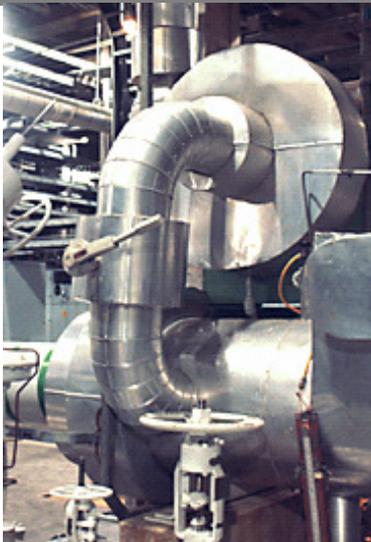




# Literaturstudie



## Auswertung von Studien zur ökologischen Betrachtung von nachwachsenden Rohstoffen bei einer stofflichen Nutzung

Gefördert durch die  
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe



**Titel der Studie: Auswertung von Studien zur ökologischen Betrachtung von nachwachsenden Rohstoffen bei einer stofflichen Nutzung**

**Auftraggeber: Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V.**

**FKZ 114-50.10.0236/06-E**

**Juli 2007**

**Autoren:**

Dr. Sabine Deimling  
Melanie Goymann  
Dr. Martin Baitz  
Torsten Rehl



**PE INTERNATIONAL**  
EXPERTS IN SUSTAINABILITY

**PE INTERNATIONAL GmbH**

Hauptstraße 111 – 113  
70771 Leinfelden – Echterdingen

Telefon +49 (0) 711 341817 – 0  
Fax +49 (0) 711 341817 – 25  
E-Mail [info@pe-international.com](mailto:info@pe-international.com)  
Internet [www.pe-international.com](http://www.pe-international.com)



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis.....	8
Nomenklatur.....	10
1 Einleitung .....	13
1.1 Ausgangssituation.....	13
1.2 Zielsetzung.....	14
1.3 Aufgabenstellung .....	14
1.4 Aufbau der Studie .....	15
2 Grundlagen .....	17
2.1 Politischer Rahmen .....	17
2.2 Begriffsdefinitionen.....	19
2.3 Überblick zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe .....	20
2.4 Ökologische Analyse, Methoden und Inhalte.....	24
2.5 Methodik der Ökobilanz.....	25
3 Vorgehensweise bei der Literaturanalyse.....	28
3.1 Literaturrecherche .....	28
3.1.1 Stichwortsuche Bibliotheken und Internet.....	29
3.1.2 Kontaktaufnahme zu Instituten, Universitäten und Herstellern.....	30
3.1.3 Persönliche Kontakte von PE International.....	31
3.2 Literaturverwaltung und Dokumentation .....	32
3.3 Literaturbewertung .....	34
3.3.1 Ampelanalyse .....	34
3.3.2 Qualitative Analyse .....	35
3.4 Literatúrauswertung .....	37
4 Ergebnisse der Studienbewertung.....	39
4.1 Ampelanalyse .....	39
4.2 Qualitative Bewertung .....	42
4.3 Darstellung der selektierten Studien.....	45
5 Literatúrauswertung innerhalb von Produktgruppen .....	56
5.1 Arzneimittel und Kosmetika.....	58
5.2 Waschmittel und Reinigungsmittel.....	61
5.3 Textilien.....	63
5.4 Papier und Pappe .....	66
5.5 Farben und Lacke .....	72
5.6 Naturfaserverstärkte Kunststoffe, Formteile und Verbundsysteme .....	75
5.7 Bioschmier- und Verfahrensstoffe .....	80
5.8 Verpackungen.....	86



---

5.9	Baustoffe und Dämmstoffe .....	99
5.10	Biopolymere .....	115
6	Diskussion der Ergebnisse .....	118
6.1	Grenzen der Vergleichbarkeit.....	118
6.2	Fazit und Handlungsempfehlungen .....	121
6.3	Zusammenfassung.....	122
7	Literaturverzeichnis .....	124
8	Anhang .....	126

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Rohstoffnutzung weltweit im Jahr 2005 (ohne energetische Nutzung) [CARUS 2007, FAO 2005].....	13
Abbildung 2-1:	Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe in Deutschland [FNR 2007]..	17
Abbildung 2-2:	Überblick über die Vielfalt der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe (CARUS 2007) .....	22
Abbildung 2-3:	Marktvolumen und Marktwachstum innerhalb der Produktgruppen [Daten nach MEO 2006] .....	23
Abbildung 3-1:	Übersicht und Methodik der Vorgehensweise bei der Literaturanalyse der vorliegenden Studie .....	28
Abbildung 3-2:	Persönliche Kontaktaufnahme nach Kontinenten (Europa exklusive BRD).....	30
Abbildung 3-3:	Organisationsform der angeschriebenen Einrichtungen .....	31
Abbildung 3-4:	Rücklauf aus der persönlichen Kontaktaufnahme .....	31
Abbildung 3-5:	Beispielseite aus dem Dokument zur Studienerfassung.....	32
Abbildung 3-6:	Beispiel eines Datenblattes zur Detaildokumentation .....	33
Abbildung 3-7:	Bewertungs- und Ablaufschema der Literaturbewertung .....	34
Abbildung 4-3:	Art der selektierten Studien .....	40
Abbildung 4-4:	Alter der selektierten Studien .....	41
Abbildung 4-6:	Ergebnisse der qualitativen Literaturbewertung.....	42
Abbildung 4-7:	Zugrunde liegende Umweltbewertungsmethodik in den selektierten Studien.....	43
Abbildung 4-8:	Bezugslinie der Produkte auf nawaRo Basis .....	43
Abbildung 4-9:	Betrachtete Lebenswegabschnitte innerhalb der ökologischen Analyse .....	44
Abbildung 4-10:	Betrachtete Wirkungskategorien in den selektierten Studien.....	44
Abbildung 5-1:	In der Literatúrauswertung verwendete Produktlinienzuordnung .....	56
Abbildung 5-2:	Zusammenhang zwischen Marktvolumen [MEO 2006] und Anzahl der selektierten Studien.....	57
Abbildung 5-3:	Studie 42 - Nesselfasern vs. Baumwolle, Umweltwirkung in [EW/100 ha].....	65
Abbildung 5-4:	Studie 3 - Umweltbelastungen von Stoffrollen, Recyclingpapier und Frischfaserpapier beim Händetrocknen.....	69
Abbildung 5-5:	Studie 3 – Kumulierter Energieaufwand von Stoffrollen, Recyclingpapier und Frischfaserpapier pro funktionale Einheit .....	69

Abbildung 5-6:	Studie 75 - Gewichtung der Belastungsträger bei der Herstellung von drei Papierarten an unterschiedlichen Standorten.....	70
Abbildung 5-7:	Studie 75 - CO <sub>2</sub> - Bilanz einer Zeitschrift .....	71
Abbildung 5-8:	Studie 53 - CO <sub>2</sub> -Emissionen in Tonnen bei der Verbrennung von einer Tonne Zeitungspapier vs. Recycling.....	71
Abbildung 5-9:	Studie 14 – Umweltwirkungen von Wachsen und Lacken je m <sup>2</sup> Holztschoberfläche.....	74
Abbildung 5-10:	Studie 44 - Einfluss des Anbauszenarios auf den Energieaufwand und das Treibhauspotenzial einer Autoseitenverkleidung.....	77
Abbildung 5-11:	Studie 27 & 44 - Vergleich von Masse und Herstellungsaufwand einer Seitenverkleidung aus ABS und naturfaserverstärkten Kunststoffen ....	78
Abbildung 5-12:	Studie 44 - Umweltwirkungen (relativ) der Herstellung der nawaRo- bzw. der ABS-Seitenverkleidung bis zur Einbaugleiche .....	78
Abbildung 5-13:	Studie 15 - Vergleich einer Seitentürverkleidung aus ABS vs. Hanffaserverbund mit Hilfe des Eco-Indicators 95.....	79
Abbildung 5-14:	Studie 119 - Eco-Indicator-Punkte für drei Rotorblätter .....	80
Abbildung 5-15:	Studie 11 - Produktion und Nutzung einer Erntemaschine unter verschiedenen Öl-Verschleiß-Szenarien .....	83
Abbildung 5-16:	Studie 42 - Umweltwirkungen in EW pro 100 ha Anbaufläche für Sonnenblumenöl vs. fossile Schmierstoffe (links) und Rapsöl vs. fossile Hydrauliköle (rechts) .....	84
Abbildung 5-17:	Studie 32 - Umweltwirkungspotenzial verschiedener Kühlschmierstoffe (Rangfolge) .....	84
Abbildung 5-18:	Studie 13 – EP und AP für Herstellung und Entsorgung von 1000 Windeln.....	91
Abbildung 5-19:	Studie 4 & 50 - LCA für 1 m <sup>3</sup> loose-fill mit 2 Bewertungsmethoden .....	93
Abbildung 5-20:	Gesamte Luft- und Wasserbelastung für Popcorn (PC) und Polystyrol (PS), in Gramm SO <sub>2</sub> -Äquivalenten .....	94
Abbildung 5-21:	Studie 52 - Vergleich der Umweltwirkungen verschiedener Becher, bewertet mit 2 Methoden.....	95
Abbildung 5-22:	Studie 150 - Ökopprofile der Sammelsysteme mit Inlets aus BAW, PE oder ohne Inlets nach CML, Eco-Indicator '95 und UBP,.....	97
Abbildung 5-23:	Studie 50 - LCA-Ergebnisse für Säcke aus thermoplastischer Stärke im Vergleich zu PE- und Papiersäcken .....	98
Abbildung 5-24:	Studie 22 - Umweltbewertung verschiedener Wohnhauskonstruktionen.....	106
Abbildung 5-25:	Studie 17 - GWP (oben), AP (mitte) und Energieinhalt (unten) verschiedener Dämmstoffe, dargestellt mit Hilfe einer fünf-stufigen Bewertungsskala.....	107



---

Abbildung 5-26: Studie 42 - Umweltwirkungen für die Produktlinie Flachs-Dämmstoffe vs. Steinwolle in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche.....	108
Abbildung 5-27: Studie 118 - Vergleich des GWP, AP, EP und POCP verschiedener Fenster-Rahmenmaterialien über den gesamten Lebensweg .....	112
Abbildung 5-28: Vergleich der Belastungsphasen zum GWP verschiedener Fenster-Rahmenkonstruktionen (Studie 118) .....	113
Abbildung 5-29: Studie 38 - Umweltwirkungsvergleich der PHB-Herstellung aus Raps und Zuckerrohr (CML 2001) .....	116
Abbildung 6-1: Darstellung des Rohstoff-, Werkstoff- und Produktgefüges innerhalb der Produktkette nachwachsende Rohstoffe .....	119



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Anbau nachwachsender Rohstoffe im Jahr 2006 in Deutschland [FNR 2007].....	18
Tabelle 2-2:	Übersicht zu Umweltbewertungsmethoden, <i>verändert</i> [RÄBIGER 2007]	24
Tabelle 3-1:	Suchkombinationen der Stichwortrecherche .....	29
Tabelle 3-2:	Wichtung der Bewertungskriterien im Rahmen der qualitative Analyse	36
Tabelle 3-3:	Dokumentationsformat für die studienbezogene Auswertung.....	38
Tabelle 4-1:	Übersicht über die in der Ampelanalyse mit grün bewerteten Studien..	45
Tabelle 5-1:	Spezifikation der Produktgruppe Arzneimittel und Kosmetika.....	59
Tabelle 5-2:	Selektierte Studien der Produktgruppe 'Arzneimittel' .....	59
Tabelle 5-3:	Studie 89 - Produktion von Vitamin B2.....	60
Tabelle 5-4:	Spezifikation der Produktgruppe „Wasch- und Reinigungsmittel“ .....	61
Tabelle 5-5:	Selektierte Studien der Produktgruppe ‚Wasch- und Reinigungsmittel‘	62
Tabelle 5-6:	Vergleich von Energie und CO <sub>2</sub> innerhalb selektierter Studien .....	62
Tabelle 5-7:	Spezifikation der Produktgruppe Bekleidungstextilien und Garne.....	63
Tabelle 5-8:	Selektierte Studien der Produktgruppe 'Textilien' .....	64
Tabelle 5-9:	Energiebedarf für den Spinnprozess von Baumwolle .....	66
Tabelle 5-10:	Spezifikation der Produktgruppe Papier, Pappe und Zellstoff.....	67
Tabelle 5-11:	Selektierte Studien zur Produktgruppe 'Papier und Pappe' .....	67
Tabelle 5-12:	Spezifikation der Produktgruppe Farben und Lacke.....	72
Tabelle 5-13:	Selektierte Studien der Produktgruppe 'Farben und Lacke' .....	73
Tabelle 5-14:	Spezifikation der Produktgruppe Faserverstärkte Kunststoffe .....	75
Tabelle 5-15:	Selektierte Studien der Produktgruppe ‚Naturfaserverstärkte Kunststoffe‘ .....	76
Tabelle 5-16:	Spezifikationen der Produktgruppe Bioschmier- und Verfahrensstoffe	81
Tabelle 5-17:	Selektierte Studien der Produktgruppe „Bioschmier- und Verfahrensstoffe“ .....	81
Tabelle 5-18:	Treibhauspotenzial von Raps- und Mineralöl in kg CO <sub>2</sub> -Äquivalenten pro funktionale Einheit.....	85
Tabelle 5-19:	Energieaufwand für Mineral- und Rapsölherstellung in MJ pro funktionale Einheit.....	85
Tabelle 5-20:	Spezifikation der Produktgruppe Verpackungen.....	86
Tabelle 5-21:	Selektierte Studien der Produktgruppe „Verpackung“ .....	87



---

Tabelle 5-22:	Vergleich weiterer Randbedingungen der Transportsysteme in selektierten Studien.....	90
Tabelle 5-23:	GWP bei Windelsystemen.....	91
Tabelle 5-24:	Funktionale Einheiten und Bewertungsmethoden der loose-fill- Studien.....	92
Tabelle 5-25:	Funktionale Einheiten der Geschirr-Studien .....	94
Tabelle 5-26:	Studie 6 - LCA-Ergebnisse für 100 m <sup>2</sup> Folie aus TPS im Vergleich zu LDPE .....	96
Tabelle 5-27:	Spezifikation der Produktgruppe Baustoffe und Dämmstoffe.....	99
Tabelle 5-28:	Selektierte Studien der Produktgruppe „Baustoffe, Dämmprodukte“ ..	100
Tabelle 5-29:	Energieverbrauch, GWP und AP verschiedener Dämmstoffe pro m <sup>3</sup> .	109
Tabelle 5-30:	GWP, AP, EP und POCP über den Lebensweg verschiedener Fußböden .....	110
Tabelle 5-31:	Studien der Untergruppe Fenster und funktionale Einheit .....	111
Tabelle 5-32:	Umweltwirkungen der Herstellung von Holzwerkstoffen verschiedener Studien.....	114
Tabelle 5-33:	Spezifikation der Produktgruppe Biopolymere.....	115
Tabelle 5-34:	Selektierte Studien der Produktgruppe „Biopolymere, -kunststoffe“ ....	116



## Nomenklatur

<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
AbfG	Abfallgesetz
AbfVwV	Abfallverwaltungsverfahren
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat
AET	Aquatische Ökotoxizität
AP	Acidification Potential (dt. Versauerungspotential)
Atro	absolut trocken Trockenmasse
BAW	Biologisch abbaubarer Werkstoff
BMELV	Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BSH	Brettschichtholz
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -Äq.	Ethen-Äquivalent
CNO	Coconut oil (dt.: Kokusnussöl)
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
DCB	Dichlorbenzol
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EI	Eco-Indicator (Bewertungspunkte)
EoL	End of Life
EP	Eutrophication Potential (dt. Eutrophierungspotential)
EPS	Expandierbares Polystyrol
et al.	und Andere
EU	Europäische Union
EW	Einwohnerwerte
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoff
FE	Funktionale Einheit
FSO	Alkoholsulfat
Gew.	Gewicht
GWP	Global Warming Potential (dt. Treibhauspotential)
H+	Wasserstoff
HIPS	High Impact Polystyrol, (dt. Hochschlagfestes Polystyrol)



<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
HT	Humantoxizität
KEA	Kumulierter Energieaufwand
kg	Kilogramm
km	Kilometer
krW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
LCA	Life Cycle Analysis
LDPE	Low-density polyethylene
MDF	Mitteldichte Faserplatte
Mio.	Millionen
mIP	Milli-Indikatorpunkte nach Ecoindicator
MIPS	Materialinput pro Serviceeinheit
MJ	Megajoule
MS	Microsoft
N <sub>2</sub> O	Distickstoffoxid, Lachgas
nawaRo	Nachwachsender Rohstoff
NFK	Naturfaserkunststoff
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
NH <sub>4+</sub>	Ammonium
NO <sub>3</sub>	Nitrat
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
NP	Nitrification Potential (= Eutrophierungspotenzial vgl. EP)
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
ODP	Ozon Depleting Potential
OSB-Platte	Oriented Strand Board (dt. Grobspanplatte)
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PHA	Poly-Hydroxy-Alkanoat
PHB	Poly-Hydroxy-Butyrat
PKO	Palmkernöl
PLA	Poly Lactic Acid (Polylactid)



---

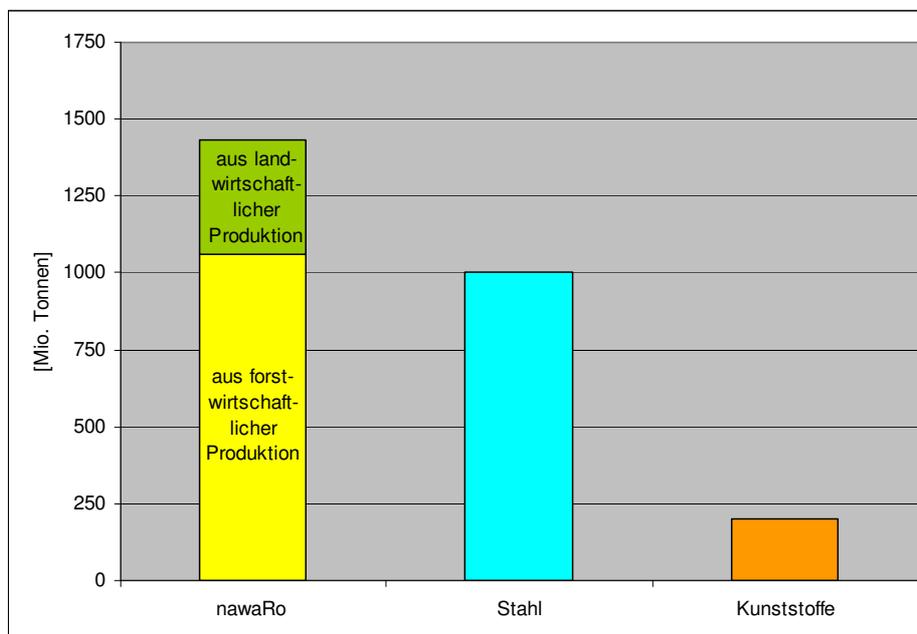
<b>Abkürzung</b>	<b>Erläuterung</b>
PM 10	Feinstaub mit Partikeldurchmesser kleiner als 10 µm
PO <sub>4</sub>	Phosphat
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential (dt. Photooxidantienbildungspotenzial)
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PVC	Polyvenylchlorid
RB-36	60 % TPS und 40 % LDPE
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
TA SiedlABf	Technische Anleitung Siedlungsabfall
TET	terrestrische Ökotoxizität
THC	Tetrahydrocannabinol
TPS	Thermoplastische Stärke
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
WENARO	Werkstoffe aus nachwachsenden. Rohstoffen
WS	Wintersmog

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Holz als Bau- und Konstruktionsmaterial, Pflanzenfasern für die Textilherstellung, tierische und pflanzliche Fette zur Seifenherstellung sind Beispiele für altbekannte Verwendungen von nachwachsenden Rohstoffen.

Land- und forstwirtschaftliche Rohstoffe besitzen heute bereits einen erheblichen Anteil an der Produktion industriell nutzbarer Stoffe und Energieträger (Abbildung 1-1). Deren wirtschaftliche Bedeutung wird allerdings häufig unterschätzt, da viele Produkte oft nicht als Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen wahrgenommen werden (Möbel, Textilien, Papier, etc.). Tatsächlich liegt die Produktion nachwachsender Rohstoffe zur stofflichen Nutzung bezogen auf Gewicht und Volumen weltweit vor anderen Rohstoffen wie Stahl und Kunststoffe [CARUS 2007, FAO 2005].



**Abbildung 1-1: Rohstoffnutzung weltweit im Jahr 2005 (ohne energetische Nutzung)**  
[CARUS 2007, FAO 2005]

Im Gegensatz zur stofflichen Nutzung stellt sich der Anteil der nachwachsenden Rohstoffe an der Gesamtenergieerzeugung als relativ gering dar. Innerhalb der nawaRo dominiert die Energienutzung vor der stofflichen Nutzung. Das Verhältnis liegt bei 80 % (energetisch) zu 20 % (stofflich).

Das Interesse an der Nutzung nachwachsender Rohstoffe ist nicht nur durch die anhaltende Überschusssituation im Nahrungsbereich auf den Agrarmärkten gestiegen, sondern auch durch die Suche nach umweltfreundlichen Alternativen zu fossilen Rohstoffen und Energiequellen. Die CO<sub>2</sub>-Entlastung, die Ressourcenschonung und die Rückführung von Stoffen in den natürlichen Kreislauf dienen der Umorientierung von einer nachsorgenden - reparierenden auf eine vorsorgende nachhaltige Politik, welche die natürlichen Lebensgrundlagen erhält. Es ist daher ein vorrangiges Ziel, Produktlinien zu etablieren, die im Vergleich zu

herkömmlichen Produkten ökologisch verträglicher, energetisch effizienter und ressourcenschonender sind.

Um bessere ökologische und ökonomische Lösungen mit Blick auf den Rohstoffanbau, die Produktionsverfahren, die Anwendungsbereiche und die Entsorgung verwirklichen zu können, werden Stoff- und Energiebilanzen durchgeführt. Diese erlauben die Einschätzung der Auswirkungen von Produkten auf Basis nachwachsender Rohstoffe auf die Umwelt.

Dies ist von zunehmender Bedeutung auch vor dem Hintergrund, dass der Beitrag der Land- und Forstwirtschaft einschließlich ihrer vor- und nachgelagerten Sektoren bzw. Ketten schon heute einen Anteil an den Treibhausgasemissionen in Deutschland von 11 % [WEGENER 2006] besitzt. Die nachhaltige Versorgung mit Industrierohstoffen auf stofflicher wie auch energetischer Basis jährlich neu produzierter Pflanzen wird größer werden müssen, wenn die Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsziele der Bundesregierung erreicht werden sollen.

Bereits heute existiert eine Vielzahl von Studien zur ökologischen Bewertung der stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen. Problem ist jedoch, dass kein einheitlicher Überblick über bereits vorhandene Umweltwirkungen zu stofflich genutzten nawaRo existierten und diese bislang nicht umfassend systematisch und vergleichend erfasst wurden. Dies wurde mit der vorliegenden Studie vorgenommen.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel der Studie ist es, basierend auf durchgeführten Studien, eine ökologische Gesamtbeurteilung der stofflichen Nutzung von Produkten auf der Basis nachwachsender Rohstoffe zu erarbeiten. Darüber hinaus soll die Studie dem Auftraggeber und den Akteuren im Bereich der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe durch objektive wissenschaftliche Information die Basis für politisch fundierte Strategieentscheidung liefern.

Unterziele sind dabei

- die Darstellung des aktuellen Wissenstandes bezüglich der ökologischen Auswirkungen der stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen,
- die Entwicklung von spezifischen Beurteilungskriterien für definierte Produktpaletten zur vergleichenden Bewertung der Umweltwirkungen der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe,
- die Charakterisierung der Ergebnisse der betrachteten Studien und deren Bewertung mit der entwickelten Vorgehensweise und
- die Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Anwendung dieser Bewertungskriterien zur Abschätzung der Umweltauswirkungen von nachwachsenden Rohstoffen in der stofflichen Nutzung.

## 1.3 Aufgabenstellung

Aus den Zielen ergeben sich folgende Aufgaben:

- Literaturrecherche nach Studien und Publikationen zum Thema „ökologischer Auswirkungen einer stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen“,
- Erstellung einer Datenbank der verfügbaren Studien,
- systematische und transparente Beurteilung (Charakterisierung) der Studien bezüglich ihrer Erkenntnisse, Methodik (z.B. Ökobilanz, Nachhaltigkeitsanalyse, etc.) Systemgrenzen, Randbedingungen, Angemessenheit, Qualität und Transparenz,



- logische und sinnvolle Zuordnung der Studien zu Produktgruppen,
- Entwicklung von Beurteilungskriterien der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe unter Berücksichtigung des Lebenszyklus und des Funktionsäquivalents zur vergleichenden Bewertung der Studien und deren Erkenntnisse,
- vergleichende Bewertung der Daten mittels der erarbeiteten Kriterien nach ökologischen Gesichtspunkten,
- Aufzeigen von signifikanten Lücken und Einschränkungen bezüglich Methode, Datengrundlage, Harmonisierung etc. und die Erarbeitung eines Vorschlags für die Herangehensweise zur Schließung der „Informationslücken“ und
- Formulierung von Handlungsempfehlungen zur Anwendung der entwickelten Beurteilungskriterien.

Das Ergebnis der vorliegenden Studie soll einerseits einen umfassenden Überblick über die Analyse der ausgewerteten Studien enthalten. Zum anderen muss eine Vorgehensweise beschrieben sein, wie bei der ökologischen Bewertung einer stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen vorgegangen werden soll und wie belastbare und aussagekräftige Vergleiche erstellt werden können.

Die Studie stellt den Wissensstand der Umweltauswirkungen der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe dar. Als maßgeblich für die kritische Auseinandersetzung und die Literaturbewertung werden wissenschaftliche Publikationen und Studien anerkannter Institutionen herangezogen.

Die Kenntnis über die ökologischen Vorteile von Produkten auf Basis nachwachsender Rohstoffe gegenüber Produkten aus fossilen Rohstoffen ist von großem Interesse. Die Frage ist, wie hoch diese ökologischen Vorteile sind, oder ob sie unter bestimmten Rahmenbedingungen sogar ökologisch nachteilig ausfallen können.

#### **1.4 Aufbau der Studie**

In Kapitel 2 werden die Grundlagen zum besseren Verständnis der vorliegenden Untersuchung gelegt. Begriffsdefinitionen, eine Beschreibung möglicher Methoden zur Umweltbewertung und eine kurze Einführung in die am häufigsten eingesetzte Methode der „Ökobilanz“ liefern wesentliche Basisinformationen.

In Kapitel 3 der vorliegenden Studie befindet sich die Beschreibung der methodischen Vorgehensweise bei der Literaturanalyse, die sich in die Segmente Literaturrecherche, Literaturverwaltung, Literaturbewertung und Literaturlauswertung gliedert.

In Kapitel 4 werden die Ergebnisse der Literaturbewertung nach Durchführung einer Ampelanalyse und einer qualitativen Analyse dargestellt. Die auf Basis dieser Analysen für die spätere, vergleichende Auswertung selektierten Studien sind in Tabelle 4-1 in tabellarischer Form übersichtlich dargestellt. Diese Tabelle ist zentrales Basisdokument für die in Kapitel 5 vorgenommene vergleichende Auswertung der Studien.

Kapitel 5 gibt für verschiedene Produktgruppen getrennt zunächst eine Übersicht über die Kulturarten, die verwendeten Rohstoffe und die daraus hergestellten Produkte. Für jede Produktgruppe ist die qualitative Bewertung der zugehörigen Studien in Form einer Übersichtsmatrix dargestellt. Die Umweltwirkungen typischer Produkte einer Gruppe werden im Detail beschrieben. Es ist hier darauf hinzuweisen, dass die näher betrachteten Studienergebnisse und deren Vergleiche lediglich als Beispiele zu verstehen sind. Vor dem Hintergrund der



Vielfalt der Produkte auf Basis nachwachsender Rohstoffe (und der selektierten Studien zu deren Umweltbewertung) ist es nicht möglich, im Rahmen dieser Studie alle Ergebnisse im Detail darzustellen und zu vergleichen. Ausführliche Einzelergebnisse sind den Studien selbst zu entnehmen.

Kapitel 6 fasst die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zusammen und zeigt die Grenzen der Vergleichbarkeit von umweltbewertenden Studien im Bereich der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe auf. Produktgruppenspezifische Handlungsempfehlungen werden abgeleitet.

Im Literaturverzeichnis (Kapitel 7) sind die im Rahmen der hier durchgeführten Analyse ausgewerteten Studien der Übersicht halber nicht noch einmal aufgeführt. Sie befinden sich, wie bereits erwähnt, in Kurzform tabellarisch in Tabelle 4-1 und in ausführlicher Form im Anhang. Die im Literaturverzeichnis aufgeführten Literaturstellen sind Angaben zu weiteren im Text verwendeten Quellenangaben.

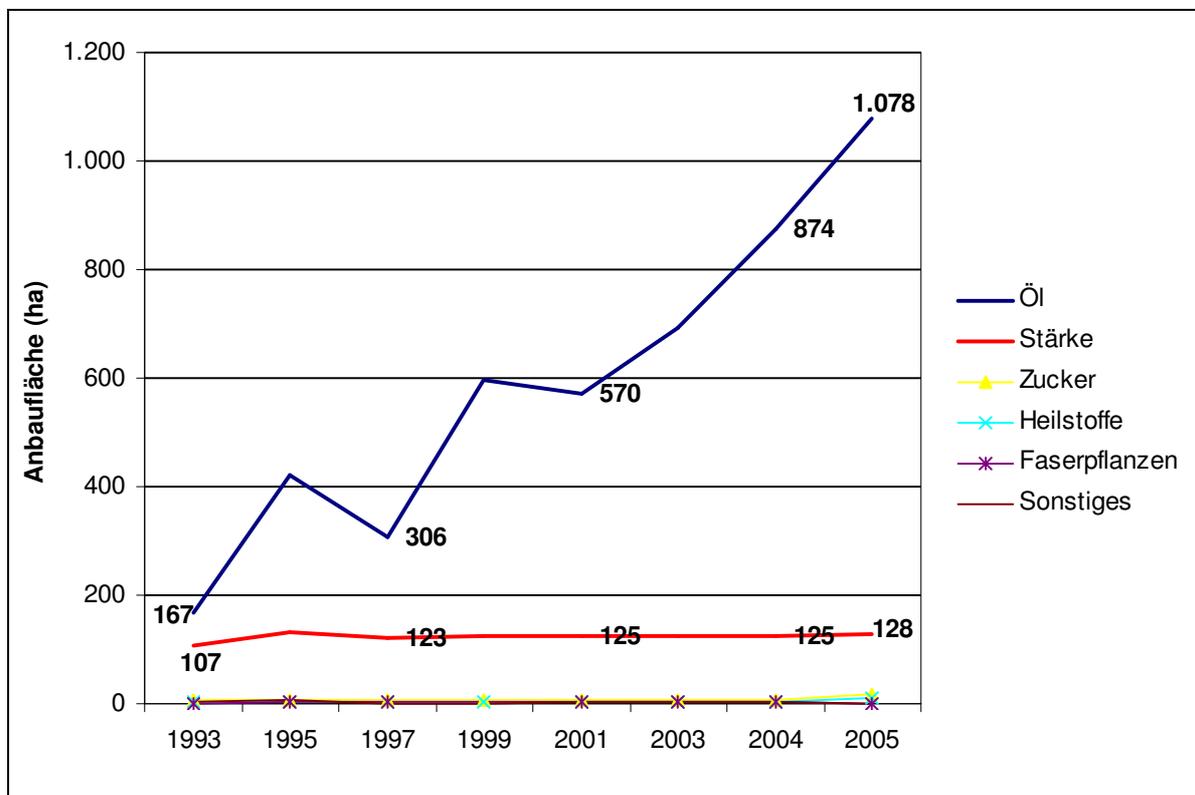
Der Anhang gliedert sich in drei Teile.

- Anhang A ist die ausführliche Darstellung aller im Rahmen dieser Untersuchung selektierten und ausgewerteten Studien zur ökologischen Betrachtung von nachwachsenden Rohstoffen bei einer stofflichen Nutzung.
- Anhang B liefert eine übersichtliche und einfach verständliche Beschreibung zum Verständnis der in der Regel zu Umweltbewertungen herangezogenen Auswertegrößen bzw. Wirkkategorien, wie Primärenergieverbrauch, Treibhauspotenzial (GWP), Versauerungspotenzial (AP), Eutrophierungspotenzial (EP), Photooxidantienbildung (POCP), Ozonabbau (ODP) und Toxizitäten.
- Anhang C gibt einen Überblick über die gängigsten Bewertungsmethoden zur Einschätzung von Umweltwirkungen.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Politischer Rahmen

Mit der EU-Agrarreform 1992, die helfen sollte, die Nahrungsmittelüberschüsse abzubauen, wurde das Thema „Nachwachsende Rohstoffe“ durch die Möglichkeit des Anbaus von nachwachsenden Rohstoffen auf Stilllegungsflächen (ehemalige Flächen der Nahrungsmittelerzeugung) belebt. In vielen stofflichen Nutzungen wird das CO<sub>2</sub> über Jahre oder Jahrzehnte gespeichert und wirkt damit als eine langfristige CO<sub>2</sub>-Senke. In Deutschland stieg die Flächeninanspruchnahme von 246.000 ha im Jahr 1993 auf rund 1,56 Mill. ha nachwachsende Rohstoffe im Jahr 2006. Die Fläche entspricht etwa 13 % der Ackerflächen Deutschlands, davon entfallen fast 400.000 ha auf Stilllegungsflächen [FNR 2007]. Einen Überblick über die Entwicklung und die Bedeutung nachwachsender Rohstoffe aus ackerbaulicher Produktion gibt Abbildung 2-1.



**Abbildung 2-1: Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe in Deutschland [FNR 2007]**

Im Wesentlichen ist dieser Anstieg der Anbauflächen nachwachsender Rohstoffe allerdings auf den Energiepflanzenanbau zurückzuführen. Einen entscheidenden Anteil daran hat die enorm gestiegene Rapsölproduktion, die in Verbindung mit der Steigerung der Biodieselproduktion zu sehen ist. Insgesamt nahmen die Ölpflanzen Raps, Sonnenblume und Öllein im Jahr 2005 mit rund 1.108.000 ha, 70 % der Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe ein. Mit rasantem Wachstum präsentierten sich in den letzten Jahren die Energiepflanzen mit einem Anteil von inzwischen knapp 20 % der Anbaufläche. Die Stärkeproduktion folgte mit Abstand auf 128.000 ha oder 8 % der Anbaufläche. Mit 60.000 ha machen Zucker, Flachs und Hanf,

sowie Arzneipflanzen nur einen kleinen Flächenanteil von 2 % der Anbaufläche nachwachsender Rohstoffe aus [Tabelle 2-1].

**Tabelle 2-1: Anbau nachwachsender Rohstoffe im Jahr 2006 in Deutschland [FNR 2007]**

Anbau	Basisfläche in [ha]		Stilllegung in [ha]	gesamt
	ohne Energiepflanzenprämie	mit Energiepflanzenprämie		
Ölpflanzen gesamt				1.108.000
Raps	610.000	172.000	318.000	1.100.000
Öllein	3.000			3.000
Sonnenblumen	4.000		1.000	5.000
Energiepflanzen	30.000	188.000	77.000	295.000
Stärke	128.000			128.000
Zucker	18.000			18.000
Naturfasern	2.000			2.000
Arznei- und Gewürzpflanzen	10.000			10.000
Summe	805.000	360.000	396.000	1.561.000
*geschätzt, da Datengrundlagen im Detail nicht zur Verfügung stehen und Außenhandelsbilanzen nicht exakt erfasst werden können				

Darüber hinaus wächst auf einem Drittel der Flächen in Deutschland, dies entspricht 11,1 Millionen Hektar, Wald. Dieser liefert den Rohstoff Holz für die Industrie- und die Energieversorgung. Das Verhältnis von stofflicher zu energetischer Nutzung beträgt, wenn man nur Holz als nachwachsenden Rohstoff berücksichtigt, 68 % zu 32 %, zieht man die nachwachsenden Rohstoffe aus der landwirtschaftlichen Produktion hinzu, so verändert sich das Verhältnis auf 65 % zu 35 % [CARUS 2007].

Es lässt sich also festhalten, dass in Deutschland etwa zwei Drittel der nachwachsenden Rohstoffe aus Forst- und Landwirtschaft stofflich und nur ein Drittel energetisch genutzt werden und dass der Anteil nachwachsender Rohstoffe an der Deckung des stofflichen Bedarfs deutlich höher als der Anteil nachwachsender Rohstoffe an der Deckung des Energiebedarfs ist. Auch wenn die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe große Anteile am nawaRo-Markt besitzt und mit großen Wachstumspotenzialen aufwarten kann, so spielt deren Nutzung im Vergleich zur energetischen Nutzung bislang in der öffentlichen Diskussion, aber auch in der Politik, eine deutlich geringere Rolle. Zwar hat die stoffliche Nutzung, den Erklärungen verschiedener Bundes- und Landesministerien nach, "Vorrang" vor der energetischen Nutzung, doch sind solchen Äußerungen bisher nur wenige konkrete Maßnahmen gefolgt. Während in den letzten Jahren durch die Politik die ökonomischen Rahmenbedingungen für die energetische Nutzung optimaler gestaltet wurden (Steuerbefreiung bzw. reduzierte Besteuerung, EEG), fehlen bei der stofflichen Nutzung ähnlich übergreifende Konzepte und Instrumente zur Förderung. Der wesentliche Grund für die Unterschätzung der



stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe dürfte in der Gliederung der stofflichen Nutzung in zahlreiche, unzählbar viele unterschiedliche Produktgruppen, Produktlinien und Produkte sein. [CARUS 2007]

Entsprechend konzentrieren sich Fördermaßnahmen für die stoffliche Nutzung in Deutschland bisher auf die Förderung einzelner, spezifischer Anwendungen (z.B. Umrüstung auf Bioschmierstoffe, Markteinführungsprogramm biogene Schmierstoffe, Förderprogramm Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen). Dies bietet sich an, da die stoffliche Nutzung durch die Breite ihrer Anwendungen sehr komplex ist und für eine übergreifende Förderung bisher schwer zu fassen ist. Eine Vielzahl von Richtlinien, Verordnungen und Gesetzen bieten Möglichkeiten, die stoffliche Nutzung weitergehend zu fördern, darunter z.B. die: Europäische und Deutsche Norm zur Prüfung der Kompostierbarkeit von Kunststoffen, die Bioabfallverordnung, das Chemikaliengesetz, die Gefahrstoffverordnung, das Wasserhaushaltsgesetz, die Altölverordnung, das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, das Bundes-Immissionsschutzgesetz, das Bundes-Bodenschutzgesetz, das Umwelthaftungsgesetz, die Altauto-Richtlinie/ das Altauto-Gesetz oder die Verpackungsverordnung. In verschiedenen Entsorgungs-/Wiederverwertungs-Richtlinien wird das Recycling zur erneuten stofflichen Nutzung gegenüber der thermischen Nutzung favorisiert. Dies ist in der Praxis bei der Nutzung nachwachsender Rohstoffe jedoch nicht immer vorteilhaft, weil Recyclingprozesse nach Stand der Technik oftmals mit hohen Umweltbelastungen verbunden sind. Deshalb ist spezifisch im Einzelfall zu prüfen, ob eine energetische Verwertung aus ökologischer Sicht besser ist als eine erneute stoffliche Nutzung.

Die Möglichkeit des Anbaus nachwachsender Rohstoffe ist durch die Fläche beschränkt. Daraus ergibt sich zwangsläufig eine Konkurrenzsituation um landwirtschaftliche Anbauflächen zwischen Nahrungsmittelanbau, stofflicher und energetischer Nutzung. Fraglos besitzt der Nahrungsmittelanbau eine Vorrangstellung. Zu klären bleibt, ob auch die stoffliche Nutzung vor einer energetischen Nutzung Vorrang hat, da sich an eine stoffliche Nutzung in der Regel eine energetische Nutzung anschließen kann. Vielfach lässt sich diese Problematik durch Marktmechanismen entkrampfen, so besitzen stoffliche Produkte im Allgemeinen eine höhere Wertschöpfung. Zum Beispiel ist die Wertschöpfung bei „Papier“ acht mal höher als bei Energie aus Holz [VORHER 2007].

## 2.2 Begriffsdefinitionen

**Stoffliche Nutzung:** Unter einer stofflichen Nutzung wird die Verwendung der Inhaltskomponenten als Roh-, Hilfs-, Zusatz- oder Endstoff meist im gewerblich-industriellen Anwendungsbereich verstanden [MÜSSIG 1998].

**Nachwachsende Rohstoffe:** Der Begriff nachwachsende Rohstoffe wird in der Literatur nicht einheitlich definiert. Eine weit gefasste Definition zieht biochemische Kriterien heran, so dass nachwachsende Rohstoffe als kohlenstoffhaltige Produkte bezeichnet werden, die unter Nutzung von Sonnenenergie entstehen. Dies schließt allerdings neben der stofflichen auch die energetische sowie die Nutzung als Nahrungsmittel mit ein. Das Centrale Agrar-, Rohstoff-, Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. definiert nawaRos wie folgt:

„Nachwachsende Rohstoffe (im allgemeinen Sprachgebrauch auch Biomasse) sind organische Stoffe pflanzlichen oder tierischen Ursprungs, die ganz oder in Teilen als Rohstoffe für

die Industrie oder als Energieträger genutzt werden. Im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen erneuern sie sich jährlich oder in überschaubaren Zeiträumen.“ [CARMEN 2007]

Eine Definition der FNR wird genauer: "Nachwachsende Rohstoffe sind land- und forstwirtschaftlich erzeugte Produkte, die einer Verwendung im Nichtnahrungsbereich zugeführt werden" [FNR 2007\_1]. Das BMELV ergänzt darüber hinaus: „[...] also nicht zur Nahrungsmittel- oder Tierfutterherstellung genutzt werden. Verwendungszweck dieser Rohstoffe aus der Natur können die industrielle Weiterverarbeitung (stoffliche Nutzung), aber auch die Erzeugung von Wärme, Strom oder Treibstoffen (energetische Nutzung) sein“ [BMELV 2007].

Nach Mann [MANN 1998] gehören nachwachsende Rohstoffe zu den erneuerbaren Ressourcen. „Es sind „Stoffe, die aus lebender Materie stammen und vom Menschen zielgerichtet für Zwecke außerhalb des Nahrungs- und Futterbereiches verwendet werden“

Allgemein können nachwachsende Rohstoffe als ein Sammelbegriff für land- und forstwirtschaftlich erzeugte Rohstoffe betrachtet werden, wie z.B. Fasern, Zuckerstoffe, Öle und Stärke aus beispielsweise Hanf, Rüben, Raps oder Kartoffeln, die nach der Aufbereitung aus dem Pflanzenmaterial einer weiteren technischen oder energetischen Anwendung zugeführt werden können. Sämtlichen Definitionen gemeinsam ist das Kriterium der Anwendung nachwachsender Rohstoffe außerhalb des Nahrungs- und Futtermittelsektors.

In allen Fällen gibt es allerdings auch definitorische Problemfälle. Ein typischer Problemfall ist der Tabak in seiner üblichen Nutzungsform des Rauchens. Tabak oder auch andere Drogen werden im Zusammenhang mit einer stofflichen Nutzung nur sehr selten genannt. Aus den genannten Definitionen muss jedoch geschlossen werden, dass Tabak grundsätzlich zu den nachwachsenden Rohstoffen zu zählen ist.

Häufig werden unter dem Begriff auch nur Pflanzen gefasst, obwohl tierische Produkte wie Felle und Häute klassische Beispiele einer Nutzung erneuerbarer Rohstoffe sind. Zu den nachwachsenden tierischen Produkten gehören daneben auch Produkte wie beispielsweise Schurwolle, Leder, Talg, Gelatine, Farbstoffe aus Schnecken und Läusen etc. Die tierischen Produkte werden jedoch in dieser Studie nicht betrachtet, da sie in der gegenwärtigen politischen Debatte um nachwachsende Rohstoffe in Deutschland und Europa kaum eine Rolle spielen.

Unter dem Begriff nachwachsende Rohstoffe werden im Rahmen der hier vorliegenden Studie sämtliche pflanzlichen Rohstoffe verstanden, die biologisch erneuerbar sind und die nicht für Ernährungs-, Genuss- oder Futtermittelzwecke genutzt werden. Es handelt sich demnach um einen Sammelbegriff, der nicht-mineralische und nicht-fossile Rohstoffe beinhaltet.

### **2.3 Überblick zur stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe**

Die Verwendungszwecke der nachwachsenden Rohstoffe können die industrielle Weiterverarbeitung, aber auch die Erzeugung von Wärme, Strom und anderen Energieformen sein. Entsprechend ihrer Anwendung unterscheidet man im pflanzlichen Bereich bei nachwachsenden Rohstoffen zwischen Industriepflanzen (z.B. Öl-, Zucker- und Faserpflanzen) und Energiepflanzen (z.B. Getreidestroh, Chinaschilf, Holz).

Die Nutzung der „Industriepflanzen“ erfolgt entweder direkt, z.B. als Baustoff (Holz beim Hausbau) oder im Rahmen einer weiteren technischen Aufarbeitung als Ausgangsmaterial für bestimmte Folgeprodukte (z. B. Holzmöbel). Aus Faserpflanzen werden Textilien wie



Baumwollhemden oder Jutetaschen hergestellt. Ölpflanzen wie Raps oder Sonnenblumen dienen zur Öl- oder Schmierstoffproduktion. Aus Kartoffeln, Mais oder Weizen gewonnene Pflanzenstärke wird als Ausgangsstoff für Kleber, Biokunststoffe oder als Zuschlagstoff für die Papierindustrie genutzt. Rübenzucker ermöglicht die Herstellung von Tensiden oder Biokunststoffen. Pflanzenfasern aus Flachs oder Hanf werden für Verbundwerkstoffe in der Automobilindustrie genutzt. Auch im Dämmstoffsektor finden Pflanzenfasern Anwendung. etc. Dies sind nur wenige Beispiele, die Vielzahl der Einsatzbereiche ist enorm. Die Palette der Produkte mit Grundsubstanzen aus der Land- und Forstwirtschaft ist aufgrund der Anzahl möglicher Endprodukte inzwischen fast unüberschaubar. Wichtig ist eine Unterscheidung der Begriffe Rohstoffe, Werkstoffe und Produkte. Abbildung 2-2 gibt einen Überblick über die Anzahl möglicher Produktbereiche und die Produktionsmenge innerhalb der Rohstoffgruppen.

Aus den Grundstoffen der nachwachsenden Rohstoffe (Öle, Fette, Stärke, Proteine, Zucker etc.) lassen sich nahezu alle Produkte ähnlich wie bei Produkten auf fossiler Rohstoffbasis herstellen. Bei der Vielfalt der Möglichkeiten und der Heterogenität der Anwendungsfelder bei der stofflichen Nutzung hat es sich als zweckmäßig erwiesen, Erzeugnisse aus nachwachsenden Rohstoffen so genannten Produktlinien zuzuordnen. Dies erfolgt aus Gründen der Übersichtlichkeit und ermöglicht es, im fertigen Produkt die Art des verwendeten Rohstoffs zu erkennen. Eine häufig verwendete Gliederung für Produktgruppen/Anwendungsfelder ist die Folgende: „Bioschmierstoffe“, „Chemische Grundstoffe“, „Wasch- und Reinigungsmittel“, „Kosmetika“, „Farben und Lacke“, „Bau- und Dämmstoffe“, „Textilien“, sowie „Biokunststoffe“.

Gelegentlich ist es auch sinnvoll, Produkte aus verschiedenen Produktlinien aber mit gleicher Verwertungsrichtung zusammenzufassen, wie z. B. biologisch abbaubare Werkstoffe, Bau- und Dämmstoffe oder Faserverbundstoffe.

In der deutschen Industrie stammen heute etwa zehn Prozent aller eingesetzten Grundsubstanzen aus nachwachsenden Rohstoffen. Dabei präsentiert sich auf der Angebotsseite das Spektrum bisher sehr mannigfaltig, so gibt es zum Beispiel im Bereich der Druck- und Schmierflüssigkeiten 450 Produkte von über 40 Herstellern. Der nachwachsende Rohstoff Stärke findet sich in weit über 500 Produkten wieder.

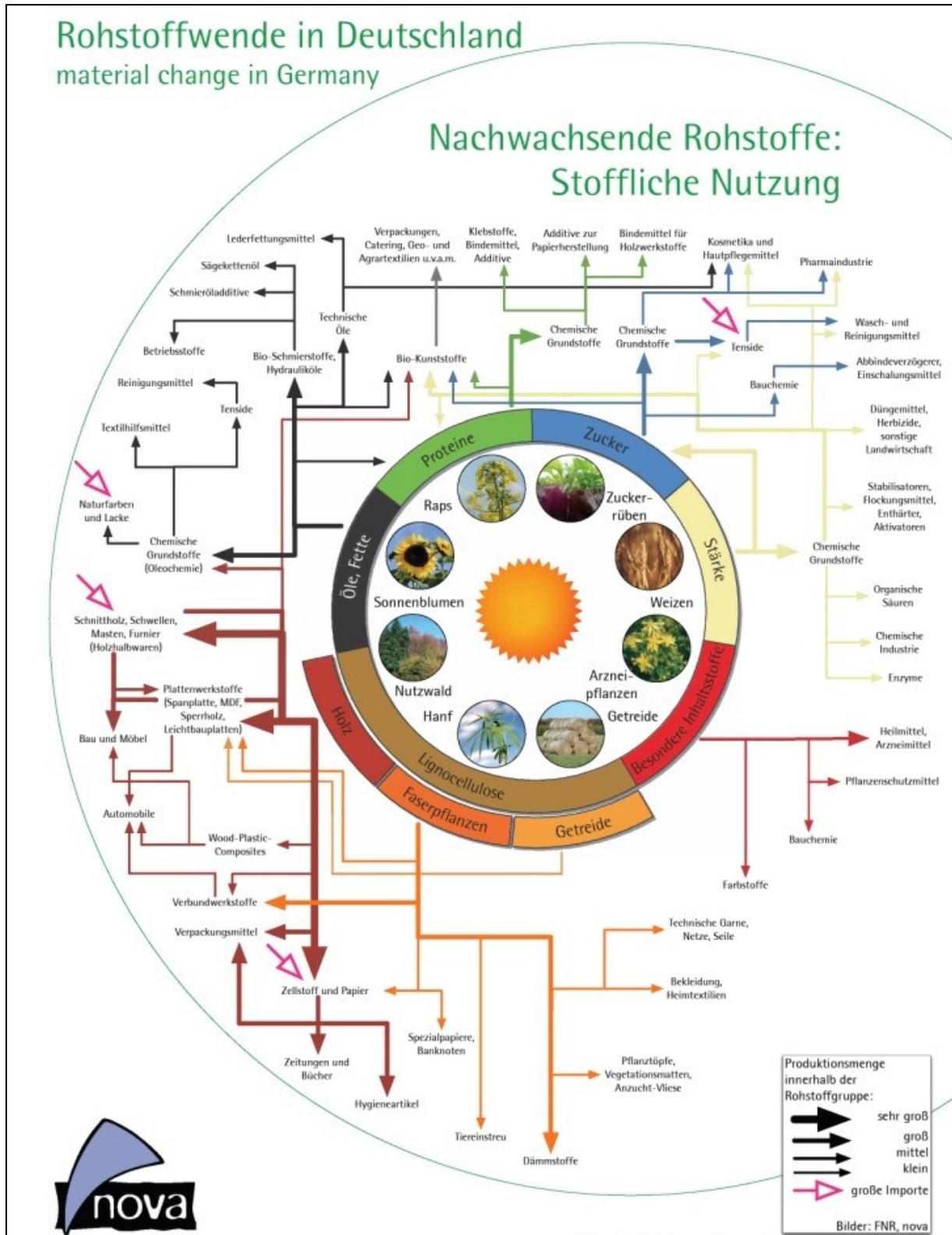
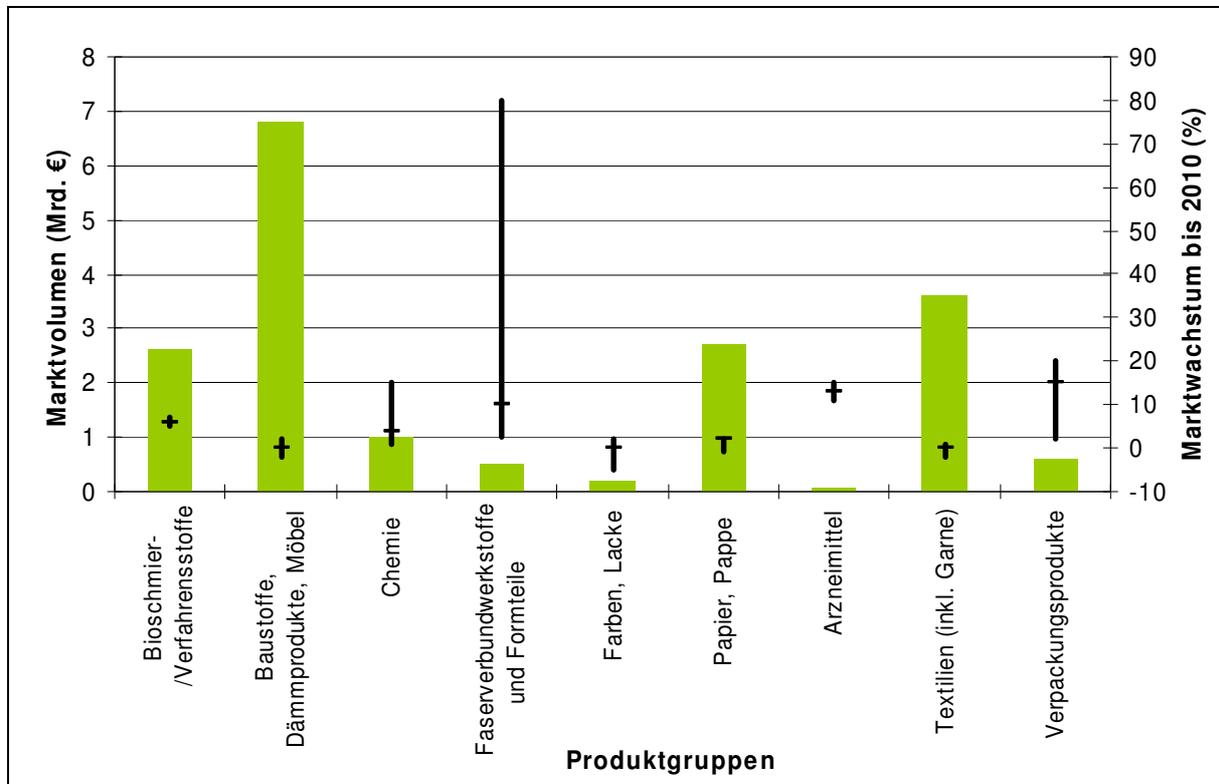


Abbildung 2-2: Überblick über die Vielfalt der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe (CARUS 2007)

Abbildung 2-3 gibt einen Überblick über Marktanteile (Balkendarstellung) und das zu erwartende Marktwachstum (Liniendarstellung) nachwachsender Rohstoffe in der stofflichen Nutzung [MEO 2006].



**Abbildung 2-3: Marktvolumen und Marktwachstum innerhalb der Produktgruppen [Daten nach MEO 2006]**

Zwischen den verschiedenen Produktgruppen bestehen große Differenzen hinsichtlich des bisherigen Marktvolumens, dem Anteil nachwachsender Rohstoffe oder auch dem Marktwachstum. Das derzeitige Marktvolumen liegt bei den Baustoffen am höchsten, gefolgt vom Textilbereich, den Produkten aus Papier und Pappe und den Bioschmier- und Verfahrensstoffen. Das Marktwachstum, dargestellt anhand der schwarzen Linien, gibt eine Spannweite wieder, innerhalb derer laut [MEO 2006] ein Wachstum bis 2020 pro Jahr zu erwarten ist. Dabei ist berücksichtigt, dass unterschiedliche Produktbereiche innerhalb der Produktgruppen mit unterschiedlichen Wachstumsraten zum Gesamtwachstum beitragen. Das durchschnittlich zu erwartende Wachstum ist durch einen Querstrich auf der schwarzen Linie gekennzeichnet. Die höchsten Potentiale sind in diesem Zusammenhang in der Produktgruppe der Verpackungsprodukte, der Faserverbundwerkstoffe und der Arzneimittel zu erwarten. Der Marktanteil nachwachsender Rohstoffe innerhalb der untersuchten Anwendungsbereiche der stofflichen Nutzung fällt in den meisten Fällen noch relativ gering aus. Eine Ausnahme bilden die Bau- und Dämmstoffe. Hier liegt der Anteil an nachwachsenden Rohstoffen bei rund 25 % [MENRAD 2007].

## 2.4 Ökologische Analyse, Methoden und Inhalte

Nachwachsende Rohstoffe sind fossilen Energieträgern und Rohstoffen derzeit ökonomisch häufig unterlegen. Dies liegt zum Teil daran, dass den konventionellen Rohstoffen erhebliche umweltbelastende Effekte monetär nicht entsprechend angelastet werden. Umweltentlastungseffekte, wie z. B. die Ressourcenschonung oder die geringere CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei der energetischen Nutzung von Biomasse und die Möglichkeit der Rückführung von Rest- und Abfallstoffen in den natürlichen Stoffkreislauf sprechen jedoch für einen verstärkten Einsatz. Daher ist es wichtig, parallel zur Entwicklung von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen, auch Umweltbewertungen zu erstellen, die diese Vorteile belegen oder Nachteile aufzeigen. Gesicherte Daten über den Grad der Umweltbe- oder -entlastung sind wichtige Hilfsmittel zur Vorbereitung umweltorientierter politischer oder unternehmerischer Entscheidungen. Gerade im Zuge von Produktneuentwicklungen helfen Umweltbewertungen, Schwachstellen aufzudecken und die Umwelteigenschaften der Produkte und Produktionsverfahren zu verbessern.

Um die ökologischen Eigenschaften eines Produktes und/oder ganzer Produktionsprozesse bzw. –standorte zu untersuchen und zu dokumentieren, gibt es zahlreiche Ansätze. Tabelle 2-2 zeigt die bedeutendsten Methoden im Zusammenhang einer ökologieorientierten Bewertung [RÄBIGER 2007]. Dabei haben die einzelnen Konzepte verschiedene Ziele. Oft führt erst eine kombinierte Anwendung verschiedener Methoden zu dem Ziel, Produkte und ihre Herstellung ökologisch zu charakterisieren und zu optimieren.

**Tabelle 2-2: Übersicht zu Umweltbewertungsmethoden, verändert [RÄBIGER 2007]**

Jahr	Bewertungsmethoden	Zielrichtung der Wirkbilanz	Basis der Bewertung	Ergebnis
1970	ABC-Analyse	Unternehmensinternes Bewertungsrastrer	Zielerfüllung	verbal-argumentativ
1984	Modell der kritischen Belastungsmengen (BUWAL, Schweiz) Immissionsgrenzwertmethode	kritische Belastung für Luft und Wasser nach Umweltstandards  Gesamtenergieverbrauch, Deponievolumen für feste Abfälle	gesetzliche Grenzwerte für einzelne Schadstoffe	4 Kennzahlen: Abfall, Energie, Wasser, Luft
1990	Ökopunkte (Braunschweig/ Müller-Wenk)	kritische Belastung (ökologische Knappheit)	Belastbarkeit einer Umweltressource (stoffflußorientiert)	eine Kennzahl: Umweltbelastungspunkt
1990/ 1991	EPS-Modell (Schweden)	Schutzziele (Artenvielfalt, Produktion, menschliche Gesundheit, Ressourcen, ästhetische Werte)	Monetisierung von Ressourcen-, Energieverbrauch und Schadstoffemissionen (kostenorientiert)	eine Kennzahl: monetäre Größe
1991	VNCI-Modell (NL), CML	Agglomerate der Wirkkategorien (Ozonabbau, Treibhauseffekt, Versauerung, Eutrophierung, Ressourcen, Photo-oxidantien, Humantoxizität)	Niederländische Grundbelastung und politisch vorgegebene Gewichtungsfaktoren (auswirkungsorientiert)	eine Kennzahl: Umweltindex

1991	Tellus-Modell (USA)	Bewertung von Entsorgungsalternativen unter ökologischen Gesichtspunkten	Monetisierung der Vermeidungsoptionen (kostenorientiert)	eine Kennzahl: monetäre Größe
1992	Methodische Ansätze von Gebler	toxikologische und ökotoxikologische Kenngrößen	Kennwerte der einzelnen Stoffe (stofforientiert)	eine Kennzahl: Toxizitätsäquivalent
1992/ 1993	MIPS (Wuppertal, Schmidt-Bleek)	ökologische Rucksäcke der eingesetzten Werkstoffe und Energieträger nach 5 MI-Erhebungskategorien	Materialverbrauch (stoffflußorientiert)	eine Kennzahl: Material-Input
1995	KEA (VDI)	Energieaufwand	Verbräuche an Energieressourcen und -Energiebereitstellungsemissionen (stoffstromorientiert)	eine Kennzahl: Energieaufwand
1995	Umweltbundesamt	Wirkkategorien (fossile Energieträger, nachwachsende Rohstoffe, Wasser, Uranerz, Treibhauseffekt, Bildung von Photooxidantien, Versauerung, Nährstoffe in Böden und Gewässern, Flächenverbrauch, Lärm nah und fern)	Äquivalenzfaktoren in Bezug auf eine Referenzsubstanz und abschließende Gewichtung (auswirkungsorientiert)	verbal-argumentativ

Unter den verschiedenen Methoden haben sich Ökobilanzen zur Beurteilung der Umweltwirkungen von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen in den letzten Jahren am stärksten durchgesetzt. Auch die im Folgenden dargestellte Literaturanalyse zeigt, dass die meisten Umweltbewertungen auf der Basis von Ökobilanzen durchgeführt wurden. Aus diesem Grund wird daher diese Methode der Ökobilanz näher vorgestellt.

## 2.5 Methodik der Ökobilanz

Die Ökobilanz ist eine der Modellentwicklungen, die sich aus dem skizzierten Wunsch nach integrierter Betrachtung ökologischer Wechselwirkungen von Systemen ergab. Die frühen "Ökobilanzen" in den 70er Jahren bis Mitte der 80er Jahre waren einfache Abschätzungen über Energie oder Mengenströme, z.B. bezüglich Emissionen oder Abfallströme. Die Thematik erweiterte sich in den 80er Jahren insbesondere mit dem beobachteten „Waldsterben“ auf andere Anwendungsfelder. Ende der 80er Jahre entwickelte sich die Bewertung weg vom isolierten Betrachten von Einzelfaktoren hin zu einer integrierten Betrachtung von Systemen und deren Wechselwirkungen mit der Umwelt. Eine Weiterentwicklung dieser frühen Untersuchungen erfolgte in Europa insbesondere durch das Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU ehemals BUS bzw. BUWAL) durch ihre "Ökobilanzen" von Packstoffen [BAFU 1984], die Anfang der 90er Jahre aktualisiert wurde [HABERSATTER 1991]. Das BAFU wandte erstmals das Instrument der gewichteten Emissionsflüsse ("kritische Volumina") an und betrat damit das Feld der Wirkungsbilanz. Vertieft wurden diese Ansätze in Deutschland Mitte der 80er Jahre durch energieanalytische [HAGEDORN 1992] sowie energie- und emissionsorientierte Arbeiten [FRANK 1984]. Zu Beginn der 90er Jahre begann ein internationaler Austausch zu Ansätzen und Methoden von Ökobilanzen bzw. zum Life Cycle Assessment (LCA). Damit einher ging auch eine Vereinheitlichung der Begrifflichkeiten (international: Life Cycle As-

essment, LCA). Aus den Arbeiten der SETAC auf diesem Gebiet, insbesondere den Workshops, resultierten entsprechende Richtlinien zur Methodik der Ökobilanzierung. Neben dieser eher wissenschaftlichen Ebene gab es auch auf der Normungsebene verschiedene Aktivitäten, um die Systematisierung und Vereinheitlichung von LCAs/Ökobilanzen voranzubringen. Auf internationaler Ebene bei der ISO nahmen ebenfalls im Juni 1993 entsprechende Ausschüsse ihre Arbeit auf, um im Rahmen der Normung einen Konsens über die Methodik der Ökobilanzerstellung herbeizuführen. Die internationale Normung dieses Instruments bringt zum Ausdruck, dass praktisch alle interessierten Kreise weltweit einen Konsens in der Methodik und Vorgehensweise erzielt haben bzw. erzielen werden. Damit sind die grundlegenden Elemente für den Vergleich aus ökologischer Sicht festgelegt [FLEISCHER 1995]. Der Gedanke der Nachhaltigkeit (sustainable development), der auch in den neunziger Jahren aufkam, greift neben ökologischen Fragestellungen zusätzliche soziale und ökonomische Aspekte auf.

Ökobilanzen nach ISO 14040 sind international anerkannte Instrumente zur Beurteilung der ökologischen Eigenschaften von Produkten und Dienstleistungen. Im Gegensatz zu vielen Zertifikaten oder Umweltzeichen zeigt eine Produktökobilanz die Umweltwirkungen über den Verlauf des gesamten Lebensweges eines Produktes auf, von der „Wiege bis zur Bahre“ (ISO 14040). Von der „Wiege“ bedeutet hierbei, dass sämtliche Vorketten, wie z.B. Rohstofftransporte, deren Treibstoffverbrauch sowie die Erdölförderungen mitbetrachtet werden. „Bahre“ bedeutet in diesem Zusammenhang, dass ebenfalls die Entsorgung / Verwertung nach der Nutzungsphase eines Produkts mitberücksichtigt wird. Eine Ökobilanz gliedert sich wie folgt:

- die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
- die Sachbilanz
- die Wirkungsabschätzung
- die Auswertung der Ergebnisse.

Gemeinsam mit der DIN EN ISO 14040 2006 stellt die DIN EN ISO 14044 2006 den Standard für eine ISO-konforme Ökobilanzierung dar. Ein Vergleich der ökologischen Auswirkungen muss die komplexen Umweltwirkungen während des gesamten Lebensweges eines Produktes umfassen oder Verfahren einer Produktlinie auf ihre ökologischen Auswirkungen untersuchen. Die Ökobilanz wird als ein Instrument zur Überprüfung der Umwelteigenschaften eines Produktes oder einer Produktlinie angesehen. Zweck einer Ökobilanz ist es, die mit einem Produkt oder einer Produktlinie in Verbindung stehenden Auswirkungen auf die Umwelt im Rahmen einer Systembetrachtung zu erfassen, transparent aufzubereiten, die jeweiligen spezifischen Wirkungen und Beeinflussungen abzuschätzen und nachvollziehbar zu bewerten.

Die Produkt-Ökobilanz kann hilfreich sein bei:

- dem Aufzeigen von Möglichkeiten zur Verbesserung der Umweltaspekte von Produkten in den verschiedenen Phasen ihres Lebenswegs,
- der Entscheidungsfindung in Industrie, Regierungen oder Nichtregierungsorganisationen (z.B. bei der strategischen Planung, Prioritätensetzung, Produkt- oder Prozessentwicklung oder entsprechender Umstellung),
- dem Auswählen von relevanten Indikatoren der Umweltleistung einschließlich Messverfahren,



- dem Marketing (z.B. Umweltaussagen, bei Umweltkennzeichnung oder bei umweltbezogener Produktdeklarierung),
- dem Aufzeigen von Optimierungspotenzialen,
- der ökologischen Bewertung von Alternativen mit gleicher Funktion,
- dem Erstellen von Entscheidungsgrundlagen für die ökologische Produkt- und Prozessoptimierung und
- der Integration in eine ökologisch-ökonomische Gesamtbewertung.

Nach ISO 14040 müssen bei Ökobilanz-Studien, die vergleichend bewerten und deren Ergebnisse veröffentlicht werden, kritische Prüfungen vorgenommen werden. Diese sind nach dem vorgegebenen normierten Prüfungsverfahren durchzuführen. Interne Ökobilanzstudien zur vergleichenden Betrachtung der Umweltwirkungen von Produkten und dem Aufdecken von betrieblichen Optimierungspotenzialen, die nicht zu Publikationszwecken erstellt wurden, sind davon ausgenommen. Bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens der Ökobilanz müssen gemäß der ISO-Richtlinien unter anderem eindeutig beschrieben werden:

- das zu untersuchende Produktsystem;
- die Funktionen des Produktsystems oder der Systeme;
- die funktionelle Einheit;
- die Systemgrenze;
- die Allokationsverfahren;
- die Methode für die Wirkungsabschätzung und die Wirkungskategorien;
- die Methoden zur Auswertung;
- die Anforderungen an die Daten;
- die Annahmen;
- die Werthaltungen und optionalen Bestandteile;
- die Einschränkungen;
- die Anforderungen an die Datenqualität;
- die Art der Kritischen Prüfung, sofern vorgesehen;
- die Art und der Aufbau des für die Studie vorgesehenen Berichts.

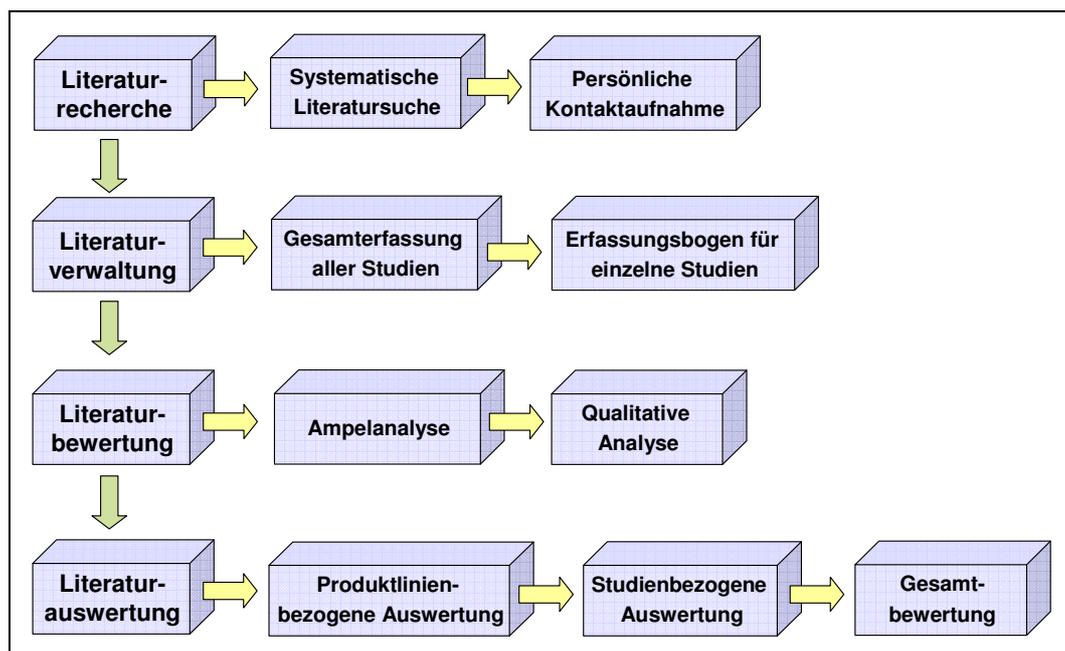
Eine detaillierte Beschreibung der Wirkkategorien ist Anhang B zu entnehmen. Einen Überblick zu Bewertungsmethoden liefert Anhang C.

### 3 Vorgehensweise bei der Literaturanalyse

Im Rahmen einer systematischen Recherche und Bewertung wurden zunächst alle relevanten wissenschaftlichen Quellen zum Thema durchsucht. Die vorliegende Literaturstudie gibt einen Überblick über vorhandene umweltbewertende Studien zum Thema nachwachsende Rohstoffe für eine stoffliche Nutzung. Da diese sehr zahlreich sind, sind vor allem aktuelle, an die Methodik der Ökobilanz angelehnte Studien in die engere Wahl gezogen worden. Sämtliche im Verlauf der Literaturanalyse als geeignet eingestufte Studien sind kurz charakterisiert und befinden sich im Anhang.

Die Vorgehensweise bei der Literaturanalyse gliedert sich in die vier Schritte Literaturrecherche, Literaturverwaltung (= Dokumentation), Literaturbewertung und Literaturauswertung.

Ziel der **Recherche** ist das Zusammentragen weltweit vorhandener / verfügbarer Literatur durch eine systematische Recherche. Im zweiten Schritt, der **Verwaltung** wird die zusammengetragene Literatur übersichtlich in Datenbanken und Formblättern dokumentiert. Im weiteren Verlauf erfolgt die **Bewertung** (Selektion) der dokumentierten Literatur hinsichtlich ihrer Eignung zur weiteren Auswertung im Sinne der Fragestellung der Studie. Im abschließenden Schritt der **Auswertung** wird die zuvor selektierte Literatur getrennt für bestimmte Produktgruppen und anhand spezifischer ökologischer Kriterien beurteilt (Abbildung 3-1).



**Abbildung 3-1: Übersicht und Methodik der Vorgehensweise bei der Literaturanalyse der vorliegenden Studie**

Nachfolgend wird die Vorgehensweise in den einzelnen Schritten der Literaturanalyse im Detail dargestellt.

#### 3.1 Literaturrecherche

Zu Beginn wurden bereits bekannte und aktuell in der öffentlichen Diskussion in Mitteleuropa stehende Umweltbewertungen zum Thema ökologische Analyse der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe zusammengetragen.



### 3.1.1 Stichwortsuche Bibliotheken und Internet

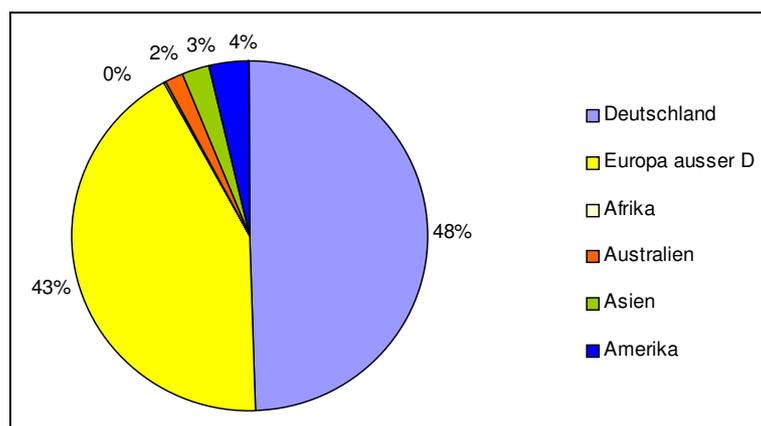
Die weitere Literaturerhebung erfolgte durch eine Schnellanalyse nach dem Schneeballprinzip. Zunächst wurden über Stichwortsuchen Studien ausfindig gemacht und über deren Literaturverzeichnisse speziell weitere Studien, Institutionen und Autoren in Bibliotheken und Online-Datenbanken gesucht. Dabei wurde nach den in Tabelle 3-1 dargestellten Begriffen recherchiert. Um wirklich alle passenden Titel zu finden, wurden immer mehrere Suchdurchläufe mit synonymen Suchbegriffen bzw. Begriffskombinationen gestartet. Für eine effiziente Suche wurden pro Internetdatenbank 10 Kombinations- oder Einzelsuchläufe durchgeführt. Die Suche in Bibliotheksdatenbanken wurde durch die Suche in Online-Literaturdatenbanken von allgemeinen Suchdiensten und speziellen Fachdatenbanken ergänzt. Dabei wurden die folgenden Dienste genutzt: Google (scholar), Metager, OPAC, Karlsruher virtueller Katalog, Bisscat, Scopus, Web of science, web of knowledge, agricola, Science citation index. Darüber hinaus wurden direkt die nachfolgenden wissenschaftlichen Zeitschriften systematisch auf geeignete Publikationen untersucht: LCA Journal, Global LCA village, LCA documents, der Environmental Science and Pollution Research, Journal of soil and sediments, Umweltwissenschaften und Schadstoffforschung.

**Tabelle 3-1: Suchkombinationen der Stichwortrecherche**

Bezug „Umweltbewertung“	Bezug „Stoffliche Nutzung“
Lebenszyklusanalyse / Life cycle analysis	Corn, Mais / Wheat, Weizen / Hemp, Hanf / cotton, Baumwolle / Wood, timber, lumber, Holz / crop, grain, cereal, Getreide / oil, öl / etc
Life Cycle Management / Lebenszyklus management	Fibre, Faser / Glucose, Glukose / packaging, Verpackung / Polymere / lubricant, Schmierstoffe
Life Cycle Engineering / Ganzheitliche Bilanzierung	resource, source / Rohstoffe
assessment / Bewertung	regenerative / erneuerbare
ecobalance / Öko-/+bilanz	renewable / nachwachsende
environment / Umwelt	NAWARO / renewable primary products
sustainability / Nachhaltigkeit	Nachwachsende Rohstoffe / regrowing resources, rentable agricultural resources
ecology / Ökologie; ecological / ökologisch	stoffliche Nutzung / material, substancial utilization
integrated / integriert	biobased / biobasierte
comparison / Vergleich	biogenous / biogen, organisch / organic
Impact / Auswirkungen	biomass / Biomasse

### 3.1.2 Kontaktaufnahme zu Instituten, Universitäten und Herstellern

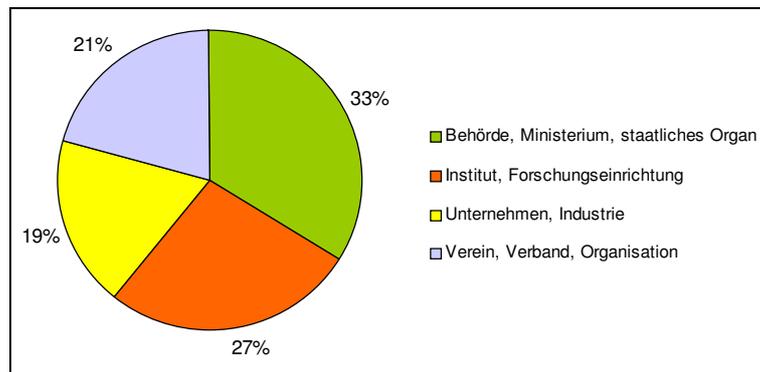
Zusätzlich zur Stichwortrecherche wurde in einem zweiten Anlauf nach Instituten, Universitäten und Herstellern, die sich mit diesem Themengebiet befassen, gesucht. Dies geschah durch eine persönliche Kontaktaufnahme, um damit auch nicht veröffentlichte Studien einfließen lassen zu können. Dafür wurde in einer weltweiten Expertenbefragung per Anschreiben 312 Adressaten um Zusammenarbeit gebeten. Diese wurde wiederum durch eine telefonische und elektronische Expertenbefragung ergänzt (ca. 70 Kontaktaufnahmen). Ziel der Expertenbefragung war, die Erreichung aller aktiven, namhaften nationalen wie auch internationalen Forschungsinstanzen und Einrichtungen aus dem Bereich der nachwachsenden Rohstoffe. Zum Einen wurde damit allen Akteuren in diesem Bereich die Möglichkeit gegeben, aus ihrer Sicht wichtige Studien (auch Dritter) beizusteuern, zum Anderen ermöglicht die direkte Kontaktaufnahme, weitere Informationen und Hinweise über bisher nicht bekannte Quellen und Akteure zu erhalten und Anregungen und die Expertise anderer Akteure zu integrieren. Dadurch ist gewährleistet, ein möglichst holistisches Gesamtbild zu erhalten. Im Folgenden sind die Ergebnisse dieser Expertenbefragung durch die persönliche Kontaktaufnahme dargestellt. Die räumliche Verteilung der Adressaten zeigt Abbildung 3-2.



**Abbildung 3-2: Persönliche Kontaktaufnahme nach Kontinenten (Europa exklusive BRD)**

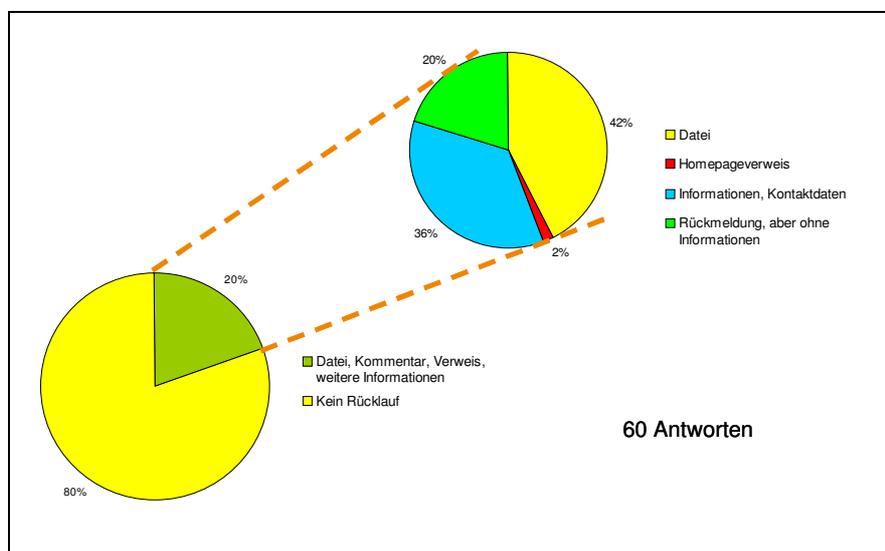
Feststellbar ist in diesem Fall die zahlenmäßige Überrepräsentanz von Organisationen aus Deutschland und dem restlichen Europa. Viele Adressaten konnten aus bevölkerungsanteilig kleinen Ländern wie Österreich, der Schweiz, Schweden sowie aus den Niederlanden identifiziert werden. Die Anzahl der Institutionen, Behörden und Firmen, die sich im Umfeld einer stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe bewegen ist in Europa grundsätzlich um ein vielfaches höher als in anderen Kontinenten.

Ziel der persönlichen Kontaktaufnahme war auch ein möglichst ausgewogenes Verhältnis der Adressaten auf die verschiedenen Organisationsformen zu erreichen. Dies ist im Wesentlichen gelungen (Abbildung 3-3). Es ist davon auszugehen, dass insbesondere im Bereich der privatwirtschaftlichen Unternehmen und in der Industrie weitere „unentdeckte Akteure“ und damit auch umweltbewertende Untersuchungen und Studien existieren. Die Erschließung dieser Ressourcen bedürfte allerdings umfangreicher Erhebungen und setzt in den meisten Fällen den Abschluss spezifischer Geheimhaltungsvereinbarungen voraus.



**Abbildung 3-3: Organisationsform der angeschriebenen Einrichtungen**

Zusammenfassend für die persönliche Kontaktaufnahme lässt sich eine hohe Informations- und Kommunikationsbereitschaft feststellen. Von den 312 angeschriebenen Personen bzw. Institutionen reagierte nahezu 20 %. Aus den Erfahrungen der PE International liegt dieser Wert über der normalerweise erwarteten Rücklaufquote. Die Auswertung der Rückmeldungen ergab Hinweise auf weitere Studien, Quellenverweise, Links, weitere persönliche Kontakte und darüber hinaus auch methodische Hinweise. Abbildung 3-4 gibt einen Überblick über den quantitativen Erfolg des Mailings.



**Abbildung 3-4: Rücklauf aus der persönlichen Kontaktaufnahme**

### 3.1.3 Persönliche Kontakte von PE International

Ein Schwerpunktbereich der PE International ist die Bewertung der stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe mittels Nachhaltigkeits- und Lebenszyklusanalysen. In diesem Bereich verfügt das Unternehmen über weit reichende Kompetenzen und Kontakte. Insbesondere im Baubereich (AuB Umweltdeklarationen) und im Verpackungswe-

sen bestand aufgrund zahlreicher bereits umgesetzter Projekte Zugang zu aktuellen Ergebnissen und Daten in diesen Produktgruppen. Die Bearbeitung aktueller Projekte für das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) zu den Themen „Umweltwirkungen wetterfester Faserplatten“ und „Ökopotenziale von Holz“ gewährleistete die Kenntnis aktueller Arbeiten im Bereich der ökologischen Auswirkungen der Nutzung von Holz.

Daneben konnte auf Informationen aus den Tochterunternehmen der PE in Asien, Australien, USA und Osteuropa zurückgegriffen werden. Über die enge wissenschaftliche Kooperation zum Lehrstuhl für Bauphysik (LBP) der Universität Stuttgart (Abteilung ganzheitliche Bilanzierung) bestand zusätzlich die Möglichkeit der Nutzung wissenschaftlicher Datenbanken und Foren und Know Hows.

### 3.2 Literaturverwaltung und Dokumentation

Wichtig für eine schnelle Literaturrecherche und verlustfreie Literaturlauswertung ist eine geordnete Literaturverwaltung. Diese ist gekennzeichnet durch die Sammlung aller Studien aus dem Bereich der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Zur **Erstdokumentation** (Abbildung 3-5) **aller Studien** wurden folgende Details erfasst: laufende Nummer, Bearbeiter bei der PE International, Titel der Studie, Autor der Studie, Jahr der Veröffentlichung, Land der Veröffentlichung, interner Speicherort mit Dateiname, individueller Kommentar sowie Link oder Hinweis zur Quelle. Die Literaturverwaltung erfolgte begleitend zur Literaturbeschaffung.

No.	Initial	Titel	Autor / Institution	Jahr	Dateiname im Ordner	Kommentar	Link
001	sd	Is it reasonable to produce biodegradable plastics for a higher environmental friendliness during end of life? – An environmental comparison of incineration and land filling looking at GHG and sustainability.	Yokosuka, A., M. Baitz, S. Deimling and K. Iniyama PE Consulting Group In: Transactions of the Material Research Society of Japan 29(5) 1875-1878	2004	PE Consulting Group_PLA paper 2003.ECOMATERIALS.pdf		
002	SH mb	Applications of life cycle assessment to NatureWorks™ polylactide (PLA) production	Ewin T.H. Vink, Karl R. Rabago, David A. Glassner, Patrick R. Gruber Cargill Dow Polymer Degradation and Stability 80 (2003) 403–419	2002	Applications of life cycle assessment to NatureWorksTM.pdf	LCA paper about sustainable polymers and chemicals entirely made from renewable resources. 	<a href="http://www.natureworksllc.com/upload/files/lca/6.0.1.1.5_cdpubappplofilecycle.pdf">http://www.natureworksllc.com/upload/files/lca/6.0.1.1.5_cdpubappplofilecycle.pdf</a>
003	SH	Vergleichende Ökobilanzierung von Stoffschrollen und Papierhandtüchern	Studenten unter Leitung von Dr. S. Rubli / ETH Zürich Vertiefungsblock Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik	2006	vergleichen-de_ökobilanzierung_von_stoffschrollen_und_papierhandtüchern		<a href="http://www.cws.com/serve/PE/s how/1046480/kobilan2_ETH%20Studie1.pdf">http://www.cws.com/serve/PE/s how/1046480/kobilan2_ETH%20Studie1.pdf</a>
004	SH	Environmental assessment of bio-based polymers and natural fibres	Dr. M. Patel, et al. / Utrecht University	2002	Environmental assessment of bio-based polymers and natural fibres		<a href="http://www.chem.uu.nl/nws/www/general/personal/Biopoly.pdf">http://www.chem.uu.nl/nws/www/general/personal/Biopoly.pdf</a>
005	sd	Comparing the Land Requirements, Energy Savings, and Greenhouse Gas Emissions Reduction of Bio-based Polymers and Bioenergy: An Analysis and System Extension of Life-Cycle Assessment Studies	Véronika Domburg, Iris Lewandowski, Martin Patel Journal of Industrial Ecology Summer/Fall 2003, Vol. 7, No. 3-4: 93-116	2003	Domburg_et al_108819803323059424.pdf		<a href="http://www.mitpressjournals.org/doi/pdfplus/10.1162/108819803323059424">http://www.mitpressjournals.org/doi/pdfplus/10.1162/108819803323059424</a>
006	sd	Cumulative Energy and Global Warming Impact from the Production of Biomass for Biobased Products	Seungdo Kim and Bruce E. Dale Journal of Industrial Ecology Summer/Fall 2003, Vol. 7, No. 3-4: 147-162	2003	Kim_Dale_108819803323059442.pdf		<a href="http://www.mitpressjournals.org/doi/pdfplus/10.1162/108819803323059442">http://www.mitpressjournals.org/doi/pdfplus/10.1162/108819803323059442</a>
007	SH	Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources	The BREW Project / European Commission's GROWTH Programme (DG Research)	2006	BREW_Final_Report_September_2006	Includes environmental aspects	<a href="http://www.chem.uu.nl/brew/BREW_Final_Report_September_2006.pdf">http://www.chem.uu.nl/brew/BREW_Final_Report_September_2006.pdf</a>

Abbildung 3-5: Beispielseite aus dem Dokument zur Studienerfassung

Die so dokumentierten Studien (sämtliche Studien) wurden in einem späteren Schritt verschiedenen Bewertungen unterzogen (siehe Kapitel 3.3). Sofern der Fokus der Studien auf



der Umweltbewertung der stofflichen Nutzung lag, wurde zur weiteren Bewertung getrennt für jede Studie ein **Datenblatt zur Detaildokumentation** angelegt. Im Datenblatt wurden alle als zunächst relevant eingestuft Informationen erfasst (Abbildung 3-6).

Das Datenblatt zur Detaildokumentation gliedert sich in folgende Blöcke:

- Der erste Block des Formulars enthält wesentliche Basisinformationen (Titel, Autor etc) und gibt Auskunft über Umfang, Aktualität und den regionalen Bezugsraum der Studie.
- Der zweite Block spezifiziert den Inhalt der Studie zum einen über Schlüsselwörter, zum anderen über die Zieldefinition innerhalb der Studie. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, eine Zusammenfassung (bzw. Abstract) in das Formular zu integrieren.
- Im dritten Block werden die wesentlichen Informationen zu den verwendeten nachwachsenden Rohstoffen und deren Herstellung (Route) und Verwendung (vorläufige Produktgruppe) dargestellt.
- Der vierte Block gibt Auskunft über die Datenbasis. Welche Methode wurde angewendet? Welche Systemgrenzen und Rahmenbedingungen liegen der Studie zugrunde? Welche ökologischen Parameter, d.h. welche Umweltwirkungen wurden in der entsprechenden Studie betrachtet?
- Im fünften Block wird die Studie bezüglich den oben aufgeführten Punkten einer Bewertung unterzogen. Wesentliche Bewertungsgrundlage ist die Qualität der Studie und der darin verwendeten Daten.

<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Basisinformationen</th> <th colspan="2">Lfd. Nr. 000</th> </tr> <tr> <td colspan="4">Titel</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Kurzbeschreibung</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Ziel der Studie</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Angeordnete Methode</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Systemgrenzen</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Rahmenbedingungen</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Ökologische Parameter</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Interne Bewertung der Qualität</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Berücksichtigte Umweltwirkungen</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Berücksichtigte Basisdaten</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Inhalt</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Schlagwörter</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Ziel der Untersuchungen</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Kurzbeschreibung</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Nachwachsender Rohstoff</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Kulturart</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Art der Biomasse</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Produktgruppe</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Verwendung / Anwendung</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Datenbasis</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Angewendete Methode</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Systemgrenzen</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Rahmenbedingungen</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Ökologische Parameter</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Interne Bewertung der Qualität</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Berücksichtigte Umweltwirkungen</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Berücksichtigte Basisdaten</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Detailtiefe</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Ergebnisse</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Konsistenz innerhalb der Studie</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Gesamturteil: Auswertung im Projekt</td> </tr> </table>		Basisinformationen		Lfd. Nr. 000		Titel				Kurzbeschreibung				Ziel der Studie				Angeordnete Methode				Systemgrenzen				Rahmenbedingungen				Ökologische Parameter				Interne Bewertung der Qualität				Berücksichtigte Umweltwirkungen				Berücksichtigte Basisdaten				Inhalt				Schlagwörter				Ziel der Untersuchungen				Kurzbeschreibung				Nachwachsender Rohstoff				Kulturart				Art der Biomasse				Produktgruppe				Verwendung / Anwendung				Datenbasis				Angewendete Methode				Systemgrenzen				Rahmenbedingungen				Ökologische Parameter				Interne Bewertung der Qualität				Berücksichtigte Umweltwirkungen				Berücksichtigte Basisdaten				Detailtiefe				Ergebnisse				Konsistenz innerhalb der Studie				Gesamturteil: Auswertung im Projekt				<p>Erfassung folgender Details:</p> <p><b>Basisinformationen</b></p> <p>Lfd. Nr.</p> <p>Titel</p> <p>Art des Berichtes</p> <p>Erscheinungsjahr</p> <p>Institut, Einrichtung, Unternehmen</p> <p>Autoren</p> <p>Bezugsquelle</p> <p>LAND / ISSN</p> <p>Umfang/Seitenzahl</p> <p><b>Inhalt</b></p> <p>Schlagwörter</p> <p>Ziel der Untersuchungen</p> <p>Kurzbeschreibung</p> <p>Nachwachsender Rohstoff</p> <p>Kulturart</p> <p>Art der Biomasse</p> <p>Produktgruppe</p> <p>Verwendung / Anwendung</p> <p>Datenbasis</p> <p><b>Angewendete Methode</b></p> <p>Systemgrenzen</p> <p>Rahmenbedingungen</p> <p>Ökologische Parameter</p> <p><b>Interne Bewertung der Qualität</b></p> <p>Berücksichtigte Umweltwirkungen</p> <p>Berücksichtigte Basisdaten</p> <p>Detailtiefe</p> <p><b>Ergebnisse</b></p> <p>Konsistenz innerhalb der Studie</p> <p>Gesamturteil: Auswertung im Projekt</p>
Basisinformationen		Lfd. Nr. 000																																																																																																																																
Titel																																																																																																																																		
Kurzbeschreibung																																																																																																																																		
Ziel der Studie																																																																																																																																		
Angeordnete Methode																																																																																																																																		
Systemgrenzen																																																																																																																																		
Rahmenbedingungen																																																																																																																																		
Ökologische Parameter																																																																																																																																		
Interne Bewertung der Qualität																																																																																																																																		
Berücksichtigte Umweltwirkungen																																																																																																																																		
Berücksichtigte Basisdaten																																																																																																																																		
Inhalt																																																																																																																																		
Schlagwörter																																																																																																																																		
Ziel der Untersuchungen																																																																																																																																		
Kurzbeschreibung																																																																																																																																		
Nachwachsender Rohstoff																																																																																																																																		
Kulturart																																																																																																																																		
Art der Biomasse																																																																																																																																		
Produktgruppe																																																																																																																																		
Verwendung / Anwendung																																																																																																																																		
Datenbasis																																																																																																																																		
Angewendete Methode																																																																																																																																		
Systemgrenzen																																																																																																																																		
Rahmenbedingungen																																																																																																																																		
Ökologische Parameter																																																																																																																																		
Interne Bewertung der Qualität																																																																																																																																		
Berücksichtigte Umweltwirkungen																																																																																																																																		
Berücksichtigte Basisdaten																																																																																																																																		
Detailtiefe																																																																																																																																		
Ergebnisse																																																																																																																																		
Konsistenz innerhalb der Studie																																																																																																																																		
Gesamturteil: Auswertung im Projekt																																																																																																																																		

Abbildung 3-6: Beispiel eines Datenblattes zur Detaildokumentation

Die Datenblätter zur Detailfassung aller im Rahmen dieser Studie positiv bewerteten und ausgewerteten Literaturquellen und Publikationen befindet sich im Anhang zu dieser Studie.

### 3.3 Literaturbewertung

Die Literaturbewertung als elementarer Schritt der Literaturanalyse wurde iterativ durchgeführt. Die qualitative Literaturbewertung erfolgte zum einen über das Datenblatt zur Detaildokumentation und über eine Datenbank im Excel Format. Mit dieser Datenbank wurden Daten zum Lebensweg, zum Marktpotential, zu den innerhalb der Studie betrachteten Wirkungskategorien, zur gezogenen Bezugslinie (Baseline), zur Aktualität der Studie, zur Funktionellen Einheit und zu eventuellen speziellen Zusatzinformationen erfasst.

Einen Überblick über die Methodik und den Ablauf der Bewertung und der angewandten Analysekriterien gibt Abbildung 3-7.

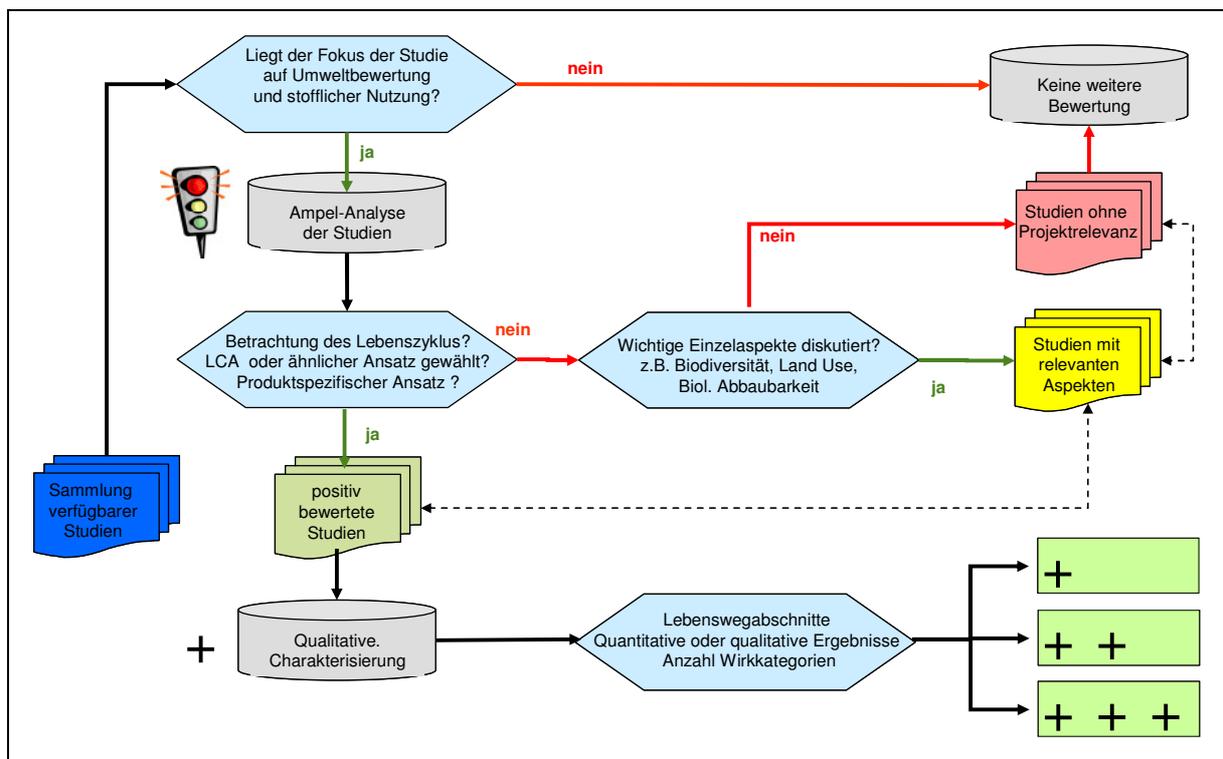


Abbildung 3-7: Bewertungs- und Ablaufschema der Literaturbewertung

#### 3.3.1 Ampelanalyse

Eine erste Bewertung der vorliegenden Studien erfolgte mit Hilfe der bereits erwähnten Ampel Analyse. Mit Hilfe dieser Vorgehensweise sollte schnell das Wesentliche vom Unwesentlichen getrennt werden und eine Klassifizierung der großen Anzahl an Studien vorgenommen werden. Durch die Einfachheit und Transparenz der Ampelbewertung war eine klare und zügige Abgrenzung zwischen den Kategorien möglich.

Bewertungskriterium war, ob eine ökologische Analyse des aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellten Produkts vorlag und ob diese Mindestanforderungen an eine wissenschaftliche Bewertung genügt (Abbildung 3-8). Kategorien der Ampelbewertung sind „grün“, „rot“ und „gelb“. In der Tabelle zur Erstdokumentation wurden positiv bewertete Studien grün eingefärbt und damit weiter betrachtet, gelb markierte Studien für weitergehende Betrachtungen



**Tabelle 3-2: Wichtung der Bewertungskriterien im Rahmen der qualitative Analyse**

Bewertungskriterium	Klassifizierung	Bewertung	Wichtung
a) Aktualität der Studie	0-6 Jahre	+++	5 %
	7-12 Jahre	++	
	13- >15 Jahre	+	
b) Anzahl der Berücksichtigte Umweltwirkungen	<3	+++	15 %
	>3	++	
c) Art des Berichtes	wissenschaftliche Publikation, Dissertation, Studie	+++	15 %
	Zeitschriftenartikel	++	
	Übersichtsartikel, Präsentation, Andere	+	
d) Angewandte Methode	LCA, LCI	+++	30 %
	Nachhaltigkeitsbetrachtung	++	
	Verbal argumentativ	+	
e) Berücksichtigte Basisdaten	Spezifische eigene neue Daten	+++	25 %
	Literaturdaten	++	
f) Ergebnisse:	eher quantitativ	+++	10 %
	eher qualitativ	++	
Summe			100%

Die quantitative Bewertung zieht sechs Beurteilungskriterien heran (Tabelle 3-2). Diese unterliegen entweder zwei oder drei Kriterien, deren Erfüllung Aussage über die Qualität der Studie gibt. So werden z.B. junge Studien besser bewertet als ältere und ebenfalls sind Studien mit einer größeren Anzahl Wirkungskategorien, einer komplexeren Methodik, einer aufwendigeren Datenerhebung und Ergebnisermittlung höher bewertet. Die höhere Bewertung des Kriteriums „Angewandte Methode“ und „Berücksichtigte Daten“ im Rahmen der Wichtung soll elementare Schritte der Ökobilanz Methodik betonen. Die qualitative Bewertung legt die Rangfolge für die anschließende Literaturlauswertung fest. Mit 240 und mehr Punkten bewertete Studien wurden prioritär behandelt.

**Beispiel:** [a] ++ \*5] + [b] +++ \*15] + [c] + \*15]...= 10+45+15...

Maximal erreichbare Punktzahl: 15+45+45+90+75+30=300

Minimal erreichbare Punktzahl: 5+30+15+30+50+50=180

### Endklassifizierung

180-209 → +

210-239 → ++

240-300 → +++



### 3.4 Literaturlauswertung

Die studien- und produktspezifische Literaturlauswertung stellt den komplexesten Schritt der Literaturlauswertung dar. Die Literaturlauswertung gliedert sich in folgende Prozesse:

1. die Identifikation relevanter Produktlinien und Zuordnung der Studien zu den verschiedenen Endprodukten,
2. die Identifikation von spezifischen Beurteilungskriterien (u.a. funktionale Einheit, Vergleichslinie, Wirkungskategorien) für die im vorherigen Schritt definierte Produktpaletten zur vergleichenden Bewertung stofflicher Nutzung nachwachsender Rohstoffe,
3. die Charakterisierung der betrachteten Studien und deren Beurteilung mit der entwickelten Vorgehensweise und
4. die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Abschätzung der Umweltauswirkungen von nachwachsenden Rohstoffen in der stofflichen Nutzung

Die produktspezifische Auswertung und Bewertung nach Produktgruppen analysiert und bewertet alle als relevant eingestuften Studien quantitativ und qualitativ. In der quantitativen Auswertung werden zunächst die Produktgruppen quantifiziert, anschließend die in den Produktgruppen betrachteten Studien verglichen und ausgewertet. Zur effektiven Analyse wurden fünf relevante Kriterien ausgewählt. Ein entscheidendes Kriterium ist die **funktionelle Einheit**, die im Rahmen der genormten Ökobilanz Methodik wesentlichen Einfluss auf das Endergebnis besitzt. Die DIN Norm gibt im Zusammenhang mit der Zieldefinition, die Angabe einer „Funktionellen Einheit“ vor (z.B. 1m<sup>2</sup> Fußboden, 1m<sup>3</sup> Dämmstoff etc.). Die „Funktionelle Einheit“ ist Bezugseinheit für die während der Sachbilanz erhobenen Input- und Output-Daten und für die anschließende Wirkungsabschätzung. Für vergleichende Ökobilanzen ist die „Funktionelle Einheit“ zwingende Voraussetzung. Des Weiteren wurden die Systemgrenzen der Studien analysiert. Mit Systemgrenzen sind in diesem Fall die **Lebenswegabschnitte** innerhalb des Lebenszyklus gemeint. Der Lebenszyklus eines Produktes setzt sich aus fünf Phasen zusammen, der Rohstoffgewinnung, der Herstellung, dem Transport, der Nutzung und der Verwertung (End of Life). Diese Unterteilung zielt darauf ab, die Umweltbelastungen während dieser Phasen durch verschiedene, vorwiegend am Produkt selbst angelegte Strategien zu vermeiden und zu minimieren. Beim studienübergreifenden Vergleich können nur gleiche Lebenswegabschnitte gegenüber gestellt werden. Zwangsläufig können Vergleiche nur innerhalb gleicher, mit der gleichen Methodik ermittelten **Umweltwirkungen** erfolgen. Teil der studienbezogene Analyse ist auch die Aufnahme der **Baseline**, einer Vergleichslinie. Zu prüfen ist, ob innerhalb der Studie verschiedene Produkte verglichen wurden und ob ein Vergleich durchgeführt wurde mit Produkten auf fossiler oder nachwachsender Rohstoffbasis. Schließlich wurde die Studie noch auf **Aktualität** hin untersucht. Tabelle 3-3 zeigt die Matrix für die Literaturlauswertung.

**Tabelle 3-3: Dokumentationsformat für die studienbezogene Auswertung**

Iffl. Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz	
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie
3	ein Mal Hände trocknen	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	x	-	x	2006
45	1 Jahr (firmenspezifische Papier-Produktionsdaten)	x	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	2005
46	1 Tonne Papier	x	x	x	x	-	-	x	-	-	-	-	-	x	x	1995	
53	1 Tonne Papier	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	x	1998
55	Rezykliertes & neu hergestelltes Papier (qualitativer Vergleich)	x	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	1997
75	mIP pro kg Fasern, Zeitung, Zeitschrift	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	1998
94	Jahresproduktion grafischer Papiere in Deutschland, Szenarienvergleich unterschiedlicher Altpapier-rücklaufquoten	x	x	x	x	x	-	x	-	x	-	x	x	x	-	x	2000
98	38 bedruckte Seiten, 2 mit 2- Farbendruck, 2 mit 4- Farbendruck	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	x	x	x	x	1998
126	1 kg grafisches Papier, Wellpappe, Verpackungspapier, Faltschachtelkarton	x	-	x	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	2004

Von nicht unerheblicher Bedeutung für einen Studienvergleich ist die Aktualität der Studien bzw. die zeitliche Anfertigung der innerhalb einer Produktgruppe angefertigten Studien und damit die zugrunde gelegten Daten- und Technologiebasis. Ein gleicher Betrachtungszeitraum ist zum einen für die Aussagekraft der Ökobilanz unersetzlich, kann jedoch den Vergleich von Technologien auf unterschiedlichen Entwicklungsniveaus bedeuten und damit bereits etablierte Technologien auf Basis fossiler Rohstoffe indirekt bevorzugen. Die Studienauswertung beinhaltet einen Vergleich auf der Ebene der genannten Kriterien.

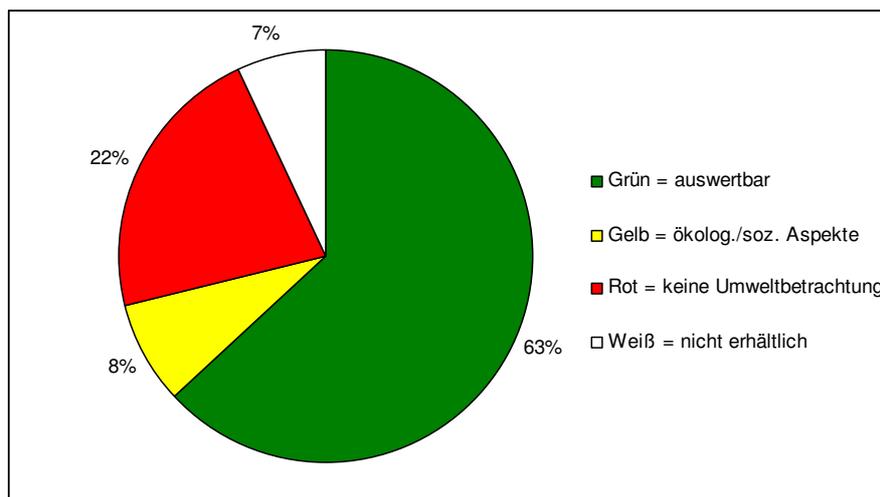
Sind bei der Studienauswertung die hinreichenden Vergleichskriterien nicht erfüllt, werden dennoch interessante Einzelergebnisse qualitativ hochwertiger Studien beispielhaft vorgestellt. Angemerkt sei, dass im Rahmen dieser Literaturanalyse jedoch nicht auf alle Studien detailliert eingegangen werden kann, auch wenn sie sehr umfangreiche Untersuchungen darstellen. Weitere Informationen zu einzelnen Studien sind dem Anhang zu entnehmen. Im vorliegenden Bericht sind lediglich ausgewählte Beispiele dargestellt, die auf Besonderheiten innerhalb der Produktgruppe hinweisen und somit die jeweilige Produktgruppe bezüglich spezifischer Umweltwirkungen charakterisieren.

## 4 Ergebnisse der Studienbewertung

Im Rahmen der Studienrecherche wurden ca. 320 Studien zusammengestellt. Davon konnten schnell ca. 75 Studien als nicht relevant eingeordnet werden aufgrund des mangelnden Bezugs auf die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe. In den meisten Fällen konnte an Hand von Titel und Einleitung und/oder Abstract eine weitere Betrachtung ausgeschlossen werden. Die Gründe für den Ausschluss sind vielfältig, häufig wurden nachwachsende Rohstoffe ökonomisch oder verfahrenstechnisch untersucht. Teilweise handelte es sich um einfache Übersichtsstudien zu den theoretischen und technischen Potentialen der nachwachsenden Rohstoffe.

### 4.1 Ampelanalyse

Die anschließende Ampelanalyse reduzierte dann den Anteil relevanter Studien auf 156 Studien mit „grün“ und 20 mit „gelb“ bewerteter Studien. Die 53 mit „rot“ und 16 mit „weiß“ (derzeit nicht, bzw. nicht mehr erhältlich) bewertete Studien wurden in der weiteren Analyse nicht mehr betrachtet (vgl. 3.3.1).

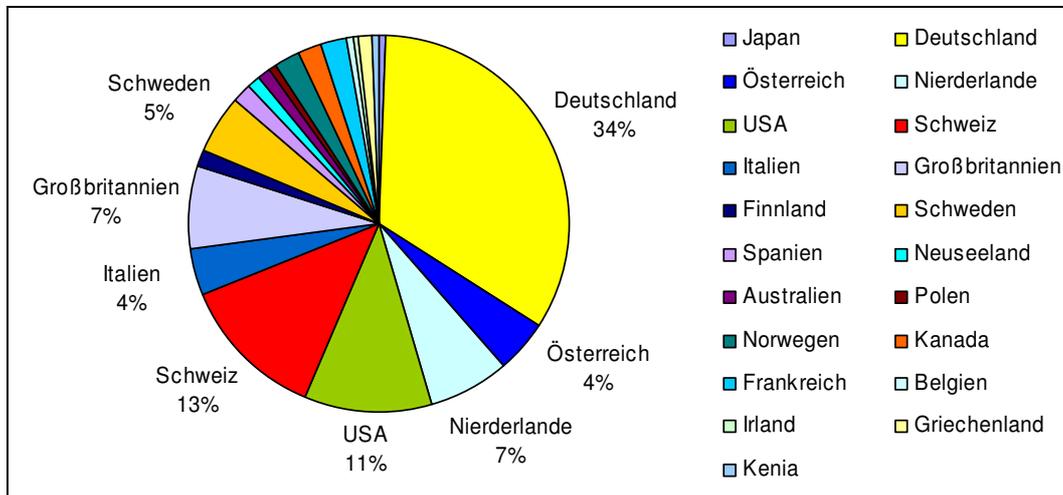


**Abbildung 4-1: Ergebnis der Ampelanalyse**

Von den „grün“ bewerteten Studien liegen ca. 85 % als öffentlich zugängliche Dateien vor. Ca. 15 % der Dokumente liegen als Druckmedien vor, sie wurden über persönliche Kontakte bzw. aus internen Quellen bezogen.

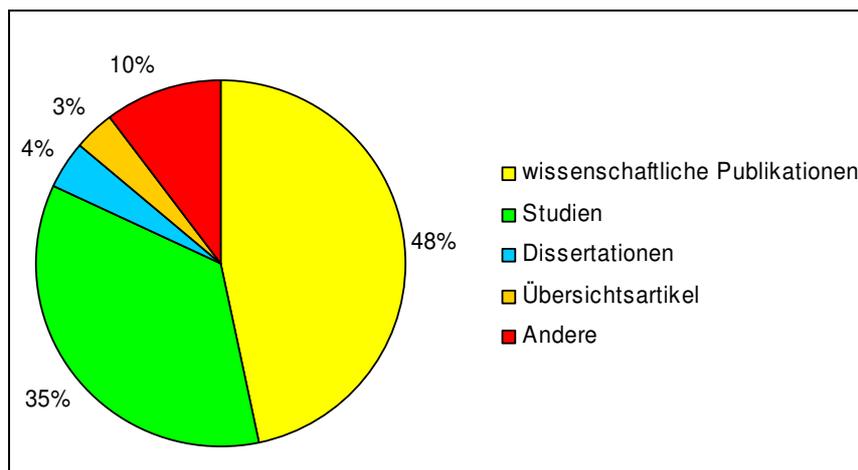
Die für eine weitere Auswertung selektierten Studien (grün markiert) wurden hinsichtlich verschiedener Parameter näher untersucht.

Abbildung 4-2 zeigt die länderbezogene Herkunft der selektierten Studien. Es bleibt festzuhalten, dass ca. 80 % der positiv (grün) bewerteten Studien aus Europa stammen, die meisten aus Deutschland. Weiterhin kommen viele Studien aus den Ländern Schweden, Schweiz, Niederlande und Österreich.



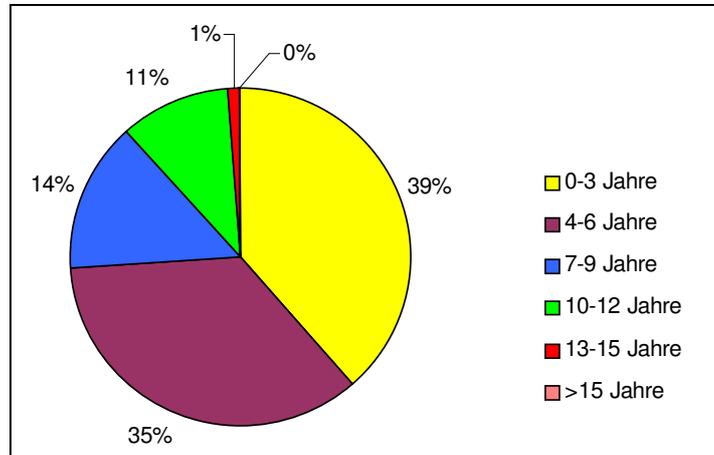
**Abbildung 4-2: Herkunft der selektierten Studien**

Bisher war in diesem Bericht ausschließlich von Studien die Rede, tatsächlich jedoch gibt es unterschiedliche Dokumentationsformen. Umfangreiche Studien im eigentlichen Sinn bilden mit 35 % einen großen Anteil (Abbildung 4-3). Noch größer ist jedoch der Teil der wissenschaftlichen Publikationen. Unter „Andere“ finden sich insbesondere Präsentationen und reine Internetveröffentlichungen im Rahmen von Projekthomepages. Im Folgenden wird ungeachtet dieser weitergehenden Definition, weiterhin von Studien die Rede sein.



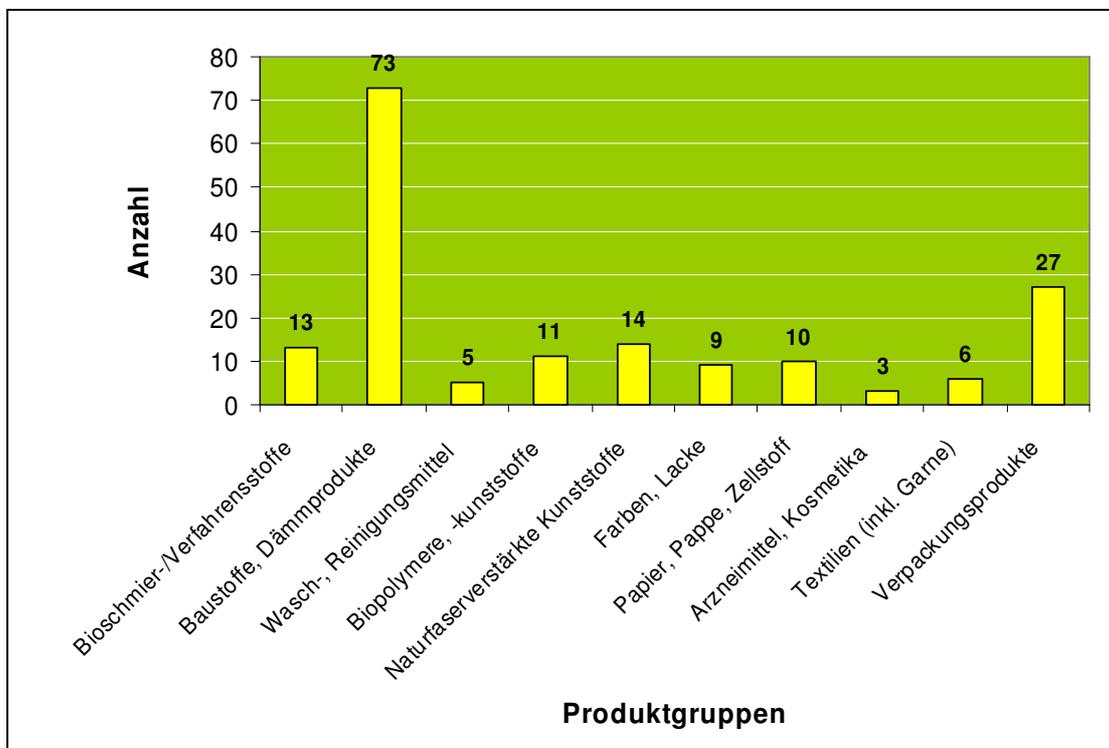
**Abbildung 4-3: Art der selektierten Studien**

Abbildung 4-4 zeigt den Altersschnitt der selektierten Studien. Demnach stammen 75 % aller Studien aus den vergangenen 6 Jahren, was das zunehmende Interesse an den Umweltwirkungen einer stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen unterstreicht.



**Abbildung 4-4: Alter der selektierten Studien**

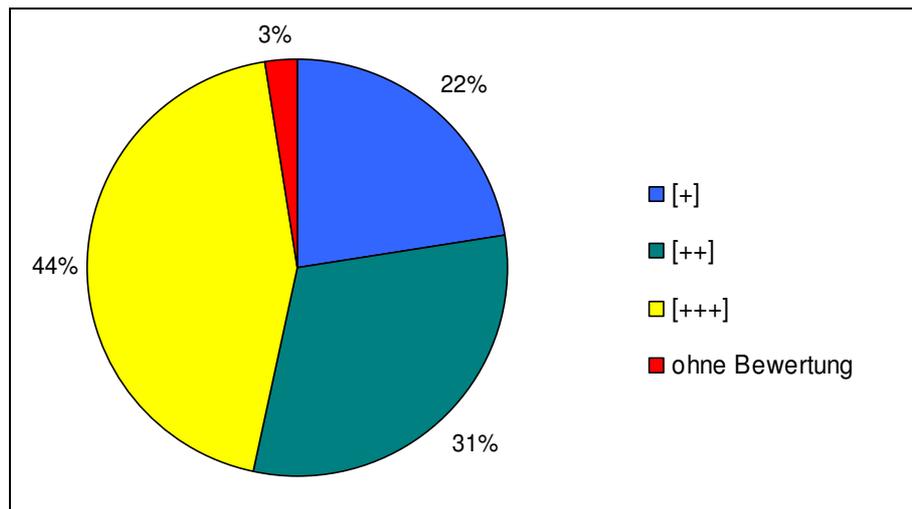
Die Zuordnung der selektierten Studien zu den definierten Produktlinien zeigt Abbildung 4-5. Knapp die Hälfte aller Studien lässt sich der Produktgruppe Baustoffe und Dämmprodukte zuordnen. Stark zugenommen hat in den letzten Jahren auch die Anzahl an Studien im Bereich der Verpackungsprodukte.



**Abbildung 4-5: Anzahl der selektierten Studien pro Produktgruppe**

## 4.2 Qualitative Bewertung

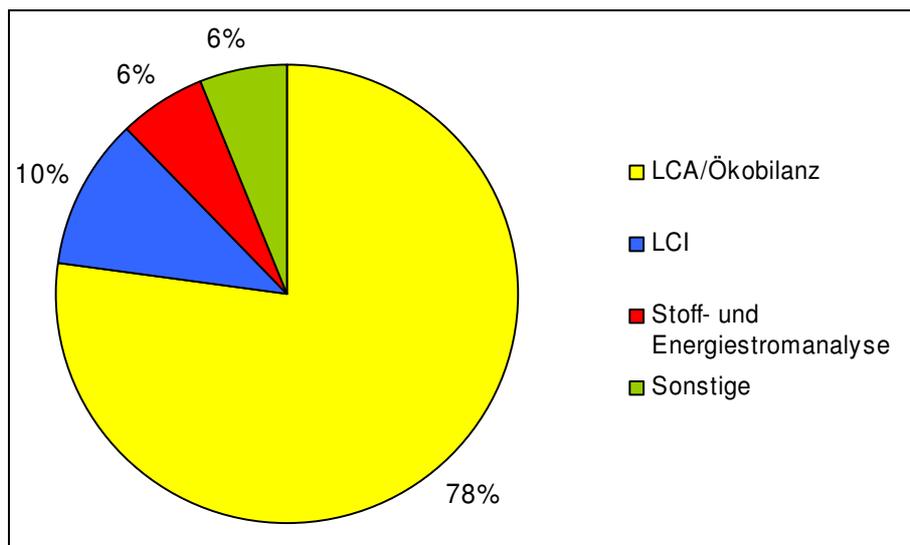
Die 156 selektierten und mit „grün“ bewerteten Studien wurden in einem zweiten Schritt der qualitativen Analyse unterzogen. 69 Studien (44 %) wurden als qualitativ optimal (+++) für die weitere produktlinienbezogene Auswertung ermittelt (Abbildung 4-6), zugeordnet dargestellt in der der fünften Spalte in Tabelle 4-1. Bei den vier Studien „ohne Bewertung“ handelt es sich um Übersichtsstudien in denen andere Studien mit unterschiedlichen Methoden herangezogen betrachtet wurden.



**Abbildung 4-6: Ergebnisse der qualitativen Literaturbewertung**

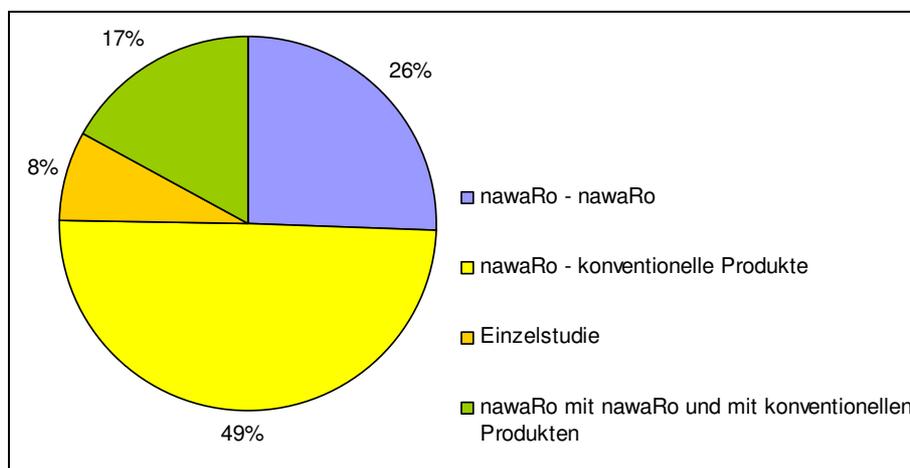
Als primäres Kriterium der qualitativen Bewertung ist die Methodik zur ökologischen Analyse zu nennen. Eine normierte Vorgehensweise garantiert ein Mindestmaß an fixen Randbedingungen und ermöglicht dadurch einen Studienvergleich. Festzuhalten bleibt, dass es im Bereich der umweltbewertenden Methodik die Ökobilanz als Stand der Dinge angesehen werden kann. Geht man davon aus das eine LCI (Sachbilanz) Teil einer Ökobilanz ist, so ist davon auszugehen das nahezu 90 % der Studien auf Basis einer Ökobilanz entstanden sind. Weitere 6 % sind einfache Stoff- und Energieflussanalysen bzw. Materialbilanzen (Abbildung 4-7).

Durch eine unabhängige kritische Prüfung (critical review) können die Belastbarkeit und Glaubwürdigkeit der Ökobilanz-Ergebnisse erhöht und die Anforderungen der Internationalen Ökobilanznormen (ISO 14040ff) erfüllt werden. Begutachtet werden dabei durch externe Gutachter insbesondere die Zielfestlegung, die Daten der untersuchten Varianten, die Auswertung der Ergebnisse und die Schlussfolgerungen die hieraus gezogen werden. Die Rückmeldung erfolgt in Form eines schriftlichen Reviews. Dies wird jedoch nur selten durchgeführt. Ökobilanzen, die keiner kritischen Prüfung unterzogen werden, sind nicht zwangsläufig „nicht normgerecht“. In 20 % der Fälle wurden keine Angaben über die Normgerechtigkeit gemacht. Die gemachten Angaben sind teilweise sehr unspezifisch, bei den verbleibenden 80 % kann jedoch von einer normgerechten Durchführung ausgegangen werden.



**Abbildung 4-7: Zugrunde liegende Umweltbewertungsmethodik in den selektierten Studien**

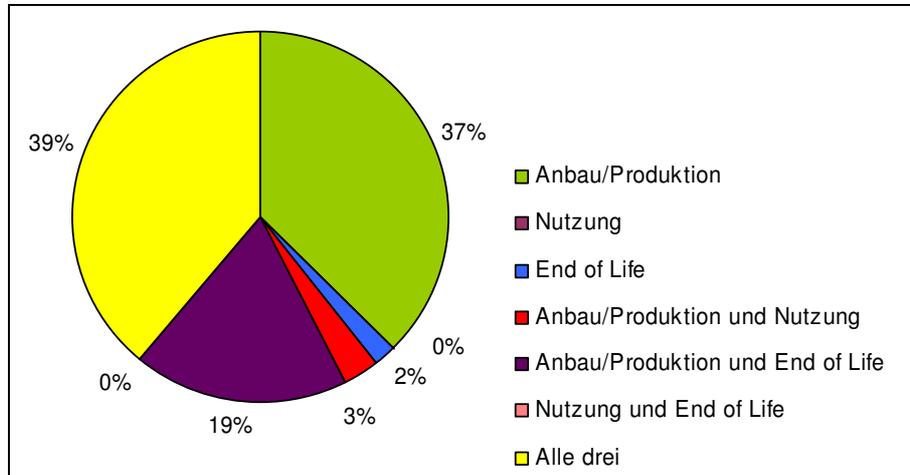
Um die ökologischen Auswirkungen eines Produktes vergleichen zu können, ist eine Vergleichsebene (auch Baseline genannt) notwendig. Das nawaRo-Produkt kann in Relation zu einem anderen nawaRo-Produkt, zu einem konventionellen Produkt und zu sich selber unter der Annahme verschiedener Rahmenbedingungen gesetzt werden. In knapp der Hälfte der Fälle wurde der Vergleich mit einem konventionellen Produkt auf der Basis fossiler Rohstoffe durchgeführt (Abbildung 4-8). Eine Einzelstudie kann dazu dienen, innerbetriebliche Schwachpunkte und damit Optimierungspotentiale der Produktion aufzudecken oder die ökologischsten Varianten eines Produktes herauszufinden.



**Abbildung 4-8: Bezugslinie der Produkte auf nawaRo Basis**

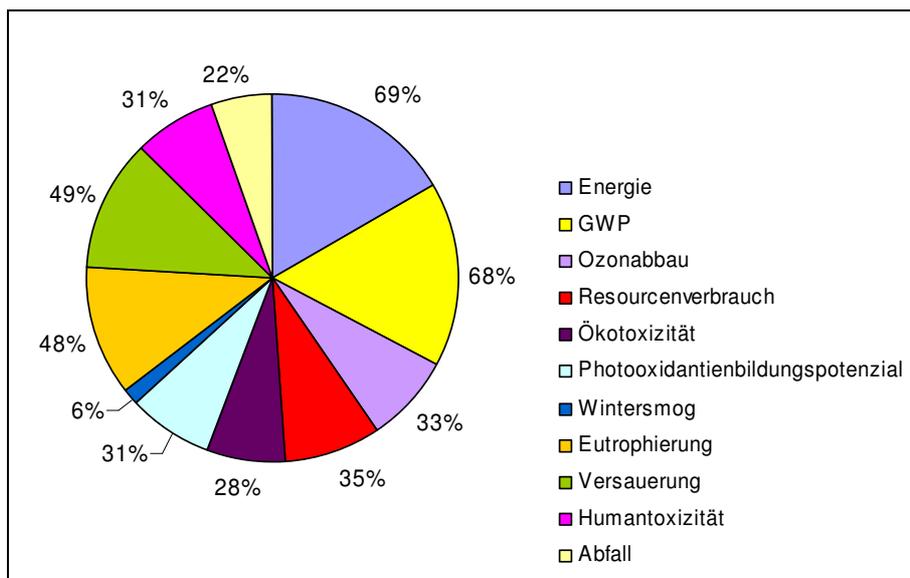
Unterschiede in der Vollständigkeit der Lebenswegbetrachtung (Herstellung, Nutzung, End of Life) sind abhängig von den in der Zielstellung definierten Vorgaben bezüglich der Lebenswegbetrachtung und der Systemgrenzen. Dies ist insbesondere im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe von Interesse, da Vorteile der Produkte auf Basis nachwachsender Rohstoffe häufig erst in der Nutzungsphase oder am Ende des Lebensweges, also beim Recycling oder der Verwertung, zum Tragen kommen. Allerdings betrachten nur knapp 40 % der

„grün“ bewerteten Studien den gesamten Lebensweg eines Produktes von der land- bzw. forstwirtschaftlichen Produktion bis einschließlich des Lebensendes (End of Life) (Abbildung 4-9).



**Abbildung 4-9: Betrachtete Lebenswegabschnitte innerhalb der ökologischen Analyse**

Der Schwerpunkt der ökologischen Analysen in den Studien liegt auf dem Energieverbrauch und dem Treibhauspotenzial (Abbildung 4-10). Knapp 70 % der Studien betrachten diese Umweltwirkungen. In etwa der Hälfte der Studien werden, um auch die speziell landwirtschaftlichen Auswirkungen zu erfassen, die Eutrophierung und die Versauerung mitbetrachtet. Jeweils etwa ein Drittel der Studien bezieht das Ozonabbaupotential, den Ressourcenverbrauch, die Humantoxizität und das Photooxidantienbildungspotenzial mit in die ökologische Betrachtung ein.



**Abbildung 4-10: Betrachtete Wirkungskategorien in den selektierten Studien**

### 4.3 Darstellung der selektierten Studien

Einen Überblick über alle „grün“ bewerteten Studien gibt Tabelle 4-1. Mit dunkelgrün unterlegte Felder markieren Übersichtsstudien, diese umfassen die Analyse und Bewertung anderer Studien und sind daher im Rahmen der vorliegenden Studie einer späteren Auswertung entzogen. Mit einem Sternchen im Nummern-Feld markierte Studien liegen nicht in digitaler Form sondern entweder in gebundener Form vor oder sind nicht zur Herausgabe bestimmt. Die rechte Spalte enthält Informationen zur Produktgruppenzuordnung, wobei NFK für naturfaserverstärkte Kunststoffe steht. Das Ergebnis der qualitativen Bewertung in eckigen Klammern, z. B. [+++], ist ebenfalls der rechten Spalte zu entnehmen.

**Tabelle 4-1: Übersicht über die in der Ampelanalyse mit grün bewerteten Studien**

Nr.	Titel	Autor / Institution	Land/ Jahr	Produktgruppe und Wertung
001	Is it reasonable to produce biodegradable plastics for a higher environmental friendliness during end of life? – An environmental comparison of incineration and land filling looking at GHG and sustainability.	A. Yokosuka, M. Baitz, S. Deimling, K. Iriyama PE Consulting Group In: Transactions of the Material Research Society of Japan 29(5) 1875-1878	JP/ 2004	Biopolymer [++]
002	Applications of life cycle assessment to NatureWorks TM polylactide (PLA) production	E.T.H. Vink, K.R. Rabago, D.A. Glassner, P.R. Gruber Cargill Dow Polymer Degradation and Stability 80, (2003) 403–419	NL/ USA 2002	Biopolymer [++]
003	Vergleichende Ökobilanzierung von Stofftuchrollen und Papierhandtüchern	Studenten unter Leitung von Dr. S. Rubli ETH Zürich Vertiefungsblock Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik	CH/ 2006	Papier/ Pappe [+++]
004	Environmental assessment of bio-based polymers and natural fibres	Dr. M. Patel, <i>et al.</i> Utrecht University	NL/ IT/ DE/ 2003	Verpackung [+++]
005	Comparing the Land Requirements, Energy Savings, and Greenhouse Gas Emissions Reduction of Biobased Polymers and Bioenergy: An Analysis and System Extension of Life-Cycle Assessment Studies	V. Dornburg, I. Lewandowski, M. Patel Journal of Industrial Ecology Summer/Fall 2003, Vol. 7, No. 3-4: 93-116	NL/ 2003	Verpackung [++]
006*	Ökobilanz stärkehaltiger Kunststoffe, BUWAL, Schriftenreihe Umwelt Nr. 271 (2 Bände) Band I: Ergebnisse; Band II (fehlt): Anhang Datenblätter; Bern	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft	CH/ 1996	Verpackung [+++]
007	Medium and Long-term Opportunities and Risks of the Biotechnological Production of Bulk Chemicals from Renewable Resources	The BREW Project / European Commission's GROWTH Programme (DG Research)	NL/ DE/ IT/ 2006	Arzneimittel/ Kometik [++]
008*	Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen: Vergleichende Ökobilanz für Loose-fill-Packmittel aus Stärke bzw. Polystyrol	IFEU, BfA	DE/ 2002	Verpackung [+++]
009	Maximale Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen zur Förderung regionaler Stoffkreisläufe - Beurteilung der Hemmnisse und Möglichkeiten auf dem Gebiet des Bauwesens Förderinitiative Modellprojekte für nachhaltiges Wirtschaften 1998-2002 Innovative Ansätze zur Stärkung der regionalen Ökonomie	Dr. S. Deimling, Dr. R. Vetter Institut für umweltgerechte Landwirtschaft (IfuL) Abschlussbericht Projekt REG 11 (Fkz 07 REG 11/9)	DE/ 2002	Baustoffe [+++]



Nr.	Titel	Autor / Institution	Land/ Jahr	Produktgruppe und Wertung
010*	"Das Hanfproduktlinienprojekt: Erarbeitung von Produktlinien auf Basis von einheimischem Hanf - aus technischer, ökonomischer und ökologischer Sicht". Das Projekt wird gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt; 1/96-12/96.	M. Karus IFEU, nova, IAF (laufendes Projekt)	DE/ 1996	Baustoffe/ Textilien/ NfK  [+++]
011	Life-Cycle Assessment of Mineral and Rape-seed Oil in Mobile Hydraulic Systems	M.C. McManus, G. Hammond, C.R. Burrows Journal of Industrial Ecology Summer/Fall 2003, Vol. 7, No. 3-4: 163-177	GB/ 2003	Schmieröle  [+++]
012	A Sustainability Assessment of a Biolubricant	B. Cunningham, N. Battersby, W. Wehrmeyer, C. Fothergill Journal of Industrial Ecology Summer/Fall 2003, Vol. 7, No. 3-4: 179-192	GB/ 2003	Schmieröle  [++]
013	Life-cycle assessment of biopolymer and traditional diaper systems	Technical Research Centre of Finland	FI/ 1997	Verpackung  [+++]
014	Life Cycle Assessment in Green Chemistry - A comparison of various wood surface coatings	J. Gustafsson LCA – Online First January 09th, 2006	FI/ 2006	Farben und Lacke  [+++]
015	Teil IV: Nachwachsende Rohstoffe als Alternative zu Kunststoffen Vergleichende Lebensweganalyse eines Verkleidungsbauteiles aus einem Hanffaserverbundwerkstoff und ABS-Spritzguss	M. Flake Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung Vol. 13 UWSF (4) 237-247 (2001)	DE/ 2001	NfK  [+++]
016	Teil V: Bewertung landwirtschaftlich-industrieller Stoffströme Produktlinienanalyse eines Naturharzöl-Imprägniergrundes - Vergleich verschiedener Bewertungsverfahren	M. Flake Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung Vol. 13 UWSF (5) 301-309 (2001)	DE/ 2001	Farben und Lacke  [++]
017	Umweltverträglichkeit von Gebäudedämmstoffen	R. Buschmann KATALYSE Institut für angewandte Umweltforschung Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten Schleswig-Holstein	DE/ 2003	Baustoffe  [+++]
018	Kooperatives Umweltmanagement in der textilen Kette – Bilanzierung der ökologischen Aspekte von Lyocell, viscose und Baumwolle	T. Fischer, <i>et al.</i> Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf	DE/ 2001	Textilien  [+]
019	Nachwachsende Rohstoffe – eine Alternative zu Kunststoffen ? Ökobilanz einer PKW-Seitenverkleidung aus einem Hanffaserverbundwerkstoff und Vergleich mit einem Referenzprodukt aus ABS Kunststoff	K. Wötzel Diplomarbeit an der TU Braunschweig	DE/ 1999	NfK  [+++]
020	Life Cycle Assessment Study of Biopolymers (Polyhydroxyalkanoates) - Derived from Non-Tilled Corn	B. Dale, <i>et al.</i> Int. Journal of LCA, 10 LCA (2) 200-210 (2005)	USA/ 2005	Verpackung  [+++]
021	Streamlined LCA of Soy-Based Ink Printing	D.A. Tolle Int. Journal of LCA, 5 LCA (6) 374-384 (2000)	USA/ 2000	Farben und Lacke  [+++]
022	CORRIM: Life-cycle environmental performance of renewable building materials	B. Lippke, <i>et al.</i> Forest Products Journal, Vol. 54, No. 6, 8-19	USA/ 2004	Baustoffe  [+++]
023	Life Cycle Inventory of Medium Density Fibre-board	G. Feijoo LCA – Online First	ES/ 2006	Baustoffe  [+++]



Nr.	Titel	Autor / Institution	Land/ Jahr	Produktgruppe und Wertung
024	Life Cycle Inventory of Particleboard: A Case Study in the Wood Sector	G. Feijoo Journal of LCA 11 LCA (2) 106-113 (2006)	ES/ 2006	Baustoffe [+++]
025	Life Cycle Assessment of Wood Floor Coverings - A Representative Study for the German Flooring Industry	B. Nebel, <i>et al.</i> Technical University Munich, Department for Biogenetic Products and Technology of Land Use, Wood Research Munich, Germany, New Zealand Forest Research Institute Limited, Rotorua, New Zealand University of Applied Sciences, Holztechnikum Kuchl, Austria Journal of LCA 11 LCA (3) 172-182 (2006)	DE/ AT/ NZ/ 2006	Baustoffe [+++]
026*	Ganzheitliche Bilanzierung von Fenstern und Fassaden	IKP, Universität Stuttgart	DE/ 1998	Baustoffe [+++]
027	Nachwachsende Rohstoffe im Automobilbau	O. Richter Institut für Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig	DE/ 2002	NfK [++]
028	HOLZ Rohstoff der Zukunft, Nachhaltig verfügbar und umweltgerecht	Deutsche Gesellschaft für Holzforschung	DE/ 2001	Baustoffe [+++]
029	Techno-economic Feasibility of Large-scale Production of Bio-based Polymers in Europe (PRO-BIP) Final Report	M. Crank, <i>et al.</i> Utrecht University (UU) Department of Science, Technology and Society (STS) and Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research (FhG-ISI) Prepared for the European Commission's Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), Sevilla, Spain	NL/ DE 2004	Verpackung [+++]
029a	Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen – Umwelt und Markt	M. Patel Utrecht University, Department of Science, Technology and Society (STS) / Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation Utrecht, Netherlands	NL/ 2006	Verpackung [+]
030	Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material	F. Werner, H.-J. Althaus, T. Künniger, K. Richter EMPA, Dübendorf N. Jungbluth ESU-services, Uster	CH/ 2003	Baustoffe [++]
031*	Ökobilanz von Werkstoffen auf Basis nachwachsender Rohstoffe	M. Moitzi Institut für Werkstoffkunde und -prüfung der Kunststoffe an der Montanuniversität Leoben	AT/ 2001	Biopolymere/ Baustoffe [+++]
032*	Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe	T. Dettmer Vulkan-Verlag, Essen; ISBN 978 3 8027 8694 5.	DE/ 2006	Schmieröle [+++]
033*	Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	M.A. Svoboda Institut für Werkstoffkunde und -prüfung der Kunststoffe an der Montanuniversität Leoben	AT/ 2003	Biopolymere/ Baustoffe [+++]
033a	Life Cycle Assessment of Materials Based on Renewable Resources	M.A. Svoboda Institut für Werkstoffkunde und -prüfung der Kunststoffe an der Montanuniversität Leoben	AT/ 2003	Biopolymere/ Baustoffe [+++]



Nr.	Titel	Autor / Institution	Land/ Jahr	Produktgruppe und Wertung
034	Life Cycle Inventory of five products produced from polylactide (PLA) and petroleum-based resins	Prepared For Athena Institute International By Franklin Associates, a division of ERG, Prairie Village, KS	USA/ 2006	Verpackung [++]
035	Ökologische Bewertung von Holzwerkstoffen	Prof. Dr. A. Frühwald, <i>et al.</i> Uni Hamburg Holztechnologie	DE/ 2000	Baustoffe [+++]
036	Life cycle assessment of biofibres replacing glass fibres as reinforcement in plastics	Swiss Federal Institute of Technology	CH/ 2001	Verpackung [+++]
037	Biodegradable Packaging Life-Cycle Assessment	G.M. Bohlmann SRI Consulting	USA/ 2004	Verpackung [+]
038	Ökobilanzieller Vergleich der Herstellung von Biopolymer aus nachwachsenden Rohstoffen	R. Liu Technische Universität Berlin Fakultät III - Prozesswissenschaften, Institut für Technischen Umweltschutz, Fachgebiet Systemumwelttechnik Diplomarbeit	DE/ 2006	Biopolymer [+++]
039	Developments in Wood and Packaging Materials Life Cycle Inventories inecoinvent	R. Hischer, <i>et al.</i> Int. Journal of LCA 10 LCA (1) 50-58 (2005)	CH/ 2005	Verpackung [+]
040*	Environmental Assessment of Emerging Technologies The Case of Biopolymers	Department of Energy and Environment Chalmers University of technology, Selim Nouri	SE/ 2006	Biopolymere [+]
041	Surfactants Based on Renewable Raw Materials Carbon Dioxide Reduction Potential and Policies and Measures for the European Union	M. Patel Journal of Industrial Ecology Summer/Fall 2003, Vol. 7, No. 3-4: 47-62	DE/ 2003	Waschmittel [+]
042	Nachwachsende Rohstoffe in Baden-Württemberg: Identifizierung vorteilhafter Produktlinien unter Berücksichtigung umweltgerechter Verfahren	K.M. Müller-Sämann, <i>et al.</i> BWPLUS Forschungszentrum Karlsruhe	DE/ 2003	NfK/ Textilien/ Verpackung/ Schmieröle/ Baustoffe [+++]
043*	Ökologische Bewertung von unterschiedlichen Spanplattentypen. Research report, in print.	A. Frühwald, J. Hasch	DE/ 1999	Baustoffe [+++]
044*	Ökologische Bewertung des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe für Verkleidungskomponenten im Automobilbau.	M. Flake, T. Fleißner, A. Hansen Landschaftsökologie & Umweltforschung 34. Braunschweig	DE/ 2000b	NfK [+++]
045	Waste Not - Safety, Health, Environmental and Fire Prevention Report 2005	Aylesford Newsprint Ltd.	GB/ 2005	Papier/ Pappe [+]
046	White Paper No. 3 – Lifecycle Environmental Comparison: Virgin Paper and Recycled Paper-based Systems	Environmental Defense, New York Duke University, Environmental Defense Fund, Johnson & Johnson, McDonald's, The Prudential Insurance Company of America, Time Inc.	1995/ USA	Papier /Pappe [++]
047	Concept Background Document – Development of criteria for the award of the European Eco-label to lubricants	D. Theodori, R. J. Saft, H. Krop, P. von Broekhuizen IVAM	NL/ 2003	Schmieröle
048*	Ökobilanzierung neuer Fensterkonstruktionen im Vergleich zum Standard-Holzfenster	Dipl.-Ing. J. Kreißig	DE/ 2000	Baustoffe [+++]



Nr.	Titel	Autor / Institution	Land/ Jahr	Produktgruppe und Wertung
049	R&D Decision support by parallel assessment of economic, ecological and social impact – adipic acid from renewable resources versus adipic acid from crude oil	C. Makishi, T. Kupfer, L.-P. Barthel, S. Albrecht	DE/ 2006	Verfahrensstoffe [++]
050	Life-cycle Assessment of Biobased Polymers and Natural Fiber Composites	Dr. M. Patel, <i>et al.</i> Utrecht University	NL/ IT/ DE/ 2003	Verpackung NfK,(Faben / Lacke) [+++]
051	Arbeitsbericht 8 Nachhaltigkeit im Bereich Bauen und Wohnen – ökologische Bewertung der Bauholz-Kette	D. Scheer, C. Zerwer, unter Mitarbeit von A. Feil Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)	DE/ 2007	Baustoffe [++]
052	Ökologisch orientierte Geschirrwahl	Carbotech AG	CH/ 2005	Verpackung [+++]
053	Newsprint – A Life Cycle Study – An independent assessment of the environmental benefits of recycling at Aylesford Newsprint compared with incineration	Ecobilan Group, Ecobalance, UK	GB/ 1998	Papier/Pappe [++]
054	Timber as a Building Material - An environmental comparison against synthetic building materials	P. Townsend, C. Wagner	AU/ 2002	Baustoffe/ [+++]
055	Briefing – Paper Recycling: Exposing the Myths	F. MacGuire	GB/ 1997	Papier/Pappe [+]
056**	Querschnittsanalyse der ökologischen Bilanzierung von Holzprodukten in Deutschland, Europa und Nordamerika	A. Frühwald, <i>et al.</i>	DE/ 1996	Baustoffe [++]
057	Verbundvorhaben: Innenraum- und Fassadenfarben aus nachwachsenden Rohstoffen; Ganzheitliche Entwicklung und Bewertung der Ökoeffizienz	Life Cycle Simulation GmbH, PE Europe GmbH	DE/ 2002	Farben/Lacke [+++]
058	Life Cycle Assessment of Particleboards and Fibreboards	A. Frühwald University of Hamburg/Germany J. Hasch Kronopol Zary/Poland	DE/ 1999	Baustoffe [+++]
059*	Bewertung von Holz im Vergleich mit anderen Werkstoffen unter dem Aspekt der CO2-Bilanz	G. Wegener, <i>et al.</i> Fraunhofer IRB	DE/ 1994	Baustoffe [++]
060	Biopolymers from crops: their potential to improve the environment Green lubricants	D. Michael	AU/ 2003	Biopolymere [++]
061	Green lubricants. Environmental benefits and impacts of lubrication	S. Boyde Uniqema Lubricants, Wilton, UK.	GB/ 2002	Schmieröle [++]
062	Lubricants based on renewable resources – an environmentally compatible alternative to mineral oil products	A. Willing COGNIS, Düsseldorf, Deutschland	DE/ 2001	Schmieröle [+]
063*	Die Verwendung von Holz im Bauwesen – Die einzige Chance, die Wälder der Welt zu retten	Prof. Dipl.-Ing. J. Natterer	CH/ 1995	Baustoffe [+]
064	Greenhouse gas emissions and costs over the life cycle of wood and alternative flooring materials	A.K. Petersen, B. Solberg	NO/ 2004	Baustoffe [+]
065	Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden	A.K. Petersen, B. Solberg	NO/ 2003	Baustoffe [++]



Nr.	Titel	Autor / Institution	Land/ Jahr	Produktgruppe und Wertung
066	Substitution between floor constructions in wood and natural stone: comparison of energy consumption, greenhouse gas emissions, and costs over the life cycle	A.K. Petersen, B. Solberg	NO/ 2003	Baustoffe [++]
067	Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives	P. Börjesson, L. Gustavsson	SE/ 2000	Baustoffe [+]
068	Life Cycle Assessment of Flooring Materials: Case Study	A. Jiinsson, A.M. Tillman, T. Svensson	SE/ 1996	Baustoffe [++]
069	Life Cycle Assessment of POLYLACTIDE (PLA) A comparison of food packaging made from NatureWorks® PLA and alternative materials Final Report	A. Detzel, M. Krüger IFEU GmbH, Heidelberg	DE/ 2006	Verpackung [+++]
070	Umweltprofile von Werkstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen	C. Hallmann, A. Hansen, T. Fleißner, M. Flake LCE Consulting GmbH	DE/ 2001	NfK [++]
071	Environmental Life Cycle Assessment of Linoleum als Final Report	M. Gorree, J.B. Guinée, G. Huppes, L. van Oers Centre of Environmental Science – Leiden University (CML-UL)	NL/ 2000	Baustoffe [+++]
072	Life cycle assessment of palm alcohol sulfates	H.J., Klüppel, F. Hirsinger, J. Knaut, K.-P. Schick Henkel KGaA INFORM	DE/ 1995	Waschmittel/ [++]
073	Ökologische Bilanzierung ausgewählter Lackrohstoffe: Vergleich von Bindemitteln auf nativer und petrochemischer Basis	A. Diehlmann, G. Kreisel Institut für Technische Chemie und Umweltchemie der Friedrich-Schiller Universität Jena	DE/ 2000	Farben/Lacke [++]
074	Ökologische Betrachtung für den Hausbau – Ganzheitliche Energie- und Kohlendioxidbilanzen für zwei verschiedene Holzhauskonstruktionen	C. M. Pohlmann Universität Hamburg Dissertation	DE/ 2002	Baustoffe [+++]
075	Bewertung ökologischer Lebensläufe von Zeitungen und Zeitschriften	AXEL SPRINGER Verlag AG, STORA, CANFOR	DE/SE/ CA 1998	Pappe/Papier [++]
076	Operational trials for use of recovered fibre as cellulose fibre insulation in applications relating to metallic and modular structures	A. Way The Steel Construction Institute	GB/ 2006	Baustoffe/ [+++]
077	Nachhaltigkeit von Verpackungssystemen für Obst- und Gemüsetransporte in Europa basierend auf einer Lebenszyklusanalyse	L. Barthel, S. Albrecht Universität Stuttgart, Chair of building Physics Dr. S. Deimling, Dr. M. Baitz PE International	DE/ 2007	Verpackung [+++]
078	Analyse du cycle de vie des caisses en bois, carton ondulé et plastique pour pommes	ADEME	FR/ 2000	Verpackung [+++]
079	Renewable Raw Materials - a way to reduced greenhouse gas emissions for the EU industry?	D. Johansson European Commission DG Enterprise/E.1	BE/ 2000	Schmieröle Waschmittel [+]
080	Biobased & Biodegradable Plastics	R. Narayan BEPS SPE Conference Chicago 2006	USA/ 2006	Verpackung [+]
081	ENVIRONMENTAL BENEFITS OF RECYCLING An international review of life cycle comparisons for key materials in the UK recycling sector	Waste & Resources Action Programme WRAP, Banbury, Oxon	GB/ 2006	Baustoffe

Nr.	Titel	Autor / Institution	Land/ Jahr	Produktgruppe und Wertung
082	Comparison of rapeseed and mineral oils using Life cycle assessment and Cost-Benefit analysis	Wightman, <i>et al.</i>	GB/ 1999	Schmieröle [++]
083	Life-cycle analysis of biodegradable packing materials compared with polystyrene chips: the case of popcorn	O. JoUiet, K. Cotting, C. Drexler, S. Farago	CH/ 1994	Verpackung [+++]
084*	Ökobilanzierung von Laminatfußböden	Stephanie Fischer, TU München, Studienfakultät für Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement	DE/ 2003	Baustoffe [+++]
085*	Vergleichende Ökobilanzierung der Rundholzproduktion in verschiedenen Forstbetrieben	J. Schweinle, C. Thoro	DE/ 2001	Baustoffe [+++]
086*	Erarbeitung von Sach-Ökobilanzen für Holzfußböden	B. Nebel TU München, Holzforschung München	DE/ 2003	Baustoffe [+++]
087*	LCA of particle boards – comparison of different board/glue combinations	Universität Hamburg, PE Product Engineering GmbH, IKP Stuttgart, Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde	DE/ 2000	Baustoffe [+++]
088**	Analyse und Bewertung der forstlichen Produktion als Grundlage für weiterführende forst- und holzwirtschaftliche Produktlinien-Analysen	J. Schweinle, C. Thoro Universität Hamburg	DE/ 1996	Baustoffe [+++]
089	Entlastungseffekte für die Umwelt durch Substitution konventioneller chemisch-technischer Prozesse und Produkte durch biotechnische Verfahren	K. Hoppenheidt Umweltbundesamt	DE/ 2005	Waschmittel/ Arzneimittel/ Kosmetik/ Verpackung [+++]
090	Life-Cycle Analysis of Wood Products, in: Frühwald, Arno/Solberg, Birger (1995): LCA – a challenge for forestry and forest products industry	K. Richter	CH/ 1995	Baustoffe [+]
091*	Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialien (ohne Verglasung). Synthese eines SZFF-EMPA Forschungsprojektes	K. Richter EMPA Dübendorf	CH/ 1996	Baustoffe [+++]
092	Life-cycle analysis of wood products: cradle-to-gate LCI of residential wood building materials	M. E. Puettmann, J. B. Wilson Department of Wood Science and Engineering Oregon State University, Corvallis	USA/ 2005	Baustoffe [++]
093	Window of Opportunity – The environmental and economic benefits of specifying timber window frames.	C. Thompson WWF-UK	GB/ 2005	Baustoffe [+++]
094	Ökobilanzen für graphische Papiere. Vergleich von Verwertungs- und Beseitigungsverfahren für graphische Altpapiere sowie Produktvergleiche für Zeitungsdruck-, Zeitschriften- und Kopierpapiere unter Umweltgesichtspunkten - mit CD-ROM -	A. Tiedemann, C. Böttcher, A. Buschardt, B. Georgi, G. Giersberg, G. Goosmann, H.-D. Gregor, B. Mehlhorn, A. Modi, H. Neitzel, H.-J. Oels, S. Schmitz, M. Suhr	DE/ 2000	Papier/Pappe [+++]
095*	European life-cycle inventory for detergent surfactants production	M. Stalmans, H. Berenhold, J.L. Berna, L. Cavallil, <i>et al.</i>	DE/ 1995	Waschmittel/ [++]
096	Natural and synthetic surfactants – which one is better?	p & g touching lives improving lives, Proctor & Gamble Co.	CH/ 2003	Waschmittel/ [+]



Nr.	Titel	Autor / Institution	Land/ Jahr	Produktgruppe und Wertung
097*	Entwicklungs- und Erfolgsfaktoren für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland und der EU im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie	M. Kaup	DE/ 2002	Schmierstoffe/Textilien/NfK/Biopolymere [+]
098	Life-Cycle Analysis of the Newspaper Le Monde.	C. Rafenberg, E. Mayer The International Journal of Life Cycle Assessment Vol. 3 Nr. 3 (1998), S. 131-144.	FR/ 1998	Papier/Pappe Farben/Lacke [+++]
099**	Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft	A. Frühwald, M. Scharai-Rad	DE/ 1996	Baustoffe [++]
100*	Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	Dr. R. Hesch Lemgo	DE/ 1995	Baustoffe [+]
101	Life Cycle Inventories of Building Products - Ecoinvent report No. 7, Part XIV	Kellenberger, H.-J. Althaus, T. Künniger EMPA, Dübendorf N. Jungbluth ESU-services, Uster	CH/ 2004	Baustoffe [+]
102*	Ihr Baustoffratgeber	Institut für Baustoffforschung, Hannover	DE 2001	Baustoffe [+]
103	nawaRo aktiv - Studie zur Treibhausgasrelevanz der stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen	C. Strasser, S. Griesmayr Austrian Bioenergy Centre GmbH	AT/ 2006	Baustoffe/ Schmieröle/ Farben/ Lacke/ NfK [+]
104	Gate-To-Gate Life-Cycle Inventory of softwood plywood production	J. B. Wilson, E. T. Sakimoto Department of Wood Science and Engineering, Oregon State University	USA/ 2005	Baustoffe [++]
105	Gate-To-Gate Life-Cycle Inventory of softwood lumber production	M. R. Milota Department of Wood Science and Engineering, Oregon State University C. D. West Pacific Northwest Research Station, U.S. Forest Service I. D. Hartley University of Northern British Columbia, Canada	USA/ 2005	Baustoffe [++]
106	The environmental performance of renewable building materials in the context of residential construction	J. Perez-Garcia Center for International Trade in Forest Products B. Lippke Rural Technology Initiative	USA/ 2005	Baustoffe [++]
107	Life-Cycle Impacts of forest resource activities in the pacific northwest and southeast United States	L.R. Johnson, B. Lippke, J.D. Marshall University of Idaho & Washington	USA/ 2005	Baustoffe [++]
108	Gate-To-Gate Life-Cycle Inventory of oriented strandboard production	D.E. Kline Brooks Forest Products Center Virginia Tech	USA/ 2005	Baustoffe [++]
109	Gate-To-Gate Life-Cycle Inventory of I-Joist production	J.B. Wilson, E.R. Dancer Department of Wood Science and Engineering	USA/ 2005	Baustoffe [++]
110	Gate-To-Gate Life-Cycle Inventory of glued-laminated timbers production	M.E. Puettmann, J.B. Wilson Department of Wood Science and Engineering	USA/ 2005	Baustoffe [++]



Nr.	Titel	Autor / Institution	Land/ Jahr	Produktgruppe und Wertung
111	Gate-To-Gate Life-Cycle Inventory of laminated veneer lumber production	J.B. Wilson, E.R. Dancer Department of Wood Science and Engineering	USA/ 2005	Baustoffe [++]
112	Energy consumption and greenhouse gas emissions related to the use, maintenance, and disposal of a residential structure	P. Winistorfer Department of Wood Science and Forest Products, Virginia Tech. Z. Chen, B. Lippke, N. Stevens University of Washington	USA/ 2005	Baustoffe [++]
113*	Life Cycle Assessment study on resilient floor coverings. Int. J. LCA 2 (2). pp. 73-80.	H.-C. Langowski, A. Günther Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, Freising	DE/ 1998	Baustoffe [+++]
114	Environmental product declaration (EPD) MATER – BI® NF Type: Biodegradable plastic pellets for films	Novamont Mater-BI	IT/ 2001	Verpackung [+++]
115	Environmental product declaration (EPD) MATER – BI® PE Type: Biodegradable plastic pellet for foams	Novamont Mater-BI	IT/ 2001	Verpackung [+++]
116*	Ökobilanzierung Holzfußböden	Prof. Dr. G. Wegener, <i>et al.</i> TU München Holzforschung	DE/ 2002	Baustoffe [+++]
117	Implementationsstudie zur biotechnologischen Produktion von Biopolymeren unter Einsatz digitaler Modelle auf der Basis nachwachsender Rohstoffe und organischer Abfälle	Umweltbundesamt	DE/ 2003	Biopolymere [+]
118	Environmental and energy balances of wood products and substitutes.	M. Sharai-Rad, J. Welling	IT/ 2002	Baustoffe [+++]
119	Comparative environmental Life Cycle Assessment of composite materials	O. De Vegt	NL/ 1997	NfK [+++]
120	Energie, Kraftstoffe und Gebrauchsgüter aus Biomasse: Ein flächenbezogener Vergleich von Umweltbelastungen durch Produkte aus nachwachsenden und fossilen Rohstoffen	M. Weiß, S. Bringezu, H. Heilmeyer	DE/ 2003/ 2004	NfK/Verpackung/ Schmieröle/ Baustoffe [++]
121	02/05: Untersuchung der Anpassung von Ökobilanzen an spezifische Erfordernisse biotechnischer Prozesse und Produkte	Renner, W. Klöpfer Umweltbundesamt	DE/ 2005	Faben/ Lacke/ Arzneimittel/ /Kosmetik/ Biopolymere [+++]
122	Etude des caractéristiques environnementales du chanvre par l'analyse de son cycle de vie	Ministère de L'Agriculture et de la Pêche, République Française	FR/ 2006	NfK/ Baustoffe [++]
123*	A structured model for quantitative analysis of production systems	A. Weber Marin Ph.D.-Thesis	CH/ 2000	Textilien [+]
124	Life Cycle Analysis of Hemp Textile Yarn – Comparison of three hemp fibre processing scenarios and a flax scenario	L. Turunen, H. van der Werf INRA - Institut National de la Recherche Agronomique, French National Institute for Agronomy Research	FR/ 2006	Textilien [++]
125	Life Cycle Assessment of Disposable and Reusable Nappies in the UK	S. Aumônier, M. Collins Environment Agency, Almondsbury, Bristol	GB/ 2004	Verpackung [+++]



Nr.	Titel	Autor / Institution	Land/ Jahr	Produktgruppe und Wertung
126	Life Cycle Inventories of Packagings & Graphical Papers - ecoinvent report No. 11 (4 Parts)	R. Hischer EMPA, St. Gallen	CH/ 2004	Papier/ Pappe [+]
127*	End of Use and End of Life Aspects in LCA of Wood Products – Selection of Waste Management Options and LCA Integration	G. Jungmeier, A. Merl, F. McDarby, C. Gallis, C. Hohenthal, A.-K. Petersen, K. Spanos	AT/ IE/GR/ FI/ NW 2001	Baustoffe/ [+]
128*	Ecological aspects of waste wood utilisation in Germany.	L. G. Speckels, A. Frühwald, M. Scharrai-Rad, J. Welling	DE/ 2001	Baustoffe/ [+++]
129*	Recycling of used wood – inclusion of end-of-life options in LCA	F. Werner, E. Dübendorf	CH/ 2001	Baustoffe [++]
130	Nutzungsmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe: ökobilanzieller Vergleich ausgewählter Produkte	S. Ehrenberger Hochschule Pforzheim, Institut für Angewandte Forschung, Umweltmanagement	DE/ 2006	Baustoffe Verpackung [++]
131	Einblasdämmstoffe aus Faserhanf und Grasfasern im Vergleich zu Altpapierdämmstoffen	J.-L. Hersener, A. Keller	CH/ 2002	Baustoffe [+]
132	The Sustainability of NatureWorks™ Polylactide Polymers and Ingeo™ Polylactide Fibers: an Update of the Future	E. T. H. Vink, Cargill Dow LLC	NL/ 2003	Verpackung [++]
133	Greenhouse Gas Profile of a Plastic Material Derived from a Genetically Modified Plant	D. Kurdikar, <i>et al.</i> Journal of Industrial Ecology, Vol. 4, No. 3. 2002.	USA/ 2002	Biopolymere [+]
134	Wooden Building Products in Comparative LCA – A literature Review	Frank Werner, Klaus Richter	CH/ 2007	Baustoffe
135	Design for Environment in the Automotive Sector with the Materials Selection Tool euro-Mat	Gerald Rebitzer, Wulf-Peter Schmidt	CH/ DE 2003	NFK [+]
136	Vermeidung und Verminderung des Müllaufkommens durch Schliessung des Kohlenstoffkreislaufs	Univ. Lektor Dipl.-Chem. Hanswerner Mackwitz Dr. Wolfgang Stadlbauer	AT/ 2001	Verpackung [++]
137	Including the Use Phase in LCA of Floor Coverings	Å. Jönsson	SE/ 1999	Baustoffe [++]
138	Life-cycle covering assessment of four types of floor	J. Potting, K. Blok	NL/ 1995	Baustoffe [+++]
139	Ökologische Untersuchung von Parkettfußböden	F. Werner, K. Richter EMPA Dübendorf, Abteilung Holz	CH/ 1997	Baustoffe [+++]
140	Life Cycle Assessment of four Multi-Family Buildings	K. Adalberth, A. Almgren, E. H. Petersen Department of Building Physics, Lund University, Sweden	SE/ 2001	Baustoffe [++]
141	Energy and greenhouse gas emissions associated with the construction of alternative structural systems	R. J. Cole Environmental Research Group, School of Architecture, University of British Columbia, Vancouver, Canada	CA/ 1998	Baustoffe [+]
142	Wood innovation in the residential construction sector; opportunities and constraints	T. Goverse, M. P. Hekkert, P. Groenewegen, E. Worrell, R. E.H.M. Smits	KE/ NL/ USA/ 2001	Baustoffe [+]



Nr.	Titel	Autor / Institution	Land/ Jahr	Produktgruppe und Wertung
143	Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions	A. H. Buchanan, S. Bry Levine	NZ/ USA/ 1999	Baustoffe [+]
144	Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings	L. Gustavsson, K. Pingoud, R. Sathre	SE/ FI/ 2006	Baustoffe [+]
145	A Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of the Manufacturing of Base Fluids for Lubricants	C. Våg, A. Marby, M. Kopp, L. Furberg, T. Norrby	SE/ 2002	Schmierstoffe [++]
146*	Vergleich von "Ziegelbauten" mit "Holzbauten" in Bezug auf den globalen und regionalen CO <sub>2</sub> Haushalt und die erzeugten Güter- und Energieröme	Bernhard F. Damberger	AT/ 1995	Baustoffe [++]
147	Building materials and CO <sub>2</sub> - Western European emission reduction strategies	D.J. Gielen	NL/ 1997	Baustoffe [+]
148	Mehrweg-Transportverpackungen	R. Ullrich	DE/ 1996	Verpackung [+]
149	A comparative study of the environmental and economic characteristics of corrugated board boxes and reusable plastic crates in the long-distance transport of fruit and vegetables	Polytecnic University of Valencia, Packaging, Transport and Logistics Research Institute	ES/ 2005	Verpackung [+++]
150	BAW-Säcke für die Sammlung von Bioabfällen – Praxistests, Ökobilanzierungen, einheitliche Schweizer Kennzeichnung	René Estermann, Bea Schwarzwälder	CH/ 1999	Verpackung [+++]
151	Lebenswegbilanzen von Transportverpackungen (Teil 1) Sensitivitätsanalysen zu Lebenswegbilanzen von Transportverpackungen (Teil 2)	Fraunhofer Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung, EAR Umweltforschungs GmbH	DE/ 1994	Verpackung [+]
152	Transportgebilde im ökologischen Vergleich	IWIS, Interessengemeinschaft der Wellkartonindustrie Schweiz	CH/ 2003	Verpackung [+++]
153	Cost-benefit analysis, including life-cycle assessment, of oils produced from UK grown oilseeds compared with mineral oils. (Final project report).	S.P. Carruthers University of Reading Whiteknights, READING	GB/ 2000	Schmierstoffe Waschmittel [+++]
154	The part of life-cycle assessment for biodegradable products: bags and loose fills	Bea Schwarzwälder, René Estermann, Luigi Marini	CH/IT 2000	Verpackung [+]
155*	Beitrag zur Ökobilanzierung biologisch abbaubarer Geschirre und Verpackungen für Lebensmittel. Diplomarbeit	S. Rieke Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Uni Kiel	DE/ 1998	Verpackung [+++]
156*	Ökologische Bewertung und Bilanzierung von petrochemischen Kunststoffen und Kunststoffen aus Nachwachsenden Rohstoffen im Hinblick auf ihre wirtschaftliche Verwendung - Vorstudie: Recherche und Analyse verfügbarer Daten zur vergleichenden ökologischen Bilanzierung von Kunststoffen	Forschungsstelle für Ökosystemforschung und Ökotechnik, Uni Kiel, erstellt i.A. der Kunststoffinitiative Schleswig-Holstein	DE/ 1992	Kunststoffe

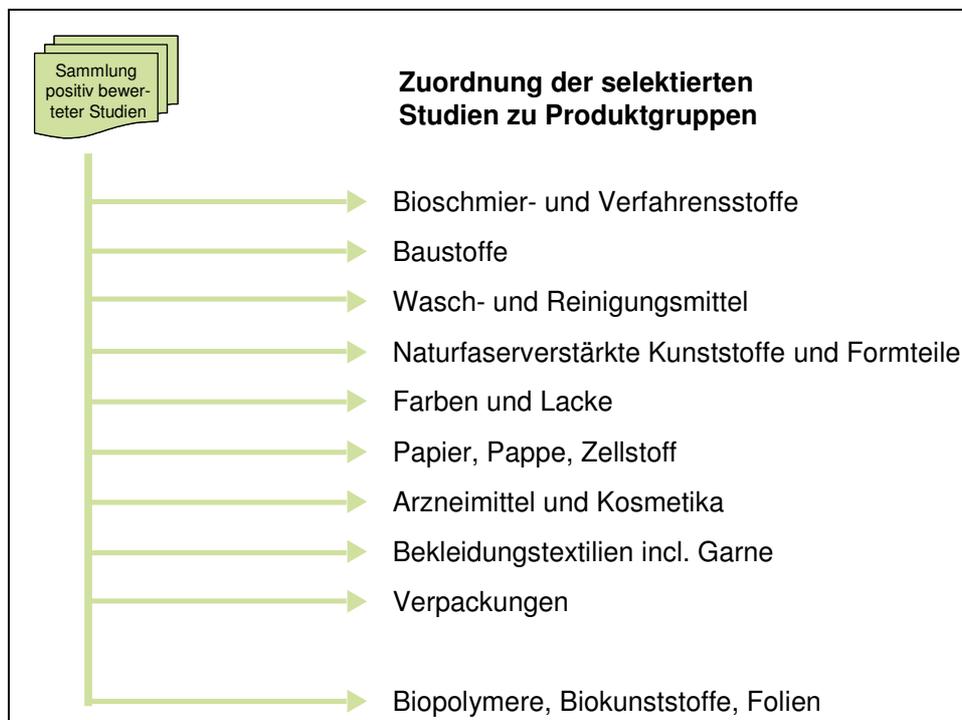
\* Mit einem Sternchen markierte Nummern in Spalte eins liegen nicht in digitaler Form vor, sie wurden im Rahmen der persönlichen Kontaktaufnahme erhalten.

\*\* Mit zwei Sternchen markierte Nummern in Spalte eins wurden der Literaturanalyse mit einer Geheimhaltungsaufgabe zur Verfügung gestellt und dürfen an Dritte **nicht** weiter gegeben werden.

## 5 Literaturlauswertung innerhalb von Produktgruppen

Im folgenden Kapitel werden die recherchierten Studien hinsichtlich ihres umweltbewertenden Detaillierungsgrades und ihrer studienübergreifenden Vergleichbarkeit ausgewertet. Die Auswertung der als positiv eingestuftcn Studien erfolgt innerhalb festgelegter Produktgruppen (Abbildung 5-1). Die Produktgruppenzuordnung reduziert einerseits die Komplexität und hilft andererseits, den Detaillierungsgrad der Umweltwirkungen nach dem Stand des Wissens besser einschätzen zu können.

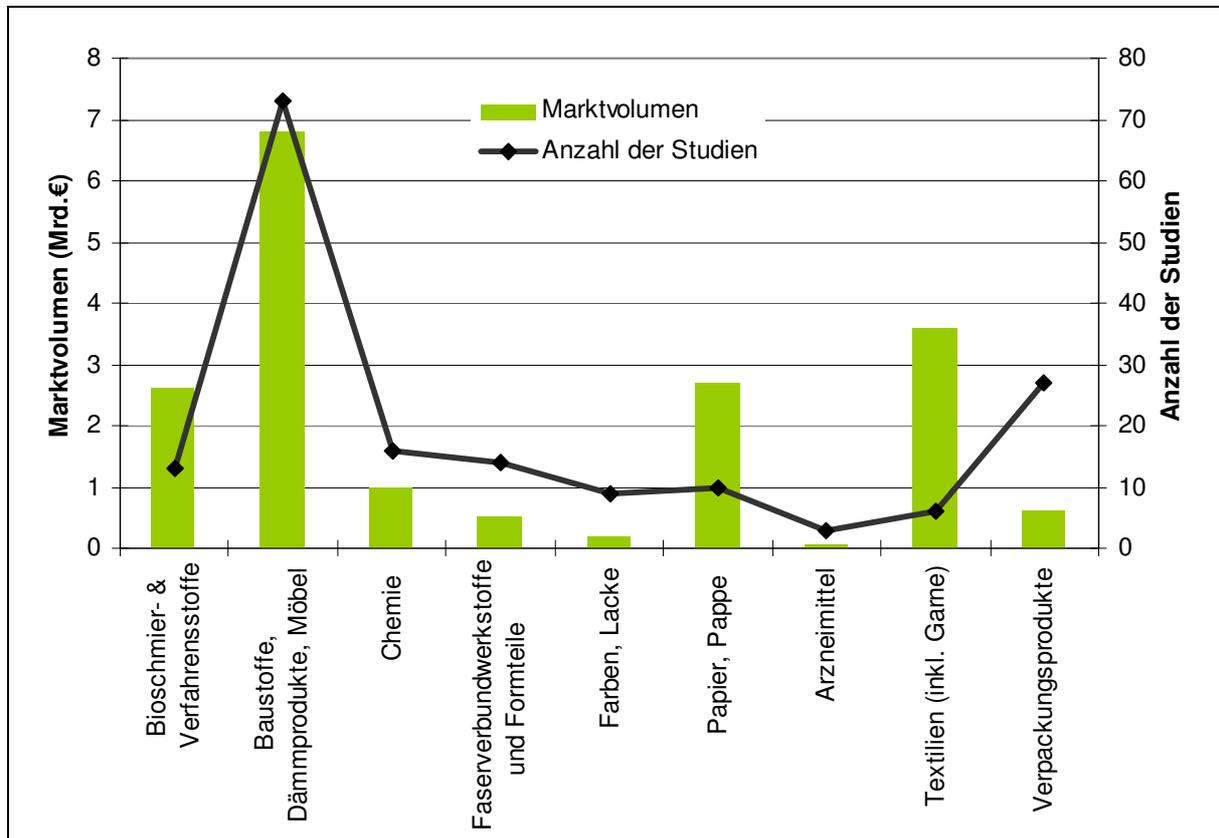
Angemerkt sei, dass die Anzahl der aufsummierten Beiträge in den jeweiligen Produktgruppen nicht der Gesamtzahl der positiv („grün“) bewerteten Studien entspricht, da in vielen Studien mehrere Produkte bilanziert und somit mehrere Beiträge zu verschiedenen Produktgruppen geleistet werden.



**Abbildung 5-1: In der Literaturlauswertung verwendete Produktlinienzuordnung**

Die Literaturlauswertung beginnt mit einer Einschätzung der Produktgruppenrelevanz. Dafür wurde das derzeitige Marktvolumen abgetragen [MEO 2006] und dazu die Anzahl der durch die Literaturrecherche identifizierten Studien ergänzt (Abbildung 5-2). Die Produktgruppen der referenzierten Marktanalyse stimmen mit den in der Literaturanalyse definierten Produktgruppen überein, eine Ausnahme bildet die Chemie-Gruppe. Während in Abbildung 5-2 lediglich die Anzahl von Tensid-Studien über der Chemiegruppe abgetragen ist, umfasst das zitierte Marktpotenzial dieser Produktgruppe ein weitaus größeres Werkstoffspektrum. Die Korrelation von Marktanteilen pro Produktgruppe und der Anzahl an Studienbeiträgen pro

Produktgruppe sollte einerseits überprüfen, ob das Marktergebnis das Ergebnis der Studienrecherche wiedergibt und andererseits identifizieren, wo künftig Schwerpunkte im Bereich der Forschung gelegt werden sollten. So erscheint es zweckmäßig, zu einer Produktgruppe mit großem Marktpotenzial verstärkt Umweltbewertungen voranzutreiben und somit Optimierungspotenziale auszuschöpfen.



**Abbildung 5-2: Zusammenhang zwischen Marktvolumen [MEO 2006] und Anzahl der selektierten Studien**

Erkennbar sind Zusammenhänge zwischen dem Marktvolumen und der Anzahl der Studienbeiträge, insbesondere die deutliche Relevanz des Bausektors und die untergeordnete Rolle der Arzneimittel, Farben und Lacke. Während bei den Textilien eine im Vergleich zum Marktvolumen eher niedrige Studienanzahl vorliegt, stellen Verpackungen häufig bilanzierte Produkte mit vergleichsweise geringem Marktvolumen dar.

Hintergrund war der Verdacht, dass viele Veröffentlichungen nicht zwangsläufig den ökologischen und ökonomischen Potentialen eines nachwachsenden Rohstoffs entsprechen. So kommt es heute im Bereich der energetischen Nutzung vor, dass viele Studien in Bereichen vorliegen, die auf der politisch motivierten Agenda liegen, diese Popularität aber im krassen Gegensatz zu den tatsächlichen ökologischen und ökonomischen Potentialen steht. Bei der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe sind besonders in Bereichen, in denen bisher ökologische Grundbedenken einem weiter verbreiteten wirtschaftlichen Erfolg gegenüberstanden, im Verhältnis zum Marktvolumen viele Studien entstanden. Als Beispiele sind die Bereiche der Oleochemie, der Faserverbundwerkstoffe und der Farben und Lacke zu nennen. Hintergrund einer ökologischen Analyse ist in diesen Fällen oft die Hoffnung, die öko-



nomischen Nachteile durch ökologische Vorteile im Rahmen der Marktfähigkeit auszugleichen.

Für jede Produktgruppe werden in Tabellenform die jeweils relevanten Kulturarten, Pflanzenrohstoffe und Produktbeispiele aufgezeigt. Die Studien werden innerhalb der einzelnen Produktgruppen analysiert, um je nach Übereinstimmungen in funktionaler Einheit, Lebensweg, Methodik und betrachteten Wirkkategorien einen quantitativen studienübergreifenden Vergleich vorzunehmen. Eine Matrix pro Produktgruppe liefert hierzu jeweils einen Überblick zu den betrachteten Vergleichsparametern, wobei ein „x“ das Vorhandensein bzw. ein „-“ die Nicht-Betrachtung repräsentiert (vgl. Beispiel in Tabelle 3-3). Berücksichtigt eine Studie nicht das Treibhauspotenzial in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, sondern nennt ausschließlich die CO<sub>2</sub>-Emissionen, ist dies in der Matrix gekennzeichnet (CO<sub>2</sub>). Schließlich geben mangelnde Vergleichsmöglichkeiten Aufschluss über die gesetzten Grenzen und die Bedingungen, die erfüllt sein müssen, um studienübergreifende Vergleiche vorzunehmen. Eine Sonderstellung nehmen die Biopolymere ein, da sie keinen Endprodukt-, sondern Werkstoffcharakter besitzen und in der Regel nur Zwischenprodukt bzw. Ausgangsmaterial für eine Vielzahl von Produkten sind.

In jeder Produktgruppe werden ausgewählte Beispiele vorgestellt, um interessante Ergebnisse zu beleuchten und, wenn möglich, Ergebnisvergleiche vorzunehmen. Die Studien, auf die in den folgenden Unterkapiteln verwiesen wird, sind der Übersicht halber nur mit ihren laufenden Nummern versehen. Die entsprechenden Hinweise auf die Autoren sowie weitere Angaben befinden sich in Tabelle 4-1 bzw. im Anhang A.

## 5.1 Arzneimittel und Kosmetika

Neben der Nutzung gesundheitsfördernder Substanzen in Arznei- und Heilpflanzen werden zunehmend in der pharmazeutischen Industrie isolierte pflanzliche Wirksubstanzen eingesetzt. Hohe Klima- und Standortanforderungen vieler dieser Pflanzen limitieren jedoch einen vermehrten Anbau. Notwendig wäre ein kontrollierter, integrierter und somit sehr arbeits- und zeitintensiver Anbau, um den hohen Standards für Arznei- und Heilmittel zu genügen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick zu Kulturarten, verwendeten Rohstoffen und jeweiligen Produktbeispielen.

**Tabelle 5-1: Spezifikation der Produktgruppe Arzneimittel und Kosmetika**

Beispiele für Kulturarten	Rohstoff	Produktbeispiele
Topinambur, Zichorie, Zuckerhirse, Zuckerrohr, Zuckerrübe	Zucker	Medikamente
Ackerbohne, Eiweißerbse, Lupine, Soja, Kartoffeln, Raps, Weizen	Stärke	Kosmetika, Körperpflegemittel, Pharmazeutika
Artischocke, Baldrian, Kamille, Fenchel, Ginseng, Johanniskraut, Mariendistel, Nachtkerze, Pfefferminze, Ringelblume, Sonnenhut	Extrakte	Vitamine, Aromastoffe, Duftstoffe, ätherische Öle
Sandelholzöl, Lavendelöl, Rosenöl	Öle/Fette	ätherische Öle

Innerhalb der Produktgruppe ‚Arzneimittel‘ konnten drei Studienbeiträge recherchiert werden (Tabelle 5-2). Demnach beträgt der Anteil der Arzneimittel-Beiträge an der Gesamtzahl der Untersuchungen in allen Produktgruppen 2 %.

Es handelt sich hierbei um detaillierte Studien, die eine Vielzahl von Wirkkategorien berücksichtigen. In Studie 7 werden nur wenige Umweltwirkungen betrachtet, aber der vollständige Lebenszyklus untersucht. Die beiden anderen Studien hingegen bewerten nur die Produktionsphase und analysieren hierbei eine höhere Anzahl von Wirkkategorien.

**Tabelle 5-2: Selektierte Studien der Produktgruppe 'Arzneimittel'**

Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz		
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie	
7	1 t biotechnologisches Ausgangsmaterial (Alkohol, Zucker, Öle, Aminosäuren, Fettsäuren, Bio-Polymere)	x	x	x	x	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2006
89	Produktion von 1000 kg Vitamin B2 mit einer Reinheit von 96% & folgende Weiterverarbeitung von 19 Gew.% zu 167 kg Vitamin B2 mit einer Reinheit von 98%	x	-	-	x	x	-	x	x	x	-	x	x	x	-	-	x	2005
121	1 kg Penicillin	x	-	-	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	-	-	-	2005



Innerhalb der Produktgruppe Arzneimittel ist kein direkter Vergleich aufgrund der unterschiedlichen funktionalen Einheiten zielführend.

Studie 7 betrachtet den Lebenszyklus von ‚Werkstoffen‘, hergestellt mit Hilfe der Biotechnologie im Vergleich zu denen auf Basis der Petrochemie. Für die Modellierung der Entsorgung werden Verbrennungs- und Verfaulungsszenarien angenommen. Sowohl bei der Betrachtung der CO<sub>2</sub>-Emissionen als auch beim Energiebedarf erzielen die Produkte auf Basis der Petrochemie ungünstigere Werte.

Studie 89 untersucht die Herstellung von Vitamin B2 und vergleicht dabei die biotechnische Herstellung mit der chemisch-technischen. Ausgewählte Ergebnisse zeigt Tabelle 5-3. Nach Angaben aus Studie 89 stellt die biotechnische Herstellung von Vitamin B2 eine Mehrbelastung hinsichtlich des Eutrophierungspotenzials dar, welche auf landwirtschaftliche Anbauprozesse zurückzuführen ist. Auch höhere toxische Einzelstoffe wie Ammoniak, Ammonium und Cadmium treten auf. In allen anderen betrachteten Kategorien weist die biotechnische Produktion Vorteile gegenüber der chemisch-technischen Herstellung auf.

**Tabelle 5-3: Studie 89 - Produktion von Vitamin B2**

	Einheit	Biotechnischer Prozess	Chemisch-technischer Prozess	Biotechnischer Prozess	Chemisch-technischer Prozess	Differenz (Bio. - Chem.)
				Einwohnerwerte	Einwohnerwerte	Einwohnerwerte
<b>Wirkungskategorien, aggregiert</b>						
KEA	GJ	391	590	2,24	3,38	-1,14
Treibhauspotential	Mg CO <sub>2</sub> -Äq.	25,0	33,5	2,12	2,84	-0,72
Versauerungspotential	kg SO <sub>2</sub> -Äq.	115	229	2,84	5,63	-2,79
Eutrophierungspotential (terestr.)	kg PO <sub>4</sub> -Äq.	11,4	15,2	2,19	2,91	-0,73
Eutrophierungspotential (aquat.)	kg PO <sub>4</sub> -Äq.	21,4	5,8	3,85	1,04	2,81
Ozonbildungspotential (POCP)	kg Eth-Äq.	8,6	20,3	0,99	2,35	-1,36
<b>Humantoxische Einzelstoffe</b>						
Benzo(a)pyren (L)	g	0,0067	0,0034	0,04	0,02	0,02
Blei (L)	g	0,28	0,16	0,04	0,02	0,02
Cadmium (L)	g	0,095	0,034	0,71	0,26	0,45
Schwefeldioxid (L)	kg	53,2	145,56	5,51	15,1	-9,55
Staub (L)	kg	11,7	37,7	3,73	12,0	-8,25
<b>Ökotoxische Einzelstoffe</b>						
Ammoniak (L)	kg	8,42	1,15	1,11	0,15	0,96
Fluorwasserstoff (L)	kg	0,05	0,05	0,03	0,03	0,00
Schwefeldioxid (L)	kg	53,2	146	5,51	15,1	-9,55
Schwefelwasserstoff (L)	g	0,061	0,36	–	–	–
Stickoxide (L)	kg	65,3	114	3,36	5,85	-2,49
Ammonium (W)	kg	8,16	1,48	2,92	0,53	2,39
AOX (W)	g	0,0024	7,75	0,000045	0,15	-0,15
Chlorid (W)	kg	100	239	–	–	–
Kohlenwasserstoffe (W)	kg	0,001	2,04	0,01	39,3	-39,25

Die biotechnische Herstellung von 1 kg Penicillin in Studie 121 ist als Einzelstudie ohne weitere Produktvergleiche angelegt.

Der Arzneimittelsektor ist durch branchenspezifische Eigenheiten gekennzeichnet, welche die Durchführung von Ökobilanzen limitieren. Es besteht kein ökologischer Optimierungsanreiz innerhalb der Arzneimittelbranche, was eine Befragung ergab [RATIOPHARM]. Probleme stellen eventuelle Änderungen in der Wirksamkeit durch Zusatzstoffe dar, welche neuen Zulassungsbestimmungen unterliegen. Durchzuführende Prüfungen neuer Bestandteile be-



grenzen den Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der Branche. Weiterhin stellt sich dem Kunden weniger die Frage der Nachhaltigkeit bzw. der Umweltfreundlichkeit in der Herstellung und Verpackung von Arzneimitteln. Die Heilung in der Produkt-Nutzungsphase ist primäres Ziel, die Ökologie des Produktes entsprechend von untergeordneter Bedeutung.

## 5.2 Waschmittel und Reinigungsmittel

Waschmittel- und Reinigungsmittel wurden bis vor kurzem noch überwiegend auf Mineralölbasis produziert, auf der Basis von Pflanzenölen sind sie biologisch schnell und vollständig abbaubar, sowie insgesamt umweltschonender. Durch die Züchtung neuer ölreicher Pflanzensorten, wie der Sonnenblumensorte "High oleic" eröffnet sich für die Landwirtschaft ein neuer Markt für die industrielle Verarbeitung. Tabelle 5-4 zeigt die zur Wasch- und Reinigungsmittelherstellung genutzten Kulturarten und Rohstoffe.

**Tabelle 5-4: Spezifikation der Produktgruppe „Wasch- und Reinigungsmittel“**

Beispiele für Kulturarten	Rohstoff	Produktbeispiele
Mais, Weizen, Markerbösen, Kartoffeln, Reis, Roskaskastanien	Stärke	Tenside
Topinambur, Zichorie, Zuckerrübe, Zuckerrübe	Zucker	Tenside, Alkohol

Innerhalb der Produktgruppe ‚Wasch- und Reinigungsmittel‘ konnten sechs Studienbeiträge recherchiert werden (Tabelle 5-5). Demnach beträgt der Anteil der selektierten Studien an der Gesamtzahl der Beiträge aller Produktgruppen 3 %.

Es handelt sich hierbei um weniger detaillierte Studien, bei denen lediglich die Produktionsphase modelliert wurde. Betrachtet werden fast ausschließlich das Treibhauspotenzial und der Energiebedarf. Eine umfangreiche Studie unter Betrachtung weiterer Wirkkategorien stellt Studie 153 dar.

Ein direkter Vergleich spezifischer Studienergebnisse ist aufgrund der gemeinsamen funktionalen Einheiten von einem Kilogramm bzw. einer Tonne Tensid möglich (vgl. Tabelle 5-6). Tenside, als wichtigste Komponente in Wasch- und Reinigungsmitteln, setzen die Oberflächen- oder Grenzflächenspannung herab und erhöhen somit die Löslichkeit von Fett- und Schmutzpartikeln im Wasser. Innerhalb der Studien werden vorrangig die Tenside AE7 (Alkohol Ethoxylat mit sieben Ethylenoxid-Einheiten) auf Basis von Palmkernöl (PKO), Kokosöl (CNO), Rapsöl oder auf petrochemischer Basis (PC) untersucht. Die Studien liefern Ergebnisse zu Energiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen resultierend aus der Produktionsphase (Tabelle 5-6). Alkoholethoxylate zählen zu den nichtionischen Tensiden und besitzen innerhalb dieser Gruppe das höchste Marktpotenzial (KAISER 1998).

**Tabelle 5-5: Selektierte Studien der Produktgruppe ‚Wasch- und Reinigungsmittel‘**

Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz		
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie	
41	Einsparpotenzial GWP (t Tenside/a in Europa)	x	-	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2003
72	1 kg Alkoholsulfat	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1995
79	Einsparpotenzial GWP (t Tenside/a in EU)	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2000
95	1 t Tenside	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	-	1995
96	1 t Tenside	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	2003
153	1 t Alkohol Ethoxylat	x	-	-	-	x	-	-	x	x	-	x	x	x	-	x	2000	

Alkoholsulfate zählen hingegen zu den anionischen Tensiden. Die Werte für Alkoholsulfat FAS auf Palmöl-Basis der Studie 72 sind ebenfalls in Tabelle 5-6 aufgezeigt. Alkoholsulfate sind besser biologisch abbaubar als Alkoholethoxylate (KAISER 1998).

**Tabelle 5-6: Vergleich von Energie und CO<sub>2</sub> innerhalb selektierter Studien**

Studie Nr.	Gesamter Energieverbrauch [MJ/kg Produkt]	Gesamte CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg CO <sub>2</sub> /kg Produkt]	fossile CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg CO <sub>2</sub> /kg Produkt]	Produkt
72	60	1,4 (aufaddiert)	Keine Unterteilung	Alkoholsulfat FAS (Palmöl-Basis)
95	70	2,2	1,8	AE7-PKO
	75	1,8	1,65	AE7-CNO
	80	2,25	2,25	AE7-PC
96	70	2,5	2,0	AE7-PKO
	70	1,80	1,65	AE7-CNO
	80	2,45	2,40	AE7-Petro
153	Nicht betrachtet	2,09	Keine Unterteilung	AE7-PKO
		1,72		AE7-CNO
		2,21		AE7-Petro
		2,03		AE7-Raps

Studie 95 und 96 weisen fossile und nicht-fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen getrennt aus. In Studie 72 und 153 wurde keine Unterteilung vorgenommen, lediglich die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen sind angegeben. Insgesamt zeigt sich eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse der einzelnen Studien. Für die Produktion von 1 kg Tensid auf Basis nachwachsender Rohstoffe werden somit etwa 70 MJ Energie aufgewendet und rund 2 kg CO<sub>2</sub> emittiert. Innerhalb der

betrachteten Wirkungskategorien sind die Tenside auf nawaRo-Basis jeweils denen auf Petrochemie-Basis vorzuziehen.

In Studie 153 werden weitere Wirkkategorien betrachtet. Es erfolgt eine Bestätigung der Vorteile nachwachsender Rohstoffe bezüglich GWP und Energiebedarf. Weitere Vorteile in POCP und AP werden aufgezeigt. In den übrigen Wirkkategorien ergeben sich je nach nachwachsenden Rohstoff Vor- oder Nachteile gegenüber dem petrochemischen Tensid in den jeweiligen Kategorien. Das Tensid AE7 auf Kokosöl-Basis zeigt die günstigsten Werte hinsichtlich Sommersmog, Versauerung, der Luftemissionen der Humantoxizität und der aquatischen Ökotoxizität. Bei der terrestrischen Ökotoxizität, der Eutrophierung und den Bodenemissionen der Humantoxizität erzielte AE7 auf Palmkernöl-Basis die niedrigsten Werte. Zu bedenken ist, dass die Studien keine Informationen über Transportaufwendungen für importiertes Palmkernöl beinhalten und eine ganzheitliche Bewertung möglicherweise das Ergebnis signifikant zu Lasten des Palmkernöl-Tensids beeinflusst.

Im Allgemeinen weisen Tenside auf Basis nachwachsender Rohstoffe Vorteile in einem geringeren Treibhaus-, Photosmogpotenzial und einem geringeren Energiebedarf auf.

Für das Einsparpotenzial an Treibhausgasen in der Tensidproduktion liegen Schätzwerte mit großer Fluktuation vor. Laut Studie 41 (2003) ist im Jahr 2010 bei Wachstum des Waschmittel-Sektors ein Einsparpotenzial von 350'000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr in Europa zu verzeichnen. Studie 79 (2000) konstituiert ein Einsparpotenzial von rund zwei Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr in der EU auf dem Waschmittel-Markt. Ein Vergleich der Werte kann aufgrund der unterschiedlichen geographischen und zeitlichen Bezugsgrößen nicht vorgenommen werden. Die Prognose in Studie 79 benennt keinen exakten Jahresbezug.

### 5.3 Textilien

Kleidung aus Pflanzenfasern war und ist neben Wolle und Leder eine der typischen Anwendungen für nachwachsende Rohstoffe. Durch die Entwicklung der Kunstfaser aus Celluloseacetat 1884 gelang der modernen Chemie der Einzug in den Textilbereich. Textilien aus chemisch unbehandelten Fasern sind hautfreundlich, gut Wärme leitend, unempfindlich gegen Feuchtigkeit, hitzebeständig, sehr reißfest und temperaturregulierend. Sie haben eine natürliche Resistenz gegen Keime, Pilze und Bakterien und eignen sich daher gut für Kleidungsstücke, Schuhe, Wandverkleidungen, Matratzen oder Möbelstoffe. In der Textilindustrie verbessert die Beimischung von Leinen- oder Hanffasern zu synthetischen Fasern die Trageeigenschaften dieser Stoffe. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick zu Kulturarten, verwendeten Rohstoffen und Produktbeispielen in dieser Produktgruppe.

**Tabelle 5-7: Spezifikation der Produktgruppe Bekleidungstextilien und Garne**

Beispiele für Kulturarten	Rohstoff	Produktbeispiele
Mais, Weizen, Markerbösen, Kartoffeln, Reis, Rosskastanien	Stärke	Textilien
Baumwolle, Sisal, Jute, Kenaf, Hanf, Flachs, Baumwolle Ramie, Brennnessel	Fasern	Textilien, Matten, Seile, Feuchtfilz



Innerhalb der Produktgruppe ‚Textilien‘ konnten fünf Studienbeiträge recherchiert werden (Tabelle 5-8), was einem Anteil an der Gesamtzahl der Beiträge aller Produktgruppen von 3 % entspricht.

Es handelt sich hierbei um detaillierte bis weniger detaillierte Studien. Vorwiegend wurde die Produktionsphase untersucht, selten auch die Nutzungsphase und das End-of-Life. Schwerpunkt der Untersuchung lag auf dem Energiebedarf und/oder dem Treibhauspotenzial.

Umfangreiche und qualitativ hochwertige Studien sind Nr. 10 und 42. Studie 42 bilanziert den gesamten Lebensweg von Nesselfasern im Vergleich zu Baumwolle. Studie 10 nimmt einen Vergleich von Hanf mit Baumwolle im Rahmen einer Übersichtsbilanz vor, wobei die Produktions- und Entsorgungsphase berücksichtigt werden. Die Vergleiche innerhalb beider Studien sind qualitativ angelegt.

**Tabelle 5-8: Selektierte Studien der Produktgruppe 'Textilien'**

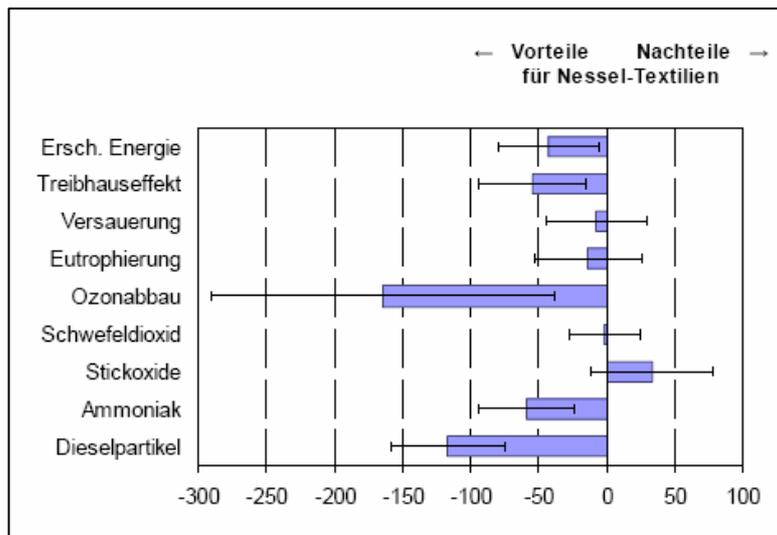
Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen										Zusatz		
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie
10	Anbau von Hanf, 1ha, 1 Jahr für Bekleidung	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	-	x	1997
18	1 kg Bekleidungstextil (Baumwolle, Lyocell, Viskose)	x	-	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	2001
42	Produktnutzen in EW/ 100 ha Anbaufläche, Nesselfasern vs. Baumwolle	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	-	-	x	2003
123	1000 Baumwoll-T-Shirts (375 kg)	x	-	-	x	*CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2000
124	100 kg Garn aus Hanf	x	-	-	x	x	-	x	-	-	-	x	x	-	-	x	2006

\* nur Veredelungsprozess

Studie 10 untersucht Produktlinien auf Basis von Hanf in Deutschland, die kurz- bis mittelfristig realisierbar sind. Neben dem Einsatz für Dämmvliese und hanffaserverstärkte Kunststoffe können Hanffasern zur Herstellung von Bekleidungstextilien dienen. Hanftextilien bieten gegenüber Baumwolltextilien Vorteile in der Schwefeldioxidbilanz und der geringeren Gefährdung durch Pflanzenschutzmittel. Die Ergebnisdarstellung erfolgt qualitativ. Alle weiteren Umweltwirkungen hängen stark vom zugrunde gelegten Szenario ab, insbesondere auf welchen Flächen der Hanfanbau erfolgt, welche Qualität und Lebensdauer die Hanftextilien aufweisen und welcher Herstellungsaufwand den jeweiligen Textilien zugrunde liegt. Die konkrete Art des Produkts in dessen spezifischen Randbedingungen bestimmt die positiven oder negativen Umweltkenngößen. Unterschiedliche Lebenswegabschnitte dominieren bestimmte Umweltwirkungen. Während der Lebenswegabschnitt Landwirtschaft die Lachgasbi-

lanz (Aspekt des Ozonabbaus) dominiert, prägt die Textilherstellung, d.h. Spinnen, Weben etc. die Energiebilanz.

Studie 42 stellt die Vor- und Nachteile von Nesselfasern gegenüber Baumwolle in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche vergleichend gegenüber (Abbildung 5-3). Durch die Nutzung von Nessel-Textilien anstelle von Baumwolltextilien lassen sich pro 100 ha angebaute Nesseln fossile Energieressourcen einsparen, wie sie von 50 Bundesbürgern jährlich im Durchschnitt verbraucht werden.



**Abbildung 5-3: Studie 42 - Nesselfasern vs. Baumwolle, Umweltwirkung in [EW/100 ha]**

Demnach zeigen Nesseltextilien in fast allen betrachteten Umweltwirkungen Vorteile gegenüber Baumwolle. Baumwolle erfordert höhere Aufwendungen in der Landwirtschaft, was ein höheres Eutrophierungs-, Versauerungs- und Ozonabbaupotenzial bedingt. Problematisch sind die bei der Nesselfaserverarbeitung anfallenden Stickoxide. Diese sind auf die entstehenden Reststoffe bzw. deren energetische Verwertung in Heizwerken zurückzuführen. Somit kann keine objektive, wissenschaftlich begründbare Entscheidung für oder gegen Nesseltextilien herbeigeführt werden.

Aufgrund der unterschiedlichen funktionalen Einheit ist kein direkter Vergleich innerhalb der Produktgruppe Textilien möglich. Auf ähnlichen funktionalen Masseneinheiten basieren die Studien 18, 123 und 124, die folgende funktionalen Einheiten aufweisen: Studie 124 betrachtet die Umweltwirkung von 100 kg Garn aus Hanf. Studie 18 untersucht 1 kg Bekleidungstextil aus Baumwolle, wobei die Produktion einerseits vom landwirtschaftlichen Anbau über Weben bis einschließlich der Veredelung bilanziert wird und andererseits ein Vergleich von Baumwolle gegen Lyocell und Viskose ohne Berücksichtigung des Anbaus vorgenommen wird. Studie 123 betrachtet die Produktion von 1000 T-Shirts aus Baumwolle vom Spinnprozess über Stricken bis einschließlich Veredelung in 4 Garn-Szenarien.

Unterschiede in den Systemgrenzen ermöglichen lediglich einen Vergleich auf Prozessebene. Studie 18 unterscheidet bei der Herstellung von 1 kg produziertem Bekleidungstextil die Prozesse Faserproduktion, Spinnen, Weben und Fertigstellen. Studie 123 unterscheidet 3 Prozesse: Spinnen, Stricken, Fertigstellen. In Studie 124 ist Spinnen ein Teilprozess der Garnproduktion neben Trocknen und Aufwickeln. Ein Vergleich des Energiebedarfs für den



Spinn-Prozess von Baumwolle zeigt Tabelle 5-9. Aus Studie 18 geht weiterhin hervor, dass der Energieverbrauch der Garnherstellung aus Baumwolle deutlich über denen von Viskose und Lyocell liegen. Die Literaturwerte weisen im Allgemeinen große Schwankungen auf, worauf Studie 124 durch das Zitieren verschiedener Literaturwerte aufmerksam macht. Überraschend ist ebenfalls, dass der Energieverbrauch pro kg Textil nach Studie 123 geringer ist als der Energieverbrauch pro kg Garn nach Studie 18, obwohl das Textil im Veredelungsprozess bereits eine Stufe höher angesiedelt ist und demnach den höheren Energieverbrauch aufweisen müsste.

**Tabelle 5-9: Energiebedarf für den Spinnprozess von Baumwolle**

Studie Nr.	Energieverbrauch beim Spinn-Prozess [MJ/funktionale Einheit]	Energieverbrauch beim Spinn-Prozess [MJ/kg Garn bzw. Textil]
18	23-53 MJ/ kg Garn	23-53 MJ/ kg Garn
123	4000-9000 MJ/ 375kg Textil	11-24 MJ/ kg Textil
124	<i>Literaturwerte</i>	15-47 MJ/ kg Garn 33 MJ/ kg Garn 6-18 MJ/ kg Garn

Angemerkt sei, dass aufgrund der Werte eines einzelnen Prozesses keine Aussage über die Umweltverträglichkeit eines hergestellten Produkts getroffen werden kann. Die Tabelle veranschaulicht lediglich die Bandbreite des Spinnprozesses und die Unsicherheiten mit denen Einzelprozesse behaftet sind.

Im Allgemeinen weisen Bekleidungstextilien auf Basis nachwachsender Rohstoffe gegenüber Textilien aus fossilen Rohstoffen Vorteile in einem geringem Treibhauspotenzial und einem geringem Energiebedarf auf.

#### 5.4 Papier und Pappe

Heute ist die aus dem Rohstoff Holz gewonnene Zellulose die Basis für die meisten Papierprodukte. Papierzellstoff wird aber auch aus Faserpflanzen hergestellt. Lange reißfeste Fasern sorgen für hohe Stabilität. Früher, als die Papierherstellung aus Holz noch nicht beherrscht wurde, war Hanf der wichtigste Rohstoff für die Papierproduktion. Hanfpapier weist eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Verschleiß auf. Aus wirtschaftlichen Gründen werden heute nur Spezialpapiere aus Hanffasern hergestellt. Papierholz fällt als Nebenprodukt der nachhaltigen Waldpflege und -bewirtschaftung an und leistet so einen Beitrag zur Entwicklung und Sicherung gesunder Waldbestände. Schnellwachsende Baumarten und verbesserte Holzaufschlussverfahren sollen den Anteil heimisch erzeugter Zellulose erhöhen. Tabelle 5-10 zeigt für die Produktgruppe relevante Kulturarten, verwendete Rohstoffe und Produktbeispiele.

**Tabelle 5-10: Spezifikation der Produktgruppe Papier, Pappe und Zellstoff**

Beispiele für Kulturarten	Rohstoff	Produktbeispiele
Mais, Weizen, Markerbse, Kartoffeln, Reis, Rosskastanien	Stärke	Papier, Pappe, Zellstoff, Wellpappe
Topinambur, Zichorie, Zuckerhirse, Zuckerrohr, Zuckerrübe	Zucker	Folien, Papier, Pappe
Ackerbohne, Eiweißerbse, Lupine, Soja, Kartoffeln, Raps, Weizen	Proteine	Papier
Baumwolle, Sisal, Jute, Kenaf, Hanf, Flachs, Baumwolle Ramie, Brennessel	Fasern	Zellstoff, Papier, Spezialpapiere

Innerhalb der Produktgruppe ‚Papier und Pappe‘ konnten neun Studienbeiträge recherchiert werden (Tabelle 5-11), was einem Anteil an der Gesamtzahl über alle Produktgruppen von 5 % entspricht.

**Tabelle 5-11: Selektierte Studien zur Produktgruppe 'Papier und Pappe'**

Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz	
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie
3	ein Mal Hände trocknen	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	x	-	x	2006
45	1 Jahr (firmenspezifische Daten)	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	2005
46	1 t Papier	x	x	x	x	x	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x	1995
53	1 t Papier (auch 1Jahr)	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	x	1998
55	Rezykliertes & neu hergestelltes Papier	x	-	x	x	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	1997
75	mIP pro kg Fasern, Zeitung, Zeitschrift	x	x	x	x	CO <sub>2</sub>	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	1998
94	grafische Papiere, Gesamtmenge in Deutschland 1995, Szenarien zu Altpapier-rücklaufquoten	x	x	x	x	x	-	x	-	x	-	x	x	x	-	x	2000
98	38 bedruckte Seiten, 2 mit 2- Farbendruck, 2 mit 4-Farbendruck	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	x	x	x	x	1998
126	1 kg grafisches Papier, Wellpappe, Faltschachtelkarton	x	-	x	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	2004



Der Detaillierungsgrad der Studien streut sehr stark von einer qualitativen Darstellung des Energiebedarfs, der Luft- und Wasseremissionen während der Produktionsphase (Studie 45) bis zur Bilanzierung des gesamten Lebensweges über nahezu alle hier betrachteten Wirkkategorien (Studie 94, 98).

In fünf Studien der Gruppe Papier und Pappe ist der gesamte Lebensweg beschrieben und in jeweils einer nur die Produktions- (Studie 45) oder die Entsorgungsphase (Studie 53). Ein übergreifender direkter Vergleich der detaillierten Studien ist aufgrund der unterschiedlichen funktionalen Einheiten nicht möglich:

- ein Mal Hände trocken (Studie 3) mit Papierhandtüchern oder Stofftuchrolle
- bestimmte grafische Papiere, Szenarienvergleich mit unterschiedlichen Altpapierrücklaufquoten bezogen auf die Papierproduktion in Deutschland 1995 (Studie 94)
- 38 bedruckte Seiten, 2 mit 2-Farbendruck, 2 mit 4-Farbendruck (Studie 98)

Ausgewählte Ergebnisse der Studien werden nachfolgend dargestellt:

Studie 3 zeigt einen Vergleich der Nutzung von Frischfaserpapier, Recyclingpapier und Stofftuchrollen zum Händetrocknen auf. Dabei haben die Papiere jeweils ähnliche Umweltbelastungen, welche deutlich über denen der Stofftücher liegen. Die Ergebnisse wurden einerseits mit dem Eco-Indicator 99 (Abbildung 5-4, oben) und andererseits mit Hilfe von Umweltbelastungspunkten ermittelt (Abbildung 5-4, unten). Die Betrachtung des Energieverbrauchs von Frischfaserpapier und Recyclingpapier veranschaulicht den Vorteil der Energieeinsparung infolge des Recyclingprozesses, da die Papierherstellung ein sehr ressourcenintensiver Prozess ist (Abbildung 5-5). Einen sehr starken Einfluss auf das Endergebnis übt die zugrunde gelegte Anzahl benutzter Blätter bzw. Tücher aus, die für „ein Mal Hände trocken“ für die Betrachtung gewählt wurde.

Studie 94 zeigt, dass die Phase der Faser- und Papierherstellung am signifikantesten zu den Umweltbelastungen beiträgt. Die forstliche Produktion hingegen sei zwar sehr flächenintensiv, aber besitzt in anderen Kategorien keine relevanten Umweltwirkungen. Die positive Wirkung einer hohen Altpapierrücklaufquote wurde aufgezeigt. Bei einer niedrigen Altpapierrücklaufquote, d. h. der Entsorgung, erzielt die Verbrennung in Heizwerken die günstigeren Ergebnisse gegenüber der Hausmüllverbrennung oder Deponierung.

Studie 98 stellt eine Vielzahl von ökologischen Optimierungsmöglichkeiten bei der Herstellung der Zeitschrift ‚Le Monde‘ zusammen. Großes Potenzial wird dabei in Materialeinsparungen, der Reduktion von Verlustmengen, einem optimierten Anlagenbetrieb infolge eines Controlling-Managements und einer geringeren Zirkulation letztlich unverkaufter Exemplare gesehen.

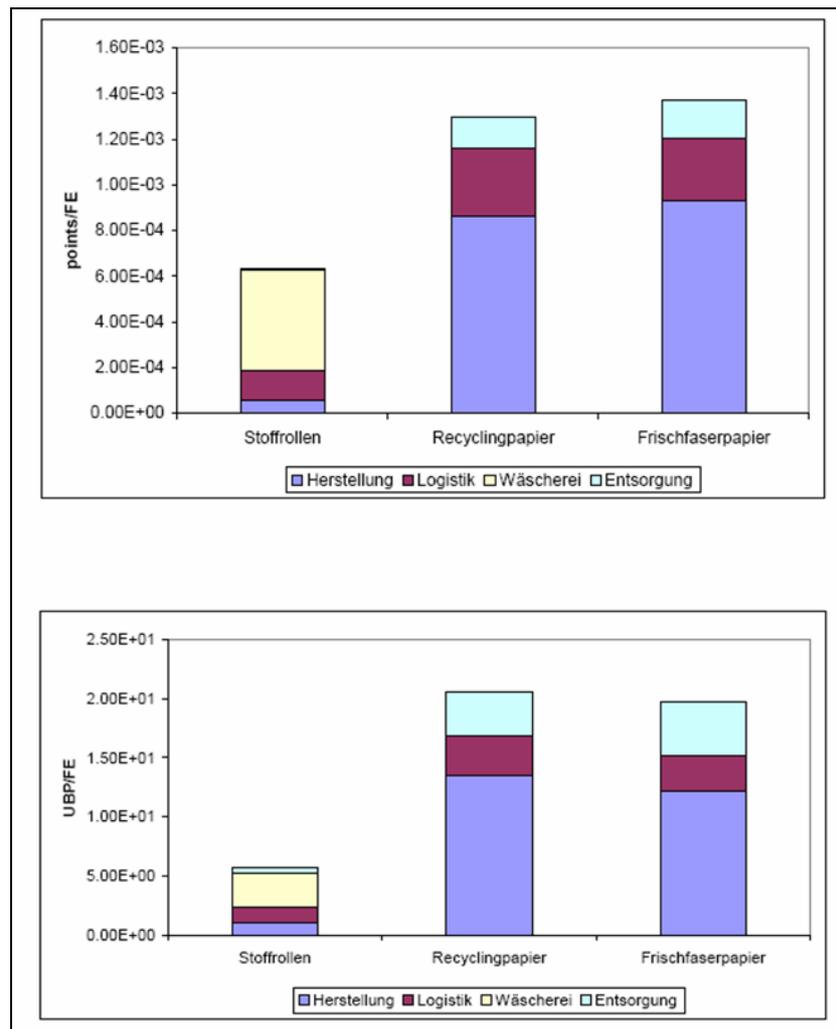


Abbildung 5-4: Studie 3 - Umweltbelastungen von Stoffrollen, Recyclingpapier und Frischfaserpapier beim Händetrocknen

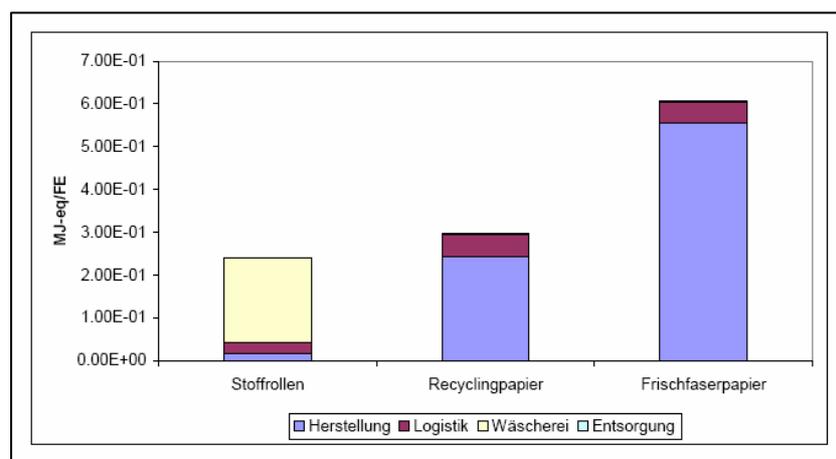
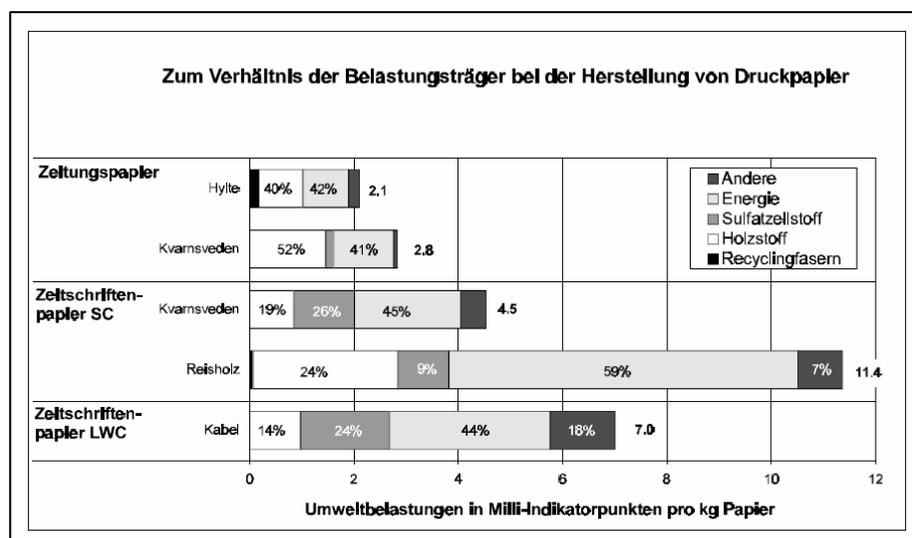


Abbildung 5-5: Studie 3 – Kumulierter Energieaufwand von Stoffrollen, Recyclingpapier und Frischfaserpapier pro funktionale Einheit

Studie 46, 53 und 75 weisen jeweils die funktionale Masseneinheit (t,kg) für Papier auf, jedoch kann auch hier kein Vergleich vorgenommen werden aufgrund der der Bilanzierung zugrunde liegenden Randbedingungen.

Die LCA-Ergebnisse der Studie 75 sind vorrangig in Milli-Indikatorpunkten (mIP) ausgewiesen, was einen Vergleich innerhalb der Wirkungskategorien mit anderen Studien unmöglich macht. Der Beitrag der Belastungsträger zu den Umweltbelastungen unterliegt hierbei Schwankungen beim Vergleich verschiedener Betriebe und Papierarten (Abbildung 5-6). Die Faser bringt bei Zeitungspapieren rund die Hälfte der Belastungen ein, die restlichen entstammen dem Energieverbrauch. Unter der Kategorie „Andere“ sind Chemikalien und Transporte zusammengefasst.



**Abbildung 5-6: Studie 75 - Gewichtung der Belastungsträger bei der Herstellung von drei Papierarten an unterschiedlichen Standorten**

Neben den Ergebnissen in Milli-Indikator-Punkten liegt lediglich die CO<sub>2</sub>-Bilanz separat vor. Pro kg Zeitschriften werden über den Lebensweg fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 1,8 kg freigesetzt (Abbildung 5-7); 0,4 kg bei der Faserherstellung, weitere 0,8 kg bei der Papierherstellung, 0,6 kg für den Druckprozess und 0,1 kg für den Vertrieb der Zeitschrift bis in die Hand des Lesers. Studie 126 bestätigt diese Produktionswerte. Im Gegensatz zu den Zeitschriften zeigt die CO<sub>2</sub>-Bilanz einer Zeitung am Ende nur 0,7 kg fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen.

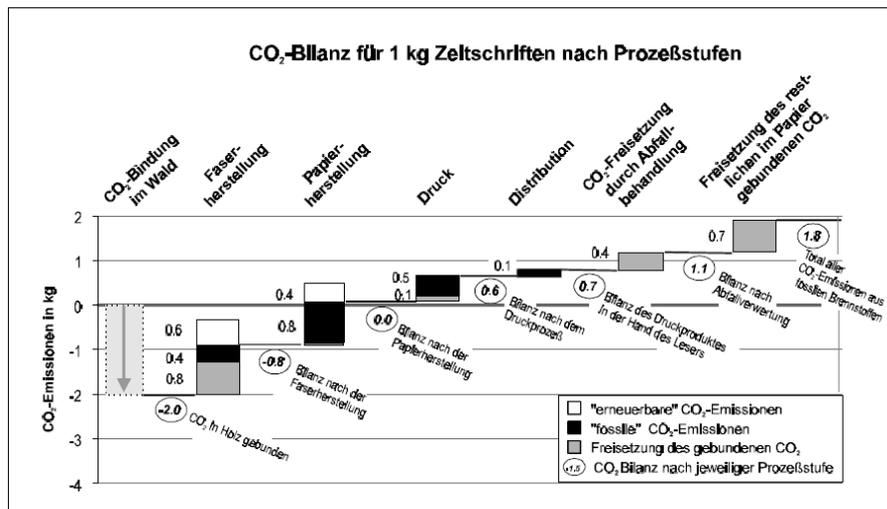


Abbildung 5-7: Studie 75 - CO<sub>2</sub> - Bilanz einer Zeitschrift

Studie 53 benennt Emissionswerte lediglich für die Entsorgungsphase von Zeitschriften (Abbildung 5-8). Demnach werden pro Tonne Zeitschriften bei der Verbrennung 1,4 t fossiles und 1,3 t biogenes CO<sub>2</sub> freigesetzt, beim Recyclingszenario (Aylesford System) von 1 t Zeitschriften insgesamt lediglich 1,4 t. Leider sind die getroffenen Annahmen und die der Bilanzierung zugrunde liegenden Inventardaten jeweils nicht transparent dokumentiert.

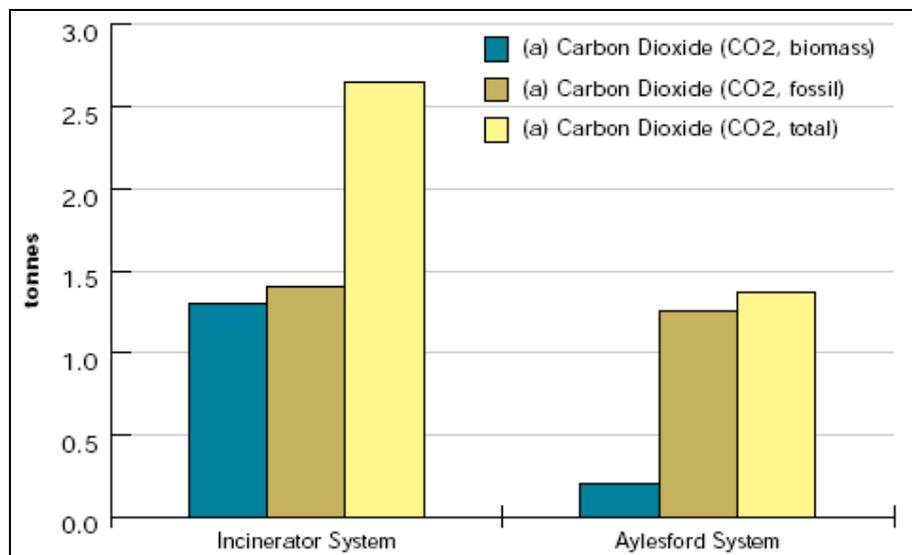


Abbildung 5-8: Studie 53 - CO<sub>2</sub>-Emissionen in Tonnen bei der Verbrennung von einer Tonne Zeitungspapier vs. Recycling

Studie 55 weist besonders auf die Optimierungsmöglichkeiten beim Papier-Recycling hin und betont, wie wichtig es ist, die hierzu nötige Energie aus regenerativen Energiequellen zu gewinnen.



## 5.5 Farben und Lacke

Erst ab Mitte des 19. Jahrhunderts wurden natürliche Farbstoffe für die Textil-, Druck- und Bauindustrie durch die neuen, chemischen Farbstoffe verdrängt. Inzwischen gibt es auch für diese Stoffgruppen wieder zahlreiche Produkte auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen im Handel. In der Produktqualität gibt es keine Unterschiede mehr. Künstliche und natürliche Farbstoffe können in fast allen Bereichen gleichwertig eingesetzt werden. Terpene aus den Schalen von Zitrusfrüchten dienen als Lösungsmittel in Lacken, eignen sich bei der Entfettung als Ersatz für herkömmliche Kohlenwasserstoffe und werden als Etikettenlöser angeboten. Reinigungsmittel auf Orangenölbasis sind vielfach im Handel erhältlich. Tabelle 5-12 zeigt für die Produktgruppe „Farben und Lacke“ relevante Kulturarten, verwendete Rohstoffe und Produktbeispiele.

**Tabelle 5-12: Spezifikation der Produktgruppe Farben und Lacke**

Beispiele für Kulturarten	Rohstoff	Produktbeispiele
Waid, Saflor, Krapp, Wau, Indigo, Färberdistel, Henna	Extrakte	Farben
Ackerbohne, Eiweißerbse, Lupine, Soja, Kartoffeln, Raps, Weizen	Stärke	Leim, Kleber, Papierstrichmittel, Lederdeckfarben
Lein, Mohn, Walnuss, Hanf, Saflor, Rizinus, Zitrusfrüchte	Öle, Fette	Holzschutzmittel, Farben, Lacke, Lasuren

Innerhalb der Produktgruppe ‚Farben und Lacke‘ konnten neun Studienbeiträge recherchiert werden (Tabelle 5-13), was einem Anteil an der Gesamtzahl der Beiträge aller Produktgruppen von 5 % entspricht.

Es handelt sich hierbei vorwiegend um gut detaillierte Studien, die eine Vielzahl von Wirkkategorien betrachten. In vier der Studien wird der gesamte Lebensweg untersucht.

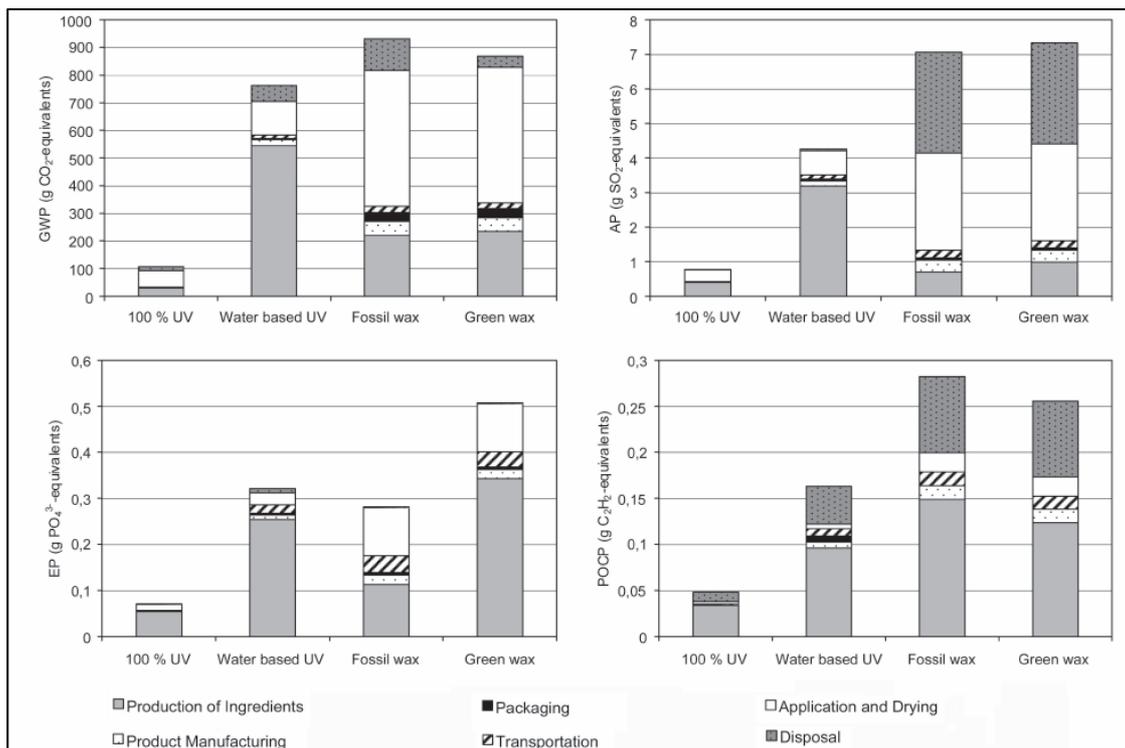
Die gewählten funktionalen Einheiten für Farben und Lacke basieren im Allgemeinen auf Flächenmaßen oder auf Massenangaben.

Auf funktionalen Flächeneinheiten basieren die Studien 14, 21 und 57. Alle drei Studien beinhalten sehr gute Ökobilanzen über den gesamten Lebensweg für die jeweils unterschiedlichen Produkte: Wachs, Druckerfarbe und wasch- und/oder scheuerbeständige Innenfarbe. Ein Vergleich untereinander ist demnach nicht zweckmäßig. Es folgt eine Darstellung ausgewählter Einzelergebnisse.

Tabelle 5-13: Selektierte Studien der Produktgruppe 'Farben und Lacke'

Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen										Zusatz		
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photomog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie
14	Dekoration und Schutz von 1 m <sup>2</sup> Holz-tisch-oberfläche mit Wachs auf Rapsölbasis vs. konventionelle Produkte (auch UV-Lack), für 20 Jahre	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	-	x	2006
16	Jahresproduktion des Naturharzöl-Imprägniergrundes der Firma AURO Pflanzen-chemie AG, Braunschweig	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	2001
21	Bedrucken von 645 m <sup>2</sup> Papier mit Drucker-schwärze, 100 % Deckung	x	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	-	2000
50	1 kg Lack auf Leinöl- und Petrochemie-Basis	x	-	-	-	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2003
57	1 m <sup>2</sup> natürliche & synthetische Farben, gleiche Deckkraft	x	x	x	-	x	-	x	-	x	-	x	x	-	-	x	2002
73	1 t Lack auf Leinöl- und Petrochemie-Basis	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	2000
98	verschiedene Farbty-pen, Effekte prozentual in Wirkkategorien	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	x	x	x	x	1998
103	1 kg Lack auf Leinöl- und Petrochemie-Basis	x	-	-	-	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2006
121	1 kg Indigofarbstoff (Sojaprotein)	x	-	-	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	-	-	2005

Studie 14 vergleicht ein Wachs auf fossiler Basis, ein Wachs auf Rapsöl-Basis und zwei UV-Lacke hinsichtlich der Wirkkategorien GWP, AP, EP und POCP (Abbildung 5-9). Während der UV-Lack eindeutig die besten Ergebnisse in allen betrachteten Wirkungskategorien erzielt, sind die Unterschiede zwischen fossilem Wachs und nawaRo-Wachs sehr klein. UV-Lacke gelten bereits als umweltfreundliche Beschichtungsalternative, da sie keine Lösemittel benötigen und schnell aushärten. Geringe Vorteile weist das Rapsöl-Wachs gegenüber dem fossilem Wachs in den Wirkkategorien GWP und POCP auf, Nachteile jedoch beim EP und AP, wenngleich letztere auch sehr gering sind.



**Abbildung 5-9: Studie 14 – Umweltwirkungen von Wachsen und Lacken je m<sup>2</sup> Holztafeloberfläche**

Auch Studie 57 deckt Umweltproblembereiche auf und kommt zu dem Schluss, dass in der Farbindustrie ein Ersatz synthetischer Bindemittel durch natürliche Bindemittel nicht zwangsläufig zu geringeren negativen Umweltwirkungen führt. Der Beitrag zur Verringerung des Treibhauspotenzials steht jedoch außer Frage.

Die Einzelstudie 21 bilanziert Druckerschwärze auf Sojaöl-Basis, ohne einen Vergleich mit konventionellen Produkten vorzunehmen.

Auf funktionalen Masseinheiten basieren die Studien 50, 73, 103 und 121. In den Studien wird jeweils die Produktionsphase betrachtet, welche hinsichtlich des Energiebedarfs und/oder der CO<sub>2</sub>-Emissionen bewertet wird. Ein Vergleich der Studien 50, 73 und 103 ist nicht zweckmäßig, da Studie 73 die gemeinsame Literaturquelle der beiden anderen Studien darstellt, die jeweils zitiert wird. Die Herstellung von 1 kg Leinöl-Lack verursacht 1,2 kg CO<sub>2</sub>, die von 1 kg Petrochemie-Lack hingegen 9,8 kg CO<sub>2</sub> (Studie 73). Auch der Energieverbrauch ist bei der Herstellung von Leinöl-Lack weitaus geringer als der von Petrochemie-Lack. Demnach werden beim Ersatz von Lacken auf petrochemischer Basis durch Lacke auf Leinöl-Basis 88 % weniger CO<sub>2</sub> freigesetzt und 91 % weniger Energie aufgewendet. Die Substitution führt laut Studie 103 bei der Herstellung von 3.300 t pflanzlicher Bindemittel zu einem jährlichen Einsparungspotential von 28.400 t CO<sub>2</sub>.

Studie 121 betrachtet die Herstellung von 1 kg Indigofarbstoff, wobei 14,8 kg CO<sub>2</sub> freigesetzt werden und Energie in Höhe von 228 bis 245 MJ pro kg erforderlich ist.

Mangelnde Hintergrunddaten in Studie 98 sowie die prozentuale Darstellung der Ergebnisse erlauben keinen Vergleich mit anderen Studien. Fazit der Studie ist jedoch die maßgebliche



Luftverbesserung in den Druckereien und eine Verbesserung des POCP durch den Einsatz nachwachsender Rohstoffe.

Auch Studie 16 lässt keine studienübergreifenden Vergleiche zu, da sich die Ergebnisse auf Industriedaten beziehen, die Jahresproduktion eines Naturharzöl-Imprägniergrundes, welche nicht mit Zahlen dokumentiert wird. Aus der Bilanz geht die Favorisierung des ökologischen Landbaus gegenüber integriertem und konventionellem Landbau hervor.

Zusammenfassend ergeben sich für die Produktgruppe Farben und Lacke keine eindeutigen Aussagen zur Favorisierung des Einsatzes nachwachsender Rohstoffe. Das Ergebnis hängt jeweils sehr stark vom Vergleichsprodukt ab.

## 5.6 Naturfaserverstärkte Kunststoffe, Formteile und Verbundsysteme

Naturfaserverstärkte Kunststoffe, Formteile und Verbundsysteme sind konventionellen Fasern, dazu zählen insbesondere die Glasfasern, gleichwertig beziehungsweise in bestimmten Anwendungen sogar überlegen. So sind die Produkte zum Teil leichter, stabiler, dämmen besser Luftschall und Wärme bzw. Kälte und splintern beim Bruch nicht so stark. Sie finden häufig im Automobil- und Schienenfahrzeugbau Verwendung. Aus ihnen werden Sicherheitshelme, Platten oder Garten- und Friedhofsartikel hergestellt. Während naturfaserverstärkte Bauteile temperatur- und feuchteempfindlicher sind, sowie zu Mikroorganismenbefall neigen, weisen sie eine Reihe von Vorteilen auf (Studie 119). Die Bauteile auf Basis nachwachsender Rohstoffe sind biologisch abbaubar, rufen keine Hautreizungen hervor und verfügen gleichzeitig über gute mechanische Eigenschaften bei einer geringen Dichte. Recycling gilt jedoch vorläufig, ökonomisch gesehen, als nicht praktikabel. Die Teile werden nach Gebrauch entweder energetisch genutzt oder deponiert (Studie 27). Tabelle 5-14 veranschaulicht die Vielfalt von Kulturarten als Faserlieferanten für Formpressteile.

**Tabelle 5-14: Spezifikation der Produktgruppe Faserverstärkte Kunststoffe**

Beispiele für Kulturarten	Rohstoff	Produktbeispiele
Baumwolle, Sisal, Jute, Kenaf, Hanf, Flachs, Baumwolle, Ramie, Brennessel	Fasern	Formpressteile

Innerhalb der Produktgruppe ‚Naturfaserverstärkte Kunststoffe‘ konnten 14 Studienbeiträge recherchiert werden (Tabelle 5-15), was einem Anteil an der Gesamtzahl der Studien aller Produktgruppen von 8 % entspricht.

Die Studien weisen eine weite Streuung im Detaillierungsgrad auf, in sieben Studien liegt eine vollständige Lebenszyklusanalyse vor. Häufig erscheint als funktionale Einheit eine naturfaserverstärkte Audi-A3-Seitenverkleidung im Vergleich zum gleichwertigen ABS-Spritzguss-Teil.

Sieben Studien innerhalb dieser Produktgruppe basieren auf Autoren mit engen Beziehungen untereinander oder stellen die gleichen Ergebnisse in unterschiedlichen Publikationen, als Einzel- oder Gemeinschaftsarbeit, vor. Diese Studien sind in Tabelle 5-15 mit „\*“ gekennzeichnet. In sehr guten, umfangreichen detaillierten Studien haben sie sich intensiv Umwelt-



wirkungen von naturfaserverstärkten Kunststoffen im Automobilbau gewidmet oder frühere Arbeiten zitiert.

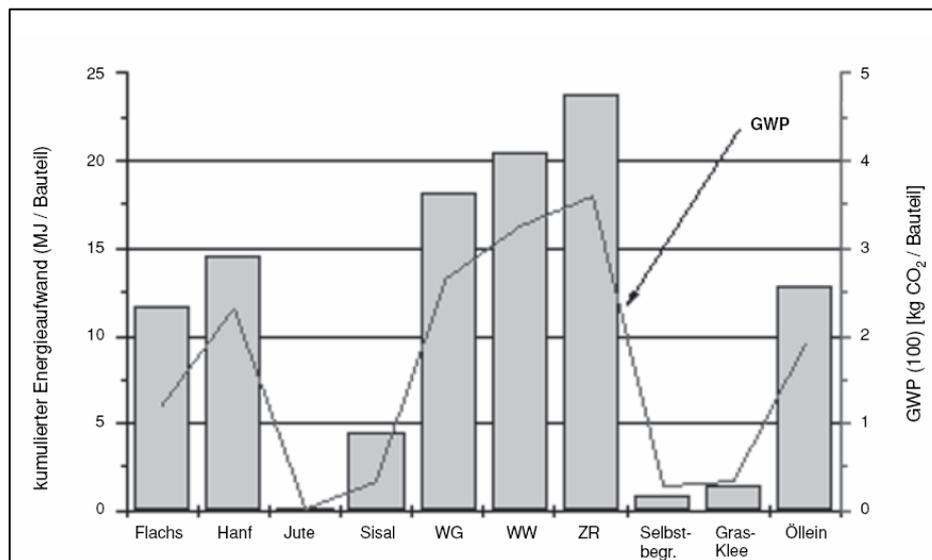
**Tabelle 5-15: Selektierte Studien der Produktgruppe ‚Naturfaserverstärkte Kunststoffe‘**

Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz	
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie
10	Anbau von Hanf 1ha, 1 Jahr, für unterschiedliche Produktlinien, u.a. hanffaserverstärkter Kunststoff	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	-	x	1997
15*	Grundträger einer Seitenverkleidung eines Audi A3, Hanffaserverbund vs. ABS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2001
19*	1 Bauteil Autoseitenverkleidung, Hanffaserverbund vs. ABS 1 ha bei landwirtschaftlichen Vergleichen	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	1999
27*	1 Bauteil Seitenverkleidung eines Audi A3, Flachs/Jute-Verbund vs. ABS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	2002
42	Produktnutzen in Einwohnerwerte pro 100 ha Anbaufläche, Autoinnenverkleidung Hanffaserverbund vs. ABS	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	-	-	x	2003
44*	1 Bauteil Seitenverkleidung Audi A3, 1 Bauteil Kofferraumverkleidung Audi A2, Flachs/Jute-Verbund vs. ABS	x	x	x	x	x	-	x	-	x	-	x	x	-	-	x	2000
50*	1 Bauteil Audi A3 Seitenverkleidung, Hanffaserverbund vs. ABS	x	-	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	2003
70*	1 Bauteil Audi A3 Seitenverkleidung, 11 m <sup>2</sup> Anbaufläche	x	x	-	x	x	-	x	-	x	-	x	x	-	-	x	2001
97*	MJ pro Audi A3 Seitenverkleidung	x	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2002
103	kg (CO <sub>2</sub> -Einsparpotenzial) NFK vs. ABS und glasfaserverstärkte Kunststoffe	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2006
119	1 Rotorblatt einer Windkraftanlage	x	x	x	-	x	x	-	-	x	x	x	x	x	-	x	1997

	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz	
120	Umweltwirkung in Einwohnerwerte pro 100 ha für Innenverkleidung Hanf vs. ABS	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	x	2003/2004
122	1 kg Hanfverbund	x	-	-	x	x	x	x	-	x	-	-	x	-	x	x	2006
135	1 Komponente, vorderes Auto-Rahmensystem	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2003

\* Studien mit engen Beziehungen untereinander

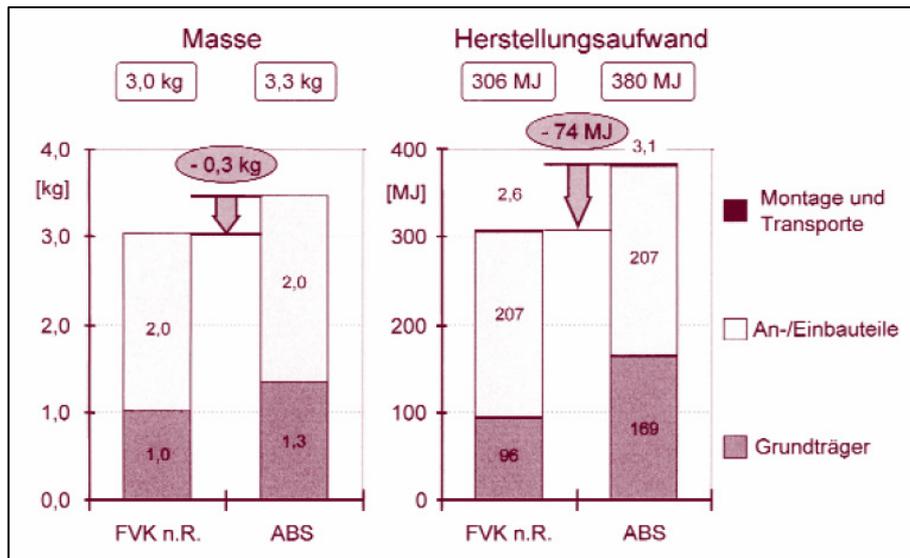
Studie 44 hat den Energiebedarf sowie den Treibhauseffekt pro Verkleidungsbauteil für den Anbau verschiedener Faserpflanzen gegenübergestellt und weiterhin Daten zu Referenzfrüchten wie Zuckerrüben (ZR), Wintergerste (WG) und Winterweizen (WW) beigefügt (Abbildung 5-10).



**Abbildung 5-10: Studie 44 - Einfluss des Anbauszenarios auf den Energieaufwand und das Treibhauspotenzial einer Autoseitenverkleidung**

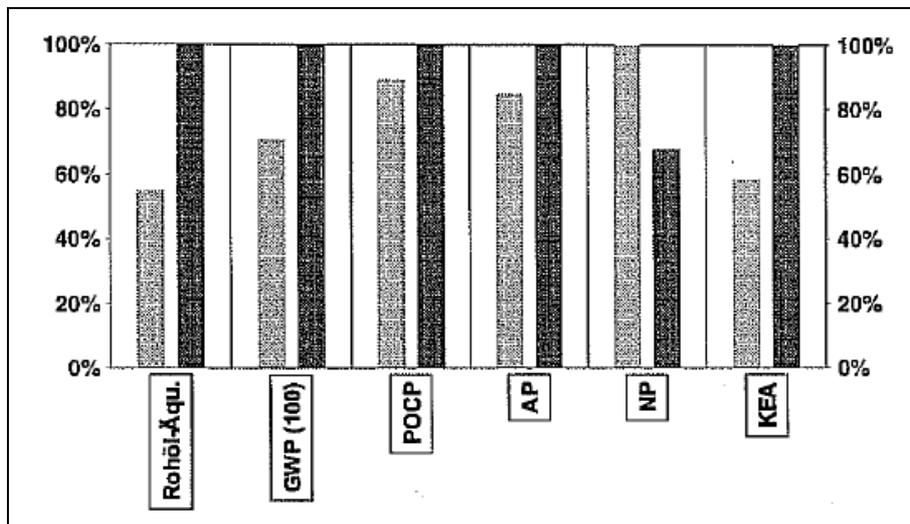
Während Flachs und Hanf ähnliche Werte erzielen, sind der Energiebedarf und das Treibhauspotenzial für die Juteproduktion pro Bauteil verschwindend gering.

Bei einem naturfaserverstärkten Bauteil ergibt sich im Vergleich zu ABS eine Gewichtserparnis von 10 %, was Vorteile in der Nutzungsphase mit sich bringt infolge des Kraftstoffminderverbrauchs. Auch der Energieverbrauch für die Herstellung eines Bauteils liegt beim naturfaserverstärkten Kunststoff deutlich mit minus 74 MJ unter dem Energieverbrauch für die Herstellung eines ABS Bauteils (Abbildung 5-11).



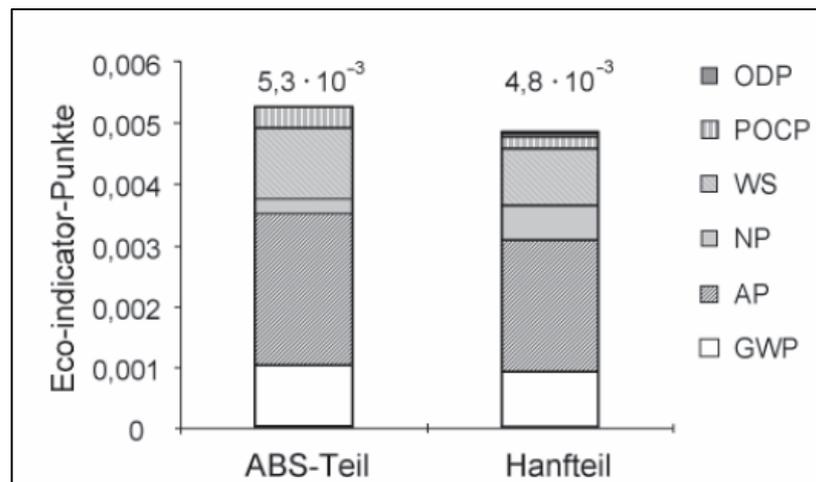
**Abbildung 5-11: Studie 27 & 44 - Vergleich von Masse und Herstellungsaufwand einer Seitenverkleidung aus ABS und naturfaserverstärkten Kunststoffen**

Beim Vergleich der Umweltwirkungen bietet das Jute/Flachs-Bauteil gegenüber ABS Vorteile mit Ausnahme der Eutrophierung (in der Graphik mit NP bezeichnet) in allen betrachteten Wirkkategorien (Abbildung 5-12).



**Abbildung 5-12: Studie 44 - Umweltwirkungen (relativ) der Herstellung der nawaRo- bzw. der ABS-Seitenverkleidung bis zur Einbaugleiche**

In Studie 15 wird mit Hilfe des Eco-Indicators 95 die Seitenverkleidung eines Audi A3 bilanziert und ein Vergleich von ABS-Spritzguss und einem Hanffaserverbund angestellt. Das Eutrophierungspotenzial weist für die Naturfaser-Bauteile höhere Werte auf, welche auf den Einsatz von mineralischem Dünger im Agrarprozess zurückzuführen sind (Abbildung 5-13). Das erhöhte Potenzial ist jedoch nicht als gravierend einzustufen. Wird der Marktfruchtbau als Referenzsystem betrachtet, welcher ein weitaus höheres Düngemittelniveau aufweist, müssten für den Faseranbau laut Studie 44 noch Gutschriften erteilt werden. Das Ozonabbaupotenzial des Hanffaserbauteils trägt im Vergleich zum Eutrophierungspotenzial nicht signifikant zu den EI-Punkten bei. Studie 19 liefert identische Werte.

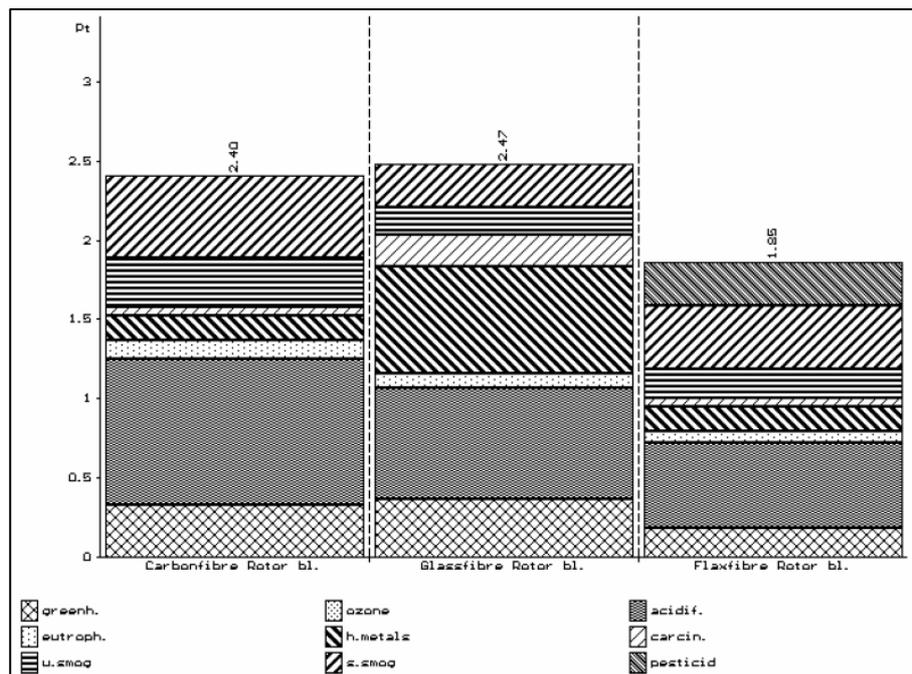


**Abbildung 5-13: Studie 15 - Vergleich einer Seitentürverkleidung aus ABS vs. Hanffaserverbund mit Hilfe des Eco-Indicators 95**

Auch Studie 42 beschäftigt sich u.a. mit Hanf in der Automobilindustrie. Demnach weisen Hanffaserverbundstoffe Vorteile gegenüber ABS-Spritzguss in nahezu allen Wirkungskategorien auf. Die großen Einsparungen von  $\text{SO}_2$  sind zurückzuführen auf die sehr  $\text{SO}_2$ -intensive Herstellung von ABS und dessen Substitution durch den Einsatz faserverstärkter Verbundsysteme. Jedoch ergeben sich erhöhte Ammoniakemissionen infolge der Landwirtschaft sowie ein erhöhter Ozonabbau. Studie 42 kommt daher zu keinem eindeutigen Vorzug von Hanffaserverbundwerkstoffen gegenüber ABS.

Alle Studien zu Umweltwirkungen der Automobilbauteile bestätigen die für die Nutzungsphase prognostizierten Vorteile. Infolge der großen Gewichtsreduktion der Verkleidungen wird Kraftstoff eingespart, was die Ergebnisse der Ökobilanzen signifikant bestimmt.

Studie 119, die Ökobilanz eines Rotorblattes einer Windkraftanlage, weist auf die entscheidende Bedeutung der Wahl der funktionalen Einheit hin. Verglichen werden kohlenstoff-, glas- und flachfaserverstärkte Rotorblätter, wobei alle drei jeweils eine spezifische Zusammensetzung aufweisen (Abbildung 5-14). Während hierbei der flachfaserverstärkte Verbund je Rotorblatt eindeutige Vorteile zeigt, sehen die Ergebnisse bei einem Vergleich auf Faserverbund-Kubikmeterbasis anders aus. Der glasfaserverstärkte Verbund weist volumenbezogen lediglich die Hälfte der Ökopunkte eines Flachfaserverbundes auf. Von entscheidender Bedeutung sind die weiteren Bestandteile des jeweiligen Verbundes sowie deren produkt-spezifischen Anteile.



**Abbildung 5-14: Studie 119 - Eco-Indicator-Punkte für drei Rotorblätter**

Studie 103 benennt das Einsparpotenzial an Treibhausgasemissionen bei der Substitution von ABS gegen naturfaserverstärkte Kunststoffe mit 1 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Kilogramm Verbund. Beim Ersatz von glasfaserverstärkten Kunststoffen liegt die Einsparung bei ca. 2,8 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Kilogramm.

Generell kristallisieren sich folgende die jeweilige Umweltwirkung beeinflussenden Parameter heraus. Entscheidenden Einfluss auf das Endergebnis hat die Wahl des Referenzsystems in der Landwirtschaft. So resultieren beispielsweise aus dem Anbau von Jute gegenüber Winterweizen weitaus geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Neben der Wahl der funktionalen Einheit, ob Masse oder Volumen, kommt bei Vergleichen von Verbundsystemen insbesondere den weiteren Bestandteilen des jeweiligen Verbundes sowie deren produktspezifischen Anteilen eine entscheidende Bedeutung zu.

## 5.7 Bioschmier- und Verfahrensstoffe

Neben dem mengenmäßig wichtigen Absatzmarkt für Pflanzenöle als Kraftstoffe werden pflanzliche Öle vor allem im Schmierstoffsektor und im oleochemischen Bereich verwendet. Für den Produktbereich der Schmierstoffe und Hydraulikflüssigkeiten kommen als Rohstoffe vor allem Rapsöl und Sonnenblumenöl in Frage. Ihr Einsatz kann in technischer Hinsicht in vielen Bereichen mit besseren Produkteigenschaften als mineralölbasierte Produkte überzeugen, in ökologischer Hinsicht durch schnelle und rückstandsfreie biologische Abbaubarkeit. Damit ist der Einsatz in umweltsensiblen Bereichen wie der Land- und Forstwirtschaft, dem Hoch- und Tiefbau oder in der Wasserwirtschaft empfehlenswert. Durch Verlustschmierung oder Leckagen in Hydrauliksystemen gelangen jährlich erhebliche Mengen Mineralöl in die Umwelt und verursachen hohe Schäden und Sanierungskosten. Im Bereich der Kühlschmierstoffe werden durch die Verwendung von biologisch unbedenklichen Stoffen die gesundheitlichen Belastungen für die Mitarbeiter reduziert und Entsorgungskosten eingespart.



Besonders das 00-Rapsöl wird wegen seiner hervorragenden technischen Eignung – bedingt durch seine spezielle Fettsäurezusammensetzung – gern als Grundöl für die Formulierung von Schmierstoffen eingesetzt. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick zu relevanten Kulturarten, verwendeten Rohstoffen und Produktbeispielen in dieser Produktgruppe.

**Tabelle 5-16: Spezifikationen der Produktgruppe Bioschmier- und Verfahrensstoffe**

Beispiele für Kulturarten	Rohstoff	Produktbeispiele
Kokospalme, Öllein, Raps, Sonnenblumen, Rübsen, Senf, Crambe, Leindotter, Ölpalme, Soja	Pflanzenöle	Hydraulikflüssigkeit, Schalöl, Haftöl, Motoröle, Betontrennmittel, Verlustschmierstoffe, Getriebeöle, Sägekettenöl

Innerhalb der Produktgruppe ‚Bioschmier- und Verfahrensstoffe‘ konnten 14 Studienbeiträge recherchiert werden (Tabelle 5-17), was einen Anteil an der Gesamtzahl der Beiträge aller Produktgruppen von 8 % entspricht.

Die Studien unterliegen einer starken Streuung des Detaillierungsgrades. Der betrachtete Lebensweg umfasst meist nur die Produktions- und Nutzungsphase. Die Entsorgungsphase erübrigt sich häufig infolge Verlust oder Verdampfung während der Nutzung. Untersucht wird vorrangig das Treibhauspotenzial.

**Tabelle 5-17: Selektierte Studien der Produktgruppe „Bioschmier- und Verfahrensstoffe“**

Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz		
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie	
11	1 kg Rapsöl vs. fossiles Hydrauliköl in EW	x	x	-	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	2004
12	Öl (qualitativer Vergleich)	x	x	-	x	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x	-	2004
32	1 000 bearbeitete Werkstücke (174 kg geschliffene Kugelnaben)	x	x	x	x	x	x	-	-	x	-	x	x	x	-	-	-	2006
42	Produktnutzen in EW/ 100 ha, Sonnenblumenöl vs. fossiles Schmieröl, Rapsöl vs. fossiles Hydrauliköl	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	2003
49	1 kg Antioxidationsmittel	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	2006
61	1 kg Schmieröl (qualitativ)	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2002



Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen										Zusatz			
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie	
62	Öl-Testprobe für Daphnientest, Bakterien-, Fischtoxizität (qualitativ)	-	-	x	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	2001
79	1000 Liter Schmieröl	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2000
82	231 m <sup>2</sup> Land, 34 Liter Öl	x	x	-	-	x	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	1999
97	t CO <sub>2</sub> Einsparpotenziale, in EU bis 2010	-	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2002
103	kg CO <sub>2</sub> Einsparpotenziale	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2006
120	Umweltwirkung in EW/100ha, Sonnenblumenöl vs. fossiles Schmieröl, Rapsöl vs. fossiles Hydrauliköl	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-	x	2003/2004
145	1 m <sup>3</sup> Hydrauliköl (Verbrauch einer Erntemaschine pro Jahr, 2000 Betriebsstunden)	x	x	-	x	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	x	2002
153	a) Menge Kettensägen-Schmieröl, um 1000 m <sup>3</sup> Holz zu fällen, 34 l Rapsöl vs. 56 l Mineralöl b) Menge Hydraulik-Öl, um einen Hydraulik-Bagger 10000 Stunden zu betreiben, je 797 l	x	x	-	x	x	-	-	-	X	-	x	x	-	-	-	x	2000

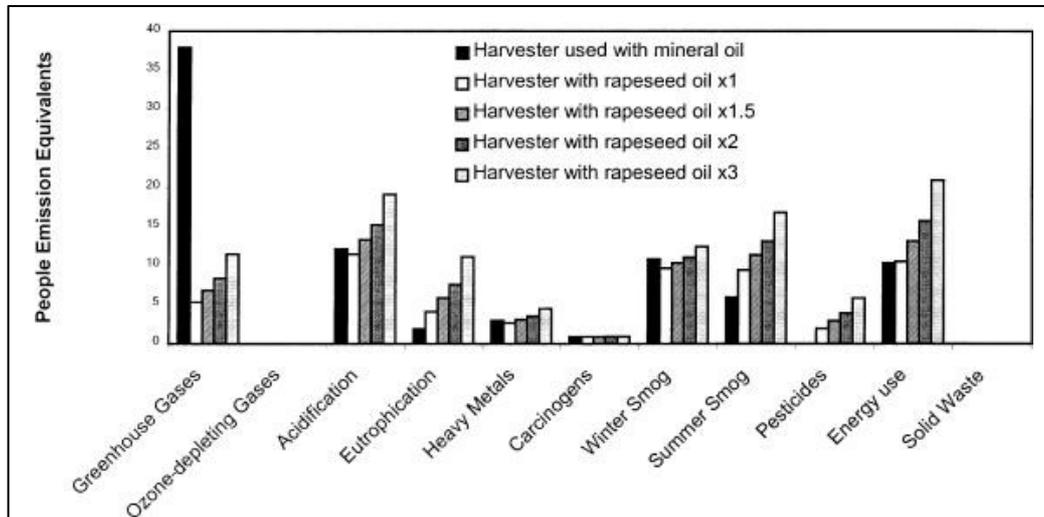
Als sehr gut wurden die Studien 11, 32 und 42 eingestuft. Jedoch ist hierbei kein direkter quantitativer Vergleich möglich.

Studie 11 untersucht Rapsöl und fossiles Hydrauliköl in zwei Anwendungen, einerseits in einer Erntemaschine und andererseits in einer Straßenkehrmaschine, die eine kürzere Lebensdauer aufweist. Die Bilanzierung erfolgt über den gesamten Lebensweg der Erntemaschine bzw. der Straßenkehrmaschine. Die dargestellten Ergebnisse in Abbildung 5-15 beinhalten sowohl die Produktion der Erntemaschine als auch die der Öle.

Das Treibhauspotenzial der mit Mineralöl betriebenen Erntemaschine liegt weit über den Szenarien im Betrieb mit Rapsöl. In allen anderen betrachteten Kategorien erzielt die mit Rapsöl betriebene Maschine die ungünstigeren Werte mit zunehmenden Verschleißerscheinungen des Rapsöls und den damit verbundenen häufigeren Wechselintervallen.

Die Straßenkehrmaschine weist eine kürzere Lebensdauer auf als die Erntemaschine. Deshalb ist die Herstellung der Straßenkehrmaschine von signifikant höherer Bedeutung bei Be-

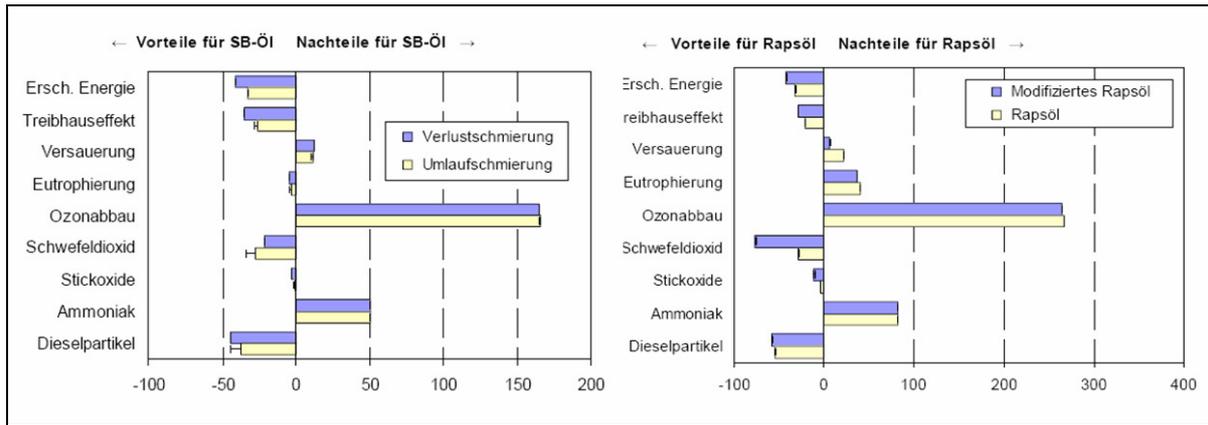
trachtung der Umweltwirkungen über den Lebensweg, der Einfluss der Nutzung verschiedener Öle ist hingegen geringer im Vergleich zu den Ergebnissen der Erntemaschine.



**Abbildung 5-15: Studie 11 - Produktion und Nutzung einer Erntemaschine unter verschiedenen Öl-Verschleiß-Szenarien**

Wird lediglich die Produktion von einem Kilogramm Mineralöl der von einem Kilogramm Rapsöl gegenübergestellt und hinsichtlich der Umweltwirkungen verglichen, erzielt Rapsöl laut Studie 11 günstigere Ergebnisse hinsichtlich des Treibhauspotenzials sowie marginale Vorteile bezüglich des Wintersmog-, Versauerungspotenzials und der Schwermetalle. Nachteile zeigen sich bei Rapsöl in einem höheren Ozonabbau-, Sommersmog- und Eutrophierungspotenzial, sowie vermehrte Umweltwirkungen durch Karzinogene und Pesticide. Auch ein erhöhter Energiebedarf wird in Studie 11 als Nachteil des Rapsöls deklariert.

Studie 42 vergleicht einerseits Sonnenblumenöl mit fossilem Schmieröl in Verlust- und Umlaufschmierung und andererseits hydriertes und reines Rapsöl mit fossilem Hydrauliköl. Neben den Vorteilen bezüglich des Treibhauspotenzials und der günstigeren Schwefeldioxidbilanz zeigt sich auch ein geringerer Energiebedarf beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen (Abbildung 5-16). Infolge landwirtschaftlicher Prozesse und Stoffeinträge ergeben sich bei den Pflanzenölen für die Wirkkategorien Ozonabbau und Versauerung jeweils Nachteile gegenüber Mineralöl, beim Einsatz von Hydraulik-Rapsöl auch bei der Eutrophierung. Bei den Schmierstoffen ist aus ökologischer Sicht die Verlustschmierung vorteilhafter als die Umlaufschmierung mit notwendiger Entsorgung nach der Nutzungsphase (Abbildung 5-16). Bei Hydraulikflüssigkeiten erzielen die hydrierten Rapsölester günstigere Werte als reine Rapsöle (Abbildung 5-16, rechts). Der Einfluss des Verschleißes von Hydraulik-Rapsölen beträgt laut Studie 42 bei Umweltwirkungen mit eindeutigen Ergebnissen weniger als 5 % bei einer Verkürzung der Ölwechselintervalle um ein Drittel. Als signifikant positiv auf das Ergebnis gelten Optimierungen in der Landwirtschaft, insbesondere beim Ersatz von stickstoffhaltigen, mineralischen Düngemitteln.



**Abbildung 5-16: Studie 42 - Umweltwirkungen in EW pro 100 ha Anbaufläche für Sonnenblumenöl vs. fossile Schmierstoffe (links) und Rapsöl vs. fossile Hydrauliköle (rechts)**

Studie 32 wählt die Menge von 1000 bearbeiteten Werkstücken als quantifizierbaren Nutzen der verschiedenen eingesetzten Kühlschmierstoffe, was einer Masse von 174 kg geschliffenen Kugelnaben entspricht. Die Kühlschmierstoffe unterscheiden sich stark in Ausgangstoffen und Herstellungsverfahren. Betrachtet werden ein Mineralöl, zwei Pflanzenölester und Tierfett- sowie Altspeisefettester. Die Umweltwirkungen sind in Abbildung 5-17 zusammengestellt und mit einer Rangfolge hinterlegt, wobei der Rang eins die ungünstigsten Ergebnisse und Rang fünf die vorteilhaftesten repräsentiert.

Wirkungskategorie nach UBA	Mineralöl	Rapsöl	Palmöl	Tierfett	Altspeisefett
Ressourcenverbr.erschöpfli.	1	2	4	3	5
KEA	1	2	4	3	5
GWP (100)	1	2	3	4	5
AP	1	1	3	4	5
NP	2	1	4	3	5
POCP	1	3	2	4	5
Krebsrisikop.	1	2	3	3	3
PM 10	2	3	1	4	5

**Abbildung 5-17: Studie 32 - Umweltwirkungspotenzial verschiedener Kühlschmierstoffe (Rangfolge)**

Betrachtet werden in Studie 32 das Umweltwirkungspotenzial in den Kategorien erschöpflicher Ressourcenverbrauch, Kumulierter Energieaufwand (KEA), Treibhauspotenzial (GWP), Versauerung (AP), Eutrophierung (NP), Sommersmog (POCP), Krebsrisikopotenzial und Feinstaub PM 10 (Abbildung 5-17). In sechs von acht betrachteten Wirkkategorien erzielt das Mineralöl mit seinem hohen Schadpotenzial die negativsten Ergebnisse. Die Pflanzenöle, Raps- und Palmöl, nehmen eine Mittelstellung ein. Die umweltverträglichsten Varianten repräsentieren die Tierfett- und Altspeisefettester.

Die Studien der Produktgruppe Schmier- und Verfahrensstoffe variieren stark bei Angaben zum Treibhauspotenzial. Je nach Studie schwanken die CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale bei der Substitution von Mineralöl mit Rapsöl zwischen 55 % bis 99 % (Tabelle 5-18). Die Unterschiede in Studie 82 sind auf verschiedene Anbauszenarien für Raps zurückzuführen. Studie 153

untersucht 2 Anwendungen (siehe Tabelle 5-18): a) Es wird die nötige Menge Kettensägen-Schmieröl bilanziert, um 1000 m<sup>3</sup> Holz zu fällen. Dies entspricht einem Verbrauch von 34 Litern Rapsöl oder 56 Litern Mineralöl. b) Es wird die nötige Menge Hydraulik-Öl bilanziert, um einen Hydraulikbagger 10000 Stunden zu betreiben. Hierbei wird sowohl für Mineralöl als auch für Rapsöl ein Verbrauch von 797 Litern angenommen. Die Differenz zwischen Studie 82 und 153 beim Rapsöl stützt sich auf landwirtschaftliche Szenarien. Je nachdem, ob die Fläche ansonsten brach liegt oder ob Winterweizen angebaut wird, erzielt der Rapsanbau vergleichsweise hohe oder niedrige Werte. Bei Annahme eines Winterweizen-Referenzszenarios erreicht Raps neben einer günstigen CO<sub>2</sub>-Bilanz auch vorteilhafte POCP- und Eutrophierungswerte.

**Tabelle 5-18: Treibhauspotenzial von Raps- und Mineralöl in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro funktionale Einheit**

Studie Nr.	GWP für Mineralöl [kg CO <sub>2</sub> -Äqu./funktionale Einheit]	GWP für Rapsöl [kg CO <sub>2</sub> -Äqu./funktionale Einheit]	Einsparpotenzial
11	2,73 x 10 <sup>-4</sup> / EW	2,3 x 10 <sup>-5</sup> / EW	90 %
82	180 / 34 Liter	1-50 / 34 Liter	70-99 %
145	3550 / m <sup>3</sup>	1350 / m <sup>3</sup>	60 %
153	a) 183 / 56 Liter b) 1733 / 797 Liter	a) 1-50 / 34 Liter b) 324 / 797 Liter	55-99 % 80 %

Bezogen auf die Herstellung von 1000 Litern Öl werden laut Studie 79 bei Mineralöl 2100 kg mehr CO<sub>2</sub>-Äquivalente freigesetzt als beim Rapsöl. Studie 145 verifiziert diesen Wert (Differenz von 2200 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente / 1000 Liter) bei einer angenommenen Dichte von einem Kilogramm pro Liter.

Widersprüche zeigen die Studien in Bezug auf den Energieaufwand für die Ölherstellung (Tabelle 5-19). Während Studie 11 einen geringfügigen Energiemehraufwand für Rapsöl angibt, zeigen die beiden anderen Studien einen für Mineralöl höheren Energieaufwand um durchschnittlich den Faktor drei.

**Tabelle 5-19: Energieaufwand für Mineral- und Rapsölherstellung in MJ pro funktionale Einheit**

Studie Nr.	Mineralöl [MJ / funktionale Einheit]	Rapsöl [MJ / funktionale Einheit]	Faktor Mineralöl / Rapsöl
11	3,73 x 10 <sup>-5</sup> /kg	3,89 x 10 <sup>-5</sup> /kg	0,96
145	45000/m <sup>3</sup>	12000/m <sup>3</sup>	3,75
153	a) 2817/ 56 Liter b) 40067/ 797 Liter	a) 89-885/ 34 Liter b) 20586/ 797 Liter	31,7 - 3,2 1,95

Zusammenfassend ergeben sich Vorteile von Rapsöl gegenüber Mineralöl in einer günstigeren CO<sub>2</sub>-Bilanz und insbesondere darin, dass bei Unfällen oder durch Verlustöl wesentlich geringere Beeinträchtigungen der Umwelt zu erwarten sind.

Nachteile bei Rapsöl bilden die technischen Gebrauchseigenschaften infolge eines erhöhten Eigen- und Maschinenverschleißes, sowie durch erhöhte Korrosionsgefahr, Temperatur- und Druckempfindlichkeit. Die reine Betrachtung der Produktion der Öle reicht nicht aus. Rapsöl muss aufgrund seiner Gebrauchseigenschaften häufiger gewechselt werden als Mineralöl. Verschiedene Verschleißszenarien bei der Nutzung bestimmen die Ergebnisse in den einzelnen Umweltwirkungen. Entgegen der Annahme eines im Vergleich zu Mineralöl höheren Rapsölverschleißes in Studie 11, geht Studie 153 von einem geringeren Rapsölbedarf für die gleiche Leistung aus. Es ist wichtig, nicht nur die Produktionsphase, sondern den gesamten Lebenszyklus zu betrachten. Tendenziell sind bei Rapsöl Nachteile hinsichtlich des Versauerungs-, Eutrophierungs- und Ozonabbaupotenzials zu erwarten. Bei der Betrachtung der Umweltwirkungen müssen weitere Parameter berücksichtigt werden, insbesondere Anbauvergleichsszenarien.

## 5.8 Verpackungen

Typische Verpackungsprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen sind Holzkisten und Paletten, aber auch Verpackungen auf Basis von Cellulosefasern wie Papier- und Pappeprodukte. Zunehmend werden aber auch Verpackungen auf der Basis von Stärke und Zucker als Ausgangsmaterial interessant. Insbesondere auch wegen der vollständigen Kompostierbarkeit werden diese Produkte vor allem als Verpackungsmaterial, Abdeckfolien in der Landwirtschaft oder Einweggeschirr benutzt. Tabelle 5-20 gibt einen Überblick zu relevanten Kulturarten, verwendeten Rohstoffen und Produktbeispielen in dieser Produktgruppe.

**Tabelle 5-20: Spezifikation der Produktgruppe Verpackungen**

Beispiele für Kulturarten	Rohstoff	Produktbeispiele
Mais, Weizen, Markerbösen, Kartoffeln, Reis, Roskastanien	Stärke	Mülltüten, Folien, Einweggeschirr
Ackerbohne, Eiweißerbse, Lupine, Soja, Kartoffeln, Raps, Weizen	Stärke	Papier
Baumwolle, Sisal, Jute, Kenaf, Hanf, Flachs, Baumwolle Ramie, Brennnessel	Fasern	Zellstoff, Papier, Spezialpapiere
Buche, Fichte, Kiefer etc.	Holz	Paletten, Kisten, Verpackungspapier

Innerhalb der Produktgruppe ‚Verpackungen‘ konnten 34 Studienbeiträge recherchiert werden (Tabelle 5-21), was einem Anteil an der Gesamtzahl der Beiträge aller Produktgruppen von 19 % entspricht.

Es handelt sich hierbei um eine große Anzahl sehr gut detaillierte Studien, die eine Vielzahl von Wirkkategorien betrachten. Bei 20 der Veröffentlichungen wird der gesamte Lebensweg bilanziert.



Die Produktgruppe umfasst eine breite Produktpalette, weshalb eine weitere Untergliederung in Unterprodukte notwendig erscheint. Es folgt eine Gliederung nach:

- Transportboxen,
- Windeln,
- loose-fill,
- Geschirr,
- Folien und
- sonstige.

**Tabelle 5-21: Selektierte Studien der Produktgruppe „Verpackung“**

Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz	
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie
4	1 m <sup>3</sup> loose-fill, 240 Liter Behältnis, 100 m <sup>2</sup> Folie (150 µm)	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	2003
5	1 kg loose-fill, Folie, Pellets	x	-	x	x	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	2003
6	100 m <sup>2</sup> Folie, 1000 Becher	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	x	x	x	1996
8	100 m <sup>3</sup> loose-fill	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	-	2002
13	1000 Windeln	x	-	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	1997
20	1 kg PHA-Folie	x	x	-	x	x	-	-	-	x	-	x	x	-	-	-	2004
29	1 kg Polymer für Tüten und Folien	-	-	-	x	x	-	x	-	-	-	x	x	-	-	-	2004
34	Jeweils 10000 Behältnisse (Tassen, Hüllen, Flaschen), 1 000 000 square inch Folie	x	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	2006
36	Transportboxen aus PP-Chinaschilf vs. glasfaserverstärkt, 1000 km Transport pro Jahr über 5 Jahre	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	-	x	2001
37	1 kg PLA-Verpackung	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2004
39	1 kg Verpackungspapier	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2004
42	PLA-Verpackung vs. PE/PP, Produktnutzen in Einwohnerwerte pro 100 ha Anbaufläche	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	-	-	x	2003
50	1m <sup>3</sup> Verpackungschips 240 Liter Beutel	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	2003



Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz	
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie
52	1 Teller mit 22 cm Durchmesser, 1 Becher/Dose/Flasche mit 0,33 Liter Fassung	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-	x	x	-	-	x	2005
69	1000 'clam shells' zu je 500 ml	x	x	x	x	x	-	x	-	x	-	x	x	x	-	x	2006
77	Transport von 1000 t Obst & Gemüse in 3 Kistentypen	x	x	x	x	x	x	-	-	x	-	x	x	-	-	x	2007
78	Transport von 1000 kg Äpfeln bis Endverbraucher in 3 Kistentypen	x	x	x	x	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	2000
80	Verpacken von 50000 Laptops	?	?	?	-	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	x	2006
83	1 kg Popcorn, 1 m <sup>3</sup>	x	x	x	x	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	1994
89	100 m <sup>3</sup> Loose-fill, EPS vs. Stärke	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	2005
114	1 kg Pellets Mater-Bi für Folien	x	-	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x	-	x	-	2001
115	1 kg Pellets Mater-Bi für Schäume	x	-	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x	-	x	-	2001
120	PLA und loose-fill (Weizen, Kartoffel, Mais) Umweltwirkung in EW/100ha	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	x	2003/2004
125	Die Nutzung von Windeln während der ersten 2.5 Jahre eines Kindes in GB, Zeitbezug 2001-2002	x	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	2004
130	100 000 Becher á 2 dl	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	-	x	2006
132	1 kg PLA Pellets	x	-	-	x	x	-	-	-	-	-	x	x	-	x	x	2003
136	Einkaufstaschen (qualitativer Vergleich)	x	-	x	-	x	-	-	x	x	-	x	x	-	x	x	2001
148	Wellpappkarton-Kiste, nicht typisiert	x	x	x	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	1996
149	Transport von 7 kg Tomaten von Produktion (Almeria, ES) bis Konsumierung (Hamburg, DE)	x	x	x	-	x	x	x	x	-	-	x	x	x	-	x	2005
150	ein Bioabfallsack	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	x	x	x	1999



Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz		
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie	
151	Transportverpackungssystem 200x300x150 mm <sup>3</sup> , mit Bezug auf 1 m <sup>3</sup> Packgut mit 300 kg/ m <sup>3</sup>	?)*	?)*	-	-	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	1994
152	1 kg Einweg- bzw. Mehrweg-Gebinde über 100 km (Produkt-palette, mit etwa 80 Verkaufsprodukten)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	2003
154	Abfallbeutel, Verpackungsmaterial (qualitativer Vergleich)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	2000	
155	1 t Folie, 1 t Stärkewaffeltray	x	x	x	x	x	x	-	-	x	-	x	x	-	-	x	1998	

\* keine Angabe, eventuell nur Transportvorgang

## Transportboxen

Die Bilanzierung von Transportboxen stellt eine sehr komplexe Thematik mit einer Vielzahl von Parametern dar. Annahmen und Randbedingungen, insbesondere im Boxentyp, Abmessungen, Boxen-Material, zu Grunde gelegten Nutzlasten, Umlaufzahlen bei Mehrwegboxen, Transportentfernungen, Wiederverwertungsraten und Entsorgungs-Szenarien bestimmen die Ergebnisse. Nur wenn alle Parameter übereinstimmen, ist ein studienübergreifender Vergleich möglich.

Sieben Studien innerhalb der Produktgruppe „Verpackungen“ untersuchen Transportsysteme. Dabei sind fünf Studien sehr detailliert, zwei hingegen ohne genaue Beschreibung der Systemgrenzen oder Typisierung des Transportsystems. Bei den fünf umfangreichen Beiträgen liegen folgende funktionale Einheiten vor:

- 1000 km Transport über 5 Jahre in PP-Glasfaser-Box, 15 kg vs. PP-Chinaschilf-Box, 11 kg, (Studie 36)
- Transport von 1000 t Obst und Gemüse in 3 Kistentypen (Studie 77)
- Transport von 1000 kg Äpfeln bis Endverbraucher (Studie 78)
- Transport von 7 kg Tomaten von Produktion in Almeria, Spanien, bis zur Konsumierung in Hamburg, Deutschland (Studie 149)
- 1 kg Einweg- bzw. Mehrweg-Gebinde über 100 km, Transport von verschiedenen Verkaufsprodukten wie Teigwaren, Tiefkühlprodukte, Wasch-, Putz-, Reinigungsmittel, Obst, Gemüse etc. (Studie 152)

Studie 152 variiert eine Vielzahl von Parametern und stellt so für verschiedene Verkaufsprodukte die jeweils günstigen Einweg- oder Mehrweg Verpackungssysteme dar, in Abhängigkeit vom Transportmittel und der Entfernung.

Nach Überprüfung der funktionalen Einheit erscheinen zwei der Transport-Studien vergleichbar, Studie 77 & 78. Weitere Randbedingungen werden untersucht (Tabelle 5-22):

**Tabelle 5-22: Vergleich weiterer Randbedingungen der Transportsysteme in selektierten Studien**

Studie	Boxen-Typ (Material & Gewicht)	Umläufe	Nutzlast
77	Mehrweg-Kunststoffbox 2 kg Einweg-Holzbox 0,9 kg Einweg-Pappbox 0,785 kg	50-100	15 kg
78	Mehrweg - Kunststoffbox zu 1,56 kg teilweise Mehrweg - Holzbox zu 0,95 kg Einweg - Wellpappe zu 0,65 kg	1	7 kg

Aufgrund der Unterschiede in den Nutzlasten, Eigengewichten und Umläufen der Transportkisten kann zwischen den Studien 77 und 78 kein Vergleich vorgenommen werden.

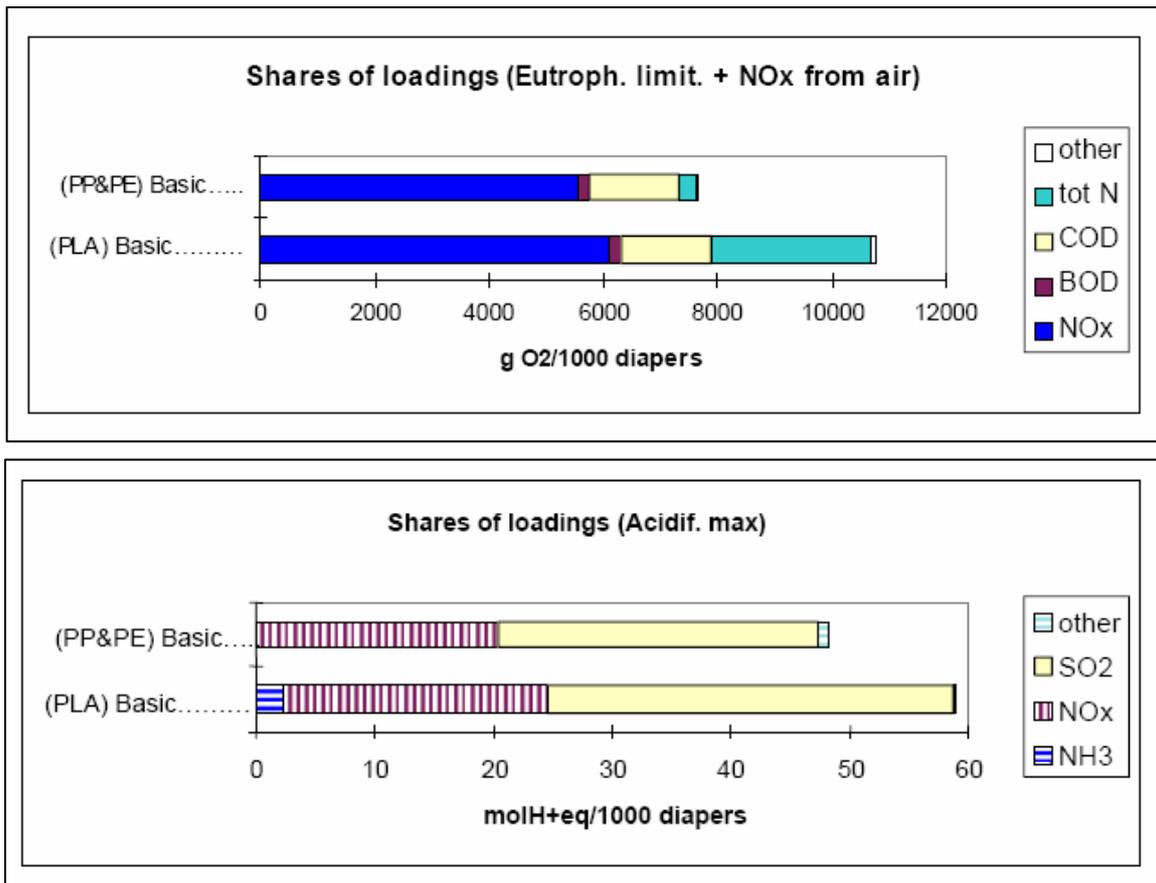
## Windeln

Zwei umfangreiche Studien innerhalb der Produktgruppe Verpackungen bilanzieren Winda-systeme über den gesamten Lebensweg: Studie 13 vergleicht 1000 Windeln aus PLA mit konventionellen Wegwerfwindeln. Während letztere deponiert oder verbrannt werden müssen, können PLA-Windeln kompostiert werden. Studie 125 vergleicht konventionelle Wegwerfwindeln und waschbare Stoffwindeln und unterscheidet beim Waschvorgang zwei Arten, das private und das öffentliche Waschen. Folgende funktionale Einheiten liegen vor:

- 1000 Windeln (Studie 13)
- Die Nutzung von Windeln während der ersten 2.5 Lebensjahre eines Kindes in GB, 4.16 Wechsel pro Tag, einschließlich Herstellung und Entsorgung/Waschen der Windeln, Zeitbezug 2001-2002 (Studie 125)

Ein Studienvergleich wird durch 2 Fakten erschwert: Einerseits sind die nawaRo-Produkte nicht identisch und andererseits wurden jeweils verschiedene Bewertungsmethoden mit Ergebnissen unterschiedlicher Einheit angewandt.

So ist das Eutrophierungspotenzial in Studie 13 nicht in  $\text{PO}_4$ -Äquivalenten, sondern in Gramm  $\text{O}_2$  pro 1000 Windeln angegeben (Abbildung 5-18, oben) und das Versauerungspotenzial nicht in  $\text{SO}_2$ -Äquivalenten sondern in mol  $\text{H}^+$  Äquivalenten (Abbildung 5-18, unten). In beiden Kategorien weisen die PLA-Windeln höhere Werte als die konventionellen Vergleichsprodukte auf Basis von Polypropylen und Polyethylen auf.



**Abbildung 5-18: Studie 13 – EP und AP für Herstellung und Entsorgung von 1000 Windeln**

Das Treibhauspotenzial ist in beiden Studien mit CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro funktionale Einheit angegeben (Tabelle 5-23).

**Tabelle 5-23: GWP bei Windelsystemen**

Studie Nr.	Funktionale Einheit	GWP in kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente / funktionale Einheit	GWP in kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente / Windel
13	1000 Windeln:		
	- PLA	205	0,21
	- PP & PE	180	0,18
125	Windelnutzung eines Kindes für 2.5 Jahre, 4,16 Wechsel pro Tag		
	- Wegwerf-Windeln	465	0,12
	- Waschbare Windeln (zu Hause)	559	0,15
	- Waschbare Windeln (Wäscherei)	762	0,20

Eine Schlussfolgerung für oder wider waschbare Windeln oder Produkte aus PLA ist aus beiden Studien nicht ableitbar.



Studie 13 schlussfolgert, dass beide Windelsysteme zu ähnlichen Ergebnissen kommen, die konventionellen Windeln jedoch geringfügig geringere Belastungswerte hervorrufen. Dabei wird aber auch betont, dass die Herstellung von PLA-Windeln eine sehr junge Technologie ist.

Auch Studie 125 kommt zu dem Ergebnis, dass hinsichtlich der Umweltbelastungen kein signifikanter Unterschied zwischen den Windelsystemen vorliegt.

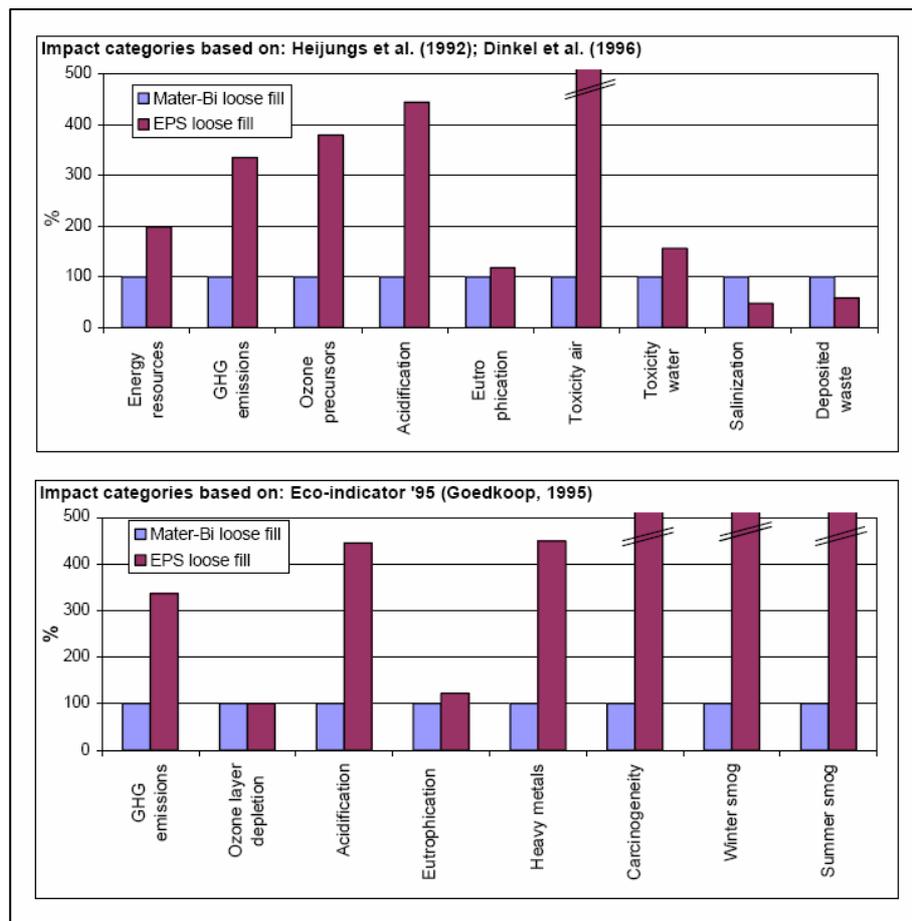
### Loose-fill

Fünf Publikationen beschäftigen sich mit losem Verpackungsmaterial, wobei als funktionale Einheit 1 oder 100 m<sup>3</sup> gewählt wurden. Die Studien sind sehr detailliert und betrachten den gesamten Lebensweg unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Wirkkategorien.

**Tabelle 5-24: Funktionale Einheiten und Bewertungsmethoden der loose-fill-Studien**

Studie Nr.	Funktionale Einheit	Bewertungsmethode
4	1 m <sup>3</sup> Verpackungschips	CML 92, Eco-Indicator 95, Ergebnisse in %
8	100 m <sup>3</sup> loose-fill-Packmittel	CML 92
50	1 m <sup>3</sup> Verpackungschips	CML 92, Eco-Indicator 95, Ergebnisse in %
83	1 kg Popcorn, 1 m <sup>3</sup> Popcorn	Kritische Volumina
89	100 m <sup>3</sup> Loose-fill- Packmittel	CML 92

Die prozentual angegebenen Ergebnisse in den Studien 4 und 50 sind identisch, sie entstammen der gleichen Quelle (Abbildung 5-19). Verglichen werden 1 m<sup>3</sup> Verpackungsmaterial aus Mater-Bi, biologisch abbaubares Material auf Basis von Maisstärke, gegen expandiertes Polystyrol (EPS), wobei die erzielten Werte von Mater-Bi auf 100 % gesetzt und die EPS-Werte prozentual gegenübergestellt sind. Angewandt wurden 2 Bewertungsmethoden; CML (Abbildung 5-19, oben) und Eco-Indicator 95 (Abbildung 5-19, unten), Das Treibhauspotenzial von EPS ist demnach um den Faktor 3,3 größer als das von Mater-Bi, das Versauerungspotenzial sogar um den Faktor 4,5. Grundsätzlich zeigen beide Bewertungssysteme ökologischen Vorteile von Mater-Bi loose-fill gegenüber EPS loose-fill.



**Abbildung 5-19: Studie 4 & 50 - LCA für 1 m<sup>3</sup> loose-fill mit 2 Bewertungsmethoden**

Studie 8 (2002) und 89 (2005) weisen enge Beziehungen auf, durch die jeweilige Mitarbeit desselben Forschungsinstituts. Die Werte für loose-fill (1 m<sup>3</sup>) sind hierbei absolut benannt unter Betrachtung einer Vielzahl von Szenarien. In Studie 89 sind vier EPS- und vier Stärke-Szenarien betrachtet unter Variation der Anbauart, des Entsorgungsszenarios und Verteilung von Last- bzw. Gutschriften, resultierend aus zusätzlichem Nutzen wie elektrischer und thermischer Energie, vermiedener Rohstoffe etc. während Produktions- oder Entsorgungsprozessen. Je nach Variation der Randbedingungen werden Werte mit einer großen Spannweite ermittelt, so dass die zuvor genannten Faktoren zu Treibhaus- und Versauerungspotenzial aus Studie 4 und 50 unter der Wahl bestimmter Randbedingungen, Gut- und Lastschriften als reproduzierbar gelten können.

Der Studie 83 liegt eine andere Bewertungsmethodik zugrunde, was einen Vergleich mit den übrigen loose-fill-Studien unmöglich macht. Gegenübergestellt wird Verpackungsmaterial aus Popcorn und Polystyrol (Abbildung 5-20). Die Ergebnisse nach der Methode der „kritischen Volumina“ zeigen geringe Luftemissionen bei Popcorn, jedoch höhere Werte bezüglich der Wasser- und Bodenemissionen. Entscheidend ist die dem Vergleich zugrunde gelegte funktionale Einheit. Während Popcorn auf Kilogramm-Vergleichsbasis günstigere Werte erzielt, wirkt sich beim Kubikmetervergleich die höhere Dichte von Popcorn negativ aus.

Ein negativer Nebeneffekt der höheren Dichte von Popcorn sind die somit höherem Transportgewichte und damit verbundenen höheren Kraftstoffaufwendungen. Die Autoren sehen großes Optimierungspotenzial in der Gewichtsreduktion.

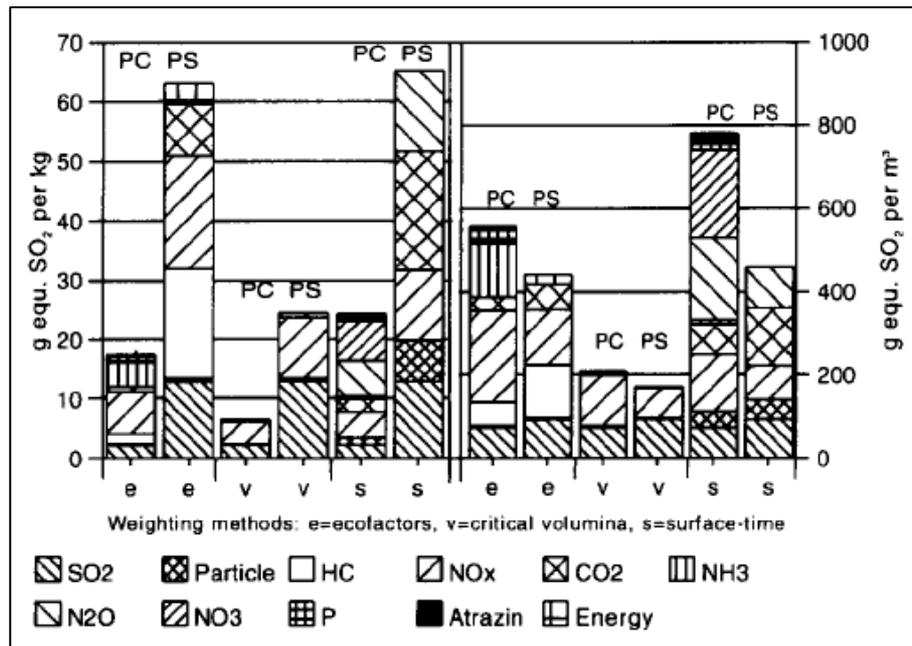


Abbildung 5-20: Gesamte Luft- und Wasserbelastung für Popcorn (PC) und Polystyrol (PS), in Gramm SO<sub>2</sub>-Äquivalenten

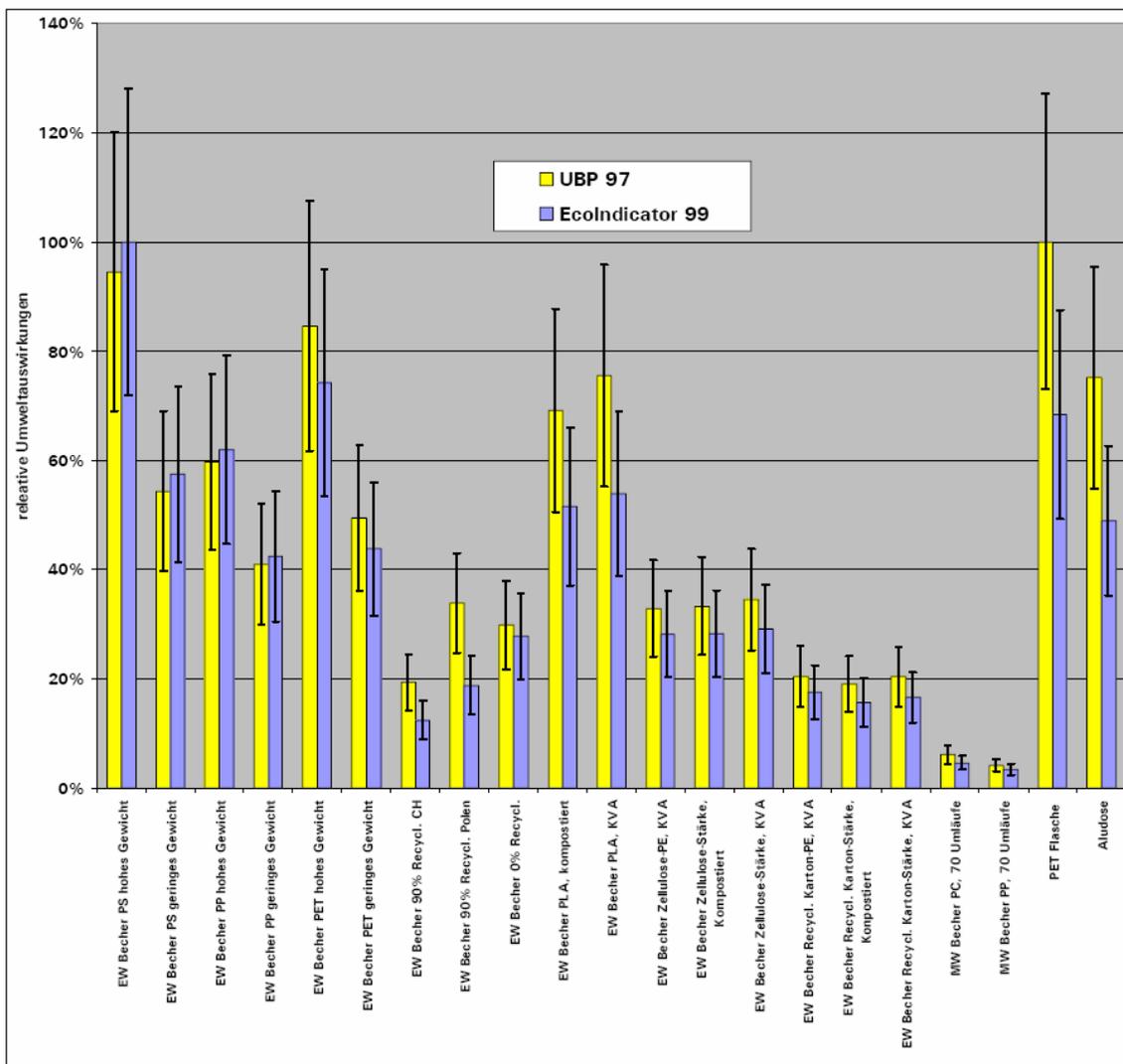
## Geschirr

Unter den Umweltbetrachtungen zu Geschirr sind Produkte verschiedener Formen, Wandstärken, Materialien, Umläufe (bei Mehrwegprodukten) und Entsorgungsszenarien vorzufinden. Die Untergruppe ist ähnlich komplex wie die der Transportsysteme. Bezüglich der Umweltbewertung ist die Herstellung entscheidend, die Nutzungsphase ist meist kurz, zumal es sich in den meisten Fällen um Einwegprodukte handelt. Als funktionale Einheit dienen hierbei Becher, Schüsseln, Teller etc. Folgende Studien lassen sich hier einordnen (Tabelle 5-25):

Tabelle 5-25: Funktionale Einheiten der Geschirr-Studien

Studie Nr.	Funktionale Einheit
6	1000 Becher aus TPS, Wandstärke 1 mm, Materialvolumen 17 cm <sup>3</sup>
34	10 000 Behältnisse (Tassen zwischen 10-15 g Gewicht)
52	1 Becher/Dose/Flasche mit 0,33 Liter Fassung, Teller etc.
69	1000 PLA-'clam shells' (Kunststoffschüssel mit Klappdeckel) zu je 500 ml, 1,23g/cm <sup>3</sup> , 12 g pro Schüssel
130	100 000 Becher á 2 dl

Studie 52 vergleicht eine Vielzahl von Produkten (Abbildung 5-21) Die Ergebnisse sind prozentual mit Hilfe des Eco-Indicator 99 und der UBP 97 dargestellt und normiert auf das Maximum der Belastung.



**Abbildung 5-21: Studie 52 - Vergleich der Umweltwirkungen verschiedener Becher, bewertet mit 2 Methoden**

Demnach erzielen Mehrweg-Becher aus PP mit 70 Umläufen die günstigsten Werte, Einwegbecher aus PLA sind hingegen im oberen Drittel der Umweltbelastungen angesiedelt.

In Studie 130 wird ein Vergleich von Trinkbechern aus PLA und PS angestellt. Das Ergebnis, ausgedrückt in Gesamt-Eco-Indicator-Punkten spricht für die PLA-Trinkbecher. Für beide Becher sind jedoch keine Nutzungsrandbedingungen dokumentiert, wobei davon auszugehen ist, dass diese gleich sind. Auch der Entsorgungspfad ist der gleiche, die energetische Verwertung in einer Müllverbrennungsanlage.

Studie 6 (1996) vergleicht 1000 Becher aus schlagzähem Styrol (HIPS) und RB-36, welches zu 60 % aus thermoplastischer Stärke (TPS) und zu 40 % aus Polyethylen niedriger Dichte (LDPE). In allen betrachteten Wirkkategorien liegen die Belastungswerte der nawaRo-basierten Becher unter denen von HIPS, nur hinsichtlich der Eutrophierung sind die Styrol-Becher ökologischer. Das Treibhauspotenzial über den Lebensweg von 1000 Bechern aus RB-36 beträgt nach Studie 6 etwa 54 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente (± 20%). Umlaufraten sind nicht benannt.

Studie 69 veranschaulicht abermals die Bedeutung der Wahl der Referenzprodukte. Bilanziert werden 1000 „clam shells“ aus PLA, PS, PP und PET. Während PLA-Schüsseln günstige Ergebnisse, vor allem bezüglich des Ressourcenverbrauchs, des Krebsrisikos, des GWP's und des POCP's gegenüber den Kunststoffschüsseln erzielen, zeigen sich Nachteile hinsichtlich Versauerung und Humantoxizität (PM10) beim Vergleich mit PP und PS, Vorteile hingegen gegenüber PET. Das Treibhauspotenzial für 1000 PLA-Schüsseln beträgt hiernach über den gesamten Lebensweg zwischen 37 und 65 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

Beispielsweise betragen die die CO<sub>2</sub>-Äquivalente in Studie 34 (nach Umrechnung) 75 kg für 1000 PLA-Flaschen und 50 kg für 1000 PLA-Tassen.

Ein direkter Vergleich der Studien ist nicht möglich aufgrund der unterschiedlichen funktionalen Einheit in verschiedenem Material, Masse und Volumen.

### Folien und Abfallsäcke

Die Studien zu Folien und Abfallsäcken stützen sich vorwiegend auf zwei Schweizer Referenzen. Deshalb seien im Folgenden ausgewählte Ergebnisse der Studien benannt.

Die Publikation 6 vergleicht 100 m<sup>2</sup> Folie (150 µm) aus thermoplastischer Stärke (TPS) mit Folie aus LDPE. Die Bilanzierung erstreckt sich über den gesamten Lebensweg, wobei ein Entsorgungsschlüssel mit 80 % Verbrennung und 20 % Deponierung angenommen wird. In allen betrachteten Wirkkategorien liegen die Belastungswerte der TPS-Folien unter denen von LDPE, nur hinsichtlich der Eutrophierung ist die LDPE-Folie ökologischer. Auch die Abfall-Werte der LDPE-Folie sind geringfügig niedriger (Tabelle 5-26).

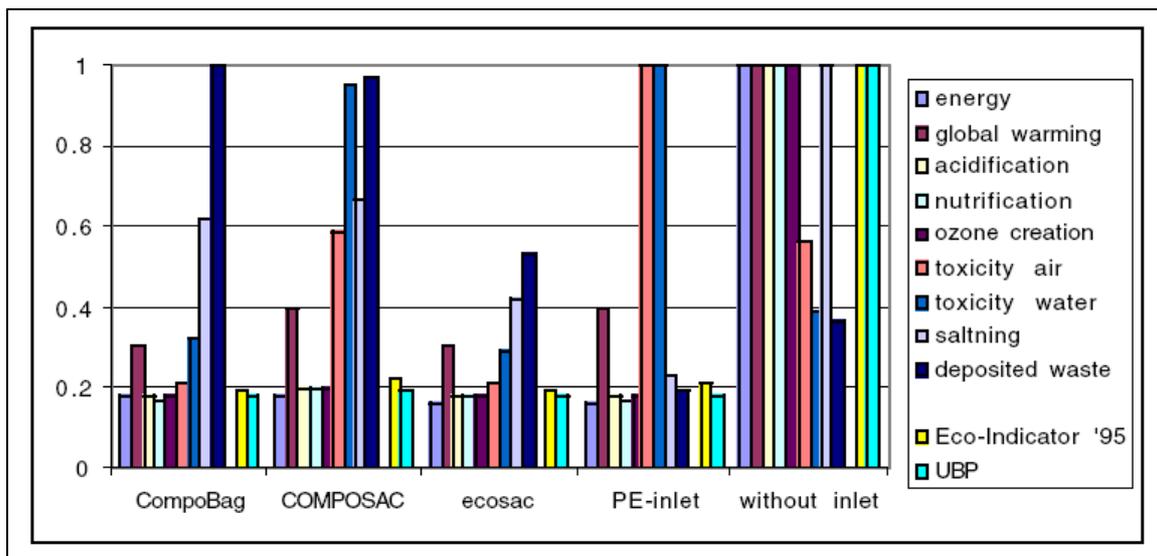
**Tabelle 5-26: Studie 6 - LCA-Ergebnisse für 100 m<sup>2</sup> Folie aus TPS im Vergleich zu LDPE**

	Energy resources [MJ]	GHG emissions [kg CO <sub>2</sub> eq.]	Ozone precursors [kg ethylene eq.]	Human toxicity [a m <sup>3</sup> ]	Acidification [kg SO <sub>2</sub> eq.]	Eutrophication [kg PO <sub>4</sub> eq.]	Ecotoxicity [d I]	Salinization [H <sup>+</sup> /mol]	Deposited waste [10 <sup>-3</sup> EPS]
(1) TPS Film	649 +/- 5%	25 +/- 15%	0.10 +/- 20%	4.3 +/- 40%	0.24 +/- 5%	0.13 +/- 40%	0.62 +/- 75%	40 +/- 15%	1.1 +/- 10%
(2) LDPE Film	1340 +/- 5%	67 +/- 20%	0.18 +/- 15%	9.7 +/- 60%	0.24 +/- 5%	0.02 +/- 50%	0.65 +/- 40%	120 +/- 8%	0.8 +/- 5%
(3) Ratio (1)/(2)	48%	38%	56%	44%	100%	687%	95%	33%	138%

Studie 150 bewertet Sammelsysteme für kompostierbare Abfälle hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen (Abbildung 5-22) nach verschiedenen Bewertungsmethoden. Die Ergebnisdarstellung erfolgt normiert auf die höchste Wirkung. Untersucht werden:

- Behälter mit einem Inlet aus BAW dreier Firmen (CompoBag, COMPOSAC, ecosac)
- Behälter mit einem Inlet aus PE
- Behälter ohne Inlet

Die Lebenszyklusanalyse umfasst die Rohstoffgewinnung, die Herstellung, den Gebrauch mit Reinigung und Transporten und die Entsorgung der Produkte, sowohl der Komposteimer als auch der Inlets.



**Abbildung 5-22: Studie 150 - Ökopprofile der Sammelsysteme mit Inlets aus BAW, PE oder ohne Inlets nach CML, Eco-Indicator '95 und UBP,**

Die Ökopprofile aller 3 Sammelsysteme in Studie 150 haben gezeigt, dass der Reinigungsprozess, insbesondere die Produktion von heißem Wasser dominierend ist.

Das Sammelsystem 'Behälter ohne Inlet' verbraucht im Vergleich zu denen mit Inlet beim Reinigungsvorgang mehr heißes Wasser und Abwaschmittel und ruft somit höhere Umweltbelastungen hervor. Die Belastungen infolge Herstellung und Entsorgung der Inlets sind im Vergleich zur Reinigung gering. Die Herstellung der biologisch abbaubaren Säcke ist umweltbelastender als die Herstellung eines PE-Sackes des gleichen Volumens. Jedoch sehen die Autoren großes Optimierungspotenzial in der Herstellung von biologisch abbaubaren Säcken, da es sich um neue Technologien und junge Werkstoffe handelt.

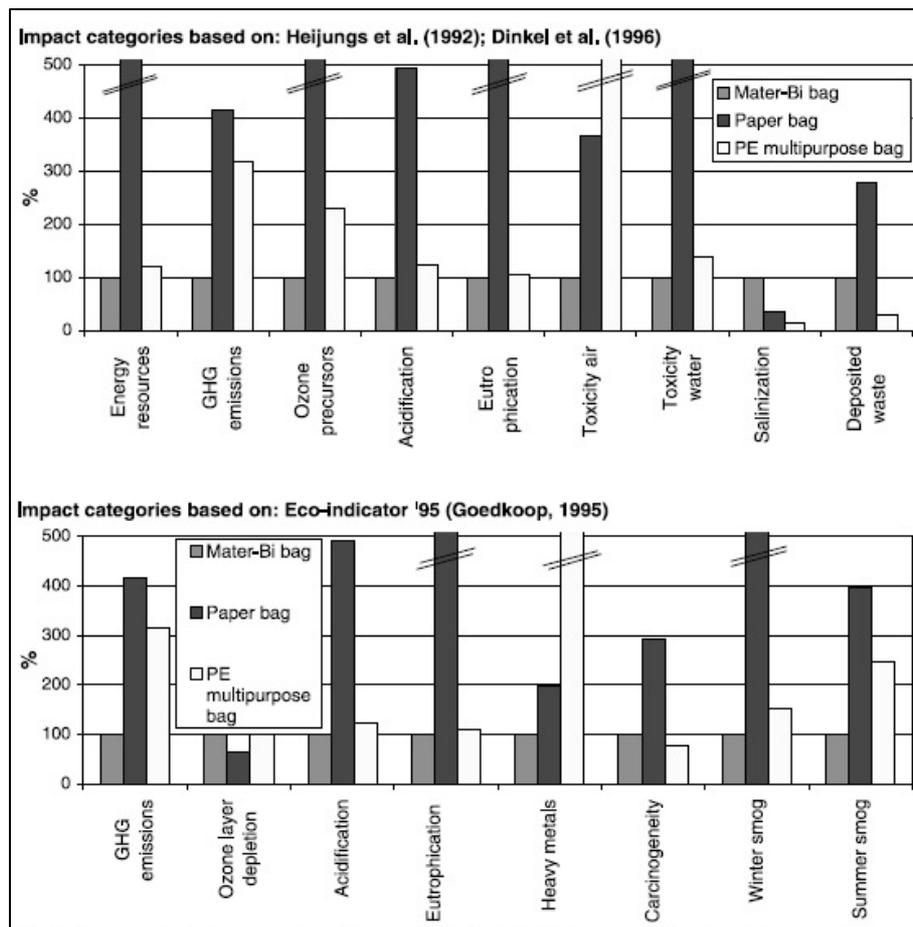
Optimierungspotenzial bietet auch der Reinigungsprozess. Die Belastungen werden signifikant reduziert, wenn zur Reinigung nur kaltes Wasser oder gebrauchtes Abwaschwasser verwendet und auf Abwaschmittel verzichtet wird. Unter diesen Bedingungen erzielt das Szenario „Komposteimer ohne Inlet“ die umweltfreundlichsten Ergebnisse.

Selbige Autoren der Studie 150 führten einen Vergleich verschiedener Tüten bzw. Abfallsäcke durch, bestehend aus:

- Mater-Bi
- Papier
- Polyethylen (PE)

Mater-Bi ist ein biologisch abbaubarer Werkstoff auf Basis von Stärke, gewonnen aus Mais, Kartoffeln und Weizen. Ergänzt werden biologisch abbaubare Polymere natürlichen und synthetischen Ursprungs.

Die Beutel aus Mater-Bi erzielten in fast allen betrachteten Wirkkategorien die besten Ergebnisse und somit eine Reduzierung der Umweltbelastungen, während Papiertüten die ungünstigsten Ergebnisse erzielten (Abbildung 5-23).



**Abbildung 5-23: Studie 50 - LCA-Ergebnisse für Säcke aus thermoplastischer Stärke im Vergleich zu PE- und Papiersäcken**

Kritisch sind laut der Autoren die im Vergleich zum PE-Beutel höheren Karzinogen- und Abfall-Werte der Mater-Bi Säcke zu werten.

### Sonstige

Keiner der zuvor genannten Unterkategorien konnten 2 Studien zugeordnet werden, deren Produkte eher Werkstoffcharakter aufweisen. Bilanziert werden Mater-Bi-Pellets für die spätere Herstellung von Folien (Studie 114) und geschäumte Verpackungen (Studie 115) im Rahmen eines EPD (Environmental Product Declaration).

Zusammenfassend weisen Verpackungsprodukte ein großes Spektrum an Unterprodukten auf, meist handelt es sich um Einwegprodukte. Signifikant für die Umweltbewertung ist deshalb die Herstellungsphase und eventuell EoL, die Nutzungsphase ist weniger relevant.

Transportsysteme sind sehr komplex und abhängig von einer Vielzahl Parameter, die Chancen der Vergleichbarkeit schwinden aus diesem Grund.

Bei loose-fill-Packstoffen ist die Wahl der funktionalen Einheit entscheidend, insbesondere ob diese masse- oder volumenbezogen ist. So hat beispielsweise Popcorn eine höhere Dichte und erzielt bei massebasierten Vergleichen ökologisch günstigere Werte als konventionelle Verpackungschips, auf Volumenbasis jedoch ungünstigere aufgrund des höheren Gewichts.

Bei der Bewertung der Umweltwirkungen von Geschirr ist ebenfalls eine Vielzahl von Parametern zu berücksichtigen. Entscheidend sind die Umläufe, d.h. ob Einweg- oder Mehrwegprodukte vorliegen, sowie Referenzszenarien und –materialien.

Folien, Säcke und Beutel aus biologisch abbaubaren Materialien schneiden gegenüber konventionellen Kunststoffen tendenziell in nahezu allen Wirkkategorien besser ab.

## 5.9 Baustoffe und Dämmstoffe

Holz ist der bekannteste nachwachsende Rohstoff im Baugewerbe, daneben finden insbesondere als Dämmstoffe noch zahlreiche andere Rohstoffe Verwendung. Bindemittel, Klebstoffe, Mörtel, Putze, werden ebenso wie Bodenbeläge aus nachwachsenden Rohstoffen gefertigt. Allen Stoffen gemeinsam sind die sehr gute Umweltverträglichkeit, der geringe Energieaufwand bei der Herstellung und die problemlose Entsorgung von Rest- und Abfallstoffen. Baustoffe auf nawaRo-Basis reduzieren die ökologische Belastung und dienen dem Wohnkomfort. Einen Überblick zu relevanten Kulturarten, verwendeten Rohstoffen und Produktbeispielen zu dieser Produktgruppe liefert Tabelle 5-27.

**Tabelle 5-27: Spezifikation der Produktgruppe Baustoffe und Dämmstoffe**

Beispiele für Kulturarten	Rohstoff	Produktbeispiele
Baumwolle, Sisal, Jute, Kenaf, Hanf, Flachs, Baumwolle Ramie, Brennnessel	Fasern	Platten und Formteile, Dämmstoffe, Gewebe, Geotextilien
Fichte, Kiefer, Buche, Eiche etc.	Holz	Bauholz, Schnittholz, Wohnungsausbau, Möbel
Mais, Weizen, Markerbösen, Kartoffeln, Reis, Rosskastanien	Stärke	Gipskarton, Putze
Korkeiche	Kork	Korkfußböden
Leinöl, Mohnöl, Walnussöl, Hanföl, Safloröl, Rizinusöl, Zitrusfrüchte	Öle, Fette	Linoleumfußböden

Innerhalb der Produktgruppe ‚Bau- und Dämmstoffe‘ konnten 74 Studienbeiträge recherchiert werden (Tabelle 5-28), was einem Anteil an der Gesamtzahl der Beiträge aller Produktgruppen von 41 % entspricht.

Es handelt sich hierbei um eine große Anzahl sehr gut detaillierter Studien, die eine Vielzahl von Wirkkategorien betrachten. Bei 36 der Veröffentlichungen wird der gesamte Lebensweg untersucht.

Tabelle 5-28: Selektierte Studien der Produktgruppe „Baustoffe, Dämmprodukte“

Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz	
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie
9	1 m <sup>3</sup> Dämmstoff, 1 t (atro) Stammholz, Praxishäuser	x	-	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	2002
10	Anbau von Hanf auf 1 ha in einem Anbau- jahr vergleichend für verschiedene Produkt- linien	x	x	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	-	x	1997
17	1 m <sup>2</sup> oder 1 kg Dämm- material	x	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	x	-	-	x	2003
22	Wohnhaus in Minnea- polis, Wohnhaus in Atlanta, Holz vs. Beton, Holz vs. Stahl	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	2004
23	1 m <sup>3</sup> medium density fibreboard (MDF), Dichte etwa 615 kg/m <sup>3</sup>	x	-	-	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	-	-	2006
24	1 m <sup>3</sup> Spanplatte	x	-	x	x	x	x	x	x	-	-	x	x	x	-	-	2005
25	1 m <sup>2</sup> verlegter Holzfuß- boden	x	x	x	x	x	x	-	-	x	-	x	x	-	-	x	2004
26	definierte Fenster	x	x	x	x	x	-	-	x	x	-	x	x	x	x	x	1998
28	1 m <sup>3</sup> Holzwerkstoff	x	-	-	x	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	x	2001
30	1 m <sup>3</sup> Holz und Holz- werkstoffe	x	-	x	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	2003
31	1000 kg Werkstoff (Holz, Fasern, Kunst- stoff, Stahl, Aluminium)	x	-	-	x	x	x	-	-	-	-	x	x	-	-	x	2001
33	1 kg Profil aus WENARO	x	-	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	2003
35	1 m <sup>3</sup> Holzwerkstoff, rohe geschliffene Plat- ten	x	-	x	-	x	-	-	x	x	-	x	x	x	-	x	2000
42	Steinwolle vs. Flachs, Produktnutzen in Ein- wohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	x	x	-	-	x	2003
43	1 m <sup>3</sup> , 1 kg Spanplatte	x	-	-	-	x	-	-	x	x	-	x	x	x	-	x	1999



Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz	
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie
48	Einflügliges Dreh/-Kippfenster mit definierten Eigenschaften	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	2000
51	Fensterrahmenmaterial (Rohbau eines Holzhauses nur Produktion)	x	x	x	x	x	-	-	x	x	-	x	x	x	x	x	2007
54	1 m <sup>2</sup> , 1 definiertes Fenster, 1 definiertes Gebäude/Hütte	x	x	x	-	x	-	-	-	x	-	x	x	-	-	x	2002
56	Holzrahmen für Fenster, Dämmstoffe, Dachstühle, Freileitungsmasten	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	x	x	x	x	1996
58	1 m <sup>3</sup> Spanplatte	x	-	-	x	x	-	x	x	x	-	x	x	x	-	x	1999
59	1 m <sup>3</sup> , 1 t (atro) Stammholz, Schnittholz, 1 Produkt Fenster/Wand, 1 m <sup>2</sup> Spanplatten, Furnierholz, Sperrholz, Holzständerwand, Holzfensterrahmen	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	1994
63	Einfeldträger	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	1995
64	1 m <sup>2</sup> , 1 m <sup>3</sup> Fußbodenbelag (über die Gebäudelebensdauer von 45 Jahren)	x	x	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2004
65	1 Gebäude, 1 m <sup>3</sup> BSH-Stützen, Eisenbahn-Holzschwellen, diverse Holzkonstruktionen für Dach, 1 m <sup>2</sup> Boden etc.	x	-	x	x	x	-	-	-	x	-	x	x	-	-	x	2003
66	1 m <sup>2</sup> Fußboden, 1 m <sup>3</sup> Holz	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2003
67	1 mehrstöckiges Gebäude, Waldfläche in ha	x	-	x	x	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2000
68	1 m <sup>2</sup> Fußboden	x	x	x	x	O <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x	1996
71	2000 m <sup>2</sup> Fußboden, 20 Jahre	x	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	x	2000
74	geplantes Haus im Rohzustand	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-	x	x	-	-	x	2002



Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz	
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie
76	1 m <sup>2</sup> (Dicke 160 mm) Zellulose-Faserdämmstoff	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x	x	2006
84	1 m <sup>2</sup> fertig verlegter Laminatfußboden	x	-	x	x	x	x	-	-	x	-	x	x	-	-	x	2003
85	1 t geerntete & verkaufsfähig aufgearbeitete Holzmenge, atro mit Rinde, Baumart	x	-	-	-	x	x	-	-	x	-	x	x	-	-	x	2001
86	1 m <sup>2</sup> fertig verlegter Laminatfußboden	x	x	x	x	x	x	-	-	x	-	x	x	-	-	x	2003
87	1 m <sup>3</sup> Spanplatte	x	-	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	x	-	x	2000
88	1 t Holz, atro, Industrie- und Stammholz	x	-	-	-	x	x	x	-	x	-	x	x	-	-	x	1996
90	Holzprodukte	x	x	x	x	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	1995
91	2-flügeliges Fenster ohne Glas, Typ definiert	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	x	-	x	1996
92	1 m <sup>3</sup> Sperrholz, Schnittholz, Brettschichtholz, Furnierplatte	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	x	x	2005
93	diverse Fenstertypen	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-	x	x	-	x	x	2005
99	1 t (atro), 1 m <sup>3</sup> , Schnittholz, Konstruktionsholz, Brettschichtholz, Spanplatten, Funierholz, Fenster	x	-	x	x	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	1996
100	1 m <sup>3</sup> Dämmstoffe	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	1995
101	1 kg Dämmmaterial	x	-	x	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	2004
102	qualitativer Produktvergleich, Woll-, Flachs- und Hanfdämmungen, Tapeten, Holz- und Korkfußboden, Holzpflaster (auch Naturfarben)	x	-	x	x	-	-	x	-	-	-	-	-	x	-	x	2001



Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz		
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie	
103	1 kg, Flachs-, Hanf- und Strohdämmstoffe, Bindemittel im Straßenbau	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2006
104	1 m <sup>3</sup> Schalplatte	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	2005
105	1,623 m <sup>3</sup> Schnittholz	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	2005
106	Wohnhaus in Minneapolis, Wohnhaus in Atlanta	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	2005
107	1 m <sup>3</sup> geerntetes Holz	x	-	-	x	x	x	-	x	x	-	x	x	x	-	-	x	2005
108	0,88 m <sup>3</sup> OSB-Spanplatten	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	-	2005
109	1000 m definierter Holzträger aus OSB und Funierschichtholz	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	2005
110	1 m <sup>3</sup> Brettschichtholz	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	2005
111	1000 m <sup>3</sup> Funierschichtholz	x	-	-	x	CO <sub>2</sub>	-	x	-	-	-	-	-	-	-	x	x	2005
112	Wohnhaus in Minneapolis, Wohnhaus in Atlanta, Holz vs. Beton, Holz vs. Stahl	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	2005
113	typische Nutzung von 20 m <sup>2</sup> Fußboden über 20 Jahre	x	x	x	-	x	x	x	-	-	-	x	x	-	-	x	x	1998
116	1 m <sup>2</sup> Holzfußböden	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x	-	-	x	x	2002
118	1 Haus, 1 Fenster, 1 m <sup>2</sup> Fußboden	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-	x	x	-	-	-	x	2002
120	Umweltwirkung in EW/100 ha, Dämmstoff	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	x	x	-	-	-	x	2003/2004
122	1 kg Hanf-Beton-Verbund	x	-	-	x	x	x	x	-	x	-	-	x	-	-	x	x	2006
127	1 m <sup>2</sup> Dach	-	-	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2001
128	1 t Holz	-	-	x	-	x	-	-	x	x	-	x	x	x	-	-	x	2001



Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz	
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie
129	Imprägnierter hölzerner Teil einer Gleisschwelle nach Schweizer Standard	x	x	x	-	x	x	-	x	x	-	x	-	-	-	x	2001
130	50 m <sup>3</sup> Dämmstoff	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	-	x	2006
131	Dämmstoffe (qualitativer Vergleich)	x	x	x	x	-	-	-	x	-	-	-	-	x	-	x	2002
137	1 m <sup>2</sup> Fußboden	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	1999
138	1 m <sup>2</sup> Linoleum, 15 Jahre	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-	x	x	-	x	x	1995
139	1 m <sup>2</sup> Parkett, 45 Jahre	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	x	x	x	x	x	1997
140	1 m <sup>2</sup> Fußboden, 1 Wohnhaus, 50 Jahre	x	x	x	x	x	-	-	-	x	-	x	x	x	-	x	2001
141	1 m <sup>2</sup> Holztragekonstruktion	x	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	1998
142	1 Haus, Hauskonstruktion	x	-	x	-	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2001
143	1 m <sup>2</sup> Bodenfläche, globale Gebäudeindustrie	x	x	x	x	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	1999
144	1 Gebäudelebenszyklus, 100 Jahre (1 m <sup>2</sup> )	x	x	x	-	C, CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2006
146	1 Gebäude, Lebenszyklus	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	1995
147	1 m <sup>2</sup> , 1 t Holzkonstruktion	x	x	x	-	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	1997

Die Produktgruppe umfasst eine breite Produktpalette, weshalb eine weitere Untergliederung notwendig erscheint. Die Studien lassen sich in folgenden Untergruppen zusammenfassen:

- Hauskonstruktionen,
- Dämmstoffvarianten,
- Fußböden,
- Fenster,
- Holzwerkstoffe,
- und Sonstige.



## Hauskonstruktionen

Hauskonstruktionen stellen sehr komplexe Bilanzierungsgegenstände dar. Neben unterschiedlichen Annahmen der Lebensdauer einzelner Baumaterialien oder des gesamten Betrachtungszeitraums sind der Gebäudetyp bzw. die gesetzten Systemgrenzen entscheidend. So kann sich die Bilanzierung beispielsweise auf ein mehrstöckiges Multifunktionsgebäude, ein Wohnhaus oder lediglich eine Rahmenkonstruktion beziehen.

13 Studien innerhalb der Produktgruppe „Baustoffe“ bilanzieren Hauskonstruktionen. Dabei sind 5 Studien sehr detailliert, aus denen ausgewählte Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden. Es ist jedoch kein direkter Vergleich von Studien mit unabhängig voneinander durchgeführten Bilanzen möglich.

Studie 118 untersucht die Produktion und Konstruktion (ohne Nutzung) eines Einfamilienhaus-Rohbaus hinsichtlich GWP, EP, AP und POCP in 3 Ausführungen: gefertigt aus Backstein, als Holz-Rahmenkonstruktion oder als Holz-Blockhaus. Zunächst erfolgt eine Untersuchung ohne thermische Verwertung von anfallendem Restholz, in einem zweiten Szenario mit thermischer Verwertung. Während im ersten Szenario das Holzrahmenhaus die günstigsten Werte hinsichtlich der betrachteten Wirkkategorien erzielt, ist im zweiten Szenario das Blockhaus mit dem höheren Holzanteil zu favorisieren. Je mehr Restholz thermisch verwertet wird, desto mehr fossile Energie lässt sich substituieren. Die Umweltwirkungen der beiden Holzkonstruktionen liegen jedoch dicht beieinander. Noch stärker zeigen sich die Vorzüge von Holz bei der Bilanzierung eines 3-stöckigen Gebäudes, einerseits aus Stahl und Holz, andererseits lediglich aus Stahl. Auch bei der Konstruktion einer Hütte aus Holz, Stahl oder Beton, ist die Holzvariante die umweltfreundlichste. Den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden dominiert jedoch die Nutzungsphase. Die anfänglichen Unterschiede in der Konstruktionsphase relativieren sich nach Einbeziehung der Nutzungsphase. Die Studie 118 wird sehr häufig als Referenz in anderen Studien angegeben.

Studie 74 fokussiert auf die Optimierung der Nutzungsphase. Passivhäuser haben einen erhöhten Energiebedarf während der Herstellungs- und Instandhaltungsphase, aber deren Nutzungsphase ist weniger energieintensiv, was entscheidend zu einer günstigen Gesamtbilanz beiträgt. Der Autor schlussfolgert, dass die Kohlendioxid- und Kohlenstoffbilanz durch die Verwendung von Holz erheblich verbessert werden kann. Vorteile von Holzhäusern liegen zudem in der energiesparenden Konstruktion. Die thermische Verwertung von Holz und Holzprodukten nach der Nutzungsphase ermöglicht die Substitution fossiler Energieträger.

Studie 22 bilanziert Rahmenkonstruktionen von Wohnhäusern an 2 Standorten auf jeweils 2 verschiedene Bauweisen; ein Wohnhaus in Minneapolis aus Stahl oder Holz und ein Wohnhaus in Atlanta aus Beton oder Holz. Die Ergebnisse sind in Abbildung 5-24 zusammengefasst. Die Holzkonstruktion ist auch in diesen Beispielen jeweils zu favorisieren. Verschiedene weitere Publikationen verweisen auf diese Studie.

Minneapolis house	Wood frame	Steel frame	Difference	Steel vs. wood (% change)
Embodied energy (GJ)	651	764	113	17%
Global warming potential (CO <sub>2</sub> kg)	37,047	46,826	9,779	26%
Air emission index (index scale)	8,566	9,729	1,163	14%
Water emission index (index scale)	17	70	53	312%
Solid waste (total kg)	13,766	13,641	-125	-0.9%
Atlanta house	Wood frame	Concrete frame	Difference	Concrete vs. wood (% change)
Embodied energy (GJ)	398	461	63	16%
Global warming potential (CO <sub>2</sub> kg)	21,367	28,004	6,637	31%
Air emission index (index scale)	4,893	6,007	1,114	23%
Water emission index (index scale)	7	7	0	0%
Solid waste (total kg)	7,442	11,269	3,827	51%

**Abbildung 5-24: Studie 22 - Umweltbewertung verschiedener Wohnhauskonstruktionen**

### Dämmstoffvarianten

Dämmstoffe bieten eine sehr breite Produktpalette. Innerhalb dieser Untergruppe, bestehend aus elf Studienbeiträgen, liegt eine sehr starke Streuung des Detaillierungsgrades bezüglich betrachteter Lebenswegphasen und Umweltwirkkategorien vor. So wird beispielsweise in Studie 100 und 103 lediglich die Produktionsphase hinsichtlich GWP oder Energieverbrauch bilanziert, in Studie 42 hingegen der vollständige Lebenszyklus nach Energieverbrauch, GWP, EP, AP und ODP ausgewertet. Häufig liegt jedoch eine Bilanzierung des Energieverbrauchs sowie des Treibhauspotenzials hinsichtlich der Produktionsphase vor. Als funktionale Einheit dienen 1 kg, 1 m<sup>2</sup> oder 1 m<sup>3</sup> Dämmmaterial, wobei Umrechnungen zu Vergleichszwecken mit angegebenen Dicken und Dichten vorgenommen wurden.

Studie 17 vergleicht eine Vielzahl von Dämmstoffen hinsichtlich GWP, Energieverbrauch und AP. Die Ergebnisse sind sowohl quantitativ (vgl. Tabelle 5-29) als auch qualitativ (vgl. Abbildung 5-25) dargestellt. Die qualitative Ergebnisdarstellung erfolgt mit Hilfe einer fünfstufigen Bewertungsskala. Dabei steht die Farbe „grün“ für ein geringes Schadpotenzial und „rot“ für ein entsprechend höheres. Studie Nr. 42 untersucht Flachs vs. Steinwolle, weshalb hinsichtlich eines qualitativen Vergleichs die Ergebnisse zu Flachs und Steinwolle im Folgenden aus Studie 17 selektiert werden. Laut Studie 17 verbraucht die Herstellung eines Flachsdämmstoffes weniger Energie als die Produktion eines Dämmstoffes auf Basis von Steinwolle. Weiterhin weist der Flachsdämmstoff ein größeres Versauerungspotenzial aber ein ähnlich hohes Treibhauspotenzial im Vergleich zum Steinwollendämmstoff auf (Abbildung 5-25).

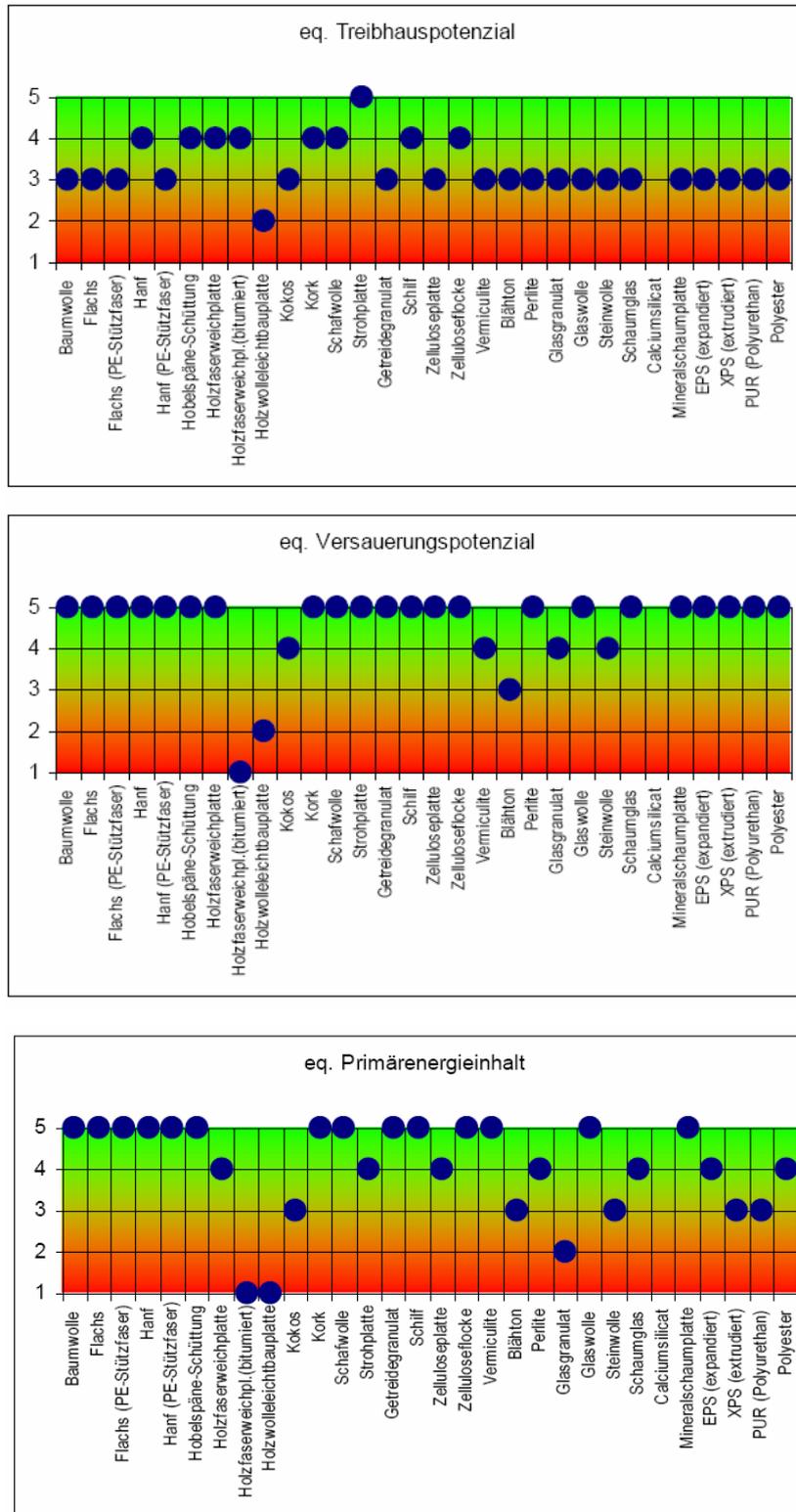
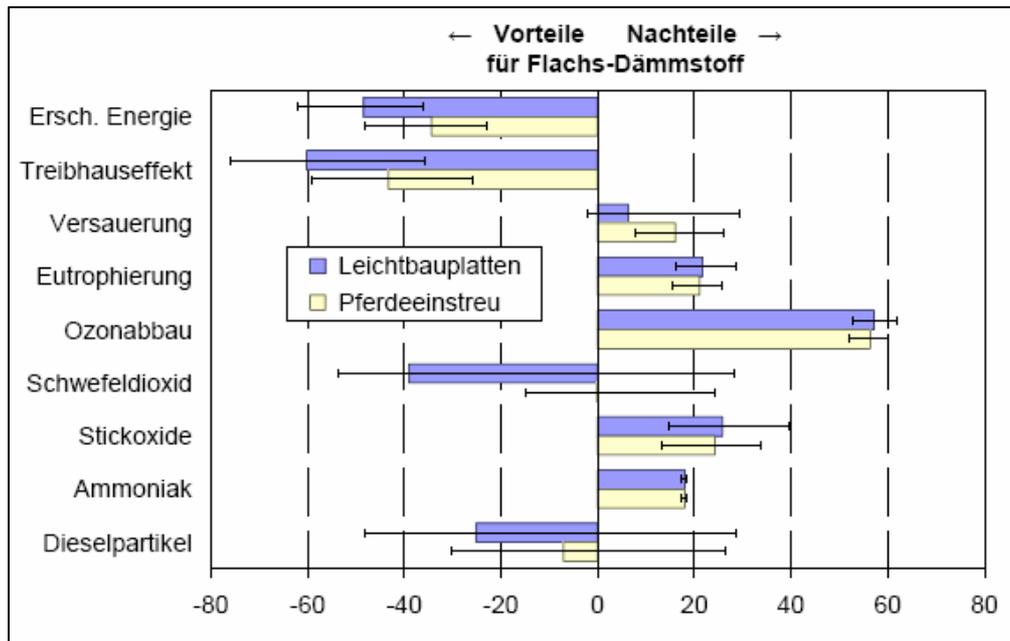


Abbildung 5-25: Studie 17 - GWP (oben), AP (mitte) und Energieinhalt (unten) verschiedener Dämmstoffe, dargestellt mit Hilfe einer fünf-stufigen Bewertungsskala



**Abbildung 5-26: Studie 42 - Umweltwirkungen für die Produktlinie Flachs-Dämmstoffe vs. Steinwolle in Einwohnerwerten pro 100 ha Anbaufläche**

Hinsichtlich des Energieverbrauchs erzielt Flachs auch laut Studie 42 Vorteile gegenüber Steinwolle (Abbildung 5-26). Die Abbildung zeigt einen Vergleich der Produktlinie Flachs-Dämmstoffe vs. Steinwolle. Dabei werden die Flachsfasern zu Dämmstoffmatten verarbeitet und die Schäben des Flachsstrohs in 2 Verwertungsszenarien betrachtet, einerseits die Verarbeitung zu Leichtbauplatten, die Lehmputzträgerplatten ersetzen und andererseits die Verwendung als Pferdeinstreu, welches Sägemehl und Weizenstroh substituiert. Das Versauerungspotenzial zeigt hier eine nachteilige Tendenz für Flachs, im Gegensatz zu den vorangehenden Ergebnissen aus Studie 17. Bezüglich des GWP sind laut Studie 42 eindeutige Vorteile von Flachs gegenüber Steinwolle zu verzeichnen, in Studie 17 scheint die Differenz im GWP hingegen marginal. Zusammenfassend weisen Flachsfasern laut Studie 42 Nachteile in Eutrophierung und Ozonabbau auf, Vorteile jedoch in GWP und Energie. Studie 17 verifiziert diese Ergebnisse nur teilweise.

In Tabelle 5-29 sind ausgewählte quantitative Ergebnisse zum Energieverbrauch, GWP und AP für die Herstellung einer Vielzahl von Dämmstoffen zusammengestellt. Aus der breiten Produktpalette sind die gleichen Dämmstofftypen verschiedener Studien mit der gleichen Farbe gekennzeichnet. Negative Vorzeichen beim GWP resultieren aus der im Dämmstoff eingebundenen Menge  $\text{CO}_2$ . Es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass in allen Studien das im Dämmstoff eingebundene  $\text{CO}_2$  berücksichtigt oder ausgewiesen wurde. Als besonders energieintensiv gilt die Herstellung von Holzweichfaserplatten, auch hinsichtlich GWP und AP erzielen die Platten hohe Umweltbelastungswerte. Beim studienübergreifenden Vergleich zeigen sich teilweise gute Übereinstimmungen, andererseits werden große Spannweiten umrissen. So liegen die Energiewerte für Flachs beispielsweise in Studie 9 und 17 dicht beieinander, während die aus Studie 100 und 102 weit unter den Werten angesiedelt sind (rot markiert in Tabelle 5-29).

Tabelle 5-29: Energieverbrauch, GWP und AP verschiedener Dämmstoffe pro m<sup>3</sup>

Studie Nr. & [Funktionale Einheit]	Dämmstoff	Energieverbrauch [MJ]	GWP [kg CO <sub>2</sub> -Äqu.]	AP [kg SO <sub>2</sub> -Äqu.]
9 [pro m <sup>3</sup> ]	Flachsfaserdämmstoff, inkl. Flammenschutz (davon Anteil Verstärkung)	984,7 (491,58)	50,87 (19,70)	0,141 (0,029)
17 [pro m <sup>3</sup> ]	Baumwolle	360	0,4	0,2
	Flachs	990 bis 1050	6,9 bis 11,1	0,03
	Hanfmatte	375 bis 1290	-23,4 bis -19,5	0,175 bis 0,27
	Hobelspäne	328	-83,2	0,08
	Holzweichfaserplatten	1920 bis 4050	-51,3 bis -30,4	0,16 bis 0,27
	Holzwoleleichtbauplatte	2808	431,6	1,482
	Kokos	2100	30	1,25
	Kork	846	-166,8	0,36
	Schafwolle	381	-0,6	0,09
	Strohplatte	656,2	-561	0,0034
	Schilfplatte	887,3	-258,4	0,342
	Zelluloseplatte	1324,8	58,4	0,448
	Zelluloseflocke	172	-36	0,0412
100 [pro m <sup>3</sup> ]	Holzspäne	180		
	Öllein/Hanf Fasern	252		
	Schafwolle	288	k. A.	k. A.
	Flachs/Hanf schäben	648		
	Kork-Naturschrot	1170		
	Holzweichfaserplatte	5760		
102 [pro m <sup>3</sup> ]	Flachs	108		
	Hanf	324	k. A.	k. A.
	Zellulose	22 bis 277		
	Schafwolle	86,4 bis 288		
	Baumwolle	135 bis 360		
	Holzfasern	2124 bis 2826		
	Kork	1296 bis 3802		
103 [pro m <sup>3</sup> ]	Flachs		23,4	
	Hanf	k. A.	5,5 bis 12,3	k. A.
	Stroh/Schilf		-527 bis -295	

Gegenüber konventionellen Dämmstoffen schlussfolgern zwei weitere Studien der Produkt-Untergruppe nicht zwangsläufig Umweltvorteile für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen. Deren Ergebnisse sind jeweils in Ecoindicator-Punkten angegeben. Laut Studie 130 stellt ein Dämmstoff aus Miscanthus eine höhere ökologische Belastung dar als ein Dämmstoff aus Steinwolle. Als kritisch gelten beim nawaRo-basierten Dämmstoff die krebserregenden Substanzen und der Landnutzungsaspekt. Eine energetische Verwertung ist nach

Aussagen des Autors der stofflichen Verwertung vorzuziehen. Studie 76 deklariert für einen Zellulosedämmstoff ebenfalls geringfügig höhere Ecoindicator-Punkte als für Stein- und Glaswollämmstoffe, geringere Umweltbelastungen jedoch gegenüber Polyurethan-Hartschaum-Dämmstoffen.

### Fußböden

Die Gruppe der Fußböden umfasst 15 Studienbeiträge, von denen neun sehr gut detaillierte Lebensweg-Ergebnisse über mehrere Wirkkategorien liefern. Als funktionale Einheit dient in der Regel 1 m<sup>2</sup>. Dies ließ zunächst auf gute Vergleichschancen hoffen. Jedoch konzentrieren sich die Ökobilanzen zu Fußböden häufig auf wenige Referenzen, was wiederum die Vergleichsmöglichkeiten unabhängig voneinander erstellter Studien einschränkt.

Tabelle 5-30 zeigt ausgewählte Ergebnisse zu Treibhauspotenzial (GWP), Eutrophierungspotenzial (EP), Versauerungspotenzial (AP) und Photosmog (POCP) für den Lebensweg von Holzfußböden und Linoleum im Vergleich zu Wollteppich und Vinyl. Die Spannweite der Ergebnisse aus Studie Nr. 25 resultiert aus Resultaten für verschiedene Parkettarten (wie Stabparkett, Mosaikparkett, Massiv- und Mehrschichtparkett) und verschiedenen Holzfußböden (wie Holzdielen und Holzpflaster). Die Werte verschiedener Studien unterliegen teilweise sehr großen Schwankungen, insbesondere beim GWP von Linoleum und Parkett.

**Tabelle 5-30: GWP, AP, EP und POCP über den Lebensweg verschiedener Fußböden**

	Holz allg.	Parkett	Linoleum	Wollteppich	Vinyl
<b>GWP in kg CO<sub>2</sub>-Äqu./m<sup>2</sup></b>					
Studie 54	0,42	-	1,6	-	4,2
Studie 138	-	-	2,6	64,3	9,5
Studie 113	-	25	15	-	10
Studie 25	-2,8-0,2	4,4-12,7	-	-	-
<b>AP in kg SO<sub>2</sub>-Äqu./m<sup>2</sup></b>					
Studie 54	0,024	-	0,013	-	0,031
Studie 138	-	-	0,010	0,170	0,170
Studie 25	0,06-0,12	0,10-0,22	-	-	-
<b>EP in kg PO<sub>4</sub>-Äqu./m<sup>2</sup></b>					
Studie 54	0,004	-	0,002	-	0,001
Studie 138	-	-	0,060	1,550	0,002
Studie 113	-	-	0,002*	-	0,004
Studie 25	0,010-0,019	0,015-0,034			
<b>POCP in kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-Äqu./m<sup>2</sup></b>					
Studie 54	0	-	0,002	-	0,001
Studie 138	-	-	0,004	0,044	0,018
Studie 25	0,08-0,26	0,21-0,49	-	-	-

\*In Studie 113 EP-Angaben für 20m<sup>2</sup> in Mol PO<sub>4</sub>

Umrechnung unter der Annahme P mit 31 g/mol, O mit 16 g/mol, 0,4 Mol PO<sub>4</sub> entspricht demnach 95 g/Mol x 0,4 Mol /20 = 2 g AP-Angaben liegen in Mol H+ vor, diese sind in der Tabelle nicht aufgeführt

Ursachen hierbei resultieren aus den jeweils definierten Randbedingungen. Die einzelnen Ökobilanzen basieren auf unterschiedlichen Gesamtbetrachtungszeiträumen und Einzellebenszeiten der Fußböden (vgl. Tabelle 5-30). So geht Studie 25 von einem Gesamtbetrachtungszeitraum von 25 Jahren aus, Studie 113 von 20 Jahren, Studie 138 von 15 Jahren, und Studie 54 gibt hierzu keine Angabe. Da die verschiedenen Produkte unterschiedliche Lebensdauern aufweisen und der Betrachtungszeitraum in der Regel deutlich über der Le-

bensdauer liegt, ist hier eine Erneuerung (Austausch) berücksichtigt wurden. Für Linoleum schwankt die angenommene Lebensdauer beispielsweise zwischen 5 (Studie 113) und 25 Jahren (Studie 54), je nach Quelle. Reinigungsszenarien während der Nutzungsphase, nass und/oder trocken, werden entweder im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse betrachtet (Studie 86), detailliert in die Untersuchung einbezogen (Studie 113) oder vernachlässigt (Studie 138). Auch die Entsorgungsszenarien weisen erhebliche Unterschiede auf. Während Studie 13 davon ausgeht, dass 25 % der Abfälle verbrannt und 75 % deponiert werden, legt Studie 138 einem Entsorgungsschlüssel mit 60 % Deponierung und 40 % Verbrennung fest.

Unter Berücksichtigung der Randbedingungen sind die Werte der Tabelle 5-30 lediglich als Richtwerte zu sehen. Gemeinsame funktionale Einheiten und Übereinstimmungen in der Betrachtung der Lebenswegabschnitte sind für einen studienübergreifenden Vergleich nicht ausreichend. Die Vergleichschancen ganzer Lebenszyklusanalysen schwinden mit zunehmender Komplexität berücksichtigter Parameter.

## Fenster

In den 10 Beiträgen zur Fenster-Untergruppe werden umfassend verschiedene Fenstertypen betrachtet (Tabelle 5-31).

**Tabelle 5-31: Studien der Untergruppe Fenster und funktionale Einheit**

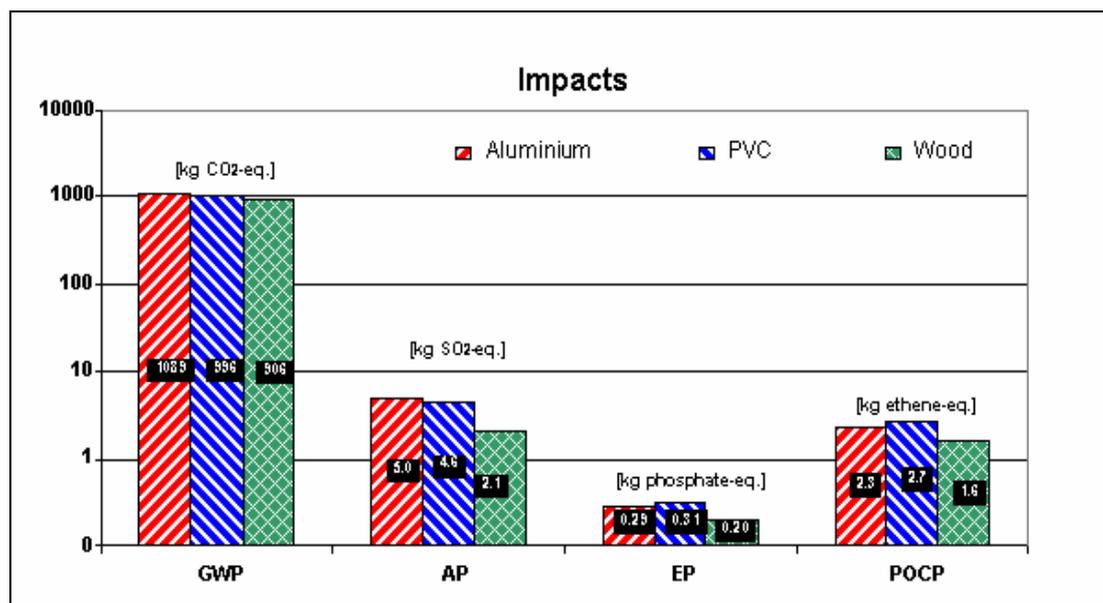
Studie.	Funktionale Einheit
26	Fenster 1230 mm x 1480 mm (1000 mm x 1200 mm, 1500 mm x 2000 mm), weiße Oberfläche, Wärmedurchgangswert von $k_F < 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , Nutzung 40 Jahre
48	Einflügliges Dreh-/Kippfenster: 1230 mm x 1480 mm, Blendrahmen unten mit Falz innen und außen für Fensterbankanschluss, Abstand Flügelrahmenüberschlag bis Blendrahmenaußenkante (innere Fensterbankoberkante) seitlich und oben 33 mm (25 mm), Beschlagnut in Flügelrahmen umlaufend, Standard-Beschlagverbund, Zweifachisolierglas 4/15/4/15/4, 90 % Argonfüllung, Polysulfid Rücküberdeckung 3 mm, Butyl Randabstandhalter 7 mm, Oberfläche weiß beschichtet
51	Fensterrahmenmaterialien (zitiert Studie 91)
54	1 Fenster, 1650mm x 1300mm (zitiert Studie 118)
56	1 Fenstereinheit, 1300 mm x 1300 mm
59	1 Fenstereinheit, Holzfensterrahmen
91	2-flügliges Fenster ohne Glas, ohne Sprossen und Kämpfer, Außenmaße 1650 mm x 1300 mm, Flügelteilung je zur Hälfte, Mittelpartie mit Stulp oder Setzholz, Anschlag auf Leibung, Ausführung mit Rahmen-Wetterschenkel, Nutzung 30 Jahre
93	„typisches“ 1,5 m <sup>2</sup> Fenster
99	Fenstereinheit, unternehmensspezifischer Fensterjahresproduktion (Datenschutz)
118	2-flügliges Fenster ohne Glas, 1650 mm x 1300 mm, Nutzung 30 Jahre

Die Untersuchung erfolgte mit und ohne Verglasung, oder beschränkte sich lediglich auf den Rahmen. Neben der Dimension und Ausführung bestimmen weitere Parameter die Vergleichbarkeit von Fenstern, wie z. B. Konstruktionsdetails, Anforderungen an die Oberflä-

chenbehandlung, Lebensdauer, Wartung, Materialrückführungs- und Recyclingraten, k-Werte und bauphysikalische Eigenschaften. Tabelle 5-31 charakterisiert die betrachteten Fenstertypen anhand der funktionalen Einheit, was vorwiegend die Dimension wiedergibt.

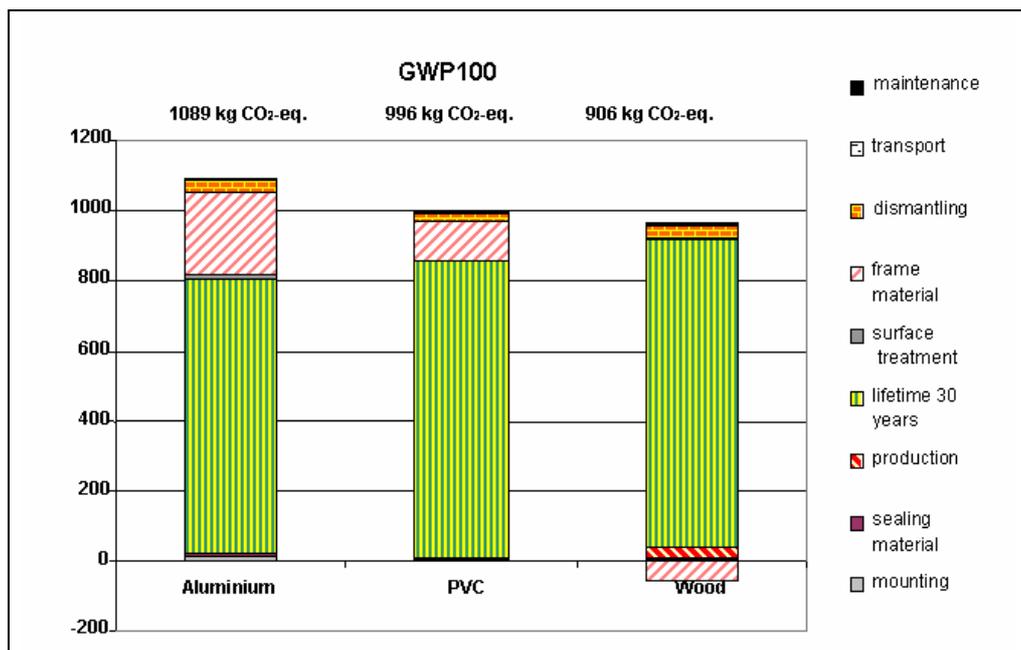
Zweckmäßig erscheint der Vergleich des in Studie 91 und 118 gewählten Fensters mit den Abmessungen 1650 mm x 1300 mm über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren. Bei genauer Betrachtung fasst Studie 118 (2002) jedoch wenige Ergebnisse aus Studie 91 (1996) zusammen. Letztere untersucht Fenster aus Aluminium, Stahl, Buntmetall, Edelstahl, Holz und PVC über den gesamten Lebensweg unter Variation der Oberflächenbeschichtung, Material-Wiederverwertungsraten, Recycling der Aluminium- und Stahlteile und Szenarien zum Strom-Mix. Studie 118 vergleicht auszugsweise die Rahmenmaterialien: Holz, PVC und Aluminium, unter Betrachtung des gesamten Lebenszyklus. Ausgewählte Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

In allen betrachteten Wirkkategorien (GWP, AP, EP und POCP), erzielt Holz die geringsten Belastungswerte, wobei die Unterschiede im Allgemeinen sehr gering zwischen den einzelnen Materialien sind (Abbildung 5-27).



**Abbildung 5-27: Studie 118 - Vergleich des GWP, AP, EP und POCP verschiedener Fenster-Rahmenmaterialien über den gesamten Lebensweg**

Hinsichtlich des Treibhauspotenzials ist insbesondere die Nutzungsphase bei Fenstern signifikant infolge der notwendigen periodischen Behandlung mit Farben, Lacken und anderen Chemikalien (Abbildung 5-28). Bei Betrachtung lediglich der Nutzungsphase erzielen Holzfenster die ungünstigsten Werte. Bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus kompensiert sich dieses Defizit jedoch. Holzfensterrahmen sind im Vergleich zu anderen Materialien sehr leicht und resultierende Umweltwirkungen aus Transportvorgängen werden somit reduziert. Nach Betrachtung der Gesamtbilanz wäre Holz zu favorisieren, die Unterschiede zu den anderen Materialien sind jedoch marginal.



**Abbildung 5-28: Vergleich der Belastungsphasen zum GWP verschiedener Fenster-Rahmenkonstruktionen (Studie 118)**

### Holzwerkstoffe

Die Gruppe der Holzwerkstoffe ist die mit Studienbeiträgen am stärksten vertretene Untergruppe. Als funktionale Einheit dient in der Regel 1 m<sup>3</sup>. Jedoch konzentrieren sich die Ökobilanzen zu Holzwerkstoffen häufig auf wenige Referenzen, was wiederum die Vergleichsmöglichkeiten unabhängig voneinander erstellter Studien einschränkt.

Die folgende Tabelle zeigt ausgewählte Ergebnisse zu Energie, Treibhauspotenzial (GWP), Eutrophierungspotenzial (EP), Versauerungspotenzial (AP), Photosmog (POCP), Humantoxizität (HT), aquatischer (AET) und terrestrischer Ökotoxizität (TET) für die Herstellung von Spanplatten, untergliedert nach Anwendung im Trocken- oder Feuchtbereich, mitteldichte Faserplatten MDF und OSB-Platten mit zwei verschiedenen Verleimarten. Die angegebene Spannweite bei Studie 87 resultiert aus der Betrachtung verschiedener Klebkombinationen.

Eine gute Übereinstimmung der Werte liegt bei Energieverbrauch, GWP, EP und AP vor. Die selten angegebenen Toxizitätswerte weisen große Schwankungen auf. Insgesamt zeigen die mitteldichten Faserplatten unter den betrachteten Holzwerkstoffen die höchsten Belastungswerte in den einzelnen Wirkkategorien.

**Tabelle 5-32: Umweltwirkungen der Herstellung von Holzwerkstoffen verschiedener Studien**

Phenol-Formaldehyd (PF), Isocyanat (PMDI)

	Spanplatten, trocken	Spanplatten feucht	MDF	OSB PF-verleimt	OSB PF/PMDI
<b>GWP in kg CO<sub>2</sub>-Äqu./m<sup>3</sup></b>					
Studie 28	240	275	540	235	265
Studie 35	241	274	535,66	235	264
Studie 87	273	276-375	-	-	-
<b>AP in kg SO<sub>2</sub>-Äqu./m<sup>3</sup></b>					
Studie 28	1,4	2,0	2,1	1,7	1,6
Studie 35	1,396	1,973	2,07	1,7	1,62
Studie 87	1,15	1,04-1,32	-	-	-
<b>EP in kg PO<sub>4</sub>-Äqu./m<sup>3</sup></b>					
Studie 28	0,2	0,24	0,28	0,21	0,21
Studie 35	0,205	0,244	0,28	0,21	0,21
Studie 87	0,197	0,13-0,22	-	-	-
<b>POCP in kg Ethen-Äqu./m<sup>3</sup></b>					
Studie 28	0,4	0,45	0,5	0,37	0,4
Studie 35	0,376	0,453	0,49	0,37	0,4
Studie 87	0,29	0,31-0,41	-	-	-
<b>HT in DCB-Äqu./m<sup>3</sup></b>					
Studie 35	235,8	251,7	377,84	309	311
Studie 87	30,7	29,9-32,9	-	-	-
<b>AET in DCB-Äqu./m<sup>3</sup></b>					
Studie 35	15,5	23,35	25,85	17,9	3650
Studie 87	0,762	0,767-0,866	-	-	-
<b>TET in DCB-Äqu./m<sup>3</sup></b>					
Studie 35	3843	5087	5261,3	3990	14,4
Studie 87	518	541-585	-	-	-
<b>Energie in MJ/m<sup>3</sup></b>					
Studie 28	5000	5150	10550	5950	
Studie 35	4665	5920	8743	4773	
Studie 87	4716	5821-6645	-	-	

## Sonstige

Keiner der zuvor genannten Unterkategorien konnten weitere 14 Studien zugeordnet werden. Hierunter zählen Bilanzen von Produkten mit Werkstoffcharakter oder aber einmaligen funktionalen Einheiten, wie beispielsweise „Imprägnierter hölzerner Teil einer Gleisschwelle nach Schweizer Standard“. Auf die Darstellung von Einzelergebnissen wird innerhalb dieser Untergruppe verzichtet.

Zusammenfassend zeigen Dämmstoffe, Fußboden und Fenster auf Basis von nawaRo nicht durchweg Umweltvorteile. Bei (den meist „langlebigen“) Bauprodukten spielt die Lebensdauer und das Wartungsintervall in der Regel eine große Rolle. Vorteile bei Produkten aus nawaRo in der Produktionsphase werden durch einen höheren Pflegeaufwand oder häufigeren Renovierungsaufwand oftmals bereits nach kurzer Zeit ausgeglichen oder wenden sich sogar zum Nachteil. Bei der Betrachtung ganzer Gebäude besteht der Vorteil von Holz insbesondere im geringeren Energieverbrauch und Treibhauspotenzial im Vergleich zu konventionellen Baustoffen.

## 5.10 Biopolymere

Die Gruppe der Biopolymere umfasst eine Vielzahl verschiedener Werkstoffe, wie Poly Lactic Acid (PLA), Poly-Hydroxy-Alkanoat (PHA), Poly-Hydroxy-Butyrat (PHB), Thermoplastische Stärke (TPS) etc.. Einen Überblick zu den relevanten Kulturarten und verwendeten Rohstoffen zur Herstellung der Biopolymere gibt Tabelle 5-33.

**Tabelle 5-33: Spezifikation der Produktgruppe Biopolymere**

Beispiele für Kulturarten	Rohstoff	Werkstoffbeispiele
Mais, Weizen, Markerbösen, Kartoffeln, Reis, Rosskastanien	Stärke	Biokunststoffe, Polyhydroxyfettsäure, Polymere
Leinen, Mohn, Walnuss, Hanf, Saflor, Rizinus, Zitrusfrüchte	Öle, Fette	Polyurethane, Kunststoffe

Biopolymere sind im eigentlichen Sinn keine Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen, sondern Werkstoffe oder Zwischenprodukte. Sie bilden die Basis für eine breite Produktpalette (Verpackungen, Fußbodenbeläge, Verbundstoffe für die Automobilindustrie etc.).

In den hier eingeordneten elf Studien (Tabelle 5-34) liegt keine gesamte Lebenszyklusanalyse vor. Vorrangig wird die Produktionsphase untersucht, selten auch die Entsorgung. Sehr umfangreiche Studien mit einer Vielzahl berücksichtigter Wirkkategorien sind Studie 121, eine Einzelstudie zur Herstellung von PHA, und Studie 38, in der die Herstellung von PHB aus Raps und Zuckerrohr einerseits ökobilanziell verglichen wird und auch beide der PP-Herstellung gegenübergestellt werden (Abbildung 5-29). Die Ergebnisse der Studie deuten auf tendenzielle ökologische Vorteile des Raps Szenarios hin, der Autor betont jedoch, dass keine sichere Aussage möglich ist, aufgrund der schwankenden Ergebnisse je nach Szenario.

Studie 2 benennt die für die Herstellung von 1 kg PLA nötige fossile Energie mit 54 MJ. Werden regenerative Energieträger genutzt, sinkt der Wert auf 5 bis 10 MJ pro kg PLA. Nach Studie 33 erfordert die Herstellung fossile Energie in Höhe von 64 MJ pro kg PLA. Zitierte Herstellerangaben prognostizieren eine Senkung auf bis zu 5 MJ pro kg PLA nach mehreren Betriebsjahren. Einen Vergleich des Treibhauspotenzials verschiedener Kunststoffe veranschaulicht (Abbildung 5-30).

Aussagen zur Umweltverträglichkeit der schließlich hergestellten Kunststoffprodukte lassen sich aus Werkstoffbilanzen jedoch nicht ableiten, da hierbei die jeweils produktspezifischen Rahmenbedingungen nicht berücksichtigt werden. Auf eine Gegenüberstellung weiterer Ergebnisse auf Werkstoffebene wird deshalb verzichtet.

Tabelle 5-34: Selektierte Studien der Produktgruppe „Biopolymere, -kunststoffe“

Studien Nr. im Projekt	Funktionale Einheit	Lebensweg			Betrachtete Umweltwirkungen											Zusatz		
		Anbau/ Produktion	Nutzung	End of Life	Energieverbrauch	Treibhauspotenzial	Ozon-Abbaupotenzial	Ressourcenverbrauch	Ökotoxizität	Photosmog	Wintersmog	Eutrophierung	Versauerung	Humantoxizität	Abfall	Baseline/ Vergleich	Aktualität der Studie	
1	1 kg PLA	x	-	x	x	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2004
2	1 kg PLA	x	-	-	x	x	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2002
33*	1 kg PLA, PHA, Mater-Bi	x	-	-	x	x	x	-	-	x	-	x	x	-	-	-	x	2003
38	1 kg Roh-PHB	x	-	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-	-	x	2006
40	1 kg BTP, 1kg PTP	x	-	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	2006
97	t CO <sub>2</sub> Einsparpotenziale in der EU bis 2010	x	-	-	-	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2002
117	1 kg PHB, PS, PE	x	-	x	x	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2003
31	1000 kg PLA, TPS	x	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2001
60	1 t TPS	x	-	x	x	CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2003
121	1 kg PHA	x	-	-	x	x	x	-	x	-	-	x	x	x	-	-	-	2005
133	1 kg PHA	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	2002

\*Studie 33 betrachtet Biopolymere weniger detailliert, den Schwerpunkt bildet Holz. Bei PHA und PLA wird nur Energie betrachtet. Die angekreuzten Wirkkategorien gelten nur für die Stärkepolymere TPS/PCL.

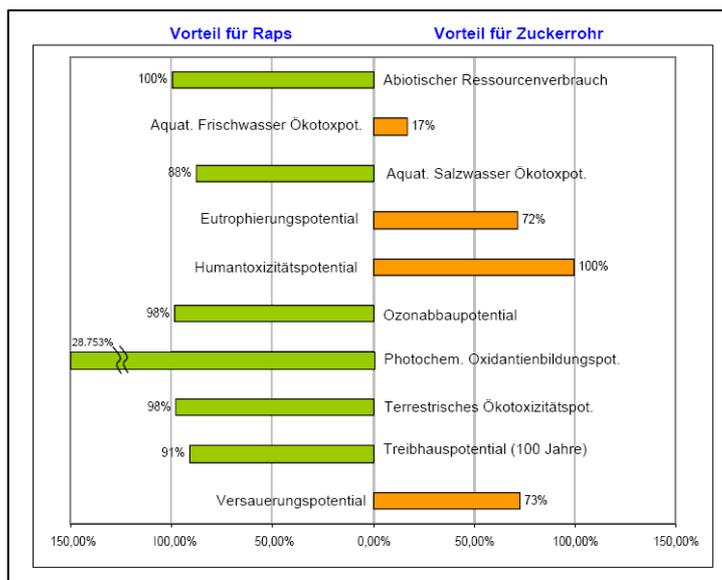
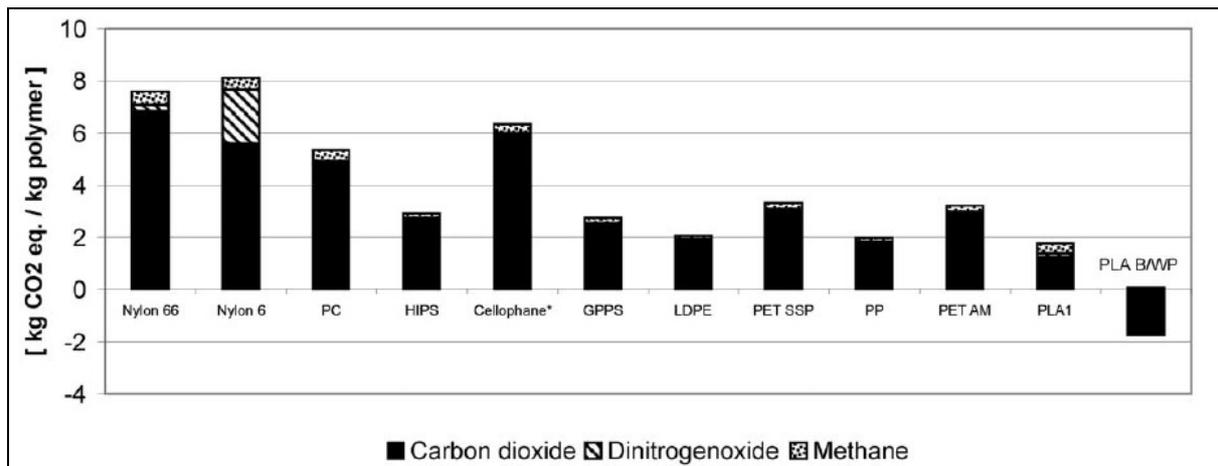


Abbildung 5-29: Studie 38 - Umweltwirkungsvergleich der PHB-Herstellung aus Raps und Zuckerrohr (CML 2001)



**Abbildung 5-30: Studie 2 – GWP für einige petrochemischen Polymere und PLA.**

PC=Polycarbonate; HIPS= high impact polystyrene; GPPS=general purpose polystyrene; LDPE=low density polyethylene; PET SSP=polyethylene terephthalate,solid state polymerisation; PP=polypropylene; PET AM=polyethylene terephthalate,amorphous (fibers and film grade); PLA1=poly lactide (erste Generation); PLA B/WP (poly lactide,biomass/wind power scenario).

## 6 Diskussion der Ergebnisse

Der Markt „Nachwachsende Rohstoffe“ zeichnet sich wie in Kapitel 2 beschrieben durch eine sehr vielschichtige und breite Produktpalette aus. Die Anzahl der stofflich genutzten Endprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen reicht vom Pflanztopf aus Fasern bis zu ganzen Gebäudekonstruktionen und ist kaum zu überblicken. Dazu ist der Markt in den unterschiedlichen Rohstoff-, Zwischenprodukt- und Endproduktbereichen unterschiedlich weit entwickelt.

Die ökologischen Vor- und Nachteile eines nachwachsenden Rohstoffs können nur in Zusammenhang mit einer speziellen Produkthanwendung bei vergleichbarem Nutzen und gleicher Leistungsfähigkeit untersucht werden.

Im Zusammenhang mit den Vorgaben aus der Aufgabenstellung der Literaturstudie wurden 156 Studien recherchiert, die sich in unterschiedlicher Detailtiefe mit der Umweltbewertung einer stofflichen Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen befassen. Die Studien decken ein breites Produktspektrum ab, wobei einzelne Produktgruppen, wie die der Baumaterialien und der Verpackungsprodukte stärker im Fokus der ökologischen Untersuchungen sind als andere.

Die Hoffnung, die mit der Aufnahme der Arbeit zu dieser Literaturanalyse verbunden war, bestand darin, auf Basis einer einheitlichen Methodik unterschiedliche Produkte, Produkthanwendungen miteinander zu vergleichen. In der Tat sind Methoden vorhanden, die bei gleicher Anwendung einen Vergleich zulassen.

Die Literaturrecherche hat ergeben, dass Ökobilanzen eine zentrale Rolle bei der Umweltbewertung von Produkten auf Basis nachwachsender Rohstoffe spielen. Obwohl der größte Teil der Umweltbewertungen auf Ökobilanzen basiert, sind diese aber nicht zwangsläufig vergleichbar.

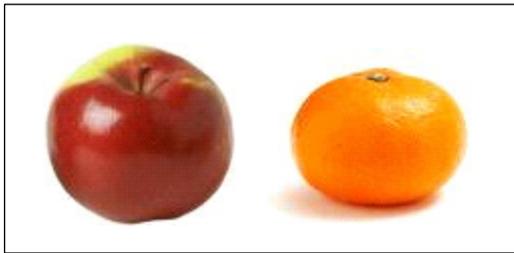
### 6.1 Grenzen der Vergleichbarkeit

Die untersuchten Studien besitzen ihre Gültigkeit und Rechtfertigung innerhalb der ihnen zugrunde gelegten Systemgrenzen bzw. Rahmenbedingungen. Ergebnisvergleiche verschiedener Studien sind aber kaum möglich, selbst wenn es sich um Studien der gleichen Produktgruppe handelt. Grenzen hierbei setzen vorrangig die funktionale Einheit und die angewandte Bewertungsmethode der Ökobilanzierung. Ein objektiver Vergleich der Endergebnisse und damit die Wahl „für“ oder „wider“ ein Produkt aus nachwachsenden Rohstoffen ist vor diesem Hintergrund nicht möglich.

Im Rahmen der Analyse wurden folgende Grenzen der Vergleichbarkeit identifiziert.

#### **Produktvielfalt – funktionelle Einheit:**

Der Bereich „stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ ist gekennzeichnet durch eine enorme Produktvielfalt. Nur in Ausnahmefällen zeigte sich, dass in verschiedenen Studien zwei Produkte mit identischer funktioneller Einheit umweltlich betrachtet wurden. Wesentlich für die Auswertung der Studien hat sich bereits zu Beginn die Analyse der funktionellen Einheiten herausgestellt, dass ein Vergleich von „Äpfeln mit Mandarinen“ unzulässig ist. In allen Studien wurden zwar die Sachbilanzdaten bezogen auf eine Einheit des Endproduktes erhoben. Ein Vergleich zwischen den Ergebnissen gleicher Produkte unterschiedlicher Studien



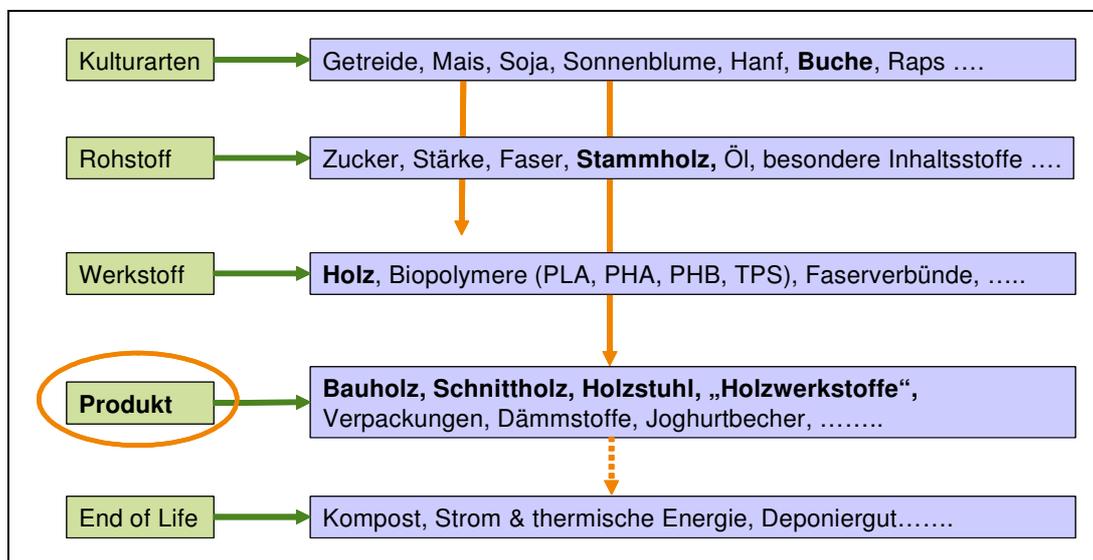
war allerdings nur dann möglich, wenn die funktionelle Einheit in einer gleichen Einheit oder zumindest in einer umrechenbaren Einheit (Volumen, Masse) angegeben wurde. Vielfach wurde Einheiten gewählt, die ohne zusätzliche Angaben weiterer Daten wie z.B. der Dichte des Produktes nicht ineinander umrechenbar waren (z.B. 1 m<sup>3</sup> Produkt in

der einen Studie, 1 kg Endprodukt in der anderen Studie oder die nicht definierte „Jahresproduktion“ einer Firma in einer weiteren Studie).

### Wahl der Systemgrenzen:

Die Vergleichbarkeit der Studien ist enorm eingeschränkt durch die Wahl der Systemgrenzen in den verschiedenen Studien. Unterschiede in der Wahl der Systemgrenzen existieren in erster Linie in der Vollständigkeit des Lebenszyklus, bestehend aus Herstellungsphase, Nutzungsphase und End-of-Life. Ein direkter quantitativer Vergleich der Umweltwirkungen des gesamten Lebenszyklus ist aufgrund der Verwendung unterschiedlicher Systemgrenzen nur selten möglich.

Das Herausgreifen einzelner Teile des Lebensweges ermöglicht in einigen Fällen, wenn sonstige Übereinstimmung in funktionaler Einheit und Bewertungsmethodik gegeben sind, einen Vergleich der Ergebnisse. Dennoch lassen einzelne Vergleiche auf Prozessebene keine Rückschlüsse auf die Umweltwirkungen des Endprodukts zu.



**Abbildung 6-1: Darstellung des Rohstoff-, Werkstoff- und Produktgefüges innerhalb der Produktkette nachwachsende Rohstoffe**

In einigen Fällen hat sich gezeigt, dass ein und dasselbe Produkt je nach Anwendung in einer Ökobilanz als Rohstoff, Werkstoff oder Endprodukt betrachtet wird. Einen Überblick über den Zusammenhang zwischen Produkt, Rohstoff und Ausgangspflanze im Rahmen des Lebenszyklus gibt Abbildung 6-1. Ein Vergleich ist nur auf derselben Veredlungsebene zuläs-

sig. Beispielsweise kann ein Trinkbecher aus PLA nicht mit dem Werkstoff PLA verglichen werden, da der letzte Produktionsschritt bei Werkstoffbilanzen unberücksichtigt bleibt.

### **Annahmen der Rahmenbedingungen:**

Die Ergebnisse zwischen gleichen Produkten unterschiedlicher Studien variieren in Abhängigkeit der getroffenen Annahmen in den Systemeigenschaften, wie z.B. den Düngereinsatzmengen, den Erträgen des landwirtschaftlichen Anbaus, der Konversionstechnologie, der Produktlebensdauer, den Wartungsintervallen, deren Intensität und das finale Entsorgungsszenario bzw. der Entsorgungsschlüssel. Auch im Bereich der Verfahrenstechnik ergeben sich durch unterschiedliche Dimensionierungen, Auslastungen und Effizienzannahmen erhebliche Spannbreiten.

Große Unterschiede bestehen darüber hinaus in der Bewertung oder Nichtberücksichtigung der Kuppelprodukte (Nebenprodukte). Die Verteilung der Umweltlasten zwischen Haupt- und Nebenprodukt wird verschieden gehandhabt. Die Anrechnung der Kuppelprodukte, auch als Allokationsproblematik bekannt, verändert im spezifischen Einzelfall die Ergebnistendenz.

Die Wahl des Äquivalenzprozesses bzw. der Referenzprodukte in Umweltbewertungen hat ebenfalls Bedeutungsrelevanz. So beeinflusst z.B. das gewählte agrarische Referenzszenario (andere Kulturart oder Branche) die Umweltwirkung eines Agrarprodukts. Aber auch das gewählte Verwertungsverfahren (Kompostierung oder energetische Verwertung in Kohle- oder Gaskraftwerken) ist bestimmend für die Vor- bzw. Nachteile der stofflichen Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

### **Technologiestand:**

Problematisch ist ebenfalls der Vergleich von Produkten aus fossilen Rohstoffen mit Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen. Hierbei würde eine bereits lang etablierte und permanent optimierte Technologie mit einer zwar innovativen, aber wenig optimierten Technologie verglichen. Über einen großen Zeitraum optimierte Produktionsanlagen mit hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen optimierter Prozessführung sind nur bedingt vergleichbar mit neu entwickelten Anlagen zur Herstellung von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen.



Der Vergleich einer „Apfelblüte“ mit einem „reifen Apfel“ entspricht einem Technologievorsprung von meist über 20 Jahren, der einen Produktvergleich hinsichtlich seiner Umweltwirkungen enorm verzerrt.

### **Datenverfügbarkeit:**

Als kritisch ist in nahezu allen Studien die Datenverfügbarkeit anzusehen. Aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit der Sachbilanzdaten in einem Großteil der Studien sind Ergebnisse selten überprüfbar und nachmodellierbar. Datenlücken können nicht mit Daten aus anderen Studien geschlossen werden, aufgrund der unterschiedlichen Systemgrenzen, An-

nahmen und Randbedingungen. Dasselbe gilt für die Umrechnung von Daten bei unterschiedlichen funktionalen Einheiten.

### **Wahl der Umweltbewertungsmethoden – Wirkkategorien:**

In der Regel kommen unterschiedliche Bewertungsmethoden zur Umweltbeurteilung zum Einsatz. Als Bewertungsinstrument dienen häufig einfache Stoff- und Energieflussbilanzen, die Ermittlung der kritischen Volumina, die Eco-Indicator-Methode sowie die CML-Methodik. Die Ergebnisse der Bewertungen mit unterschiedlichen Methoden sind oft gar nicht oder nur eingeschränkt ineinander überführbar und damit selten vergleichbar.

Auch die in den verschiedenen Studien gewählten Wirkkategorien zur Darstellung der Umweltwirkungen variieren (Verbrauch fossiler Energieträger, Treibhausgasemissionen, Ozonabbau, Versauerung, Eutrophierung, Human- und Ökotoxizität etc.). Häufig wurden einzelne Wirkkategorien, wie Eutrophierung und Versauerung nicht berücksichtigt, obwohl sie einen signifikanten Einfluss haben, insbesondere bei der Betrachtung landwirtschaftlicher Produktionssysteme und ihrer Produkte. Reine Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen müssen kritisch angesehen werden, da sie keine umfassende ökologische Analyse darstellen und wichtige Aspekte vernachlässigen. Die Entscheidungsfindung „pro oder contra“ Produkte auf Basis nachwachsender Rohstoffe kann nur erfolgen, wenn alle relevanten Wirkkategorien betrachtet wurden.

## **6.2 Fazit und Handlungsempfehlungen**

Es zeigte sich im Laufe der Analyse, dass Studien, die vollkommen unabhängig voneinander sind und das gleiche Produkt bilanzieren, kaum in Methodik und Rahmenbedingung übereinstimmen. Die Ergebnisse von Ökobilanzen sind, wie bereits erwähnt, unter anderem von den Systemgrenzen, der Wahl der Rahmenbedingungen und von den Referenzszenarien abhängig.

Bei den Energie- und Treibhausgasbilanzen konnten Bandbreiten für die betrachteten Größen durch die Vielzahl an Studien, die diese Wirkkategorien betrachten, verifizierter dargestellt werden. Angaben beispielsweise zu Toxizitätspotenzialen aber finden sich nur in wenigen Studien. Dabei handelt es sich eher um isolierte Punkt Betrachtungen, die nur für die angegebenen Rahmenbedingungen gelten und sich damit nicht verallgemeinern lassen.

Wird bei der Bewertung von Umweltwirkungen dem Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial eine höhere Priorität eingeräumt als anderen Umweltwirkungen, dann sind die Produkte auf Basis nachwachsender Rohstoffe gegenüber ihren fossilen Konkurrenzprodukten meist überlegen. Produkte auf Basis nachwachsender Rohstoffe verursachen in der Regel eine geringere Belastungen der Luft, aber höhere Boden- und Wasserbelastungen als ihre Konkurrenzprodukte auf fossiler Rohstoffbasis.

Insbesondere wegen der Stickstoffemissionen (N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), die im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Produktion (Anwendung von Düngern) von Biomasse entstehen, fällt der Vergleich zwischen nachwachsenden und nicht nachwachsenden Rohstoffen sowohl für die Versauerung, als auch für Eutrophierung qualitativ tendenziell zu Gunsten der fossilen Rohstoffe aus. Das trifft selbst dann zu, wenn verschiedene Bilanzie-

rungsarten für die Eutrophierung (aquatisch und terrestrisch, über wasser- und luftgetragene Emissionen) Verwendung finden.

Grundsätzlich gilt damit für den Anbau nachwachsender Rohstoffe dasselbe, was für die gesamte Landwirtschaft gilt. Der Energie- und Stoffdurchsatz (Betriebsmittel, Dünger, Pflanzenschutz- und -behandlungsmittel) und seine Umweltauswirkungen muss kritisch untersucht werden, um vor allen Dingen das Eutrophierungs- und Versauerungspotenzial zu reduzieren.

Die Analyse hat gezeigt, dass Produkte, die ganz oder z.T. aus landwirtschaftlichen Reststoffen oder Nebenprodukten hergestellt sind, deutlich günstiger abschneiden, da ein großer Teil der negativen Umweltwirkungen dem Hauptprodukt angelastet werden kann (Allokation).

Es sollte beachtet werden, dass der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen in technischen und verbrauchernahen Produkten immer auch den zusätzlichen Einsatz nichterneuerbarer Ressourcen erfordert. Mit Blick auf den gesamten Lebenszyklus kann im konkreten Fall der Bedarf an nicht erneuerbaren Ressourcen höher sein als der Bedarf eines vergleichbaren petrochemischen Produkts. Die Einsparung von Ressourcen durch Einsatz erneuerbarer Rohstoffe wird nur erreicht, wenn das System sorgfältig optimiert wird.

Viele der betrachteten Studien zeigen, dass in der Gestaltung der Produktionsverfahren aber noch große Umweltentlastungspotenziale liegen.

Grundsätzlich sollte in einer Umweltbewertungsstudie **der gesamte Lebensweg** betrachtet werden. Wird der Lebensweg der nawaRo-Produkte nicht vollständig betrachtet, bleiben Vorteile, die oft erst in der Nutzungsphase oder im „End-of-Life“ zum Tragen kommen, unberücksichtigt.

Die Untersuchung von Umweltwirkungen durch Ökobilanzen sollte gezielter erfolgen. Eine Möglichkeit ist eine Vereinheitlichung der untersuchten Wirkkategorien und der angewandten Bewertungsmethode für spezifische Produktgruppen. Die Größe Flächenverbrauch bzw. Flächenbelegung wird in zunehmendem Maße wichtig und sollte ebenfalls in zukünftigen Umweltbewertungen mit betrachtet werden.

Die Einbindung von fachkundigen Akteuren entlang des gesamten Lebensweges bei der Erstellung der Sachbilanz einer Umweltbewertung garantiert die Berücksichtigung aller Input und Outputströme und führt zu einer zuverlässigen Datenbasis.

Sofern im Rahmen von Geheimhaltungsaufgaben möglich, sollte die Veröffentlichung von Sachbilanzdaten forciert werden, da diese die Basis für Vergleiche darstellen.

Förderprogramme für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen sollten an Umweltwirkungen festgemacht werden. Die Einhaltung von Mindestvorgaben bzw. Mindestanforderungen in verschiedenen Wirkkategorien werden langfristig zu einer Umweltentlastung beitragen.

### 6.3 Zusammenfassung

Landwirtschaftliche Rohstoffe kommen als Nahrungsquelle, Rohstoffquelle für Energieträger und als Produkte im Rahmen der stofflich, industriellen Nutzung in Betracht. Durch eine zu erwartende Nutzungskonkurrenz der stofflichen bzw. energetischen Nutzung um Rohstoffe und Anbauflächen der Nahrungs- und Futtermittelproduktion ist es für die Einordnung der



künftigen Nutzung unumgänglich, die Umweltauswirkungen des Anbaus und der Produktion nachwachsender Rohstoffe zu analysieren und zu bewerten.

Die vorliegende Studie „Auswertung von Studien zur ökologischen Betrachtung von nachwachsenden Rohstoffen bei einer stofflichen Nutzung“ gibt einen Überblick über vorhandene Studien zum Thema der ökologischen Auswirkungen nachwachsender Rohstoffe bei einer stofflichen Nutzung. Die 156 erfassten Studien wurden zunächst nach ihrer Qualität, dann nach ihrer Produktlinien-Zugehörigkeit eingestuft und analysiert sowie abschließend die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefasst.

Zur Gewährleistung einer möglichst hohen Vergleichsebene wurde ein Schwerpunkt auf die Analyse von Ökobilanz-Studien nach DIN ISO 14040 und 14044 gelegt. Mit dieser Norm ist ein Rahmen für eine einheitliche Vorgehensweise bei Umweltbetrachtungen gegeben, der eine Vergleichbarkeit weitestgehend gewährleisten soll.

Im Verlauf der Analyse zeigte sich jedoch, dass dies nur eingeschränkt eine ausreichende Basis für eine Vergleichsanalyse bedeutet. Die untersuchten Studien besitzen ihre Gültigkeit und Rechtfertigung innerhalb der ihnen zugrunde gelegten Systemgrenzen bzw. Rahmenbedingungen. Die Analyse kommt aber zu dem Ergebnis, dass ein Vergleich zwischen Studien mit unterschiedlichen funktionellen Einheiten und Systemgrenzen, mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen (Systemeigenschaften, Umgang mit Kuppelprodukten und Wahl des Referenzsystems) und mit unterschiedlich gewählten Bewertungsmethoden und dargestellten Wirkkategorien nur schwer möglich und wenig aussagekräftig ist. Somit ist die direkte Vergleichbarkeit der Studien fast nie gegeben.

Die Grenzen des Vergleichs konnten aufgezeigt und somit Lücken identifiziert werden. Aufgrund der genannten Grenzen des Vergleichs ist eine Umrechnung oder Nachmodellierung der Ergebnisse aus den Literaturstudien nur, wenn überhaupt, mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich. Eine in den meisten Fällen nicht hinreichende Verfügbarkeit an Basisdaten machte das Schließen von Datenlücken nahezu unmöglich. Nur in Einzelfällen und vor allen Dingen bei den Energie- und Treibhausgasbilanzen konnten die Ergebnisse der Studien miteinander verglichen werden und Bandbreiten für die betrachteten Größen abgeleitet werden.

Für die stoffliche Nutzung von Biomasse gibt es vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Ausschlaggebend für die Nutzung sind oft auch die spezifischen Eigenschaften der Materialien und die damit verbundenen Anforderungen an die Produkte, wobei der ökologische Gedanke nicht immer im Vordergrund steht.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass nachwachsende Rohstoffe in der Regel einen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen leisten, aber der Anbau durch z.B. großen Flächenverbrauch und die intensive Landwirtschaft durch Versauerung und Eutrophierung geprägt sind. Hinsichtlich des Energieverbrauchs sind durch die stoffliche Nutzung nachwachsender Rohstoffe Einsparungen bei nicht-regenerativen Energieträgern möglich, nicht aber grundsätzlich der Fall.

Notwendig für eine positive Umweltbilanz der Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen ist die nachhaltige Ausrichtung der Landwirtschaft. Zur Beurteilung verschiedener wirtschaftlich interessanter Ökobilanzoptionen im Bereich der stofflichen Nutzung bei nachwachsenden Rohstoffen sind jedoch noch ergänzende Analysen notwendig.

## 7 Literaturverzeichnis

- BAFU 1984 Bundesamt für Umweltschutz (BUS; BUWAL heute BAFU), Hrsg.: Ökobilanzen von Packstoffe, SchrR Umweltschutz, BUS-24 Bern 1984
- BMELV 2007 BMELV: Nachwachsende Rohstoffe. Umweltschonende Alternativen vom Acker und aus dem Wald. [http://www.bmelv.de/cln\\_045/nn\\_1021300/DE/081-NachwachsendeRohstoffe/NaWaRoInnovationenAusAckerUndWald.html\\_\\_nnn=true](http://www.bmelv.de/cln_045/nn_1021300/DE/081-NachwachsendeRohstoffe/NaWaRoInnovationenAusAckerUndWald.html__nnn=true), 2007
- CARMEN 2007 CARMEN (2007): <http://www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/nawaros.html>
- CARUS 2007 Carus, M.: Rohstoffwende im Aufwind; Nova Institut GmbH, Vortrag beim 10 Symposium „Nachwachsende Rohstoffe für die Chemie“ [http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/10symposium/vortrag/Carus\\_Rohstoffwende.pdf](http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/10symposium/vortrag/Carus_Rohstoffwende.pdf) und der Begleittext zur Präsentation: <http://www.rohstoffwende.de/pdf/06-09RohstoffwendeText.pdf>, 2007
- DIN EN ISO 14040 2006 DIN EN ISO 14040; Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen; 2006
- DIN EN ISO 14044 2006 DIN EN ISO 14044, Environmental Management – Life Cycle Assessment, 2006
- FAO 2005 FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), [www.fao.org](http://www.fao.org)
- FLEISCHER 1995 Fleischer G.: Ökobilanz - ein Instrument zur objektiven Bestimmung der ökologisch günstigeren Entsorgungsvariante. TU Berlin, 1995
- FNR 2007 FNR: <http://www.fnr.de/cms35/index.php?id=272>, 2007
- FNR 2007\_1 FNR: Nachwachsende Rohstoffe - alter Hut auf neuen Köpfen, Definition nachwachsende Rohstoffe. <http://www.fnr.de/>, 2007
- FRANK 1984 Frank M.: Umweltauswirkungen durch Getränkeverpackungen. Systematik zur Ermittlung von Umweltauswirkungen von komplexen Prozessen am Beispiel von Einweg- und Mehrweg-Getränkebehältern. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin, 1984
- GABI 2003 GaBi 4: Software und Datenbank zur Ganzheitlichen Bilanzierung. IKP, Universität Stuttgart und PE Europe GmbH, Leinfelden-Echterdingen, April 2003.“
- HABERSATTER 1991 Habersatter K.: Ökobilanz von Packstoffen - Stand 1990. Hrsg.: Bundesamt für Umweltschutz, Wald und Landschaft (BUWAL), Schriftenreihe Umwelt Nr. 132 (BUWAL-132), Bern 1991
- HAGEDORN 1992 Hagedorn G., Mauch W., Schäfer H.: Der kumulierte Energieaufwand - Neue, erweiterte Definition. Energiewirtsch. Tagesfragen 42, (8), 1992
- KAISER 1998 T. Kaiser, W. Scharz, M. Frost: Einträge von Stoffen in Böden – eine Abschätzung des Gefährdungspotenzials, Teil 7-9, Forschungsvorhaben der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft im Auftrag des Umweltbundesamtes, Logos Verlag, Berlin, 1998
- MANN 1998 Mann, S.: Nachwachsende Rohstoffe, Stuttgart, 1998 (ISBN 3800141264)



- MENRAD 2007 Menrad, K.: Stoffliche Nutzung Nachwachsender Rohstoffe - Markt und Verbraucherakzeptanz. Hrsg.: Wissenschaftszentrum Straubing, [http://www.carmen-ev.de/dt/portrait/symposien/abstracts06/3\\_Menrad.pdf](http://www.carmen-ev.de/dt/portrait/symposien/abstracts06/3_Menrad.pdf)
- MEO 2006 Schmitz, N.: Marktanalyse nachwachsender Rohstoffe“ ;erstellt von der meó Consulting für die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2006
- MÜSSIG 1998 Müssig, J.: Baumwolle. Leitfaden Nachwachsende Rohstoffe: Anbau - Verarbeitung - Produkte. KATALYSE Institut für angewandte Umweltforschung (Hrsg.). C.F.Mueller Verlag, Huethig GmbH, Heidelberg, 1998
- RÄBIGER 2007 Haase C., Rübiger N.: Umweltrelevante Schwachstellenanalyse von Produktionsprozessen zur Offenlegung von Wertschöpfungspotentialen, Institut für Umweltverfahrenstechnik, Universität Bremen, 2007  
<http://www.iuv.uni-bremen.de/publikationen/haase/preprint99.htm>
- RATIOPHARM 2004 Anfrage von PE Europe GmbH bei ratiopharm, persönliche Mitteilung, 2004
- SETAC 1993 SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry): Guidelines for Life-cycle Assessment: A "Code of Practice". From the SETAC Workshop held at Sesimbra, Portugal, 31.3.-3.4.1993, Edition 1, August 1993
- THEISSEN 2005 Theissen, H.: Bioschmierstoffe im Forst, Fachagentur nachwachsende rohstoffe, 2005
- VORHER 2007 Vorher, W.: Rohholzmanagement in Deutschland. Impulsreferat Holzwirtschaft. DHWR. Hannover, 2007
- WEGENER 2006 Wegener, J.-K. (2006): Treibhausgas-Emissionen in der deutschen Landwirtschaft – Herkunft und technische Minderungspotenziale unter besonderer Berücksichtigung von Biogas, Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen

## 8 Anhang

Die Anhänge A, B und C befinden sich in einem separaten Dokument.

- Anhang A ist die ausführliche Darstellung aller im Rahmen dieser Untersuchung selektierten und ausgewerteten Studien zur ökologischen Betrachtung von nachwachsenden Rohstoffen bei einer stofflichen Nutzung.
- Anhang B liefert eine übersichtliche und einfach verständliche Beschreibung zum Verständnis der in der Regel zu Umweltbewertungen herangezogenen Auswertegrößen bzw. Wirkkategorien, wie Primärenergieverbrauch, Treibhauspotenzial (GWP), Versauerungspotenzial (AP), Eutrophierungspotenzial (EP), Photooxidantienbildung (POCP), Ozonabbau (ODP) und Toxizitäten.
- Anhang C gibt einen Überblick über die gängigsten Bewertungsmethoden zur Einschätzung von Umweltwirkungen.

