Ergänzung zu Ökobilanzen dar. Diese Studie kommt zu dem Ergebnis, dass andere erneuerbare Energien effizienter seien in Bezug auf die Flächenbelegung und das Verhältnis von eingesetzter und erzeugter Energie (energy return on investment). Außerdem seien die Biomasseproduktion und deren von Menschen genutzter Teil in weiten Teilen der Welt kaum weiter zu steigern. Daher solle der Energiebedarf außer ggf. flexibel einsetzbarer Spitzenlast nicht durch einen Ausbau der Bioenergie abgedeckt werden. Biomasse solle da eingesetzt werden, wo sie nicht durch andere erneuerbaren Ressourcen ersetzbar sei. Dies betreffe vor allem die Nutzung als Ernährung, Futter, Baustoff und als Kohlenstoffquelle für die Chemie. Diese Schlussfolgerungen und Empfehlungen decken sich mit den Ergebnissen dieser Studie und weisen darauf hin, dass die hier verwendeten Ökobilanzmethoden und Szenarien eine sinnvolle Möglichkeit der Bewertung auf der Produktebene erlauben. Andere „Top-Down“-Betrachtungen, wie z.B. eine vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz beauftragte Studie der Universität Hohenheim kommen hingegen zu dem Ergebnis, dass weiter genügend Fläche für energetisch genutzte Biomasse zur Verfügung stehe (ZEDDIES et al. 2012). Die unterschiedlichen Einschätzungen verschiedener Expertengruppen zur Biomasseverfügbarkeit werden derzeit in der Wissenschaft intensiv diskutiert.

3.5.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse

Geografisch: Das primäre Ziel dieser Studie ist es, die Modellregion Saarland zu untersuchen. Aufgrund vielfältiger wirtschaftlicher Verknüpfungen und weil nur ein Teil der gesamten Wertschöpfungskette im Saarland angesiedelt ist, wurde der Untersuchungsrahmen dieser Ökobilanz ohnehin auf ganz Deutschland ausgedehnt (s. Kapitel 2.2.2). Eine Übertragung auf andere europäische Länder ist nur begrenzt möglich, weil sich vor allem die zugrunde gelegten Energiemixe erheblich unterscheiden können. Außerdem besteht nicht in allen

europäischen Ländern ein Deponierungsverbot von unbehandeltem Abfall, so dass nur für einen Teil des stofflich genutzten Holzes eine abschließende energetische Nutzung vorausgesetzt werden kann.

Nutzungsformen: Die in dieser Studie betrachteten Lebenswege decken ein breites, aber bei weitem nicht vollständiges Spektrum von Holzprodukten mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften und Anwendungen ab. Eine Übertragbarkeit auf weitere Produkte ist allerdings nur insofern möglich, als das für ähnliche Produkte Aufwendungen in einer ähnlichen Größenordnung erwartet werden können. So zeigt sich, dass Vollholzprodukte wesentlich geringere Aufwendungen verursachen als Holzwerkstoffe (s. auch Abb. 3-4). Die Gutschriften für ersetzte Produkte hängen dagegen so stark von den Produkteigenschaften wie z.B. der Lebensdauer und der genauen Anwendung ab, dass hier jedes Produkt einzeln betrachtet werden muss.

3.5.4 Belastbarkeit der Daten

Generell sind Ökobilanzen, vor allem wenn sie mehrere Lebenswegvergleiche enthalten, stark von den gewählten Randbedingungen abhängig. Daher können absolute Zahlen nur innerhalb einer Studie konsistent verglichen werden (s. auch Kap. 3.5.1). Außerdem sind alle absoluten Zahlen mit einer erheblichen Bandbreite versehen, da jeweils keine konkreten einzelnen Fertigungsstätten, sondern typische Prozesse im Untersuchungsgebiet verglichen werden. Für die Zielsetzung der Studie sind aber auch weniger die absoluten Zahlen als die vergleichenden Aussagen auf Basis dieser Zahlen maßgeblich. Deren Belastbarkeit wurde durch eine Vielzahl an Sensitivitätsanalysen überprüft (s. auch Kap. 2.4.3). Ein Schwerpunkt bei dieser Überprüfung wurde auf die zentralen Lebenswege der Spanplatte, des Bauholzes, des Leimholzes und der Biomasse(heiz)kraftwerke gelegt. Im Gegensatz dazu standen für einige Lebenswege nur sehr wenige Daten zu Verfügung, so dass die Belastbarkeit des angegebenen typischen Werts deutlich geringer und die Bandbreite vergrößert ist. Dies trifft vor allem auf sämtliche derzeit noch nicht großtechnisch etablierten Verfahren und zukünftigen Entwicklungen zu (z.B. Harnstoff-Formaldehyd-Harz aus Holz, Synfuel). Aber auch das Szenario zur energetischen Nutzung in Scheitholzöfen ist wegen großer Abweichungen in Ausführung und Nutzungsverhalten sowie einer eingeschränkten Datengrundlage von den Zahlwerten weniger abgesichert als andere betrachtete Szenarien, wohl aber von den qualitativen Aussagen. Nicht abschließend geklärte methodische Fragen, die die Ergebnisse beeinflussen können, werden gesondert betrachtet. Hier wird insbesondere auf die Bewertung von indirekten Landnutzungsänderungen und langlebigen Holzprodukten verwiesen (Kap. 3.3.1, Einleitung des Kap. 3.4 sowie Kap. 3.4.6).

4 Ökologische Auswirkungen einer Erschließung neuer Holzpotenziale

Holz ist bereits jetzt eine knappe Ressource. Für das Jahr 2020 prognostiziert das Deutsche Biomasseforschungszentrum eine Versorgungslücke von ca. 290 PJ bzw. etwa 32 Mio. fm Holz (THRÄN et al. 2009, FUNK 2010). Auch für die EU insgesamt wurde gezeigt, dass die Nachfrage nach Holz im Jahr 2020 bei gleich bleibender Mobilisierungsrate nicht befriedigt werden kann (MANTAU et al. 2010). Es stellt sich daher die Frage, ob und wie die zur stofflichen und energetischen Nutzung verfügbare Holzmenge nicht nur durch Mehrfachnutzung in Kaskaden, sondern auch durch die Erschließung zusätzlich aktivierter bzw. neu eingerichteter Holzpotenziale in nachhaltiger Weise gesteigert werden kann. Hohe Potenziale werden dabei insbesondere unter anderem in der Erschließung von Waldrestholz gesehen (ALAKANGAS et al. 2011). Andererseits wird die Nachhaltigkeit einer vermehrten Nutzung von Waldholz sehr kritisch gesehen (SCHULZE et al. 2012). Im Folgenden wird daher der Frage nachgegangen, welche ökologischen Auswirkungen durch eine Erschließung neuer Holzpotenziale im Saarland zu erwarten sind.

Die Analyse erfolgt qualitativ (verbal-argumentativ). Eine ökobilanzielle, quantitative Analyse ist für diese Fragestellung nicht angezeigt, und zwar aus folgenden Gründen:

Zum einen ist für diese Fragestellung nur der Lebenswegabschnitt „Holzproduktion“ relevant. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Umweltwirkungen der Verarbeitung und des Gebrauchs von Holz aus zusätzlich erschlossenen Potenzialen nicht wesentlich von denen des bisher bereits genutzten Holzes unterscheiden. Eine Lebenszyklusanalyse ist daher nicht erforderlich.

Zum anderen betreffen die zu erwartenden Umweltwirkungen vor allem solche Wirkungskategorien, die stark standortbezogen sind und mit dem produktbezogenen Bewertungsinstrument der Ökobilanz beim derzeitigen Stand der methodischen Entwicklung nur unzureichend abgedeckt werden. Dazu zählen insbesondere die Biodiversität und der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit.

Schließlich ist die Datengrundlage bzgl. der hypothetischen Veränderungen durch eine veränderte Waldnutzung bzw. durch die Erschließung weiterer Holzpotenziale für eine quantitative Analyse nicht hinreichend.

Durch eine qualitative, verbal-argumentative Analyse ist es jedoch möglich, potenzielle Risiken für die ökologische Nachhaltigkeit aufzuzeigen und Empfehlungen für das weitere Vorgehen abzuleiten.

Im Folgenden wird zunächst definiert, um welche Potenziale es geht (Kapitel 4.1). Anschließend werden die ökologischen Auswirkungen eines veränderten Waldbausystems bzw. der Erschließung weiterer Holzpotenziale außerhalb der Forste bzw. auf Rückegassen analysiert (Kapitel 4.2 bzw. 4.3). Schlussfolgerungen und Empfehlungen aus diesem Kapitel im Hinblick auf die ökologische Nachhaltigkeit folgen in Kapitel 5 (Kapitel 5.1.2 und 5.2).

4.1 Definition dendromasseoptimierter Waldbausysteme und weiterer nicht erschlossener Potenziale

Unter einem „dendromasseoptimierten Waldbausystem“ wird in diesem Zusammenhang ein Waldbausystem verstanden, das weniger restriktiv ist als das in der hier betrachteten Fallstudie dominierende Waldbausystem des saarländischen Staatswaldes. Eine weniger restriktive Waldnutzung („dendromasseoptimiertes Waldbausystem“) wäre daher möglich durch:

1. Herabsetzen der Aufarbeitungsgrenze für Derbholz von derzeit 10 cm auf 7 cm,
2. Nutzung von Holz über 7 cm (=Aufarbeitungsgrenze) aus der Erstdurchforstung,
3. Verzicht auf die Zertifizierung nach FSC.

Die ökologischen Auswirkungen dieser drei Möglichkeiten werden im folgenden Kapitel (4.2) diskutiert.

Weitere Möglichkeiten, die Holzverfügbarkeit zu erhöhen, wären

1. eine Bepflanzung von Rückegassen mit schnell wachsenden Holzarten,
2. die verstärkte Nutzung von Landschaftspflegegut und
3. die Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf bisher ackerbaulich genutzten Flächen.

Die drei letztgenannten Möglichkeiten beeinträchtigen das Ökosystem Wald kaum bzw. gar nicht und werden daher gesondert behandelt (Kapitel 4.3). In allen drei Varianten wird ein vergleichsweise hohes und einfach zu erschließendes Holzpotenzial vermutet. Auf weitere Möglichkeiten der Mobilisierung, z.B. die getrennte Erfassung der noch in den zu beseitigenden Siedlungsabfällen (Hausmüll, Sperrmüll, Gewerbeabfälle) beinhalteten Holzpotenziale, wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen, da bei der Erschließung von Holzpotenzialen in Abfallströmen keine oder kaum Auswirkungen auf die hier betrachtete Wald- und Landschaftsökologie zu erwarten sind.

4.2 Ökologische Auswirkungen eines dendromasseoptimierten Waldbausystems

4.2.1 Herabsetzung der Aufarbeitungsgrenze

Eine Herabsetzung der Derbholzgrenze auf 7 cm (an Stelle von jetzt 10 cm Durchmesser, oberhalb dessen das Holz von Stamm und Ästen genutzt werden darf) hat einen höheren Biomasseentzug zur Konsequenz. Dadurch sinken der Totholzanteil sowie der Kohlenstoffspeicher im Wald und der Nährstoffentzug steigt.

Der Totholzanteil ist für die **Biotoptqualität** des Waldes von hoher Bedeutung. Totholz ist ein wichtiger Lebensraum für zahlreiche Waldlebewesen. So leben z.B. in Deutschland über 1300 Käferarten überwiegend auf Alt- und Totholz (SCHMIDT 2006). Neben dem stehenden starken Totholz, das vielen Organismen als Lebensgrundlage dient, ist liegendes schwaches Totholz für andere Arten wichtig (JONSSON et al. 2005). Hierzu zählen z.B. speziell angepasste Käfer- (MÖLLER 2009) sowie verschiedene Pilzarten (NORDÉN et al. 2004). Durch den

Entzug von Derbholz wird daher der Lebensraum einiger dieser Organismen eingeschränkt. Inwieweit hierdurch die Gefahr des Aussterbens einzelner Arten steigen könnte, kann nicht abschließend beurteilt werden. Hierzu ist auch die unterschiedliche biologische Funktion von schwachem Totholz aus dem Kronenbereich und starkem Totholz in Form von toten Stämmen zu berücksichtigen. Auch die Art des Bestandes (Altbestand oder junger Bestand, Laubhölzer oder Nadelhölzer) sind für die naturschutzfachliche Bewertung entscheidend. Junge Bestände und Bestände aus nicht heimischen Arten sind aus naturschutzfachlicher Sicht weniger relevant als alte und standorttypische Bestände. Aus Sicht des Artenschutzes ist es vor allem wichtig, ökologische Vorzugsflächen mit hoher Naturschutzqualität und einer hinreichenden Biotopvernetzung zu gewährleisten sowie insbesondere die Lebensräume seltener und gefährdeter Arten zu sichern. Hierzu trägt der Saarländische Staatsforst z.B. durch die FSC-Zertifizierung, die 5 % Referenzflächen fordert (FSC DEUTSCHLAND 2011), oder durch die Biodiversitätsstrategie Buchenwälder des Saarländischen Staatsforstes (SAARFORST 2008) bei.

Eine weitere mögliche Auswirkung des vermehrten Derbholzentzuges ist eine Reduktion der organischen **Kohlenstoffspeicher** und damit negative Auswirkungen auf die Klimabilanz. Aus Sicht des Klimaschutzes sind die Effekte der organischen Kohlenstoffspeicher des Waldes mit den CO₂-Einsparungen durch die energetische Biomassenutzung bzw. die CO₂-Speicherung in Holzprodukten gegenzurechnen. Das zusätzlich gewonnene Derbholz eignet sich jedoch technisch nicht für die Produktion hochwertiger Holzprodukte, sondern wird in der Regel energetisch genutzt oder für die Produktion von Holzwerkstoffen verwendet. Dauerhafte organische Kohlenstoffspeicher in Holzprodukten werden daher nur in dem geringen Anteil der aus diesem Sortiment produzierten Holzwerkstoffe aufgebaut. Die CO₂-Einsparungen durch die energetische Holznutzung wurden in Kapitel 3 ausführlich diskutiert. Über die quantitativen Veränderungen der biologischen Kohlenstoffspeicher im saarländischen Forst lässt sich keine abschließende Aussage treffen. Die vorliegenden Untersuchungen zur Kohlenstoffbilanz eines vermehrten Holzeinschlags im deutschen Wald kommen zum Teil zu widersprüchlichen Ergebnissen: Eine Untersuchung der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (WÖRDEHOFF et al. 2011) hat die Kohlenstoffspeicherung niedersächsischer Wälder unter ertragsorientierter und naturschutzorientierter Nutzung modelliert und kommt zu dem Schluss, dass bei einer naturschutzorientierten Nutzung die Kohlenstoffspeicherung deutlich höher ist. Dabei wurde auch die höhere Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten bei ertragsorientiertem Waldbau berücksichtigt. Die Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten hängt jedoch stark von der Lebensdauer der Produkte ab. Die Kohlenstoffspeicherung im Boden wurde von WÖRDEHOFF et al. (2011) nicht mit ausgewiesen, kann aber ebenfalls durch das Waldbausystem beeinflusst werden. Ferner ist zu bedenken, dass sich die Ergebnisse von WÖRDEHOFF et al. (2011) auf einen 30-jährigen Simulationszeitraum beziehen. Danach verringert sich nach Aussage der Autoren die Senkenleistung erheblich, da der Volumenzuwachs nachlässt. Eine andere Studie (RÜTER et al. 2011) kommt zu dem Ergebnis, dass sowohl ein vermehrter Holzeinschlag als auch eine Verringerung des Holzeinschlags gegenüber dem Status quo die CO₂-Bilanz insgesamt verschlechtern. Auch dies verdeutlicht, dass die Bilanzen stark von den Randbedingungen abhängen.

Für eine abschließende Aussage über die Klimarelevanz von Waldnutzungssystemen ist insbesondere der betrachtete Zeithorizont entscheidend. Je mehr Klimagase durch die Nutzung des Holzes eingespart werden, desto früher führt ein verstärkter Holzeinschlag trotz

Verringerung des biologischen Kohlenstoffspeichers zu Netto-Treibhausgaseinsparungen (LIPPKE et al. 2011). Eine Studie aus Kanada kommt zu dem Schluss, dass es durch Energieholzgewinnung nach 16 bis über 70 Jahren zu Netto-CO₂-Einsparungen kommt (MCKECHNIE et al. 2011). Neben der Substitutionswirkung sind auch die Permanenz der Kohlenstoffspeicherung und die Zuwachsrates über lange Zeiträume entscheidend für die Gesamtbilanz (KIRSCHBAUM 2003). Entgegen der häufig anzutreffenden Auffassung, dass alte Wälder kohlenstoffneutral seien, wird von einigen Autoren betont, dass auch ältere Wälder noch Netto-Kohlenstoffsinken darstellen (LUYSSAERT et al. 2008). Andererseits ist zu bedenken, dass langlebige Holzprodukte – z. B. Bauholz mit einer Nutzungsdauer von deutlich über 50 Jahren – einen dauerhafteren Kohlenstoffspeicher darstellen als im Wald verbleibendes Totholz, von dem nur ein geringer Teil des Kohlenstoffs in Dauerhumus übergeht.

Abschließend bleibt zu bemerken, dass sich ein erhöhter Kohlenstoffspeicher im Wald in der Regel unmittelbar positiv auf die Biodiversität auswirkt – anders als die Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten und die CO₂-Einsparungen durch Substitution von Referenzprodukten (LARSSON et al. 2007).¹⁷

Eine Herabsetzung der Derbholtzgrenze auf 7 cm (anstelle von jetzt 10 cm) bedeutet zudem potenzielle **Nährstoffentzüge**. Die Nährstoffkonzentration ist in Zweigen, Ästen, Blättern bzw. Nadeln und der Rinde deutlich höher als im Holz (WEIS & GÖTTLEIN 2012, Abb. 4-1). Bezogen auf eine Aufarbeitungsgrenze von 7 cm sind bei Fichten 37 % des gesamten Stickstoffs, 45 % des Phosphats, 44 % des Magnesiums sowie über die Hälfte des Calciums in den Ästen, Zweigen und der Rinde gespeichert. Bei Buchen sind es 39 % des Stickstoffs, 43 % des Phosphors, 24 % des Magnesiums und 60 % des Calciums. Durch die Heraufsetzung der Derbholtzgrenze auf 10 cm im Saarländischen Forst werden dort weniger Äste und Rinde exportiert. Der Nährstoffentzug je t Erntegut sinkt somit überproportional und die Fruchtbarkeit des Standortes wird geschont. Wie viele Nährstoffe zusätzlich im Wald belassen werden, hängt vom Wuchsbild der Bäume ab und kann in dieser Studie nicht quantifiziert werden. Die ökologische Relevanz eines erhöhten Nährstoffexports hängt von der Versorgungssituation der Wälder ab. Die Nährstoffausstattung der saarländischen Waldböden ist überwiegend gering (SAARFORST 2010), insbesondere im Hinblick auf pflanzenverfügbares Phosphat. Der Waldzustandsbericht für das Saarland aus dem Jahr 2010 weist für fast 90 % der beprobten Buchen, gut 60 % der beprobten Fichten und über 70 % der beprobten Eichen eine geringe bis sehr geringe Phosphat-Ernährungsstufe aus. Bei schlechter Nährstoffversorgung kann eine weitere Steigerung des Nährstoffexports zu deutlichen Ertragsrückgängen führen (WEIS & GÖTTLEIN 2011). Ein übermäßiger Nährstoffentzug, der die Produktivität des Bestandes gefährdet, ist auch aus ökologischer Sicht kritisch zu beurteilen, da das ökologische Gleichgewicht und der langfristige Bestand gefährdet werden. Die Rückführung von Nährstoffen durch Düngung ist zwar möglich, jedoch teuer (ETTL & GÖTTLEIN 2007).

¹⁷ Dies gilt bei gleich bleibendem Waldtyp bzw. gleich bleibender Baumartenzusammensetzung.

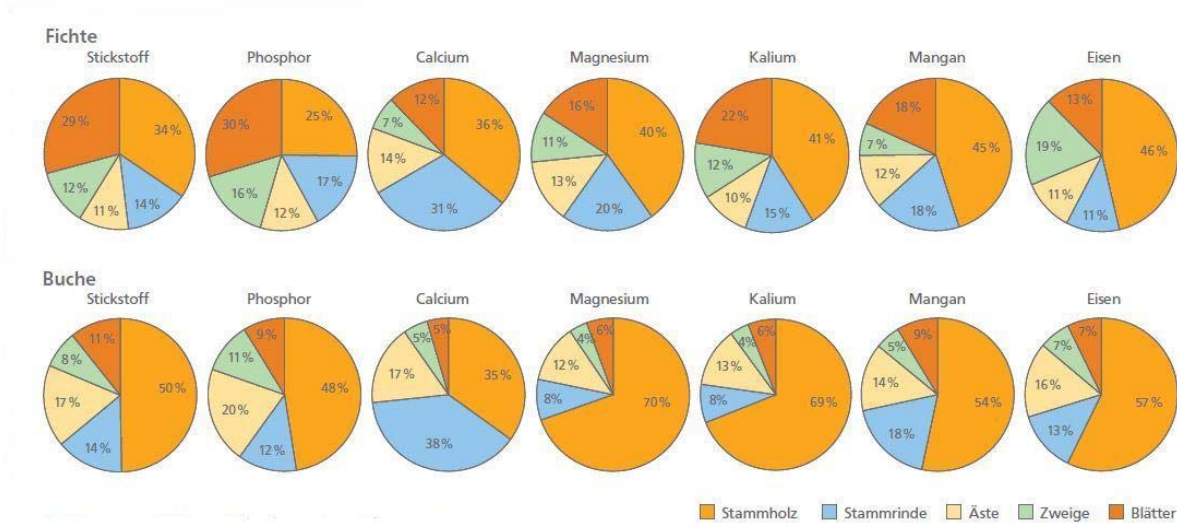


Abb. 4-1 Nährstoffverteilung in Fichte und Buche bezogen auf eine Aufarbeitungsgrenze von 7 cm (WEIS & GÖTTLEIN 2012)

Eine andere Möglichkeit, den Nährstoffentzug bei gleicher Holzernte zu reduzieren, ist die Entrindung des Holzes im Wald bzw. die Rückführung der Rinde auf die Fläche. Die Entrindung von Holz im Wald kann daher die Nährstoffbilanz verbessern. Dieser ökologische Vorteil ist gegen den Aufwand der Entrindung vor Ort abzuwägen. Besonders bei Derbholz ist die Entrindung auf Grund des geringen Durchmessers sehr aufwendig.

Eine weitere Alternative wäre eventuell die Rückführung der (groben) Holzasche¹⁸ aus der energetischen Nutzung. Die direkte Rückführung der Holzasche ohne weitere Aufarbeitung ist allerdings aus Umweltschutzsicht kritisch: Da die Rückführung aus Kostengründen nur in größeren Zeitabständen erfolgen wird, erfolgt die Nährstofffreisetzung weniger bedarfsgerecht als bei der langsamen Freisetzung im Verlauf der natürlichen Zersetzung von Derbholz und Rinde. Auf Grund der hohen Löslichkeit der Mineralien in der Asche sind Auswaschungen daher wahrscheinlich. Auf Grund des hohen Calciumgehaltes eignet sich Holzasche jedoch in einigen Fällen als Ersatz für Dolomit oder andere Kalkdünger (KÖLLING & STETTER 2008, LFU 2009) geeignet. Dabei sollten jedoch möglichst Mischungen mit Dolomit oder anderen Kalkdüngern verwendet werden, bei denen der Holzascheanteil nicht über 30 % liegt (WILPERT 2002). Bei der Verwendung von Aschen als Düngemittel sind die Vorgaben der Düngemittelverordnung (DüMV) und des Düngegesetzes (DüngG) zu beachten. Demnach sind derzeit nur Brennräumeaschen (Feuerraumaschen) aus der Verbrennung unbehandelter Pflanzenteile als Düngemittel zulässig. Zusätzlich sind die Anforderungen an Inhaltsstoffe und Schadstoffgrenzwerte zu überprüfen und einzuhalten. Im Falle einer zunehmenden Kaskadennutzung von Holz wird der Anteil an behandeltem Holz an der Holzverbrennung ansteigen. In diesem Fall sollte überprüft werden, Inwieweit auch Asche

¹⁸ Gemeint sind hier Feuerraumaschen (Bezeichnung in DüMV: Brennräumeaschen). Fein- und Feinstaschen (Zyklonaschen, Filteraschen) haben im Unterschied zu Feuerraumaschen (Grob- aschen) häufig einen hohen Schwermetallgehalt und können auch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe enthalten. Sie sind als Düngemittel daher nicht geeignet. Nach DüMV dürfen „Aschen aus der letzten filternden Einheit im Rauchgasweg“ nicht verwendet werden.

verarbeiteter Hölzer als Düngemittel zugelassen werden kann. Um Nährstoffrückführungen zu erleichtern, sollten in der Verarbeitung von Holz schadstoffhaltige – insbesondere schwermetallhaltige – Substanzen möglichst vermieden werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine Herabsetzung der Derbholzgrenze dann ökologisch verträglich ist, wenn ein hinreichendes Ertragspotenzial des Standorts und eine gute Nährstoffversorgung gegeben sind und der Standort im Rahmen der Waldfunktionen keine besondere ökologische Funktion erfüllt (insbesondere: Lebensraum für gefährdete Arten). Die dazu geeigneten Standorte können durch eine ökologische Standortkartierung identifiziert werden. Dieser kann für die Waldbiotopkartierung des Saarländischen Staatsforstes zugrunde gelegt werden. Eine pauschale Herabsetzung der Aufarbeitungsgrenze für alle Standorte ohne Analyse der Standortverhältnisse ist aus ökologischer Sicht – auf der Grundlage des derzeitigen Wissensstandes -kritisch zu bewerten. Im Hinblick auf die umweltgerechte Nährstoffversorgung ist die direkte Rückführung von Holzaschen keine Alternative zur natürlichen Verwitterung von Derbholz.

4.2.2 Nutzung von Holz aus der Erstdurchforstung

Die Entnahme von Holz aus der Erstdurchforstung wird im Saarland – abweichend zu anderen Bundesländern – aus ähnlichen Gründen untersagt wie die Entnahme von Holz unterhalb von 10 cm Durchmesser: nämlich zum Schutz der Nährstoffverfügbarkeit, der Humusaufgabe bzw. der biologischen Kohlenstoffspeicher und – mit geringerer Relevanz – zum Schutz der Biodiversität. Aus forstlicher Sicht ist die Entnahme von Erstdurchforstungsholz erwünscht, um das Risiko des Befalls mit Schadinsekten zu senken, die auf dem Totholz leben. Eine Begrenzung des Entnahmeverbots auf ökologisch sensible Standorte ist aus Umweltschutzsicht möglich, sofern eine qualifizierte Standorterhebung zugrunde gelegt wird. Aus Naturschutzsicht wird die Nutzung von Holz aus der Erstdurchforstung wenig kritisch gesehen. So lehnt z. B. der NABU (2008) für die Erstdurchforstung sogar eine Vollbaumernte nicht grundsätzlich ab.

4.2.3 Verzicht auf FSC-Zertifizierung

Im Saarland werden der Staatswald sowie einige Gemeinde- und Privatwälder – insgesamt über 50 % des Waldes (Ministerium für Umwelt des Saarlandes 2005) – nach den Richtlinien des Forest Stewardship Council (FSC) bewirtschaftet. Die Zertifizierung nach FSC beinhaltet eine Reihe von ökologischen Schutzmaßnahmen, die über die gesetzlichen Anforderungen (insbesondere des saarländischen Waldgesetzes) und auch über die Anforderungen des PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes) hinausgehen. Bezüglich anderer Aspekte sind diese Richtlinien sogar übererfüllt (Stilllegungsflächen), was positiv zu bewerten ist. Aus Umweltschutzsicht ist grundsätzlich anzustreben, hinsichtlich der Bewirtschaftung nicht unter die Ansprüche von FSC zu gehen, so dass die Zertifizierung selbst ohne nennenswerten zusätzlichen Aufwand mitbetrieben werden kann. Die Standards von FSC basieren auf einer breiten, international anerkannten Grundlage (FSC DEUTSCHLAND 2011). Eine Zertifizierung von Wäldern ist auch im Hinblick auf die Akzeptanz der Waldwirtschaft und der Holzprodukte relevant. Insbesondere die Forderung von 5 % Referenzflächen (die gesetzlich nicht erforderlich ist) ist aus ökologischer Sicht wertvoll. Die

Referenzflächen ermöglichen eine vom Menschen ungestörte Waldentwicklung und stellen damit nicht nur einen Rückzugsraum für einzelne gefährdete Arten dar, sondern dienen dem Schutz und der Erforschung der Gesamtlebensgemeinschaft. Die Festlegung von 5 % Referenzflächen entspricht auch der Biodiversitätsstrategie der Bundesregierung (BMU 2007): Diese sieht vor, bis zum Jahr 2020 auf 5 % der Waldflächen eine natürliche Waldentwicklung zu ermöglichen.

Das PEFC verlangt keine Ausweisung von Referenzflächen und stellt zudem weniger strenge Anforderungen an die Waldbewirtschaftung (Einsatz von Bioziden, Totholzmanagement u. a.). Zudem ist für die Zertifizierung mit PEFC kein Vor-Ort-Audit erforderlich. Dies macht die Zertifizierung mit PEFC zwar kostengünstiger aus Umweltschutzsicht aber weniger wertvoll. Aus Umweltschutzsicht sollte daher auf die FSC-Zertifizierung nicht verzichtet werden. Inwieweit die FSC-Richtlinien für Deutschland im Hinblick auf die ökologischen Anforderungen weiter optimiert werden können oder eventuelle arbeitswirtschaftliche, soziale und ökonomische Belange gegen eine Zertifizierung sprechen, konnte im Rahmen dieser Studie nicht geprüft werden.

4.3 Ökologische Auswirkungen der Erschließung anderer Holzpotenziale

4.3.1 Bepflanzung von Rückegassen

Im Zuge der Diskussionen über die Erschließung neuer Energieholzpotenziale wurde verschiedentlich die Idee vorgetragen, Rückegassen mit schnell wachsenden Baumarten zu bepflanzen. Damit könnte die Forstfläche optimal genutzt werden. Zudem könnte die Bepflanzung der Rückegassen Bodenverdichtungen entgegenwirken. Zur Bepflanzung von Rückegassen wurden bisher sehr wenige Versuche angelegt (z. B. Güterverwaltung Raupach, P&P 2009). Wissenschaftliche Untersuchungen sind nicht bekannt. Bedeutende ökologische Schäden durch die Bepflanzung von Rückegassen sind nicht zu erwarten, aber dafür Vorteile: Zum einen wird durch die Verwurzelung die Bodenverdichtung teils rückgängig gemacht, zum anderen bietet das Wurzelwerk Schutz vor Erosion. Vor einer abschließenden Beurteilung ist jedoch eine fundierte wissenschaftliche Analyse erforderlich.

Ähnlich wie die Bepflanzung von Rückegassen könnte auch die Bepflanzung von Hochspannungstrassen in Waldgebieten mit schnell und niedrig wachsenden Holzarten einen ökologisch unbedenklichen Beitrag zur Erschließung neuer Holzpotenziale leisten.

4.3.2 Vermehrte Nutzung von Landschaftspflegegut

Landschaftspflegegut ist ein Oberbegriff für Biomasse von Naturschutz- und Landschaftspflegeflächen. Diese Biomasse besteht zum einen aus Gras bzw. Grünschnitt und zum anderen aus Holz bzw. Heckschnitt (SLL 2004). Relevant ist an dieser Stelle nur das holzartige Landschaftspflegegut, das durch die Pflege von Hecken, Straßenbegleitgrün (und in geringerem Umfang von anderen Feldgehölzen) anfällt. Hecken in der Agrarlandschaft sind aus

vielfältigen Gründen erwünscht: Sie bieten Wildarten Lebensraum und tragen zur Biotopvernetzung bei, schützen vor Winderosion, wirken regulierend auf den Wasserhaushalt, begünstigen den biologischen Pflanzenschutz und beleben das Landschaftsbild. Um die ökologischen Funktionen der Hecke zu erhalten, bedürfen Hecken der regelmäßigen Pflege. Es wird empfohlen, die Hecken alle 10-25 Jahre abschnittsweise auf den Stock zu setzen (LUBW 1999). Diese Pflegemaßnahme ist aufwendig und teuer. Für das Schnittgut besteht zurzeit in der Regel keine ökonomische Verwendung. Häufig wird das Schnittgut gehäckselt und auf landwirtschaftliche Nutzflächen ausgebracht, zum Teil auch verbrannt oder in Reisighaufen oder Benjeshecken angelegt. Der Häckselvorgang ist mit zusätzlichen erheblichen Kosten verbunden. Nur in wenigen Bundesländern (Bayern, Thüringen, Nordrhein-Westfalen) gibt es im Rahmen der Agrarumweltprogramme auch Förderprogramme für die Pflege von Hecken (THOMAS et al. 2009), wobei die gezahlten Fördergelder häufig nicht kostendeckend sind (LFU 2011). Die Möglichkeit, Schnittgut als Energieholz zu verkaufen, würde die Anlage und den Erhalt von Hecken ökonomisch tragfähiger machen. Damit werden indirekt die vielfältigen ökologischen Leistungen der Hecken unterstützt. Analoges gilt für andere Feldgehölze wie z.B. Baumgruppen und einzeln stehende Bäume. Diese müssen jedoch in der Regel nicht zurückgeschnitten werden, so dass kein regelmäßiger Anfall von Schnittgut gegeben ist. Aus Umweltschutzsicht ist die Nutzung von Heckenschnitt als Energieholz also sehr zu empfehlen. Herausforderungen liegen sicherlich in der praktischen Umsetzung. Hierzu gibt es jedoch schon viel versprechende Projekte, z.B. das Projekt ENERGIEQUELLE WALLHECKE (o.J.).

4.3.3 Anlage von Kurzumtriebsflächen (KUF)

Unter Kurzumtriebsflächen versteht man die Anpflanzung schnell wachsender Bäume zur Produktion von Holz innerhalb kurzer Umtriebszeiten. Die am häufigsten eingesetzte Baumart ist die Pappel, gefolgt von Weide und Robinie. Kurzumtriebsplantagen sind in Deutschland rechtlich keine Waldflächen, sondern landwirtschaftliche Dauerkulturen. In Deutschland werden derzeit etwa 4500 ha KUF angebaut (FNR 2011). Damit handelt es sich bei KUF noch um eine Nischenkultur. Die Praxistauglichkeit des Anbaus schnell wachsender Hölzer zur Energieholzgewinnung wurde und wird in verschiedenen Forschungsprojekten wissenschaftlich untersucht. Großflächige Versuchspflanzungen wurden zum Beispiel im Rahmen des Projektes AGROWOOD (o.J.) in Sachsen und Brandenburg angelegt und auf ihre Praxistauglichkeit hin untersucht. Die dabei gewonnen Erkenntnisse werden derzeit im Nachfolgeprojekt AGROFORNET (o.J.) vertieft.

Die ökologische Bewertung von KUF erfolgt im Folgenden im Vergleich zu annuellen Ackerkulturen, die das Referenzsystem darstellen. Der Anbau von annuellen Ackerkulturen wird als die wahrscheinlichste Referenznutzung für die Neuanlage von KUF angesehen: Die Anlage von KUF auf Grünlandflächen ist aufgrund des Grünlandumbruchverbotes weniger wahrscheinlich. Brachflächen und Rekultivierungsflächen sind zwar verfügbar, aber nur in geringem Umfang.

Folgende Aspekte sind bei der ökologischen Bewertung von KUF zu bedenken:

- Bodenschutz und Auswirkungen auf Wasserhaushalt und Luftreinheit
- Öko- und humantoxische Effekte durch Pflanzenschutzmittel

- Auswirkungen auf Biotopqualität, Artenvielfalt und Landschaftsbild
- Auswirkungen auf das Klima
- Auswirkungen der Verdrängung der Referenznutzung

Im Hinblick auf den **Bodenschutz** ist festzuhalten, dass KUF gegenüber annualen Ackerkulturen deutlich vorteilhaft sind. Ein Erosionsrisiko besteht praktisch nur im Jahr der Neuanlage, also alle 10-20 Jahre (je nach Plantagenzeit). Danach bringen KUF eher positive Effekte für den Bodenschutz. Auf Grund der seltenen Befahrung ist auch das Verdichtungsrisiko gering. Gegenüber Grünland stellen KUF keine Verbesserung, aber auch keine Verschlechterung dar (abgesehen vom Jahr der Neuanlage). KUF können zudem zu einer Nährstoffanreicherung im Oberboden beitragen: Durch die tiefere Durchwurzelung können Nährstoffe aus dem Unterboden mobilisiert und durch die Streu in obere Bodenschichten verlagert werden (Basenpumpe). Dieser Effekt ist jedoch in der Regel nicht hinreichend, um den Nährstoffbedarf der KUF langfristig zu sichern (LIEBHARD 2007). Durch die Nutzung werden dem Boden erhebliche Mengen an Nährstoffen entzogen, die durch Düngung ersetzt werden müssen (siehe dazu auch den Abschnitt über Nährstoffzüge im Wald, Kapitel 4.2.1). Der Humusgehalt einer vormals ackerbaulich genutzten Fläche steigt durch die Anlage einer KUF deutlich an (DBU 2010). Allerdings ist zu beachten, dass es bei der Rückumwandlung in Ackerflächen zu einer starken Kohlenstoffmobilisierung aus dem Boden kommt.

Der **Wasserhaushalt** wird durch KUF insofern verbessert, als die Bodenruhe die Puffer- und Filterkapazität des Bodens fördert und auf Grund des geringeren Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes das Risiko des Nährstoff- und Schadstoffeintrages sinkt. Zu bedenken ist jedoch, dass die KUF eine höhere Verdunstungsrate aufweisen als annualen Ackerkulturen, so dass die Grundwasserneubildungsrate sinkt, was sich je nach Standort negativ auf das ökologische Gleichgewicht auswirken kann (PETZOLD et al. 2009).

Kurzumtriebsplantagen wirken sich zudem tendenziell positiv auf die **Luftreinheit** aus, da sie Stäube und Schadstoffe aus der Atmosphäre filtern (DBU 2010).

Der Bedarf an **Pflanzenschutzmitteln** für KUF ist gering. Das Risiko von Öko- und Humanintoxikationen ist daher ebenfalls sehr gering. Im ersten Jahr werden zum Teil Herbizide (z. T. Totalherbizide) eingesetzt. Später kann der Befall mit Pilzen (z. B. Rostpilzen) oder Schädlingen (z. B. Pappelblattkäfer) den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln erforderlich machen. Bisher wird auf den Einsatz von Insektiziden und Fungiziden in der Regel verzichtet. Bei einer Ausweitung der Anbauflächen ist jedoch ein Anstieg des Schädlingsdrucks zu erwarten. Dazu trägt auch die geringe genetische Variabilität der KUF-Hölzer bei (in der Regel werden Klone eingesetzt).

Die **Biotopqualität** und potenzielle Artenvielfalt von KUF ist im Vergleich zu intensivem Ackerbau mit annualen Kulturpflanzen hoch. Die lange Bodenruhe und der geringe Pflanzenschutzmitteleinsatz begünstigen die Entwicklung einer vielfältigen Flora und Fauna (BURGER 2006). In einzelnen Fällen kann es jedoch vorkommen, dass seltene Arten der Ackerbegleitvegetation oder des Grünlandes durch die Anlage von KUF ihren Lebensraum verlieren. Vor der Anlage großflächiger KUF sollte daher eine Standortanalyse erfolgen (REINHARDT & SCHEURLEN 2004). Durch die Einpassung von KUF in den Gesamtkontext der Landschaftsfunktionen können weitere Synergien geschaffen werden. Hierzu können auch

moderne Agroforstkonzepte angedacht werden, wie sie z.B. auf dem Hofgut Scheyern in Bayern erprobt werden (WAGENER 2010, WAGENER et al. 2011).

Im Hinblick auf das **Landschaftsbild** kann keine abschließende Aussage gemacht werden. Die Anpflanzung großflächiger KUF stellt sicherlich eine deutliche Veränderung des Landschaftsbildes dar, der Sichtraum wird eingeschränkt. Wie dies zu bewerten ist, hängt jedoch stark vom Standort und persönlichen Präferenzen des Betrachters ab. In weitgehend ausgeräumten Agrarlandschaften können KUF eine Bereicherung des Landschaftsbildes darstellen.

Auf den Treibhauseffekt wirkt sich die Anlage von KUF tendenziell vermindern aus – aber nur, solange es durch die Anlage von KUF auf Ackerflächen nicht zur Zerstörung natürlicher Ökosysteme an anderer Stelle kommt (s. Kap. 3.3.1). KUF liefern nachwachsende Energieträger, die fossile Energieträger ersetzen und damit zur Einsparung von CO₂-Emissionen beitragen können. Außerdem stellen KUF selbst einen organischen Kohlenstoffspeicher dar, der im Mittel über dem Speicherniveau von Ackerflächen liegt. Zu beachten sind allerdings zwei Einschränkungen: Wenn es durch die Anlage von KUF zur Verdrängung anderer Kulturarten kommt, für deren Anbau dann an anderer Stelle natürliche Ökosysteme – insbesondere Urwälder – gerodet werden (sogenannte indirekte Landnutzungsänderungseffekte), so kann sich die CO₂-Bilanz durch den Anbau von KUF sogar erheblich verschlechtern. Ferner ist zu bedenken, dass durch andere Kulturarten – z.B. *Miscanthus* – u.U. noch höhere Flächenerträge erzielt werden können. Das Ziel einer nachhaltigen Agrarpolitik sollte es jedoch nicht sein, nur die Kulturarten mit den höchsten Flächenleistungen zu fördern, sondern ein ausgewogenes Kulturartenspektrum, das den Erhalt der Biodiversität fördert, wenig Emissionen verursacht und Schädlingskalamitäten vorbeugt. Hierzu können Kurzumtriebsplantagen einen Beitrag leisten. Neben den ökologischen Folgen von Landnutzungsänderungen sind in einer umfassenden Nachhaltigkeitsbetrachtung unbedingt auch die sozialen Folgen zu beachten, die sich durch die Umwandlung von Ackerland in Kurzumtriebsplantagen ergeben können, z.B. höhere Landpreise auf Grund der Verknappung von Ackerflächen. Dabei ist zu bedenken, dass Kurzumtriebsflächen der ackerbaulichen Nutzung langfristig entzogen werden. Die Rückumwandlung von KUF in Ackerland ist kostenintensiv und lohnt erst nach mehreren Rotationen. Unerwünschte ökologische und soziale Folgewirkungen sind nicht nur mit heimischen Holzproduktion verbunden, sondern auch – und häufig in größerem Ausmaße – mit Importholz aus möglicher Weise nicht nachhaltig genutzten Wäldern.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Kurzumtriebsplantagen, insbesondere auf bisherigen Ackerflächen, weisen gegenüber der bisherigen Nutzung überwiegend positive Umweltwirkungen auf (Tab. 4-1): Die Erosionsgefahr ist geringer als im Ackerland, der Bedarf an Dünger- und Pflanzenschutzmitteln ist geringer, die CO₂-Speicherung ist höher (s. Kapitel 3) und es bestehen positive Auswirkungen auf die Luftreinheit. Auch die Artenvielfalt ist höher als im Ackerbau, wobei zu beachten ist, dass Arten extensiver Acker- und Grünlandstandorte verdrängt werden können. Kurzumtriebsholz von hiesigen Standorten führt zu einem erhöhten Holzangebot in Deutschland und kann vermehrten Importen aus ökologisch sensiblen Gebieten entgegenwirken. Zu beachten ist jedoch die Flächenkonkurrenz mit der Nahrungs- und Futtermittelerzeugung: Wird Kurzumtriebsholz dort angebaut, wo vorher Nahrungs- und Futtermittel erzeugt wurden, kann dies zu indirekten Landnutzungsänderungen an anderen Orten und dann dort zu erheblichen Umweltschäden führen. Zum anderen ersetzt Holz aus Kurzumtriebsflächen auf Grund der seit 2007 bestehenden Rohholzlücke Hölzer aus

anderen Ländern, die evtl. nicht nachhaltig angebaut werden. Besonders empfehlenswert ist also die Anlage von KUF auf anderweitig nicht benötigten Flächen mit geringem ökologischen Wert, zum Beispiel auf Rekultivierungsflächen oder unter Hochspannungsleitungen. Zusätzlich sollte untersucht werden, inwieweit der Einsatz von KUF im Rahmen des „Greening“ im Zuge der EU-Agrarpolitik positiv zu bewerten ist.

Tab. 4-1 Potenzieller Einfluss von KUF auf Landschaftsfunktionen (DBU 2010).

Einflussfaktoren (im Vergleich zu konventioneller ackerbaulicher Nutzung)	Landschaftsfunktionen							
	Grundwasser-darbotsfunktion	Grundwasser-schutzfunktion	Lebensraumfunktion	Abflussregulationsfunktion	Klimatische Ausgleichfunktion	Ertragsfunktion	Erosionsschutzfunktion	Landschafts-erlebnisfunktion
Grundwasserzehrung	negativ	positiv	negativ	positiv		negativ		
Bodenerosion durch Wind und Wasser		positiv	positiv			positiv	positiv	
Retention von Niederschlägen	negativ	positiv		positiv			positiv	
Veränderung des Humusgehalts		positiv	positiv	positiv		positiv	positiv	
Bodenverdichtung	positiv						positiv	
Eintrag von Düngemitteln in Boden, Grundwasser und Oberflächengewässer		positiv	positiv					
Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Boden, Grundwasser und Oberflächengewässer		positiv	positiv					
Klimatischer Ausgleich und Luftreinhaltung			positiv/negativ		positiv/negativ	positiv/negativ		
Veränderung von Lebensräumen			positiv/negativ		positiv/negativ			positiv/negativ
Veränderung des Landschaftsbildes			positiv/negativ		positiv/negativ			positiv/negativ

positiv
 negativ

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Im Folgenden werden die in den vorstehenden Kapiteln ermittelten Ergebnisse zusammengeführt und Schlussfolgerungen daraus gezogen (Kap. 5.1). Danach werden Handlungsempfehlungen für die Politik, die Holzverarbeiter, die Betreiber von Biomasse(heiz)kraftwerken und die Verbraucher gegeben (Kap. 5.2). Abschließend werden ein Ausblick sowie weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt (Kap. 5.3).

5.1 Zusammenführung und Schlussfolgerungen

Die Erkenntnisse, die durch die Umweltanalyse der Holznutzung auf verschiedenen Ebenen gewonnen wurden, lassen sich in vier verschiedenen Themenkomplexen zusammenführen:

- Ist eine bestimmte Verwendung von Holz umweltfreundlich und wie lässt sich deren Umweltfreundlichkeit verbessern?
Hier lässt sich feststellen, dass die Umweltvorteile der Holznutzung im Vergleich zu Nicht-Holz-Produkten und fossilen Energieträgern besonders hinsichtlich der Auswirkungen auf den Klimawandel in fast allen Fällen überwiegen. Details und Optimierungspotenziale werden in Abschnitt 5.1.1 diskutiert.
- Kann in Deutschland und speziell im Saarland mehr Holz genutzt werden, um dadurch die Umwelt zu entlasten?
Dazu werden in Abschnitt 5.1.2 die Ergebnisse zusammengeführt, die zeigen, warum eine Ausweitung der Holz mengen nur begrenzt bzw. unter definierten Rahmenbedingungen möglich ist und welche Vor- und Nachteile dies mit sich bringt.
- In welchem Anwendungsbereich kann das vorhandene Holz aus Umweltschutzsicht möglichst effizient eingesetzt werden?
Abschnitt 5.1.3 zeigt auf, welche direkten und indirekten Auswirkungen mögliche Verschiebungen von Stoffströmen haben können.
- Wie könnten sich die Schlussfolgerungen aufgrund absehbarer Entwicklungen in Zukunft verändern?
Wegen der teils langen Lebensdauer von Holzprodukten sind zukünftige Entwicklungen besonders im Energiesektor sogar bereits für heutige Entscheidungen relevant. In Abschnitt 5.1.4 wird diskutiert, wie dies bewertet werden kann.

Die Themenkomplexe werden nachfolgend im Einzelnen erläutert.

5.1.1 Einzelne Holznutzungsformen und deren Optimierungspotenziale

- **Energetische Nutzung von Holz vs. fossile Energieträger:**

Die Nutzung von Holzenergie verringert die Emission von Klimagasen und den fossilen Energiebedarf, hat aber fast immer Nachteile bezüglich Feinstaubbelastung, Versauerung und Nährstoffeintrag in Böden.

Hinsichtlich Ozonabbau und Sommersmog lassen sich bei niedrigen Gesamtemissionen keine eindeutigen Tendenzen feststellen, was ähnlich auch für die stoffliche Nutzung gilt.

- **Optimierung der energetischen Nutzung von Holz:**

Die elektrischen und thermischen Wirkungs- und Nutzungsgrade der Energiegewinnung sind für alle Umweltwirkungen entscheidend und bieten daher ein hohes Optimierungspotenzial.

Hier sind größere Anlagen in der Regel effizienter und daher im Vorteil – trotz der größeren Transportentfernungen, die der Brennstoff im Durchschnitt zurücklegen muss. Die besten Ergebnisse erzielt dabei eine KWK-Anlage mit hohem Gesamtnutzungsgrad oder eine Mitverbrennung in effizienten Kohlekraftwerken, während eine reine Stromerzeugung in Biomassekraftwerken oder nur geringe Wärmenutzung bei einer KWK-Anlage ungünstig abschneiden. Die stärksten Umweltwirkungen haben Einzelfeuerstätten wie Scheitholzöfen oder Kamine aufgrund geringer Wirkungsgrade und hoher Emissionen. Die Rolle von Holz im Rahmen von Stromdienstleistungen wird derzeit erforscht. Es sind positive Effekte z. B. zur Bereitstellung von Regelenergie zu erwarten. Falls eine Neuanlage eine Altanlage ersetzt, lassen sich umso größere Vorteile erzielen, je umweltschädlicher die sonst gebaute Alternative ist (z. B. Heizwerke mit Kohle- oder Schwerölfeuerung). Eine Emission von Feinstaub lässt sich durch verbesserte Verbrennungstechnik und Filter verringern.

- **Sonderfall Mitverbrennung in Kohlekraftwerken:**

Unter den Bedingungen, unter denen eine energetische Nutzung von Holz aus Umweltschutzsicht sinnvoll ist (s. auch „stoffliche vs. energetische Nutzung“ in Kapitel 5.1.3), ist eine mengenmäßig strikt begrenzte Mitverbrennung in bestehenden Kohlekraftwerken derzeit von den Umweltauswirkungen her günstiger als der Bau neuer Biomasseheizkraftwerke, birgt aber wegen der politischen und ökonomischen Rahmenbedingungen sehr große Gefahren.

Mitverbrennung von Holz in Kohlekraftwerken kann den besten elektrischen Wirkungsgrad erzielen. Obwohl im Regelfall keine oder nur geringere Wärmenutzung möglich ist, können durch die Mitverbrennung die größten Treibhausgaseinsparungen und Reduktionen von Versauerung aller energetischen Holznutzungsarten erreicht werden.

Problematisch ist die Mitverbrennung allerdings aus Gründen, die in einer Ökobilanz nicht erfasst werden können: Erstens kann potenziell in deutschen Kohlekraftwerken mehr Holz mitverbrannt werden, als derzeit insgesamt in Deutschland energetisch genutzt wird¹⁹. So viel Holz kann nicht nachhaltig bereitgestellt werden und es besteht die Gefahr, dass auch für wesentlich umweltfreundlichere Formen der stofflichen Nutzung nicht mehr genügend Holz zur Verfügung steht. Eine aus Umweltschutzgründen sinnvolle

¹⁹ Basierend auf Energieträgerstatistiken des BMWI (2012) mit dem Ansatz, dass die meisten Kohlekraftwerke umgerüstet werden können und 20% (Heizwert) der Kohle durch Holz ersetzt werden.

strikte mengenmäßige Begrenzung könnte aufgrund einer Asymmetrie der wirtschaftlichen und politischen Strukturen mit wenigen wichtigen und gut organisierten Akteuren auf der Seite der Betreiber von Kohlekraftwerken schwer durchsetzbar sein. Außerdem wären in dem Fall andere Holznutzer und damit zusammenhängende Arbeitsplätze wirtschaftlich hochgradig gefährdet. Ebenfalls darf eine Mitverbrennung von Holz nicht als Argument dafür dienen, dass neue Kohlekraftwerke gebaut werden: Auch wenn die begrenzte Mitverbrennung von Holz separat betrachtet umweltfreundlich ist, ist das gesamte Kohlekraftwerk auch mit einem hohen Holzmitverbrennungsanteil wesentlich umweltschädlicher als andere Formen der Energiebereitstellung²⁰.

- **Stoffliche Nutzung von Holz vs. konventionelle Produkte:**
Für alle untersuchten Arten der stofflichen Holznutzung ergeben sich in allen Umweltwirkungskategorien in der Summe Vorteile oder ähnliche Auswirkungen durch die Holznutzung anstatt der Nutzung von Nicht-Holz Produkten.
 Generell erzeugt jede stoffliche Nutzung erst einmal Umweltlasten. Hier lassen sich die Holzprodukte in zwei Gruppen mit unterschiedlichem Produktionsaufwand einteilen: Massivholzprodukte mit geringem Aufwand auf der einen und Span- und MDF-Platten sowie chemische Umwandlungen beispielsweise in Harnstoff-Formaldehyd-Harz mit mittlerem bis hohem Aufwand auf der anderen Seite. Die entstehenden Umweltlasten können aber dadurch ausgeglichen werden, dass alternative Produkte verdrängt werden und so zumeist höhere Umweltlasten durch deren Produktion vermieden werden. Außerdem können die Produkte als Altholz später noch stofflich und energetisch genutzt werden.
- **Optimierung der stofflichen Nutzung:**
Die Umweltlasten der Holzprodukte lassen sich vor allem durch eine längere Nutzungsdauer und einen reduzierten Energie- und Leimbedarf senken.
 Die wirkungsvollste Möglichkeit, sowohl eingesetztes Holz als auch Produktionsaufwendungen zu reduzieren, ist die längere Nutzung eines Holzproduktes. Hier ergibt sich ein klarer Vorteil für langlebige Qualitätsprodukte, die hohe Gutschriften für ersetzte Produkte erhalten. In der Produktion selbst entstehen die größten Aufwendungen durch den Energiebedarf der Produktion und eingesetzte Hilfsstoffe wie Leim. Hier liegt auch das größte Einsparpotenzial.

5.1.2 Ausweitung der Holzproduktion

- **Hohe Bedeutung der konkreten Standortbedingungen:**
Ob eine Ausweitung oder Intensivierung der Holzproduktion umweltverträglich ist, hängt vom Standort ab.
 Eine Ausweitung der Holzproduktion durch Änderungen der forstlichen bzw. ackerbaulichen Flächennutzung wirkt sich stark auf standortbezogene, lokale Umweltparameter aus, insbesondere die Biodiversität und den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit aus. Für eine abschließende Bewertung konkreter Maßnahmen ist daher eine standortspezifische Analyse erforderlich. Dies gilt insbesondere für den Untersuchungsraum Saarland im Hinblick

²⁰ Auch bei 20% Holzanteil (Heizwert) liegt z.B. der CO₂-Ausstoß ungefähr 50% über dem von Erdgaskraftwerken (s. auch Anhang, Kapitel 7.6).

auf die Frage, auf welchen Standorten eine Absenkung der aktuellen Aufarbeitungsgrenze von 10 cm auf – bundesweit übliche – 7 cm umweltverträglich realisiert werden kann.

- **Anlage und Nutzung von Hecken:**

Die Erschließung neuer Holzpotenziale durch die Anlage und Nutzung von Hecken und anderen holzartigen Landschaftselementen ist aus Umweltschutzsicht besonders zu empfehlen.

Hecken und andere holzartige Landschaftselemente wirken sich im allgemeinen positiv auf die Artenvielfalt (Stichwort: Lebensraum) und den Bodenschutz aus (Stichwort: Erosionsschutz, Regulierung des Wasserhaushaltes).

- **Bepflanzung von Rückegassen:**

Dies stellt eine weitere Möglichkeit der Erschließung neuer Holzpotenziale dar, die **tendenziell positive Umweltauswirkungen** hat. Hierzu besteht weiterer Forschungsbedarf.

- **Kurzumtriebsflächen:**

Sie stellen zumeist eine ökologische Bereicherung dar, bergen aber die Gefahr von indirekten Landnutzungsänderungen.

Kurzumtriebsflächen sollten vorzugsweise auf anderweitig nicht benötigten Flächen (z.B. Renaturierungsflächen, unter Hochspannungstrassen in Wäldern oder auf anderen Brachflächen) angelegt werden. Wenn dabei die Vielfalt von Lebensräumen nicht eingeschränkt wird, stellen sie eine ökologische Bereicherung dar. Kurzumtriebsplantagen auf bisher ackerbaulich genutzten Flächen haben ebenfalls eine Reihe ökologischer Vorteile. Bei der Umwandlung von Ackerflächen in Kurzumtriebsplantagen sind jedoch unbedingt Nutzungskonkurrenzen zu berücksichtigen, die zu indirekten Landnutzungsänderungen (z.B. Regenwaldabholzung zur Gewinnung neuer Ackerflächen für die Nahrungsmittelproduktion) und damit zu massiven ökologischen und sozialen Schäden an anderen Orten führen können. Ein verstärktes heimisches Holzaufkommen kann zwar auch die Nachfrage nach importiertem Holz aus weniger nachhaltigen Quellen reduzieren; das mit letzterem verbundene Risiko kann aber durch verbindliche Nachhaltigkeitssiegel (z.B. FSC) reduziert werden. Vergleichbare Siegel sind für Lebensmittel noch wenig entwickelt und verbreitet.

- **Absenkung der Aufbereitungsgrenze:**

Auf ertragsstarken und ökologisch wenig sensiblen Waldflächen sind auch eine Absenkung der Aufbereitungsgrenze auf 7 cm sowie die Verwertung des Erstdurchforstungsgutes ökologisch vertretbar. Die Ausweisung von Flächen mit verringerter Aufarbeitungsgrenze sollte auf einer fundierten ökologischen Standortkartierung (s.o.) basieren.

- **Zusätzlicher Stammholz-Einschlag:**

Dieser kann unter bestimmten Bedingungen nachhaltig sein, führt jedoch zu schwer zu quantifizierenden Kohlenstoffbestandsänderungen.

In einigen Forsten steigt der Holzbestand und das Durchschnittsalter derzeit an, was teils auf Erholungseffekte nach einmaligen Ereignissen zurückzuführen ist. Hier kann eine im Vergleich zu den vergangenen Jahren verstärkte Holzernte nachhaltig sein, nachdem die Regeneration des Forstes abgeschlossen ist. Aber auch ein nachhaltiger zusätzlicher Einschlag kann eine weitere Zunahme des Kohlenstoffbestandes im Forst verhindern. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn sich die Feststellung bestätigt, dass der

Kohlenstoffbestand in Wäldern entgegen der bisherigen Lehrmeinung auch über Jahrhunderte stetig ansteigt. Die Auswirkungen des zusätzlichen Holzeinschlags sowie der oben diskutierten Absenkung der Aufarbeitungsgrenze auf den Kohlenstoffbestand im Forst sind somit schwer zu quantifizieren und erfordern weitere wissenschaftliche Untersuchungen.

5.1.3 Effiziente Holznutzung

Verallgemeinernd ausgedrückt, lassen sich durch die Verwendung von Holz anstelle von konventionellen Materialien oder Energieträgern in der Regel Umweltvorteile erzielen. Allerdings sagt es wenig aus, ob der verstärkte Einsatz von Holz für eine bestimmte Anwendung Umweltvorteile mit sich bringt, weil dieses Holz dann an anderer Stelle fehlt, wo es ebenfalls Umweltvorteile erzielen könnte. Diese indirekten Effekte wurden berücksichtigt, indem Szenarien untersucht wurden, in denen jeweils der gleiche „Warenkorb“ aus materiellem und energetischem Nutzen (daher hier auch „Nutzenkorb“ genannt) mit dem gleichen Holzeinsatz und variierendem Einsatz anderer Rohstoffe abgedeckt wird.

Weitere indirekte Auswirkungen ergeben sich dadurch, dass in vielen Anwendungsbereichen, wie z.B. für viele Möbelteile, fast nur Holz eingesetzt wird. Wenn also beispielsweise mehr Vollholzmöbel produziert werden, werden dadurch vor allem Möbel aus Spanplatten verdrängt. Verdrängungseffekte werden also nicht nur durch die Konkurrenz auf der Rohstoffebene, sondern auch auf der Produktebene hervorgerufen.

Aus der Begrenztheit der Holzmengen ergibt sich daher die Frage, in welchem Bereich Holz am effizientesten eingesetzt werden kann, anstelle der Frage, ob eine Verwendung von Holz in einem bestimmten Bereich Umweltvorteile erzielt.

- **Substitutionspotenziale von Nicht-Holz-Produkten:**

Das größte Potenzial, konventionelle Materialien mit hohen Umweltlasten durch Holz zu ersetzen, besteht in Deutschland im Baubereich.

Hier werden derzeit z.B. viele Stahlträger eingesetzt, deren Herstellung sehr energie- und treibhausgasintensiv ist und die durch deutlich umweltfreundlichere Träger aus Brett-schichtholz ersetzt werden können. Ähnliche Potenziale bestehen auch für die Substitution von Mauerwerk durch eine Holzrahmenbauweise (ALBRECHT et al. 2008). Es ist zu beachten, dass hierfür nur das hochwertige Sortiment Stammholz geeignet ist. Andere Anwendungen, die auch mit Industrie- oder Altholz zu erreichen sind wie die Substitution von Duroplast-Formteilen durch MDF-Platten, betreffen wesentlich kleinere Märkte. Daher sollte insbesondere wertiges Stammholz vorrangig für hochwertige Anwendungen im Baubereich genutzt werden.

- **Ersetzbarkeit von Holzsortimenten, Stammholz vs. minderwertige Hölzer:**

Wenn Stammholz besonders umweltfreundlich verwendet wird, kann es ökologisch sinnvoll sein, es in anderen Anwendungen durch Spanplatten zu ersetzen.

Wenn Stammholz vorrangig in ökologisch vorteilhaften Anwendungen im Baubereich eingesetzt werden soll, steht es nicht für andere Anwendungen wie z.B. im Möbelbereich zur Verfügung. Wegen der Präferenzen der Konsumenten könnten Massivholzmöbel allenfalls durch Möbel aus furnierten Spanplatten ersetzt werden, aber kaum durch Möbel aus Nicht-Holz-Materialien wie z.B. Stahlblech. Spanplatten können aus weniger hochwerti-

gen Holzsortimenten wie Industrieholz, Industrierestholz und gewissen Kurzumtriebshölzern hergestellt werden, erfordern aber auch einen wesentlich höheren Energieaufwand in der Herstellung. Besonders wenn die Nutzungsdauer von Möbeln aus Spanplatten vergrößert werden kann, kann sich eine Substitution von Vollholz durch Spanplatten für die Umwelt lohnen, falls daraufhin besonders energieintensive Produkte wie massive Metallträger im Baubereich durch Vollholzprodukte ersetzt werden. Wenn das freigestellte Stammholz in weniger hochwertigen Anwendungsbereichen eingesetzt wird, lohnt sich der zusätzliche Energieaufwand der Spanplattenproduktion nicht. Ein zentraler Punkt ist hier also die Verbesserung der Ökobilanz von Spanplatten. Optimierungspotenzial besteht hier vor allem hinsichtlich der hohen Aufwendungen durch den Energie- und Leimverbrauch und einer vergleichsweise kurzen Lebensdauer. Gerade was die Ressourcenintensität angeht, gab es in den letzten Jahrzehnten schon verschiedene positive Forschungsansätze seitens der Holzwerkstoffindustrie. Eine aktive Umsetzung derartiger Marktverschiebungsszenarien würde allerdings eine Koordination verschiedener Akteure erfordern, weil eine Verdrängung von Massivholzprodukten durch Spanplattenprodukte nur dann ökologisch sinnvoll wäre, wenn das Stammholz danach auch hochwertig genutzt wird. Das scheint nur durch eine gezielte politische Förderung der vorteilhaften Produkte unter Ausnutzung von daraus folgenden Stoffstromverschiebungen auf den Märkten realisierbar zu sein.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn Massivholzmöbelteile z.B. in Form von Leimholz aus größeren Altholzteilen hergestellt werden, um so hochwertiges Stammholz anderweitig stofflich nutzen zu können. In diesem Zusammenhang ist jedoch von einem relativ kleinen Massenstrom die Rede, so dass die absoluten Umweltvorteile insgesamt von geringer Bedeutung sind.

- **Ersetzbarkeit von Holzsortimenten, Altholz vs. Industrieholz:**
Unbelastetes Altholz und Industrieholz sind weitgehend austauschbar, belastetes Altholz hingegen ist deutlich schlechter nutzbar.

Unbelastetes Altholz (Kategorien A I und A II) kann wie Industrieholz und andere Dendromasse vor allem für die Spanplattenproduktion oder z.B. in Biomasse(heiz)kraftwerken eingesetzt werden²¹. In diesen energetischen Nutzungsformen wird derzeit sowohl Frischholz als auch wenig belastetes Altholz in großen Mengen bei gleicher Effizienz eingesetzt. Daher sind die Sortimente *unbelastetes Altholz und Industrieholz* in großem Umfang austauschbar und aus Umweltschutzsicht folglich in etwa *gleichwertig*.

Reine Biomassekraftwerke ohne Wärmenutzung schneiden schlechter ab, sind aber bei hocheffizienter Stromproduktion eine Alternative für belastetes Altholz (Kategorien A III und A IV). In Deutschland sind dies vor allem Großanlagen, die über effiziente Filtertechniken, aber oft nicht über Wärmeabnehmer verfügen. Daher und weil es nicht stofflich genutzt werden kann, ist *belastetes Altholz* zusätzlich zu der direkten Schadstoffbelastung auch hinsichtlich der Nutzungsoptionen aus Umweltschutzsicht deutlich *minderwertiger als Industrieholz*.

²¹ Der etwas höhere Aufwand, um die gesetzlichen Anforderungen an die Altholzqualität und die Emissionen einzuhalten, spielt bei der Bewertung aus Umweltschutzsicht dabei keine signifikante Rolle.

- **Stoffliche Nutzung vs. energetische Nutzung von Holz:**

Alle Holzsortimente werden in Deutschland irgendwann energetisch genutzt und eine vorherige stoffliche Nutzung kann Umweltvorteile und nur im Ausnahmefall Nachteile mit sich bringen. Eine Ausweitung der direkten energetischen Nutzung von Frischholz ist daher unter den meisten Bedingungen umweltschädlich.

Zunächst ist festzustellen, dass es in Deutschland keinen prinzipiellen Konflikt zwischen energetischer und stofflicher Nutzung von Holz gibt, da sämtliches Holz – mit oder ohne vorherige stoffliche Nutzung – energetisch verwertet wird²². Wenn daher eine vermehrte Kaskadennutzung (eine ein- oder mehrfache stoffliche Nutzung mit anschließender energetischer Verwertung) angestrebt wird, so steht auch nicht mehr Holz für die energetische Nutzung zur Verfügung (s. auch Anhang, Abb. 7-3). Wird allerdings das Ziel eines verstärkten Holzeinsatzes in Produkten (z.B. über eine vermehrte Kaskadennutzung) verfolgt, muss berücksichtigt werden, dass es einen Übergangseffekt gibt: Die Menge des energetisch nutzbaren Roh- und Altholzes verringert sich heute und steigt dafür später nach der Stabilisierung der in Produkten genutzten Holzmenge wieder an. Im Gegensatz dazu schließt allerdings eine verstärkte direkte energetische Holznutzung eine stoffliche Nutzung im derzeitigen Umfang aus – einmal verbranntes Holz kann nicht mehr verwendet werden.

Unter derzeitigen Randbedingungen schneidet die stoffliche Nutzung von Holz – egal ob Frischholz oder Altholz – mit anschließender energetischer Verwertung im Vergleich zur direkten energetischen Nutzung in vergleichbaren Anlagen in allen betrachteten Kategorien positiv oder ähnlich gut ab. Die Holzprodukte lassen sich dabei in zwei Klassen einteilen: Massivholzprodukte, welche generell einen geringen Produktionsaufwand verursachen, aber aus Stammholz hergestellt werden müssen, und aufwendige Holzprodukte wie Holzwerkstoffe, die auch aus minderwertigeren Holzsortimenten hergestellt werden können. Die meisten Holzprodukte, die hohe Umweltentlastungen erzielen, sind dabei Massivholzprodukte. Ein herausragendes positives Beispiel ist hier Brettschichtholz in tragenden Konstruktionen im Baubereich. Sehr gute Ergebnisse werden aber auch beispielsweise erzielt, wenn durch MDF-Platten aufwendige Formteile aus Duroplast ersetzt werden. Wenn Spanplatten im Möbelbereich statt Stahlblech oder Bauholz im Innenausbau statt Ständern aus Stahlprofilen eingesetzt werden, entstehen beispielsweise nur leichte Vorteile gegenüber einer energetischen Nutzung, während der Einsatz von Spanplatten im Innenausbau statt Gipsfaserplatten stärker nachteilig ist. Einen Sonderfall stellt die chemische Umwandlung von Holz in Chemiegrundstoffe z.B. zur Produktion von Harnstoff-Formaldehyd-Harz dar. Auf dem gegenwärtigen Stand der Technik ist die untersuchte Option nachteilig gegenüber einer energetischen Holznutzung hinsichtlich Energiebedarf und Treibhauseffekt.

Wegen der deutlichen Umweltvorteile und der hohen Substitutionspotenziale (s.o.), die durch die stoffliche Nutzung von Stammholz realisiert werden können, sollte daher eine direkte energetische Nutzung von Stammholz vermieden werden. Ein besonderer Fall ist

²² Bei einigen stofflichen Nutzungsformen fällt auch eine große Menge (in etwa die Hälfte) des Rohholzes als Restholz an, welches in der Holzverarbeitenden Industrie in der Regel energetisch genutzt wird, obwohl es auch stofflich genutzt werden könnte. Dieser Teil steht folglich nicht mehr für eine anschließende energetische Nutzung in Form von Altholz zur Verfügung. Dies kann als Mischform von stofflicher und energetischer Nutzung gesehen werden.

hierbei die weit verbreitete Verbrennung des Stammholz als Scheitholz in Scheitholzöfen in Privathaushalten (vgl. Kap. 3.4.1). Zusätzlich zur entgangenen hochwertigen stofflichen Nutzung des Stammholzes stellt Scheitholz einen Brennstoff dar, dessen Verbrennung in Scheitholzöfen aufgrund der hohen, oft zu hohen Feuchtigkeit, der nicht optimierten Verbrennung und schlechten Wärmeausbeute mit geringer Einsparung an fossilen Energien und Treibhausgasen, aber hohen Partikel- und anderen Schadstoffemissionen verbunden ist. Bei minderwertigeren Holzsortimenten hängt es stark von der konkreten Nutzungsform ab, ob eine stoffliche Nutzung mit anschließender energetischer Nutzung unter heutigen Randbedingungen umweltfreundlicher ist als eine direkte energetische Nutzung oder ob sie in etwa gleichwertig sind. Deutlich nachteilig ist eine stoffliche Nutzung nur in Sonderfällen, wie z.B. einer noch nicht ausgereiften chemischen Konversion.

Ein detaillierteres Bild ergibt sich, wenn man die absehbaren zukünftigen Entwicklungen berücksichtigt, die sich aufgrund der langen Lebensdauer von Holzprodukten ergeben. Dazu mehr in Kapitel 5.1.4.

- **Mehrstufige Kaskadennutzung:**

Eine stoffliche Nutzung von Altholz im Rahmen einer Nutzungskaskade bringt solange keine entscheidenden zusätzlichen Vorteile gegenüber einer stofflichen Nutzung von Frischholz, wie noch viel Frischholz verbrannt wird.

Die mehrstufige Kaskadennutzung ist eine Form des mehrfachen stofflichen Recyclings. Holz wird in immer minderwertigeren Formen (daher Kaskade) zunächst stofflich und abschließend energetisch genutzt. Große Umweltvorteile, die nur in der Kaskadennutzung entstehen können, ergeben sich hier durch eine möglichst lange Nutzungsdauer und Wiederverwendung des Holzes sowie hochwertige Nutzung von Altholz in Form von Vollholzprodukten. Allerdings entsteht durch weitere Recyclingschritte in Form von Spanplatten unter den gegebenen Bedingungen kein zusätzlicher Vorteil verglichen mit der Herstellung von Spanplatten aus Frischholz. Da derzeit sehr große Mengen sowohl von Altholz als auch von Frischholz mit vergleichbaren Umweltwirkungen energetisch genutzt werden, ist es aus Umweltschutzsicht unerheblich, ob Spanplatten oder andere Holzwerkstoffe aus Frischholz oder Altholz hergestellt werden.

- **Konsumverhalten:**

Auch das umweltfreundlichste Produkt verursacht Umweltschäden. Die geringste Umweltlast tritt dann auf, wenn die Herstellung eines neuen Produktes vermieden wird, z.B. durch die Reparatur eines defekten Produktes. Der Verbraucher trägt daher am ehesten zur Umweltentlastung bei, wenn er das umweltfreundlichste Produkt kauft, aber nicht zusätzlich.

Die Ergebnisse dieser Studie sind nur unter dem Ansatz gültig, dass die Menge der konsumierten Produkte, die in dem Nutzenkorb abgebildet wird, konstant bleibt. Eine stärkere Vermarktung umweltfreundlicherer Produkte bringt also nur dann tatsächlich Umweltvorteile, wenn dadurch weniger umweltschädliche Produkte verkauft werden. Die größten Umweltvorteile sind daher durch eine Reduzierung des Konsums zu erreichen. Außerdem wird die Lebensdauer von Holzprodukten insbesondere im Möbelbereich oft weniger durch die Haltbarkeit als durch modische Präferenzen begrenzt. Hier kann die Möglichkeit einer wenig aufwendigen Aufarbeitung oder Umgestaltung (z.B. bei Einbauküchen) oder ein verstärkter Handel mit gebrauchten Möbeln sehr große Umweltvorteile pro t eingesetztem Holz erzielen.

5.1.4 Zukünftige Entwicklungen

- **Entwicklungen im Energiesektor:**

Eine spätere energetische Holznutzung aufgrund einer vorherigen stofflichen Nutzung hat Vorteile durch eine zwischenzeitliche CO₂-Speicherung in den Holzprodukten, aber auch Nachteile, weil heute umweltschädlichere konventionelle Energie ersetzt werden könnte. Welcher Effekt überwiegt, ist wissenschaftlich umstritten.

In Zukunft sind geringere Treibhausgas-Emissionen aus der Energieerzeugung durch den Einsatz einer veränderten Mischung von Energieträgern zu erwarten²³. Dadurch entstehen dann kleinere Gutschriften für die energetische Holznutzung. Das kann auch dann nicht ausgeglichen werden, wenn die Effizienz der energetischen Holznutzung stärker steigt als die der fossilen Energieerzeugung. Gesondert betrachtet würde dies bedeuten, dass man Holz aus Klimasicht besser heute energetisch nutzen sollte, anstatt es in langlebigen Produkten einzusetzen, deren Treibhausgaseinsparungen gering sind, da die zukünftige energetische Nutzung in Form von Altholz geringere Umweltentlastungen erwarten lässt. Dem gegenüber steht eine zwischenzeitliche CO₂-Speicherung in Holzprodukten. Die Frage ist, ob die Nachteile durch geringere Emissionsminderungen in Zukunft durch Vorteile durch eine vorübergehende höhere CO₂-Speicherung aufgehoben oder sogar überkompensiert werden. In dieser Frage besteht derzeit kein wissenschaftlicher Konsens, sondern weiterer Forschungsbedarf, um zu einer zielführenden und konsistenten Bewertungsmethode zu gelangen.

- **Holz als permanenter Kohlenstoffspeicher:**

Das Anlegen eines Kohlenstoffspeichers in Holzprodukten durch eine dauerhaft verstärkte stoffliche Nutzung von Holz würde – zusätzlich zum Vorteil durch ersetzte Nicht-Holz-Produkte – heute eine leichte und zukünftig noch stärkere Klimaentlastung mit sich bringen.

Das Anlegen eines Kohlenstoffspeichers zum Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre z.B. in Form von langlebigen und immer wieder erneuerten Holzprodukten erzielt je nach Bewertungsmethode maximal Einsparungen von Treibhausgasen, die etwas über den derzeit realisierbaren Einsparungen bei der energetischen Nutzung von Holz liegen. Also lässt sich unter den angesetzten Bedingungen bei einer langfristig erhöhten stofflichen Nutzung von Holz etwas mehr Kohlenstoff binden als in den fossilen Energieträgern steckt, die durch den Verzicht auf die energetische Nutzung von Holz zusätzlich verbrannt werden müssen. Diese Tendenz wird sich in Zukunft verstärken, wenn erzeugte Energie im Allgemeinen klimafreundlicher wird.

Bei biologischen Kohlenstoffspeichern ist jedoch stets unsicher, inwieweit zukünftige Generationen diesen Speicher erhalten, also wie permanent die Kohlenstoffspeicherung tatsächlich ist. Dies gilt sowohl für Holzprodukte als Kohlenstoffspeicher als auch für Wälder, die von zukünftigen Generationen abgeholzt bzw. intensiver genutzt werden könnten. Allerdings kann auch eine Verschiebung der Emissionen um einige Jahrzehnte bereits als Beitrag zur Minderung des Klimawandels bzw. seiner negativen Effekte angesehen werden. In diesem Fall muss jedoch wie oben diskutiert abgewägt werden, ob der zusätzliche

²³ Dies beinhaltet nach dem Marginalansatz nicht den Anteil erneuerbarer Energien, sondern nur dann noch nötige relativ klimafreundliche fossile Energieträger (v.a. Erdgas).

Ausstoß von Treibhausgasen, der beim Anlegen der Kohlenstoffspeicher vor allem durch Verzicht auf die energetische Nutzung entstehen kann, durch die Verschiebung aufgewogen wird.

Außer der Betrachtung eines bestimmten Produktes oder einer Produktklasse (z. B. immer wieder erneuerte Holzhäuser) kann man auch die permanente Kohlenstoffspeicherung durch alle in Deutschland hergestellten Holzprodukte betrachten. Eine dauerhafte Ausweitung der stofflichen Holznutzung im Allgemeinen würde dazu führen, dass die durchschnittliche Menge der im Gebrauch befindlichen Holzprodukte und somit die Menge des gespeicherten Kohlenstoffs permanent steigen würde. In diesem Szenario ist die Bewertung des zusätzlichen Kohlenstoffspeichers relevant für die politische Entscheidung, ob eine Förderung der stofflichen Holznutzung allgemein sinnvoll ist. Hier wird deutlich, dass eine dauerhaft erhöhte stoffliche Holznutzung im Vergleich zur energetischen Nutzung – zusätzlich zum Vorteil durch ersetzte Nicht-Holz-Produkte – bei heutigen Bedingungen²⁴ leichte Klimavorteile erzielt und diese in Zukunft deutlich ausbauen wird.

- **Stoffliche vs. energetische Nutzung von Holz unter Berücksichtigung zeitlicher Aspekte:**

Unabhängig von Entwicklungen im Energiesektor oder anderen zeitlichen Aspekten ist eine möglichst hochwertige stoffliche Nutzung von Holz, d.h. eine solche, die hohe Treibhausgaseinsparungen ermöglicht, immer von Vorteil gegenüber einer direkten energetischen Nutzung (s. Kapitel 5.1.3, beispielsweise Holz in tragenden Konstruktionen im Bau). Für andere stoffliche Nutzungsformen hängt dies von vielfältigen Abwägungen ab, sie sind aber weiterhin eher positiv zu bewerten.

Wenn hinsichtlich der Klimawirkung unter heutigen Bedingungen neutrale Ergebnisse erzielt werden, haben zukünftige Entwicklungen jedoch einen deutlichen Einfluss auf das Ergebnis, vor allem weil zukünftig klimaschonendere Energiequellen zur Verfügung stehen werden. Dies ist z. B. der Fall bei einem verstärkten Einsatz von Altholz für die Produktion von Spanplattenmöbeln. Generell bewirkt diese Art der heutigen stofflichen Nutzung mit späterer energetischer Nutzung eine stärkere vorübergehende Senkung der Treibhausgasemissionen, während eine sofortige energetische Nutzung im Vergleich dazu vorübergehend höhere Emissionen, aber eine stärkere langfristige Emissionssenkung verursacht. Dieser Konflikt wird sich in wenigen Jahrzehnten allerdings auflösen, da zu erwarten ist, dass dann auch solche stofflichen Holznutzungsformen, die heute keine großen Klimavorteile erzielen, sowohl temporär als auch langfristig vorteilhaft sein werden. Heute ist aber abzuwägen, ob eine temporäre oder langfristige Senkung der Emissionen wichtiger ist. In diese Entscheidung müssen auch weitere Faktoren einfließen, die in dieser Studie nicht oder nicht abschließend betrachtet wurden: Wie werden Kapazitäten von CO₂-Senken oder Kippunkte (tipping points) der Klimaerwärmung beeinflusst? Inwieweit

²⁴ Aus den zugrunde gelegten Randbedingungen (Marginalansatz für ersetzte Energie, s. Kapitel 2.3.3) ergibt sich bei dauerhaft erhöhter stofflicher Holznutzung für eine Übergangszeit u.a. der Zubau eines Mixes aus neuen Kohle- und Erdgaskraftwerken anstatt neuer Biomasse(heiz)kraftwerke – mit dargelegten leicht positiven Gesamtauswirkungen auf das Klima. Falls durch eine begleitende Änderung der politischen Rahmenbedingungen verstärkt neue Erdgas(heiz)kraftwerke anstatt neuer Kohlekraftwerke gebaut würden, würde auch heute schon ein deutlicher zusätzlicher Vorteil für die dauerhafte Ausweitung der stofflichen Holznutzung gegenüber der direkten energetischen Holznutzung bestehen.

vereinfacht eine verlangsamte Klimaerwärmung die Anpassung von Mensch und Umwelt? Schafft man schwer zu ändernde Strukturen, die zukünftig tendenziell nachteilig sind, wenn man sich jetzt für eine verstärkte energetische Nutzung von Holz entscheidet? Darüber hinaus wird durch eine verstärkte stoffliche Nutzung von Holz ein verstärktes Altholzaufkommen in Zukunft verursacht. Die Erhöhung dieses Altholzpotenzials ist eine sehr umweltfreundliche Möglichkeit, in Zukunft auch in großem Umfang mehr Holz zur Verfügung zu stellen (DGFH 2001) und verursacht im Gegensatz zu den meisten anderen Formen der Holzbereitstellung keine Landnutzungs- oder Rohstoffkonflikte. Werden Holzkaskadennutzungen zukünftig wesentlich weiter verbreitet sein und Holz insgesamt stärker stofflich genutzt werden? Dies würde bei Betrachtung der durchschnittlich vorhandenen Holzmengen dem oben diskutierten Anlegen von permanenten Kohlenstoffspeichern entsprechen. Oder ist in Zukunft eine permanente Kohlenstoffspeicherung durch Holzverbrennung mit CO₂-Abscheidung (carbon capture and storage) eine realistische Option? Da alle diese zumindest in diesem Kontext noch offenen Fragen hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen potenziell nur *für* eine verstärkte stoffliche Holznutzung sprechen können, sind keine Einschränkungen der aus Umweltschutzsicht im Allgemeinen positiven Bewertung der stofflichen Nutzung gegenüber der direkten energetischen Nutzung zu machen.

- **Neue Formen der chemischen Umwandlung von Holz:**

Diese wurden hier nur eingeschränkt betrachtet, müssen aber wegen der meist noch unzureichenden Konversionsgrade noch weiterentwickelt werden, bevor Umweltvorteile zu erwarten sind.

Es werden derzeit verschiedene Verfahren entwickelt, holzartige Biomasse als Rohstoff für die chemische Industrie anstelle von Erdöl oder Erdgas einzusetzen. Exemplarisch wurde hier die Produktion von Harnstoff-Formaldehyd-Harz aus Holz betrachtet, wobei die Daten jedoch auf Literaturstudien noch nicht großtechnisch verfügbarer Anlagen basieren und entsprechend unsicher sind. Dieser Leim aus Holz erzeugt demnach zwar weniger Umweltlasten als konventioneller Leim, jedoch können aufgrund hoher Umwandlungsverluste durch die gleiche Holzmenge in jeder Form der energetischen Nutzung größere Umweltentlastungen erzielt werden. Begrenzte Holzmengen sollten also nicht für die hier bilanzierte Art der chemischen Umwandlung eingesetzt werden, solange die Effizienz nicht gesteigert werden kann.

Derzeit viel diskutierte „Multi-Input-/Multi-Output“-Bioraffineriekonzepte auf Basis von holzartiger Biomasse können vor allem dann echte Umweltvorteile erzielen, wenn die einzelnen chemischen Holzbestandteile möglichst ohne große Veränderungen möglichst hochwertig eingesetzt werden. Außerdem kann dort Biomasse eingesetzt werden, die für klassische Holznutzungen nicht geeignet ist, wie z. B. verholzte Gräser.

- **Treibstoffe aus Holz:**

Diese wurden hier ebenfalls nur eingeschränkt untersucht und sind aus Umweltschutzsicht eher nachteilig.

Zukünftige Technologien, bei denen Holz in andere Energieträger wie Kraftstoffe umgewandelt und dann verbrannt wird, lassen wegen unvermeidbarer Konversionsverluste eher Nachteile gegenüber herkömmlicher energetischer Holznutzung erwarten. Allerdings kann diese Technologie zukünftig möglicherweise nicht anders bereitstellbare Transportdienstleistungen sicherstellen wie z. B. durch die Erzeugung von Kerosin.

5.2 Handlungsempfehlungen

5.2.1 An die Politik

- Die Politik sollte vorrangig die ökologisch vorteilhaften stofflichen Nutzungsformen von Holz fördern. Durch ein- oder mehrfache Kaskadennutzungen lassen sich Umweltlasten reduzieren und die zukünftigen Altholzpoteziale auf ökologisch verträgliche Weise erhöhen. Zudem steigt bei zunehmender Substitution von Nicht-Holz-Produkten der Kohlenstoffspeicher im verarbeiteten Holz an. Allerdings führt dies auch zu einer vorübergehenden Verringerung der energetisch nutzbaren Holzmenge. Die Förderung könnte zum Beispiel geschehen durch folgende Ansätze:
 - Förderung von ökologisch vorteilhafter stofflicher Nutzung von Holz wie beispielsweise Stammholz im Baubereich, insbesondere an Stelle von Mauerwerk und Stahlträgern: Hier sollte zumindest eine Benachteiligung durch eine Förderung der energetischen Holznutzung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und Marktanzreizprogramm (MAP) einerseits und Ausnahmen z. B. für die Stahl-, Zement- und Aluminiumindustrie bei Emissionshandel und EEG-Umlage andererseits ausgeglichen werden. Dies kann mittels eines Zuschusses pro t umweltfreundlicher Holzprodukte geschehen. Alternativ könnte die energetische Nutzung von stofflich sehr gut einsetzbaren Holzsortimenten wie Stammholz von der EEG-Förderung ausgenommen werden. Durch diese Förderung besonders umweltfreundlicher Nutzungsformen könnten Marktverschiebungen wie in Kapitel 3.4.2 diskutiert ausgelöst werden. Diese haben dann insgesamt positive Umweltauswirkungen, wenn die Förderung wie hier vorgeschlagen zielgerichtet bei bestimmten Anwendungen und nicht allgemein z. B. für eine Stammholznutzung gewährt wird.
 - Zeitliche Fortschreibung: Perspektivisch sollte diese Förderung auch auf energieintensivere Holzprodukte ausgedehnt werden, deren Umweltauswirkungen derzeit ähnlich denen der energetischen Holznutzung sind, da erzielbare Umweltentlastungen durch eine energetische Nutzung von Holz anstelle von fossilen Energieträgern höchstwahrscheinlich stetig fallen werden. Als Grundlage der Förderungsfähigkeit sollten die Produktklassen und deren Konkurrenzprodukte auf dem Markt mittels Ökobilanzen untersucht werden und einzelne Produkte sollten auf Basis der Treibhausgasemissionen zertifiziert werden, falls die Produktionsbedingungen einen großen Einfluss auf das Ergebnis haben.
 - Förderung der Wiederverwendung von gebrauchten Möbeln: Hier können Politiker z. B. auf kommunaler Ebene aktiv werden, indem sie einen „Möbeltausch“ aktiv befördern. Sperrmülltage (anstelle von Abholung auf Anruf) und Gebrauchtmöbelbörsen können hierzu ein Weg sein. Schon vorhandene Projekte beispielsweise zur Wiedereingliederung von Langzeitarbeitslosen bieten hier auch unter dem sozialen Aspekt der Nachhaltigkeit ein gutes Beispiel.
 - Förderung der Erschließung bisher nicht bzw. schlecht genutzter Altholzpoteziale z. B. im Hausmüll oder Sperrmüll. Wichtig ist hierbei die Erfassung des Altholzanteils aus dem Sperrmüll (ca. 50 %). Dementsprechend wäre es von Bedeutung, eine Pflicht für

die jeweiligen Entsorgungsträger zur getrennten Sammlung des Altholzes im Rahmen von Bring- oder Holsystemen hinsichtlich ihrer diesbezüglichen Wirkungen zu prüfen. Zur Vermeidung von ineffizienten und damit aus Umweltschutzsicht nachteiligen Transporten in privaten PKW erscheinen allerdings Bringsysteme lediglich als Ergänzung und nicht als Standardlösung sinnvoll. Falls die Getrennterfassung technisch oder ökonomisch nicht umsetzbar ist, müsste eine Aussortierung des Altholzanteils aus dem Sperrmüll gefordert werden. Weiterhin müssten die Entsorgungsträger – wie es auch für andere Abfallfraktionen sinnvoll wäre – in diesem Kontext einer Nachweispflicht über die möglichst hochwertige Nutzung / Verwertung des Altholzes unterliegen (Stichwort: Vermeidung der Verwertung in einer MVA). Ein weiterer wichtiger Aspekt ist eine Verbesserung der Qualifikation der Entsorgungsunternehmen zur Erkennung von Altholzqualitäten und deren Sortierung.

- Angesichts des steigenden Holzbedarfs und somit einer zu erwartenden Steigerung von Holzimporten sollten Nachhaltigkeitskriterien von flüssigen Bioenergieträgern auf feste Bioenergieträger (wie auch gasförmige) ausgeweitet werden. Derzeit in dieser Richtung erarbeitete EU-Richtlinien sollten als Grundlage für die Förderung der energetischen Holznutzung nach dem EEG herangezogen werden. Falls eine ausgleichende Förderung von umweltfreundlicher stofflicher Holznutzung eingeführt werden sollte, sollten die gleichen Nachhaltigkeitskriterien angewandt werden. Es ist ebenfalls zu überlegen, ob erhöhte Importzölle auf Biomasse aus umweltschädlichen Quellen erhoben werden sollten oder unter welchen Bedingungen der Import untersagt werden sollte.
- Da Umweltwirkungen durch KUF und das Ausmaß einer Verdrängung der Nahrungsmittelproduktion vom Standort abhängen, könnte eine Ausweisung von geeigneten Flächen zu einem nachhaltigen Anbau von Kurzumtriebsholz beitragen. Wie das Anlegen von KUF gesteuert werden sollte, ist dabei noch zu untersuchen. Theoretisch wären sowohl eine Förderung auf geeigneten Flächen als auch ein Verbot auf ungeeigneten Flächen denkbar.
- Aufforstungsprogramme oder das Anlegen von KUF sollten auch international unterstützt werden, und zwar vor allem dort, wo sich dadurch auch andere positive Auswirkungen und lokaler Nutzen ergeben. Dabei muss aber genau wie in Deutschland beim Anlegen von KUF auf Flächenkonkurrenzen geachtet werden.
- Vor dem Hintergrund der vorliegenden Ergebnisse wird die geringere Förderung von wertvollem Waldholz im EEG 2012 begrüßt. Somit können diese Hölzer langlebigen Nutzungen zugeführt werden. Für importierte Hölzer gilt es zu prüfen, welche Nachhaltigkeitsstandards hier sinnvoll sind, um die Abholzung von bisher nicht genutzten Wäldern mit hohen Kohlenstoffspeichern – z.B. im Bereich der Tropen – zu vermeiden. Auch indirekte Landnutzungsänderungen wie die Abholzung von Tropenwäldern sollten dabei berücksichtigt werden. Diese können bei einem verstärkten Import von Holz oder von Nahrungsmitteln entstehen. Ein begleitendes Monitoring der Import- und Exportverschiebungen von Nahrung und anderer Biomasse sowie von Landnutzungsänderungen im Herkunftsland könnten Aufschluss darüber geben, welche Biomasse aus welchen Ländern von einer Förderung ausgeschlossen werden sollte, um den Anreiz zu nachteiligen Landnutzungsänderungen zu vermindern.

Durch eine verstärkte stoffliche Nutzung von Holz in oben genannten besonders nachhaltigen Produkten würde aber viel mehr Energie z.B. in der Stahl- oder Zementindustrie eingespart werden, als bei der Verbrennung des Holzes erzeugt werden könnte. Daher ist ein Ausbau der energetischen Nutzung von Holz unter diesen Umständen nicht nachhaltig. Auch eine Förderung der Mitverbrennung von Holz in Kohlekraftwerken ist aufgrund des langfristigen Drucks auf Holzressourcen und seiner Implikationen für die Nachhaltigkeit wenig sinnvoll, obwohl dies eine hocheffiziente Form der energetischen Nutzung ist.

- Die Wärmenutzungsanteile der Biomasse(heiz)kraftwerke sollten möglichst ausgebaut werden. Hierzu könnten Anreizregulierungen geschaffen werden, welche gleichzeitig die Einbindung der Kraftwerke im Strommarkt sicherstellen. Die ökonomischen und ökologischen Wirkungen solcher Maßnahmen sind jedoch vorher durch dementsprechende Studien zu untersuchen.
- Hinsichtlich einer anzustrebenden Vermeidung der energetischen Nutzung von Stammholz als Scheitholz in Scheitholzöfen sollte die BlmschV in stärkerem Maße als Kontrollinstrument genutzt werden. Dies erfordert eine striktere und ausgeweitete Messung (von mehr emittierten Verbindungen), die Schornsteinfeger standardmäßig in Privathaushalten durchführen.
- Schließlich sollte durch geeignete Werbe- und Bildungskampagnen der Weg geebnet werden zu stärkerer Ressourcenschonung, auch im Holzsektor. Ein Ziel könnte beispielsweise sein, den Pro-Kopf-Papierverbrauch zu senken. Hier nimmt Deutschland derzeit weltweit eine Spitzenposition ein.

5.2.2 An die holzverarbeitende Industrie

- Jedes Holzsortiment sollte **so hochwertig wie möglich** eingesetzt werden. Die Produktion von Vollholzbauteilen ist dabei in den meisten Fällen ökologisch besonders vorteilhaft. Stärkere Automatisierung kann helfen, niedrigere Holzqualitäten wirtschaftlich zu Produkten höherer Qualität zu machen.
- Spanplatten und vergleichbare Holzwerkstoffe sind sehr wichtige Holzprodukte, die eine Verwendung von kleinteiligem Holz (Dendromasse) und Altholz erlauben, allerdings gegenüber anderen Holzprodukten in der Herstellung sehr energieaufwendig sind. Es sollte daher verstärkt nach **neuen ressourcen- und energieeffizienten Verfahren** gesucht werden, Holzwerkstoffe herzustellen. Wie schon in den letzten Jahren geschehen, sollte beispielsweise geprüft werden, ob weniger oder umweltfreundlicherer Leim eingesetzt werden kann, ob leichtere Holzwerkstoffe mit ansonsten gleichen Eigenschaften hergestellt werden können wie z.B. Sandwichplatten oder ob die Lebensdauer der Produkte verbessert werden kann.
- Die Plattenhersteller sollten prüfen, inwieweit sie durch **automatisierte Verfahren der Qualitätskontrolle** größere Altholzmengen sowie Frischholz schlechterer Qualität einsetzen können. Besonders vorteilhaft ist die **Verwendung von kompletten Altholzteilen**, z.B. in der Möbelindustrie, oder die Produktion von Leimholz aus Altholz. Die Nutzung von Altholz zur Produktion von Spanplatten ist aus Umweltschutzsicht ähnlich vorteilhaft wie die Nutzung von z.B. Industrieholz.

- Um die **Wiederverwendbarkeit von Altholz** zu verbessern, sollte in der Holzverarbeitung möglichst auf den Einsatz von Schadstoffen und schwer recycelbaren Materialien verzichtet werden.
- Holz sollte verstärkt in Nischenanwendungen eingesetzt werden, in denen besonders aufwendige Materialien ersetzt werden (z.B. MDF statt Duroplast in Toilettensitzen).
- Es sollte nach Wegen der **Wiederverwendung von Holzprodukten** gesucht werden, wie, z.B. alte Möbel effizient aufgearbeitet oder umgestaltet und aktuellen Trends angepasst werden können. Dies betrifft sowohl die vorausschauende Konstruktion neuer Möbel als auch das Finden innovativer Lösungen für alte Möbel. Ein positives Beispiel ist hier die aufkommende Entwicklung, veraltete und abgenutzte Türen und Dekorelemente von Einbauküchen auszutauschen, wenn der Korpus weiterhin benutzbar ist. Dies kann zu einem wichtigen Wettbewerbsvorteil für heimische Hersteller werden, die auch nach Jahrzehnten noch aufzufinden sind sowie für flexible innovative Unternehmen, die mit Hilfe moderner Technologien die Vorteile von individuellen Lösungen und Massenfertigung verbinden können.

5.2.3 An Betreiber von Biomasse(heiz)kraftwerken

- Ein hoher Gesamtnutzungsgrad ist aus Umweltschutz- wie aus ökonomischer Sicht die entscheidende Stellgröße. Bestehende Biomasseheizkraftwerke sollten daher zum Erreichen hoher Wärmenutzungsgrade möglichst wärmegeführt betrieben werden.
- Es sollte möglichst (nur) minderwertiges Holz genutzt werden, das sich nicht für eine stoffliche Nutzung eignet. Dazu zählt insbesondere kleinteiliges Holz oder bei entsprechender Genehmigung belastetes Altholz. Hochwertige Holzsortimente wie Stammholz sollten möglichst gar nicht energetisch genutzt werden.
- Der Ausbau von Kapazitäten sollte nur für KWK-Anlagen erfolgen und nur dort, wo nahezu vollständige Wärmenutzung zu erwarten ist. Eine nachhaltige Versorgung mit Holz ist dabei aber zuvor im regionalen Kontext zu untersuchen.
- Zur Verbesserung der Umweltwirkungen des Gesamtlebenswegs sollten Aschen aus der Verbrennung naturbelassener Hölzer als Düngemittelzusatzstoff verwendet werden.

5.2.4 An Architekten und Bauingenieure

- Im Hausbau sollte verstärkt Holz eingesetzt werden, vor allem in tragenden Konstruktionen und im Ersatz von Mauerwerk.
- Für den Trockenbau und die Dämmung sollte z.B. anhand der Environmental Product Declaration (EPD) überprüft werden, dass die verwendeten Spanplatten bzw. Holzfaserdämmstoffe bei gleichem Nutzen nicht schlechter als ihre Alternativen Gipsfaserplatten bzw. Steinwolle abschneiden.

5.2.5 An Verbraucher

- Alle Produkte sollten so lange wie möglich verwendet werden, um unnötigen Konsum zu begrenzen. Das wirkt sich positiv auf Umwelt und Kosten aus. Es empfiehlt sich daher bereits beim Einkauf auf hochwertige Verarbeitung und lange Lebensdauer zu achten.
- Bewusster, sparsamer Umgang mit Verbrauchsartikeln – aus Holz sind hier besonders Papier und Pappe in Druck-Erzeugnissen, Verpackungen und Hygieneartikeln gemeint – hilft, Umwelt und Geldbeutel zu schonen. Ein Beispiel: Überlegen Sie sich, welche E-Mail Sie ausdrucken müssen und ob Sie Werbebroschüren, Prospekte und Kataloge wirklich in Ihrem Briefkasten haben wollen.
- Holzprodukte, die nicht mehr benötigt werden oder nicht mehr dem eigenen Geschmack entsprechen – insbesondere Möbel – haben häufig für andere Verbraucher einen höheren Wert. Statt Entsorgung sollten diese Möbel daher auf jeden Fall verkauft oder unentgeltlich an Möbelbörsen oder andere Nutzer weitergegeben werden.
- Umgekehrt sollten bevorzugt gebrauchte Möbel anstelle von Neuware gekauft werden, selbst wenn letztere aus nachhaltiger Holzwirtschaft stammt. Alternativ sollte das Angebot an Massivholzmöbeln aus Recycling- oder aufgearbeitetem Altholz wahrgenommen werden, auch wenn dieses mengenmäßig eher begrenzt verfügbar ist.
- Holz als Baumaterial – insbesondere in Wänden und tragenden Konstruktionen – ist eine umweltfreundliche Alternative zu anderen Baustoffen. Dies sollte bei der Planung eines Wohnhauses bedacht werden.
- Es sollte möglichst auf die Verfeuerung von Stammholz in Form von Scheitholz in privaten Scheitholzöfen verzichtet werden, da dies mit hohen Umweltlasten verbunden ist und teilweise Stammholz der stofflichen Verwertung entzieht. Letztere ist wiederum in Abhängigkeit vom Substitutionsprodukt mit großen Umweltvorteilen verbunden ist.

5.3 Ausblick

Obwohl diese Studie die Fragen der Holznutzung auf umfassende Art angegangen ist, mussten im Rahmen der zur Verfügung stehenden Mittel einige weniger zentrale Themen zurückgestellt werden. **Forschungsbedarf** ergibt sich aus dem Projekt insbesondere hinsichtlich folgender Aspekte:

- **Langfristige Aussagekraft der Ökobilanz-Ergebnisse:** Die zukünftigen Änderungen im Energie- und Wirtschaftssystem führen dazu, dass sich auch die Umweltwirkungen einzelner Produkte, Holzlebenswege und Kaskaden verändern. Vor diesem Hintergrund ist eine Dynamisierung der Ökobilanzen sinnvoll, die die resultierenden Umweltwirkungen unter verschiedensten Randbedingungen darstellen kann.
- **Nutzung von Holz in der chemischen Industrie und im Rahmen anderer innovativer Nutzungsformen:** Aufgrund der zu erwartenden Verknappung fossiler Kohlenstoffquellen ist in der chemischen Industrie längerfristig eine Verlagerung der Rohstoffbasis hin zu biomassebasiertem Kohlenstoff absehbar. Die Untersuchung der Auswirkungen dieser Umstellung sowie das Aufzeigen optimierter Nutzungsstrategien für den Rohstoff Holz unter Einbindung der Chemieindustrie wären hierbei von großem ökologischem sowie

ökonomischem Interesse. Dies ist sowohl im Großen unter dem Stichwort Bioraffinerie zu untersuchen als auch im Kleinen, wo innovative Verfahren die Nutzung von Holz oder Holzbestandteilen in neuen Anwendungsgebieten ermöglichen. Ein seit einigen Jahren schon durchgesetztes Beispiel ist hier die Verwendung von Holzfasern im Rahmen von wood plastic composites (WPC), ein anderes die Nutzung von Lignin als Basis für die Herstellung von Bindemitteln für Holzprodukte.

- **Erschließung neuer Rohstoffquellen:** Die in den kommenden zehn Jahren zu erwartende erhebliche „Holzlücke“ erfordert die Umsetzung neuer Konzepte der Rohstoffbeschaffung. Größere ungenutzte nachhaltige Potenziale sind noch im Bereich des Reststrohaufkommens vorhanden. Hier sind verstärkt Untersuchungen erforderlich, wie diese als (teilweiser) Ersatz für holzartige Biomasse in der energetischen und stofflichen Nutzung einsetzbar sind.
- **Holz im Kontext des Biomasseaktionsplans:** Stärkerer Fokus sollte zukünftig auf die Umsetzung einer ökologisch optimierten Aufteilung verschiedener Biomasserohstoffe auf die Nutzungsbereiche in der verarbeitenden Industrie, der Energie und dem Verkehr gelegt werden. Hier bietet die Kaskadennutzung gute Ansätze, muss aber im Einzelfall optimiert werden. Dazu ist es notwendig, potenzielle Holzkaskaden im Praxistest bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Bedürfnisse nach Energie und Holzwerkstoffen bzw. anderen Holzprodukten zu überprüfen.
- **Kohlenstoffspeicherung:** Forschungsbedarf besteht ferner hinsichtlich der Bewertung von Holz als temporärem oder kontinuierlichem Kohlenstoffspeicher, sowohl im Wald als auch in Holzprodukten. Dabei sind verschiedene Waldbausysteme, Produktlebensdauern, Recyclingzyklen und Energieszenarien für die Zukunft zu berücksichtigen.
- **Nutzung von Hölzern im Verpackungsbereich:** In einigen Szenarien zeigen Holzverpackungen und andere kurzlebige Holzprodukte möglicherweise günstigere Umweltwirkungen auf als Kunststoffverpackungen, wenn sie in eine Kaskadennutzung eingebunden sind. Aufgrund relativ großer Mengen, die in diesem Bereich umgesetzt werden, sollte untersucht werden, welche dieser Szenarien im Kreislaufwirtschaftsgesetz und der Verpackungsverordnung, aber auch auf europäischer Ebene besondere Berücksichtigung finden sollten.

Insgesamt macht die Studie deutlich, dass die stoffliche Holznutzung mit anschließender energetischer Entsorgung in den meisten Fällen Vorteile gegenüber der direkten energetischen Nutzung hat. Andererseits zeigt sich, dass Holz heute vielfach ineffizient zur energetischen Nutzung eingesetzt wird.

Da in Zukunft die stoffliche Nutzung von Holz gegenüber der energetischen Nutzung wahrscheinlich ihre Umweltvorteile ausbauen wird, kann es sinnvoll sein, entsprechende Rahmenbedingungen, die einer Umstrukturierung in dieser Richtung dienen, bereits jetzt zu beginnen. Auf diese Weise kann eine verzögerungsfreie und effiziente spätere Umsetzung unterstützt werden.

6 Literatur

- AGEB 2012: AG Energiebilanzen e.V.: Primärenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland 2010/2011. <http://www.ag-energiebilanzen.de>, abgerufen am 20.8.2012.
- Agethen, U.; Frahm, K.-J.; Renz, K.; Thees, E. P. 2008: Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte. Bund Technischer Experten e.V., Arbeitsblatt der BTE-Arbeitsgruppe Lebensdauer von Bauteilen, Zeitwerte. Stand 14.03.2008
- AgroForNet: Informations-Plattform Energieholz-Portal im Rahmen des Projektes AgroForNet. <http://www.agrofor.net>
- AGROWOOD: Projekt: Anbau, Ernte und Verwertung schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen. <http://www.agrowood.de>
- Alakangas, E. et al. 2011 (30 Autoren): Solutions for biomass fuel market barriers and raw material availability. Summary of the EUBIONET III project results VTT-M-06463. Jyväskylä, October 2011.
- Albrecht, S.; Rüter, S.; Welling, J.; Knauf, M.; Mantau, U.; Braune, A.; Baitz, M.; Weimar, H.; Sörgel, S.; Kreissig, J.; Deimling, J.; Hellwig, S. 2008: Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Nr. 2008/5.
- Arnold, K., Bienge, K., von Geibler, J., Ritthoff, M., Targiel, T., Zeiss, C., Meinel, U., Kristof, K., Bringezu, S. 2009: Klimaschutz und optimierter Ausbau erneuerbarer Energien durch Kaskadennutzung von Biomasse. Wuppertal Report Nr. 5, Dezember 2009. www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/wr5.pdf
- Arnold, K., Targiel, T., Zeiss, C., Maga, D., Knappertsbusch, V., Pflaum, H., Fritsche, U., Hünecke, K., Wiegmann, K., Hennenberg, K., Rausch, L. 2011: BioCouple – Kopplung der stofflich/energetischen Nutzung von Biomasse - Analyse und Bewertung der Konzepte und der Einbindung in bestehende Bereitstellungs- und Nutzungsszenarien, Endbericht von Wuppertal-Institut, Fraunhofer UMSICHT und Öko-Institut zum BMU-geförderten Vorhaben FKZ-Nr. 03 KB 006 A-C, Wuppertal/Oberhausen/Darmstadt
- BBSR 2011: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung: Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), Stand 07.07.2011.
- BMU 2005: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung).
- BMU 2007: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt.
- BMU 2012: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt.
- BMWi 2012: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Gesamtausgabe der Energiedaten. Datensammlung des BMWi. Letzte Aktualisierung: 19.04.2012. <http://www.bmwi.de/Navigation/Technologie-und-Energie/Energiepolitik/energiedaten.html>, abgerufen am 16.8.2012.

- Bowyer, C.; Baldock, D.; Kretschmer, B.; Polakova, J. 2012: The GHG emissions intensity of bioenergy: Does bioenergy have a role to play in reducing GHG emissions of Europe's economy? Institute for European Environmental Policy (IEEP): London.
- Brandão, M.; Levasseur, A.; Kirschbaum, M.U.F.; Weidema, B.P.; Cowie, A.L.; Jorgensen, S.V.; Hauschild, M.Z.; Pennington, D.W.; Chomkamsri, K. 2012: Key issues and options in accounting for carbon sequestration and temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting, In: *Int J Life Cycle Assess.*
doi 10.1007/s11367-012-0451-6
- Burger, F. 2006: Zur Ökologie von Energiewäldern. In: *Schr.-R. d. Deutschen Rates für Landespflege* 79: 74-80.
- DBFZ 2011: Deutsches BiomasseForschungsZentrum: Monitoring zur Wirkung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Biomasse. Zwischenbericht. Leipzig.
- DBU 2010: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU): Kurzumtriebsplantagen. Handlungsempfehlungen zur naturverträglichen Produktion von Energieholz in der Landwirtschaft. Ergebnisse aus dem Projekt Novalis.
- Delucchi, M. 2011: A conceptual framework for estimating the climate impacts of land-use change due to energy crop programs. In: *Biomass and Bioenergy* 35: 2337-2360.
- DENA 2011: Vogel, C.; Herr, M.; Edel, M.; Seidl, H. (Deutsche Energie-Agentur GmbH): Die Mitverbrennung holzartiger Biomasse in Kohlekraftwerken. Ein Beitrag zur Energiewende und zum Klimaschutz? Berlin.
- DeStatis 2012: Bevölkerungsstand. Bevölkerung am 31.12.2010.
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabellen/GeschlechtStaatsangehoerigkeit.html> - abgerufen 20.08.2012.
- DGfH 2001: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.: Holz – Rohstoff der Zukunft, nachhaltig verfügbar und umweltgerecht. September 2001.
- EC 2010a: European Commission: Bericht der Kommission über indirekte Landnutzungsänderungen im Zusammenhang mit Biokraftstoffen und flüssigen Biobrennstoffen. Brüssel.
- EC 2010b: European Commission: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. General guide for life cycle assessment – detailed guidance. Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Ecoinvent 2010: Frischknecht, R. et al.: ecoinvent Data V2.2 – Ökoinventare für Energiesysteme. ESU-services, Uster, Switzerland.
- Edwards, R.; Mulligan, D.; Marelli, L. 2010: Indirect land use change from increased biofuels demand. Comparison of models and results for marginal biofuels production from different feedstocks. JRC Scientific and Technical Reports 59771.
- Energiequelle Wallhecke: <http://www.energiequelle-wallhecke.de>
- EPEA Internationale Umweltforschung GmbH 2009: "CO₂-Speicherung und Wertschöpfung – Holznutzung in einer Kaskade" in Zusammenarbeit mit dem Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. (VHI), Gießen und dem Fraunhofer Institut für Holzforschung (Wilhelm-Klauditz-Institut WKI), Braunschweig, Hamburg.
- Erdmann, G.; Dittmar, L. 2010: Technologische und energiepolitische Bewertung der Perspektiven von Kraft-Wärme-Kopplung in Deutschland. TU Berlin 2010.

- Erler, J.; Becker, G.; Spellmann, H.; Dieter, M.; Ammer, C.; Bauhus, J.; Bitter, A.; Bolte, A.; Knoke, T.; Köhl, M.; Mosandl, R.; Möhring, B.; Schmidt, O.; Teuffel, K. v. 2012: Einseitig, widersprüchlich und teilweise falsch. Forstwissenschaftler bemängeln Umweltgutachten 2012 des SRU. Abgerufen am 14.09.2012.
http://www.forstverein.de/gfx/REDAKTION/SRU_Forstwissenschaftler.pdf
- Ettl, R.; Göttlein, A. 2007: Waldhackschnitzelproduktion in Fichtenreinbeständen. In: AFZ – der Wald 2007: 2-4.
- Fearnside, P. M.; Lashof, D. A.; Moura-Costa, P. 2000: Accounting for time in mitigating global warming through land-use change and forestry. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 5: 239-270.
- FNR 2011: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR): Jahresbericht 2010/2011. Gülzow-Prüzen, 2011.
- Fraunhofer ISI 2009: Klobasa, M.; Sensfuß, F.; Ragwitz, M.: CO₂-Minderung im Stromsektor durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Jahr 2006 und 2007. Karlsruhe.
- Frühwald, A.; Diederichs, S.; Morgan, R. M. 2010: Verwendungspotentiale heben durch Kaskadennutzung am Beispiel Holz. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 4 – Biomasse und Biogas, Ersatzbrennstoffe, Solar- und Windenergie. TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky Neuruppin, 37-50
- FSC Deutschland 2011: Deutscher FSC-Standard. Freiburg, Februar 2011.
- Funk, M. 2010: Bioenergie - Chance oder Bedrohung für Forst und Holzwirtschaft ? Partnerschaft auf Augenhöhe? Das Cluster Forst und Holz und die Energiewirtschaft im Dialog. 30. Freiburger Winterkolloquium Forst und Holz. 28.01.2010.
- GEMIS 2011: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.7.
- Geyer, S.; Hasel, K. 1985: Forstverwaltung und Forstwirtschaft des späteren Landes Baden-Württemberg 1945-52, Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Band 62., gefunden in http://www.buergerimstaat.de/1_01/wald05.htm
- Hasselmann, G. 2012: Persönliche Mitteilung. Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik (IML), Dortmund, 28.03.2012
- IFEU 2009: Fehrenbach, H.; Giegrich, J.; Reinhardt, G.; Rettenmaier, N.: Synopse aktueller Modelle und Methoden zu indirekten Landnutzungsänderungen ILUC. Heidelberg.
- IFEU 2012: Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg: Eigene Berechnungen und interne Datenbank. Heidelberg.
- ISO 2006: International Organization for Standardization: ISO norms 14040:2006(E) & 14044:2006(E), Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland.
- Jonsson, B.G.; Kruys, N.; Ranius, T. 2005 : Ecology of species living on dead wood. Lessons for dead wood management. In: *Silva Fennica* 39(2): 289-309.
- Jungbluth, N.; Chudacoff, M.; Dauriat, A.; Dinkel, F.; Doka, G.; Faist Emmenegger, M.; Gnansounou, E.; Kljun, N.; Spielmann, M.; Stettler, C.; Sutter, J. 2007: Life Cycle Inventories of Bioenergy. Final report ecoinvent data v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.
- Kaltschmitt, M.; Hartmann, H. (Hrsg.) 2001: Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg.
- Kaltschmitt, M.; Reinhardt, G.A. (Hrsg.) 1997: Nachwachsende Energieträger Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung. Vieweg-Verlag. Braunschweig.

- Kirschbaum, M.U.F. 2003: To sink or burn? A discussion of the potential contributions of forests to greenhouse gas balances through storing carbon or providing biofuels. In: *Biomass and Bioenergy* 24: 297–310.
- Kölling, C.; Stetter, U. 2008: Holzasche – Abfall oder Rohstoff? Wege zu einer sinnvollen Verwertung. In: *LWF aktuell* 63:54-56.
- Larsson, T.-B.; Barbati, A.; Bauhus, J.; van Brusselen, J.; Lindner, M.; Marchetti, M.; Petriccione, B.; Petersson, H. 2007: The role of forests in carbon cycles, sequestration, and storage. Issue 5: *Climate Change Mitigation, Forest Management and Effects on Biological Diversity*. Newsletter 5. <http://www.iufro.org/science/task-forces/carbon/>
- Leopoldina 2012: Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina: Bioenergie – Möglichkeiten und Grenzen. Halle (Saale).
- LfU 2009: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Verwertung und Beseitigung von Holzaschen. Merkblatt.
- LfU 2011: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Kostendatei für Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege. *UmweltSpezial*, August 2011.
- Liebhard, P. 2007: *Energieholz im Kurzumtrieb: Rohstoff der Zukunft*. Stocker Verlag, Graz.
- Lippke, B.; Oneil, E.; Harrison, R.; Skog, K.; Gustavsson, L.; Sathre, R. 2011: Life cycle impacts of forest management and wood utilization on carbon mitigation: knowns and unknowns. In: *Carbon Management* 2(3): 303–333.
- LUBW 1999: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW): Heckenpflege. *Fachdienst Naturschutz. Landschaftspflege. Merkblatt 1*.
- Luyssaert, S.; Schulze, E.-D.; Börner, A.; Knohl, A.; Hessenmöller, D.; Law, B.E.; Ciais, P.; Grace, J. 2008: Old-growth forests as global carbon sinks. In: *Nature* 455 (11 September 2008): 213-215.
- Mantau, U. 2009: Holzrohstoffbilanz Deutschland: Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung bis 2012. In: Seintsch, B.; Dieter, M. (Hrsg.) *Waldstrategie 2020. Tagungsband zum Symposium des BMELV 10.-11. Dez. 2008, Berlin, 27-36*.
- Mantau, U.; Sörgel, C. 2006: *Energieholzverwendung in privaten Haushalten, Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Abschlußbericht*. Hamburg. http://www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-aktuell/61/LWFaktuell_61-09.pdf
- Mantau, U.; Saal, U.; Prins, K.; Steierer, F.; Lindner, M.; Verkerk, H.; Eggers, J.; Leek, N.; Oldenburger, J.; Asikainen, A.; Anttila, P. 2010: *EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests. Final report*. Hamburg, Germany, June 2010.
- McKechnie, J.; Colombo, S.; Chen, J.; Mabee, W.; MacLean, H.L. 2011: Forest bioenergy or forest carbon? Assessing trade-offs in greenhouse gas mitigation with wood-based fuels. In: *Environ. Sci. Technol.* 45(2): 789-795.
- Möller, G. 2009: *Struktur- und Substratbindung holzbewohnender Insekten, Schwerpunkt Coleoptera-Käfer*. Dissertation, Freie Universität Berlin.
- Müller-Lindenlauf, M. 2011: *Methodenpapier: Aquatische Eutrophierung und Nährstoffbilanzen in Ökobilanzen landwirtschaftlicher Produkte*. Heidelberg.
- NABU 2008: *Waldwirtschaft 2020. Perspektiven und Anforderungen aus Sicht des Naturschutzes*, Berlin – Strategiepapier.
- NL Agency 2010: *Sustainable biomass - Review indirect effects. Macro monitoring and land use planning*.

- Nordén, B.; Ryberg, M.; Götmark, F.; Olausson, B. 2004: Relative importance of coarse and fine woody debris for the diversity of wood-inhabiting fungi in temperate broadleaf forests. In: *Biological Conservation* 117: 1-10.
- Petzold, R.; Schwärzel, K.; Feger, K.H. 2009: Wasserhaushalt von Kurzumtriebsplantagen. In: Reeg, T.; Bemman, A.; Konold, W.; Murach, D.; Spiecker, H. (Hrsg.): *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. Wiley-VCH, Weinheim, 181-191.
- Prognos AG; Öko-Institut 2009: *Modell Deutschland Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken*. Basel, Berlin.
- P&P 2009: *Bäume, Holz, Energie in Feld und Wald*. Neuhäusel, 2009.
- Ravishankara, A.R.; Daniel, J.S.; Portmann, R.W. 2009: Nitrous oxide (N₂O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. In: *Scienceexpress*, published online 27 August 2009; 10.1126/science.1176985.
- Reinhardt, G.; Scheurlen, K. 2004: *F+E-Vorhaben: Naturschutzaspekte bei der Nutzung erneuerbarer Energien*. Heidelberg, 2004.
- Rüter, S.; Kreißig, J. 2007: *Grunddaten für Holz und Holzwerkstoffe im Netzwerk Lebenszyklusdaten*. Hamburg, Leinfeld-Echterdingen, Karlsruhe.
- Rüter, S.; Rock, J.; Köthke, M.; Dieter, M. 2011: Wie viel Holznutzung ist gut fürs Klima? In: *AFZ - Der Wald* 15/2011: 19-21.
- Rüter, S.; Diederichs, S. 2012: *Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Nr. 2012/1, Ökobilanz-Basisdaten für Bauprodukte aus Holz*. Hamburg.
- SaarForst 2008: *Regionale Biodiversitätsstrategie. Teilbereich Subatlantische Buchenwälder*. März 2008.
- SaarForst 2010: *Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2010. Forstliches Umweltmonitoring*. Saarbrücken, Dezember 2010.
- Schmidt, O. 2006: Totes Holz voller Leben. In: *LWF aktuell* 53: 15.
- Schneider, U.; Grünwald, H.; Hüttl, R.F. 2005: *Wuchsleistung und Bodenentwicklung von Pappel- und Robinienplantagen*. Tagung „Holz - die kosteneffiziente Energie der Zukunft“, Eberswalde, 27. November 2005.
- Schulze, E.-D.; Körner, C.; Law, B.E.; Haberl, H.; Luysaert, S. 2012: Large-scale bioenergy from additional harvest of forest biomass is neither sustainable nor greenhouse gas neutral. In: *GCB Bioenergy*. doi: 10.1111/j.1757-1707.2012.01169.x
- Schweinle, J.; Thoro, C. 2001: *Vergleichende Ökobilanzierung der Rundholzproduktion in verschiedenen Forstbetrieben*. Max Wiedebusch Komm.-Verl. Hamburg.
- SLL 2004: *Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (SLL): Nutzung von Biomasse*. Schriftenreihe der SLL 7/2004.
- Thomas, F.; Denzel, K.; Hartmann, E.; Luick, R.; Schmoock, K. 2009: *Kurzfassungen der Agrarumwelt- und Naturschutzprogramme. Darstellung und Analyse der Entwicklung von Maßnahmen der Agrarumwelt- und Naturschutzprogramme in der Bundesrepublik Deutschland*. BfN-Skripten 253. Bonn-Bad Godesberg, 2009.
- Thrän, D.; Edel, M.; Seidenberger, T. 2009: *Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der energetischen Biomassennutzung*. 1. Zwischenbericht, Leipzig 11.02.2009, S. 267.

- Thrän, D. 2011: Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2011 gemäß § 65 EEG. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Vorhaben Ila. Endbericht – vorläufige Fassung. DBFZ, Leipzig.
- UBA 2009: Umweltbundesamt: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Dessau.
- UBA 2011: Umweltbundesamt: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990-2010 (Endstand 14.12.2011, Treibhausgase). Dessau.
- UBA 2012: Umweltbundesamt: Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990-2010 (Endstand 09.02.2012, Luftschadstoffe). Dessau.
- Wagener, F. 2010: Agroforstsysteme als Baustein einer neuen Naturschutzstrategie. Agrarholz 2010: 1-7.
- Wagener, F. Heck, P.; Böhmer, J. 2011: Anbau nachwachsender Rohstoffe als Kompensation in der Eingriffsregelung – Bundesverbundprojekt ELKE.
- Weis W.; Göttlein, A. (2011): Wald und Nährstoffe: Wie viel Energieholznutzung können wir uns leisten? Forum Bioenergie aus Holz- wo liegen die Grenzen. Herausgeber: Verband der Deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V. (VHI). Dokumentation des wissenschaftlichen Kolloquiums vom 2. Juni 2011, S. 5.
- Weis W.; Göttlein, A. (2012): Nährstoffnachhaltige Biomassenutzung. In: LWF aktuell 90: 44-47.
- Werner, F.; Althaus, H.-J.; Künniger, T.; Richter, K.; Jungbluth, N. 2007: Ecoinvent report No. 9: Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material. Dübendorf, Switzerland.
- Wilpert, K. v. (2002): Eckpunkte und wissenschaftliche Begründung eines Holzasche-Kreislaufkonzepts. In: Holzasche-Ausbringung im Wald, ein Kreislaufkonzept. FVA-Kolloquium, in Freiburg vom 5. bis 6. März 2002, Berichte, Freiburger Forstliche Forschung Heft 43, S. 17-28.
- Wördehoff, R.; Spellmann, H.; Evers, J.; Nagel, J. 2011: Kohlenstoffstudie Forst und Holz Niedersachsen. Beiträge in der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt 6. Göttingen 2011.
- Zeddies, J.; Bahrs, E.; Schönleber, N.; Gamer, W. 2012: Globale Analyse und Abschätzung des Biomasse-Flächennutzungspotentials, Stuttgart.
- Ziesing, H.-J. 2011: Perspektiven der KWK bei sich langfristig verändernden Wärmesenken. Berliner Energietage, Berlin, 18. Mai 2011.

7 Anhang

7.1 Marginalmixe für Strom und Wärme

Tab. 7-1 Angesetzte Zusammensetzung der Strom- und Wärme-Marginalmixe (IFEU 2012 auf der Basis von FRAUNHOFER ISI 2009, UBA 2009, ERDMANN & DITTMAR 2010 und ZIESING 2011)

Strom- / Wärme-Mix	Energieträger-Anteil	KWK-Anteil
Strom-Marginalmix 2010	75 % Steinkohle 25 % Erdgas	10 %
Marginalmix Wärme Einzelfeuerstätten 2010	40 % Heizöl leicht 50 % Erdgas 10 % Strom	0 %
Marginalmix Wärme Zentralheizung 2010	70 % Heizöl leicht 20 % Erdgas 10 % Strom	0 %
Marginalmix Industrierwärme 2010	5,5 % Heizöl leicht 5,5 % Heizöl schwer 65 % Erdgas 24 % Steinkohle	50 %
Marginalmix Fernwärme 2010	6,5 % Heizöl leicht 6,5 % Heizöl schwer 54 % Erdgas 33 % Steinkohle	85 %
Nur für Kap. 3.4.6:		
Strom-Marginalmix 2050	20 % Steinkohle 80 % Erdgas	75 %
Wärme-Marginalmix 2010	50 % Heizöl (leicht) 50 % Erdgas	0 %
Wärme-Marginalmix 2050	100 % Erdgas	50 %

7.2 Einwohnerbezogene Höhe der Umweltwirkungen

Tab. 7-2 Einwohnerbezogene Höhen der Umweltwirkungen pro Jahr (Einwohner-Durchschnittswerte, EDW), gültig für Deutschland, weitgehend 2010 (IFEU 2012 nach UBA 2011, UBA 2012, AGEb 2012 und DESTATIS 2012)

Wirkungskategorie	Einwohnerdurchschnittswert
Energieaufwand	153 GJ je Person und Jahr
Treibhauseffekt	11 t CO ₂ -Äquivalente je Person und Jahr
Versauerung	32 kg SO ₂ -Äquivalente je Person und Jahr
Nährstoffeintrag in Böden	4,4 kg PO ₄ ³⁻ -Äquivalente je Person und Jahr
Nährstoffeintrag in Gewässer	4,8 kg PO ₄ ³⁻ -Äquivalente je Person und Jahr
Fotosmog (Sommersmog)	13 kg Ethen-Äquivalente je Person und Jahr
Humantoxizität: Feinstaub	22 kg PM10-Äquivalente je Person und Jahr
Ozonabbau	40 g R-11-Äquivalente je Person und Jahr

7.3 Lebenswege stofflicher und energetischer Holznutzung

Tab. 7-3 Lebenswege stofflicher und energetischer Holznutzung, für die Daten erhoben wurden (unterstrichene Lebenswege wurden im Ergebnisteil genauer analysiert)

Holzprodukt	Äquivalenzprodukt
Bauholz (gehobelt)	Metallständer (Profil)
<u>Bauholz in Holzständerwand</u>	Porenbetonwand, Metallträgerwand
Leimholz	Möbelteile aus furnierten Spanplatten, Glas oder Edelstahl
Brettschichtholz	Stahlträger
<u>Unbeschichtete Spanplatten mit verschiedenen Rohstoffanteilen von recycelten Spanplatten</u>	Möbelteile aus Stahl
Spanplatte furniert	Möbelteile aus Leimholz, Glas, Edelstahl, Polyethylen / Polypropylen oder beschichtete MDF-Platte
Spanplatte Bau (P5-Qualität)	Gipsfaserplatte, Gipskartonplatte
<u>Beschichtete MDF-Platte (Mitteldichte Faserplatte)</u>	Möbelteile aus beschichteten Spanplatten, Formteile aus Duroplast
<u>Holzfaserdämmstoffplatte (Softboard)</u>	Dämmstoffplatten aus Mineralwolle oder XPS (Extrudierter Polystyrol-Hartschaum)

Holzprodukt	Äquivalenzprodukt
<u>Laminatboden</u>	Bodenbelag aus PVC
<u>Europool-Palette</u>	Mehrwegpalette aus Polyethylen
Papier (Frischfaser)	Computer-Visualisierung
Recyclingpapier	Computer-Visualisierung
Blockhauswand	Porenbetonwand
OSB-Platte (oriented strand board)	Möbelteile aus Stahl, Gipsfaserplatte
Sperrholz	Möbelteile aus Kunststoff
WPC (wood plastic composite) als Terrassenbelag	Betonsteine
Furnier als Möbelbelag	Laminat-Beschichtung
Fertigparkett	Fliesenbelag
Massivparkett	Fliesen
Harnstoff-Formaldehyd-Harz (chemische Umwandlung via Synthesegas)	Harnstoff-Formaldehyd-Harz aus Erdgas
<u>Mix von bestehenden Biomasse- / Altholz-Heizkraftwerken und -Kraftwerken</u>	Marginalmix Strom und Industrie- bzw. Fernwärme
<u>Biomasse- / Altholz-Heizkraftwerk</u>	Marginalmix Strom und Industrie- bzw. Fernwärme
<u>Biomasse- / Altholz-Heizwerk 100 kW</u>	Marginalmix Industrie- bzw. Fernwärme
Biomasse- / Altholz-Kraftwerk	Marginalmix Strom
Müllverbrennungsanlage	Marginalmix Strom
<u>Pelletheizung</u>	Marginalmix Haushaltswärme
<u>Scheitholzofen</u>	Marginalmix Haushaltswärme
Synthetische Kraftstoffe (Biomass-to-liquid, BTL)	Dieselmotorkraftstoff
<u>Mitverbrennung im Steinkohlekraftwerk</u>	Steinkohle
Vergasung (innerhalb von Biomasse- / Altholz-Heiz(kraft)werken)	Marginalmix Deutschland Strom und ggf. Industrie- bzw. Fernwärme
Scheitholzvergaserkessel	Marginalmix Haushaltswärme
Hackschnitzelheizwerk 100 kW	Marginalmix Industrie- bzw. Fernwärme
Hackschnitzelheizwerk 1 MW	Marginalmix Industrie- bzw. Fernwärme
Dampfturbine	Marginalmix Industrie- bzw. Fernwärme
ORC (organic rankine cycle)-Anlage	Marginalmix Deutschland Industrie- bzw. Fernwärme

7.4 Ergebnisse ausgewählter Kaskadennutzungswege

Wie in Kap. 2.4.3 geschildert, ist es im Rahmen dieses Berichts nicht sinnvoll, alle möglichen Kombinationen der untersuchten Holzprodukte zusätzlich als Kaskadennutzungen zu untersuchen. Um einen Überblick über mögliche Umweltwirkungen zu geben, werden in Abb. 7-1 aber die Umweltwirkungen einiger exemplarischer kaskadierter Holzlebenswege dargestellt. Diese sind in der Achsenbeschriftung genannt; die Referenzprodukte finden sich in Tab. 7-3.

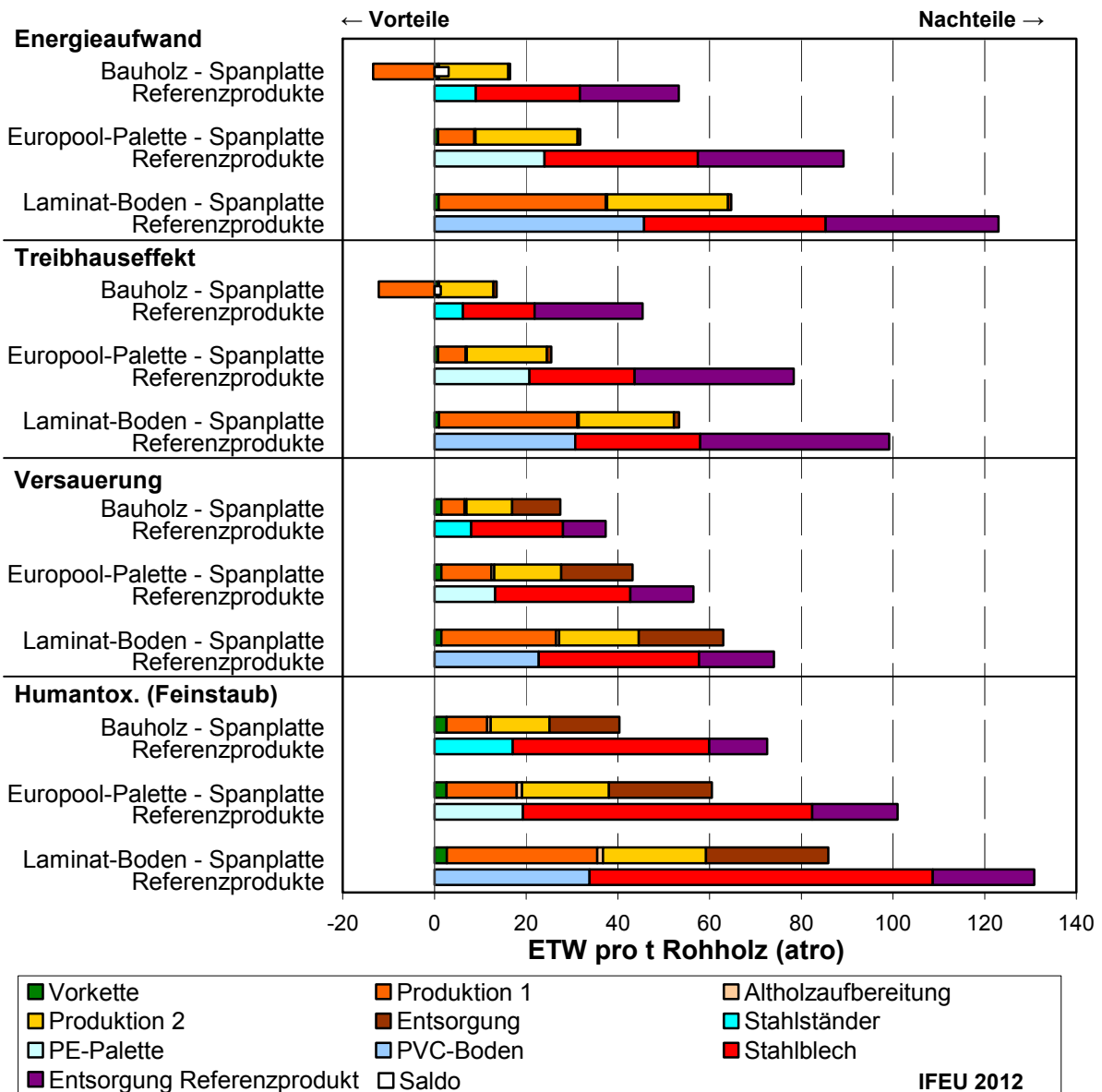


Abb. 7-1 Umweltauswirkungen verschiedener möglicher Kaskadennutzungen von 1 t Stammholz bzw. Industrieholz bei Entsorgung in einem Mix bestehender Heiz-(kraft)werke unter Berücksichtigung der jeweiligen Referenzprodukte.

7.5 Ergebnisse in Tabellenform

In Tab. 7-4 werden die Ergebnisse der detailliert untersuchten Lebenswege (s. Tab. 7-3, unterstrichene Lebenswege) zusätzlich nach Aufwendungen und Gutschriften aufgeschlüsselt in Tabellenform wiedergegeben.

Tab. 7-4 Ergebnisse der detailliert untersuchten Lebenswege der Holzprodukte und energetischen Nutzungsarten. Angegeben sind die Aufwendungen für die Produktion des Holzproduktes sowie die Gutschriften (negative Werte) für die Substitution der Referenzprodukte. Angaben pro t Rohholz (atro)

Holzprodukte		Energieaufwand [GJ]	Treibhauseffekt [t CO ₂ -Äquiv.]	Versauerung [kg SO ₂ -Äquiv.]	Nährstoffeintrag in Böden [kg PO ₄ ³⁻ -Äquiv.]	Fotosmog [kg Ethen-Äquiv.]	Humantoxizität: Feinstaub [kg PM10-Äquiv.]	Ozonabbau [g R-11-Äquiv.]
Bauholz in Holzständerwand	Aufwendungen	2	0,1	1,3	0,2	0,1	1,4	0,4
	Gutschriften	-20	-1,4	-1,4	-0,1	-0,3	-1,5	-0,5
	Saldo	-18	-1,3	0	0	-0,2	-0,2	-0,1
Unbeschichtete Spanplatten ohne Recycling	Aufwendungen	14	0,8	3,5	0,4	0,3	3,3	0,9
	Gutschriften	-34	-2,3	-4,6	-0,4	-0,7	-5,9	-1,0
	Saldo	-20	-1,4	-1,1	0	-0,3	-2,6	-0,1
Unbeschichtete Spanplatte mit realem Recycling	Aufwendungen	14	0,9	3,6	0,4	0,3	3,4	0,9
	Gutschriften	-35	-2,3	-4,8	-0,4	-0,7	-6,2	-1,0
	Saldo	-21	-1,4	-1,2	0	-0,3	-2,8	0
Beschichtete MDF-Platte (Mitteldichte Faserplatte)	Aufwendungen	17	1	4,4	0,5	0,4	4,1	1,1
	Gutschriften	-79	-4,4	-14,7	-1,9	-1,2	-12	-2,2
	Saldo	-62	-3,3	-10,3	-1,4	-0,8	-7,5	-1,1
Holzfaserdämmstoffplatte (Softboard)	Aufwendungen	17	1,2	3,4	0,4	0,4	3,3	1,1
	Gutschriften	-34	-2,2	-6,9	-0,5	-0,8	-9,1	-1,0
	Saldo	-16	-1	-3,5	-0,1	-0,3	-5,8	0,2
Laminatboden	Aufwendungen	16	1	4,1	0,4	0,4	3,8	1,1
	Gutschriften	-37	-2,4	-3,5	-0,4	-1,9	-3,4	-1,3
	Saldo	-21	-1,4	0,5	0,1	-1,6	0,4	-0,2
Europool-Palette	Aufwendungen	6	0,4	2,4	0,3	0,2	2,4	0,7
	Gutschriften	-26	-1,9	-2,3	-0,2	-0,8	-2,2	-0,9
	Saldo	-20	-1,5	0,1	0,1	-0,6	0,2	-0,2

Energetische Holznutzungsarten		Energieaufwand [GJ]	Treibhauseffekt [t CO ₂ -Äquiv.]	Versauerung [kg SO ₂ -Äquiv.]	Nährstoffeintrag in Böden [kg PO ₄ ³⁻ -Äquiv.]	Fotosmog [kg Ethen-Äquiv.]	Humantoxizität: Feinstaub [kg PM10-Äquiv.]	Ozonabbau [g R-11-Äquiv.]
Mix von bestehenden Biomasse- / Altholz-Heizkraftwerken und -Kraftwerken	Aufwendungen	1	0,1	1,8	0,2	0,1	1,8	0,6
	Gutschriften	-16	-1,3	-1,5	-0,1	-0,3	-1,3	-0,8
	Saldo	-16	-1,3	0,3	0,1	-0,1	0,4	-0,2
Biomasse- / Altholz-Heizkraftwerk (< 5 MW elektrisch)	Aufwendungen	1	0,1	1,8	0,2	0,1	1,8	0,6
	Gutschriften	-18	-1,4	-1,5	-0,1	-0,3	-1,4	-0,7
	Saldo	-18	-1,4	0,3	0,1	-0,2	0,4	-0,1
Biomasse- / Altholz-Heizwerk 100 kW	Aufwendungen	1	0,1	1,7	0,2	0,3	1,9	0,4
	Gutschriften	-18	-1,2	-1	-0,1	-0,4	-1	-0,3
	Saldo	-17	-1,1	0,7	0,1	-0,1	1	0,1
Pelletheizung	Aufwendungen	2	0,1	1,8	0,2	0,3	2	0,4
	Gutschriften	-19	-1,3	-1,1	-0,1	-0,4	-1	-0,4
	Saldo	-17	-1,2	0,7	0,1	-0,1	0,9	0,1
Scheitholzofen	Aufwendungen	0	0,1	1,8	0,2	3,8	2,7	0,5
	Gutschriften	-11	-0,8	-0,6	-0,1	-0,2	2,1	-0,2
	Saldo	-11	-0,7	1,1	0,1	3,5	-0,6	0,2
Mitverbrennung im Steinkohlekraftwerk	Aufwendungen	1	0,2	1,1	0,2	0,1	1,4	1,6
	Gutschriften	-18	-1,9	-2,4	-0,2	-0,1	-2,1	-1,5
	Saldo	-17	-1,8	-1,3	0	0	-0,7	0

Es können Rundungsdifferenzen auftreten.

7.6 Steinkohle-Mitverbrennung Gesamtbilanz

Im Kapitel 3.3.2 wurden die Umweltauswirkungen untersucht, die entstehen, wenn Holz in einem Steinkohlekraftwerk einen Teil des Brennstoffs ersetzt. Die festgestellten großen Umweltentlastungen führten zu der Frage, ob Steinkohlekraftwerke durch eine Mitverbrennung von Holz insgesamt eine umweltfreundliche Alternative der Stromversorgung darstellen. Daher wird hier betrachtet, welche Umweltbelastungen bei einer Mitverbrennung von 20 % Holz im Steinkohlekraftwerk zur Erzeugung von 1 kWh Strom gegenüber der Stromerzeugung in einem Erdgaskraftwerk insgesamt entstehen.

Den Ergebnissen in Abb. 7-2 ist zu entnehmen, dass die Stromerzeugung in einem Steinkohlekraftwerk unabhängig vom Anteil der Holzmitverbrennung gegenüber Erdgaskraftwerken zu erheblichen Nachteilen in den Kategorien Treibhauseffekt, Versauerung, Feinstaubbelastung und Ozonabbau führt, aber auch sichtbare Vorteile in der Wirkungskategorie Fotosmog und leichte Vorteile in der Kategorie Nährstoffeinträge in Böden mit sich bringt. Lediglich in

der Kategorie Aufwand nicht erneuerbarer Energieträger (kurz: „Energieaufwand“) wird durch die Mitverbrennung von 20 % Holz in einem Steinkohlekraftwerk ein leichter Nachteil gegenüber einem Gaskraftwerk in einen leichten Vorteil umgekehrt.

Falls dem Bau neuer Erdgaskraftwerke der Vorzug gegenüber Steinkohlekraftwerken ohne Holzmitverbrennung gegeben wird, ändert sich diese Bewertung auch durch die Mitverbrennung von Holz in Steinkohlekraftwerken nicht entscheidend. Besonders aus Klimasicht sollte dem Bau neuer Erdgaskraftwerke gegenüber dem Bau neuer Steinkohlekraftwerke der Vorzug geben werden, auch wenn in den letzteren durch die Mitverbrennung von Holz ein Teil des Brennstoffs ersetzt wird. Dies insbesondere auch deswegen, da dieses Holz der im Allgemeinen umweltfreundlicheren stofflichen Nutzung entzogen bzw. eine deutlich größere Nachfrage nach dem Rohstoff Holz verursacht würde.

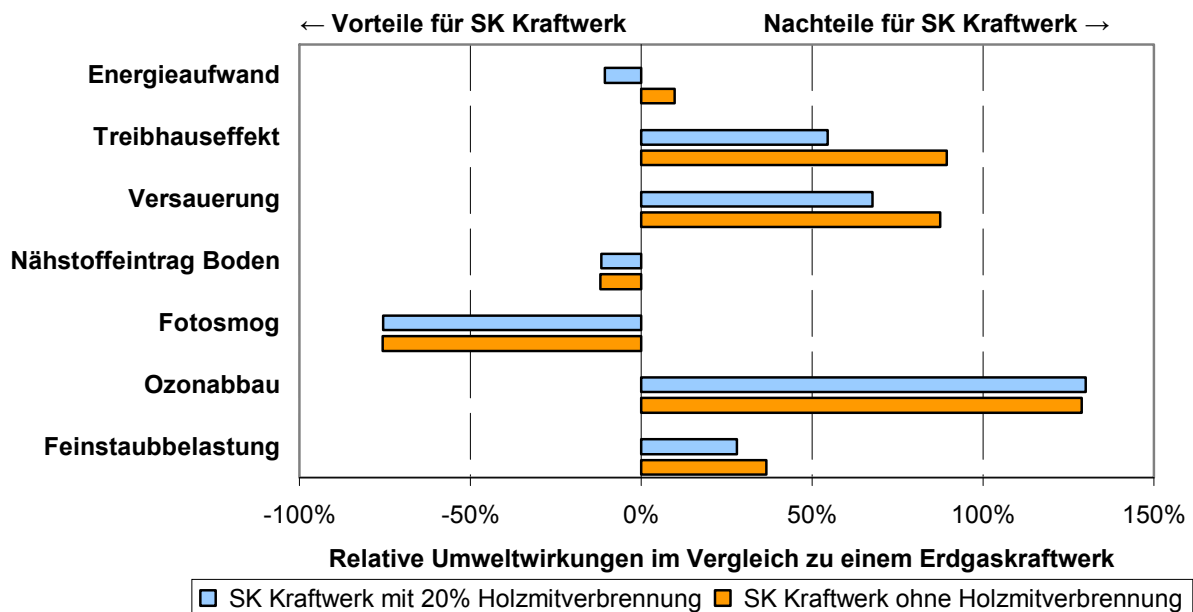


Abb. 7-2 Prozentuale Differenzen der Belastungen in verschiedenen Umweltwirkungskategorien bei Holzmitverbrennung im Steinkohlekraftwerk (SK Kraftwerk) gegenüber einem Erdgaskraftwerk zur Erzeugung von 1 kWh Strom

7.7 Veranschaulichung der Stoffströme bei der Kaskadennutzung

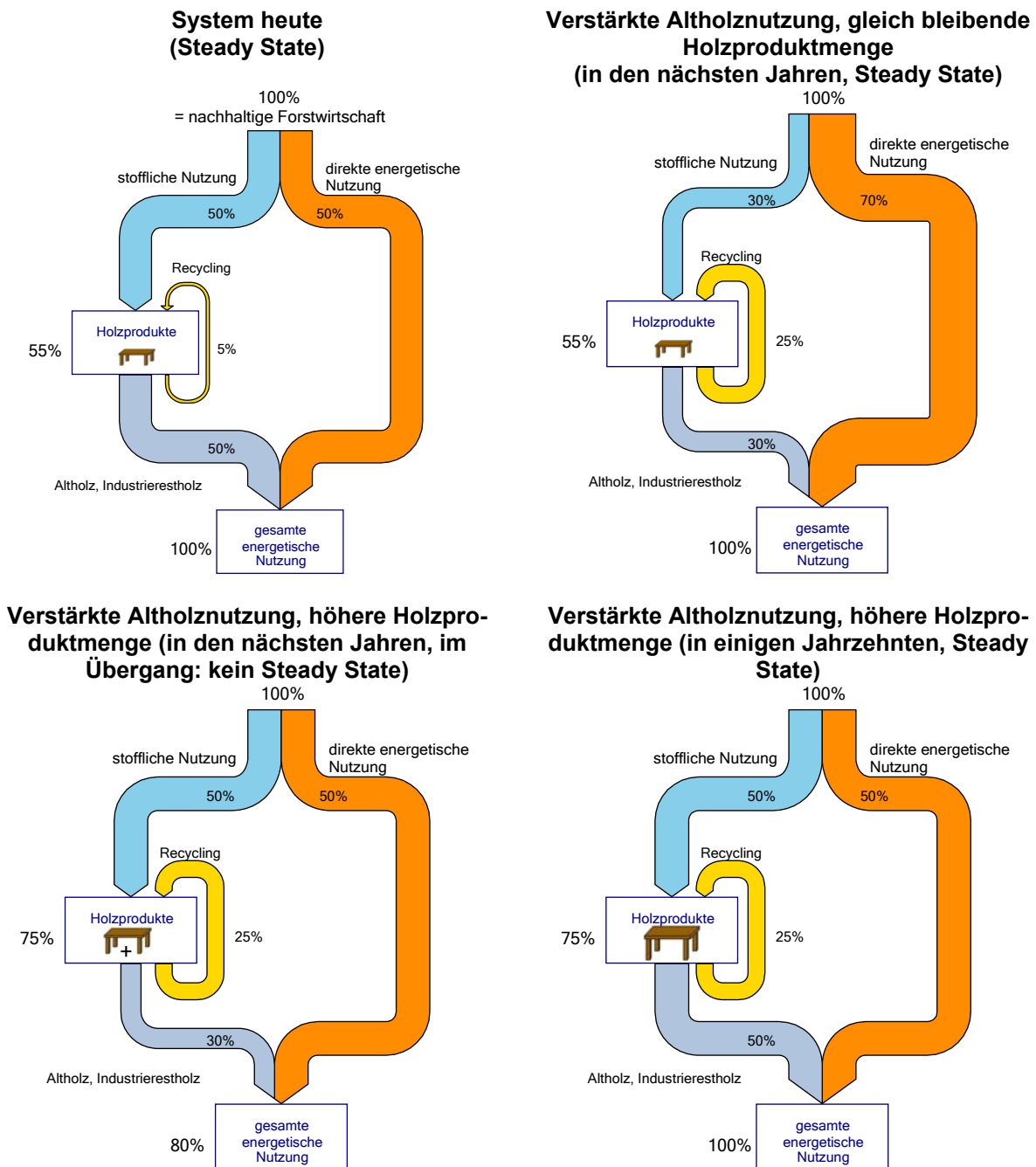


Abb. 7-3 Schematisierte Darstellung verschiedener Holzstromszenarien. Vom „System heute“ links oben kommt man entweder durch zusätzliche Altholznutzung (mehr Recycling) direkt zu mehr Holzenergienutzung (rechts oben) oder über eine Übergangsphase (links unten) zu einer höheren genutzten Holzproduktmenge. Die Prozentangaben sind beispielhaft zur Verdeutlichung der Verschiebungen dargestellt und erheben keinen Anspruch auf genaue Übereinstimmung mit deutschen Verhältnissen.

7.8 Lebensdauern ausgewählter Holzprodukte

Tab. 7-5 Typische Lebensdauern ausgewählter Holzprodukte und deren Referenzprodukten

Holzprodukt	Lebensdauer [a]	Referenzprodukte (Lebensdauer in a)	Quelle
Bauholz in Holzständerwand	≥ 50	Metallständer, Profil (≥ 50)	BBSR (2011): Nichttragende Innenwände
Leimholz	20	Möbelteil aus Glas / Edelstahl (20)	Expertenschätzung nach FRÜHWALD et al. (2010)
Brettschichtholz	≥ 50	Stahlträger (≥ 50)	BBSR (2011): Innenstützen
Unbeschichtete Spanplatten mit verschiedenen Rohstoffanteilen von recycelten Spanplatten	10	Möbelteile aus Stahl (20)	Expertenschätzung nach FRÜHWALD et al. (2010) und BBSR (2011)
Beschichtete MDF-Platte (Mitteldichte Faserplatte)	30	z. B. Formteile aus Duroplast (30)	Expertenschätzung nach AGETHEN et al. (2008)
Holzfaserdämmstoffplatte (Softboard)	40	z. B. Dämmstoffplatten aus Mineralwolle (40)	BBSR (2011): Wärmedämmverbundsystem
Laminatboden	20	Bodenbelag aus PVC (20)	BBSR (2011): Deckenbeläge
Europool-Palette	5-10	Mehrwegpalette aus Polyethylen (5-10)	HASSELMANN (2012)
OSB-Platte (oriented strand board)*	≥ 50	z. B. Gipsfaserplatten (≥ 50)	BBSR (2011): Trockenestriche (Systeme)

* Ähnliche Lebensdauern für Spanplatten im Baubereich zu erwarten.

7.9 Ansätze zur Bewertung temporärer Kohlenstoffspeicher

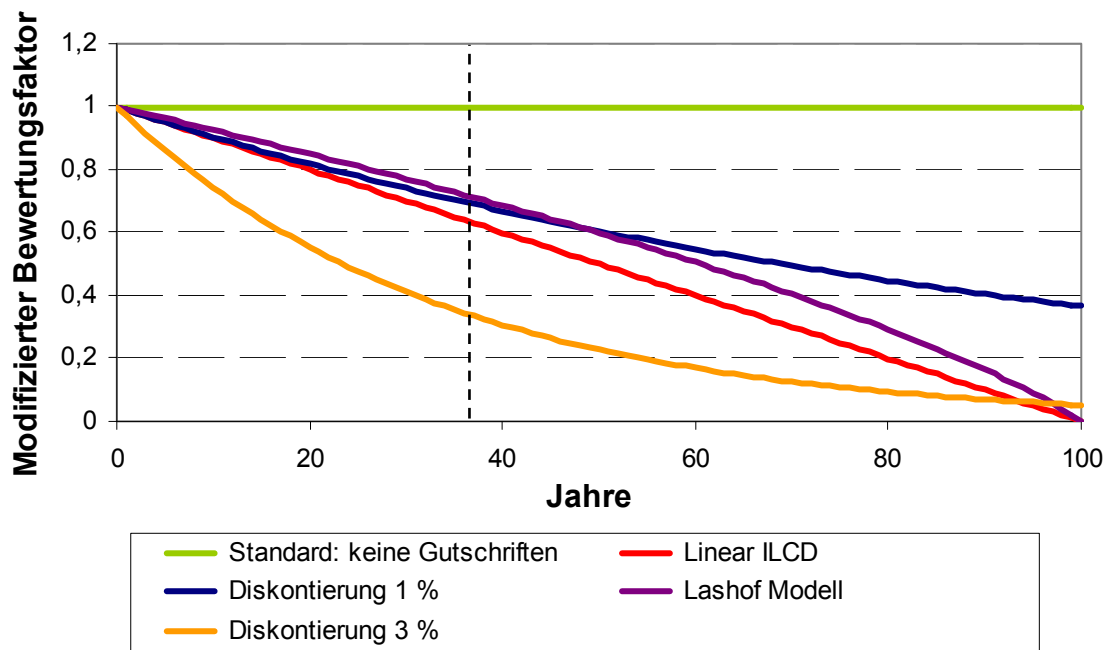


Abb. 7-4 Verschiedene Bewertungsansätze zur Berücksichtigung einer zeitlich verzögerten CO₂-Freisetzung aus Holzprodukten

Zur Bewertung der Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten und der damit verbundenen zeitlichen Verzögerung der CO₂-Emissionen werden derzeit unter anderem die in Abb. 7-4 dargestellten Ansätze diskutiert. Der Standard-Fall setzt keinerlei reduzierte Bewertung von zeitliche verzögerten Treibhausgasemissionen an. Der in diesem Projekt beispielhaft dargestellte Ansatz der Diskontierung (siehe Kap. 3.4.6) hat bei unterschiedlichen Diskontierungsraten unterschiedliche zeitliche Verläufe der Bewertungsfaktoren für CO₂-Emissionen zur Folge. Ein weiterer Ansatz, der z.B. vom European Commission's ILCD Handbook (EC 2010b) als optionale Bewertungsmethode vorgeschlagen wird, geht von einer linearen Abnahme des Bewertungsfaktors für CO₂-Emission über den Betrachtungszeitraum von 100 Jahren aus. Eine weitere Methode stellt das Lashof-Modell dar (FEARNSIDE et al. 2000). Ähnlich wie bei der ILCD-Methode reduziert sich der Bewertungsfaktor am Ende des Betrachtungszeitraums auf null. Hier wird jedoch der Strahlungsantrieb (radiative forcing) betrachtet, der innerhalb von 100 Jahren nach Beginn des Untersuchungszeitraums erfolgt (analog zum Treibhauspotenzial „GWP 100“).

Abkürzungsverzeichnis

AH	Altholz
atro	absolut trocken
Äquiv.	Äquivalente
BAV	Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter e.V.
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BTL	Biomass to liquid. Biomasseverflüssigung
CFC ₃	Trichlorfluormethan
CH ₄	Methan. Klimawirksames Gas.
C ₂ H ₄	Ethen. Ungesättigter Kohlenwasserstoff, der zur Bildung von Sommersmog beiträgt.
CO ₂	Kohlenstoffdioxid. Gas, das zum Treibhauseffekt beiträgt.
CO ₂ -Äquiv.	CO ₂ -Äquivalente. Standardeinheit, um Treibhausgasemissionen zusammenzufassen.
DüMV	Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung)
DüngG	Düngegesetz
EEG	Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz)
EDW	Einwohnerdurchschnittswerte
EPD	Environmental Product Declaration, eine Typ-III-Umweltdeklaration
ETW	Einwohnerwerteswerte
EU	Europäische Union
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe
FKW	Fluor-Kohlenwasserstoffe
fm	Festmeter
FSC	Forest Stewardship Council
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
GJ	Gigajoule, 1 GJ = 10 ⁹ J
IIWH	Internationales Institut für Wald und Holz NRW
ISO	International Organisation for Standardisation

IZES	Institut für ZukunftsEnergieSysteme
HCl	Chlorwasserstoff
HFKW	Teilhalogenierte Fluor-Kohlenwasserstoffe
HKW	Heizkraftwerk
HW	Heizwerk
KUF	Kurzumtriebsflächen
KW	Kraftwerk
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MAP	Marktanreizprogramm
MDF	Mitteldichte Holzfaserverplatte
MJ	Megajoule, 1 MJ = 10 ⁶ J
MVA	Müllverbrennungsanlage
NABU	Naturschutzbund Deutschland
NH ₃	Ammoniak
NMHC	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe
N ₂ O	Distickstoffoxid (Lachgas)
NO ₃ ⁻	Nitrat
NO _x	Stickstoffoxide
ORC	Organic Rankine Cycle
PEFC	Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes
PJ	Petajoule, 1 PJ = 10 ¹⁵ J
PM10	Particulate Matter. Partikelemissionen mit einem Durchmesser ≤ 10 µm.
PO ₄ ³⁻	Phosphat. Nährstoff, der zur Eutrophierung natürlicher Ökosysteme beiträgt.
PVC	Polyvinylchlorid
R-11	Trichlorfluormethan. Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoff, der zum Ozonabbau in der Stratosphäre beiträgt.
RH	Industrierestholz
SO ₂	Schwefeldioxid. Säure bildender Luftschadstoff, der zur Versauerung beiträgt.
SK	Steinkohle
THG	Treibhausgase
VHI	Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie e.V.
WPC	Wood Plastic Composites. Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffe
XPS	Extrudierter Polystyrol-Hartschaum

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Die Verantwortung für den Inhalt dieser
Veröffentlichung liegt bei den Autoren.