



Gebirgsholz – Wald ohne Grenzen Ökologische Gesamtbewertung



Durchgeführt am Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften – AB Holzbau
Projektleitung: Ass.-Prof. Dr. Anton Kraler
Projektbearbeitung: Ass.-Prof. Dr. Anton Kraler, DI Verena Krismer, DI Georg Wieland



pro:Holz

Tirol

Holz**information**
Holz**cluster**
Holz**baulehrstuhl**

Gebirgsholz – Wald ohne Grenzen

Ökologische Gesamtbewertung

Tiroler Gebirgsholz - Niederbayernholz

Autoren:

Anton Kraler, Verena Krismer, Georg Wieland

Dezember 2011

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	5
1.1. Problemstellung und Zielsetzung.....	6
1.2. Vorgehensweise	7

2. Methodische Grundlagen	9
2.1. Allgemeine Grundlagen	9
2.2. Zieldefinition.....	10
2.3. Vorgehensweise bei der Sachbilanz und der Systemmodellierung	10
2.4. Wirkungsabschätzung.....	11
2.5. Auswertung.....	14
3. Ökobilanzierung in der Holzwirtschaft	16
3.1. Modularer Aufbau des Lebensweges.....	16
3.2. Bilanz der Forstwirtschaft.....	17
3.3. Negative und positive Wirkungen der Holznutzung	22
3.4. Behandlung der Problematik der Kuppelproduktion.....	22
3.5. Entsorgung von Holzabfällen und Holzprodukten nach Gebrauch.....	23
4. Ökobilanzierung Gebirgsholz	23
4.1. Zieldefinition.....	23
4.2. Sachbilanz	26
4.3. Wirkungsabschätzung.....	36
4.4. Auswertung.....	50
5. Ökobilanzierung Tieflagenholz	55
5.1. Zieldefinition.....	55
5.2. Sachbilanz	56
5.3. Wirkungsabschätzung.....	62
5.4. Auswertung.....	71
6. Bewertung und Diskussion der Ergebnisse.....	75
7. Sensitivitätsanalyse	77
8. Vergleich mit ecoinvent Holzdatensätzen.....	78
9. Zusammenfassung - Schlussfolgerung	79
10. Fallstudie	80
10.1. Eingabedaten Brettstapeldecke und Stahlbetondecke	80
10.2. Auswertung Brettstapeldecke u. Stahlbetondecke in m ³	84
10.3. Vergleich Brettstapeldecke und Stahlbetondecke in m ²	89
10.4. Vergleich Brettschichtholzträger und Stahlträger	91
10.5. Grafische Darstellung Brettstapel.- u. Stahlbetondecke	92
10.6. PKW-Durchschnittsflotte 2010	94
10.7. OI3-Indikator des Österreichischen Instituts für Bauen und Ökologie	96
Gesamtheitliche Betrachtung	100
11. Ausblick	100
12. Abkürzungsverzeichnis	101

13.	Abbildungsverzeichnis.....	101
14.	Tabellenverzeichnis.....	103
15.	Literaturverzeichnis	105
16.	Anhang.....	107
16.1.	Schlagbettbeschreibung Gebirgsholz – Tirol.....	107
16.2.	Schlagbettbeschreibung Tieflagenholz – Niederbayern	108
17.	Impressum.....	110

1. Einleitung

Die Ausgangssituation für das Arbeitspaket „Ökobilanzielle Betrachtung“ sind unter anderem die besonderen Eigenschaften und Großteils noch unbekanntes Potenziale des Gebirgsholzes. Im Projektantrag ist der Projektanlass bzw. die dem Projekt zugrunde liegende Problemstellung wie folgt formuliert.¹

Die Qualitäten und Eigenschaften von Holz sind in hohem Maße von der Herkunft und von den jeweiligen Standortverhältnissen, Wuchsbedingungen und waldbaulichen Maßnahmen abhängig. Die derzeit noch unbekanntes Potenziale wie z.B. die Bearbeitungsprozesse für Rundholz finden oft wenig Beachtung und verursachen bei der maschinellen Holzsortierung und der Garantie der Festigkeitsklassen Probleme. Höchste Qualität wird auch von Architekten, Zimmerern und Holzbauingenieuren gefordert, die Gebirgsholz für schlanke, ästhetische Konstruktionen einsetzen können. Weiters erhoffen sich auch kleine Holzverarbeitende Betriebe durch neues, derzeit großteils auf Erfahrungswerte beruhendes Know-how den Markt „Gebirgsholz“ mit wertsteigernden Nischenprodukten zu besetzen. Da Gebirgsholz aus lokalen Waldflächen bezogen werden kann, profitieren neben der Holzwirtschaft letztendlich auch die Umwelt und der Konsument. Es liegen auch noch Defizite in Bezug auf die ökologische Gesamtbetrachtung insbesondere die Ökobilanz von Gebirgshölzern vor. Eine umfassende Bewertung heimischer Gebirgshölzer, von der Waldnutzung bis zum Endprodukt, als systematische Analyse der Umwelteinwirkungen während des gesamten Lebenszyklus (LCA) besteht derzeit noch nicht.

Das Arbeitspaket 2 des Projektantrages beinhaltet folgende zentrale Tätigkeiten²:

- Literaturrecherche bezüglich bestehender Ökobilanzungen und ökologischer Gesamtbetrachtungen betreffend einzelner schon untersuchter Anwendungsgebiete
- Definition Anforderungen Gebirgsholz (Herkunft, Beschaffungsmöglichkeit)
- Definition der gesamten erweiterten Umwelteinflüsse (direkte Einflüsse bei Verarbeitung, Transport, Weiterverarbeitung, jedoch auch indirekte Einflüsse durch die Bewirtschaftung der Waldflächen [genutzte Holzmengen sind CO₂ – senkend, genutzte Waldflächen werden mit Jungpflanzen naturverjüngt oder aufgeforstet die wiederum CO₂ aufnehmen]), der sozialen Folgen im ländlichen

¹ Entnommen aus dem Projektantrag Versione finale – Einreichversion, Seite 3 Ausgangssituation

² Entnommen aus dem Projektantrag Versione finale – Einreichversion, Seite 16 ff Aktivitäten

Gebiet und deren Umwelteinwirkungen (Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen bilden Ökotope zum Wald)

- Koordinierung möglicher Vorschläge der Universität mit Forderungen der Realwirtschaft
- Definition eines Produktbereiches (z.B. Holzbau) wo eine Erstellung eines neuartigen Öko – Bewertungsmodells durchgeführt wird
- Integration einer definierten Arbeitsgruppe (Cluster, Uni, Unternehmer) zur Valuation des ausgearbeiteten Bewertungsmodells
- Fallbeispiel: Definition und Berechnung
- Definition der erhaltenen Kriterien aus Ökobilanz für eine mögliche zukünftige Ökozertifizierung der Holzverarbeitenden Betriebe
- Ableiten möglicher Kooperationsmodelle zur Ökozertifizierung

1.1. Problemstellung und Zielsetzung

Ökobilanzen sind Instrumente zur Abschätzung der Umwelteinwirkungen entlang des Lebensweges eines Produktes. Sie haben die Aufgabe, die mit Produkten in Verbindung stehenden Wirkungen auf die Umwelt zu erfassen, transparent aufzuarbeiten und zu bewerten.³

Die Problemstellungen bzw. konkreten Ziele des Projektes bezogen auf den Baustein Ökobilanz werden lt. Projektantrag im Wesentlichen mit folgenden Punkten definiert⁴:

- Durch Datenanalyse bestehende Informationsdefizite im Bereich von Gebirgsholz erkennbar machen, zu thematisieren und vorhandenes Erfahrungswissen durch wissenschaftliche Erkenntnis kritisch zu hinterfragen.
- Die Informationslücken durch wissenschaftliche Holzforschung zu schließen und in Form konkreter Handlungsempfehlungen (Daten und Fakten) für die Holzver- und bearbeitende Wirtschaft bereitzustellen. Die Forschung dient auch zum Aufbau fundierter wissenschaftlicher Grundlagen als Basis für Vermarktung, Holzeigenschaften, Ökobilanzen, etc.

³ Vgl.

Ökologische Bewertung von Holzwerkstoffen, Schlussbericht, März 2010, Prof. Dr. A. Frühwald, Dr. M. Scharai - Rad, Dipl.-Holzwirt J. Hasch

⁴ Entnommen aus dem Projektantrag Versione finale – Einreichversion, Seite 4 konkrete Ziele

- Entwicklung einer Ökobilanz über den gesamten Lebenszyklus von Gebirgsholz. Konkretes Ziel des Teilbereiches ist es, die Grundlagen für ein praxismgerechtes Modell zu erarbeiten, welches für unterschiedliche Bauarten die entsprechende Ökobilanz berechnet.

1.2. Vorgehensweise

Ausgehend von einer ausgedehnten Literaturrecherche (siehe Punkt 10 Literaturverzeichnis) und einer konkreten Definition der Anforderungen an das Gebirgs- bzw. Tieflagenholz werden die Definitionen der gesamten erweiterten Umwelteinflüsse (soweit diese nicht durch die Schlagbettbeschreibung gegeben sind) mittels einer detaillierten Datenerhebung (Befragungen, bereits bestehende Datensätze, Erfahrungswerte, etc.) erfasst.

Für die Erstellung einer Ökobilanz wird auf die Software SIMAPRO (siehe Abbildung 1) und die Produktdatenbank ecoinvent (siehe Abbildung 2) zurückgegriffen.

Die Grundlagen für ein praxismgerechtes Modell bilden einerseits die Datenerhebung (Eingabedaten) für das Gebirgs- bzw. Tieflagenholz und andererseits der Einsatz des Softwareprogramms SimaPro.

Version Datenbank: **ecoinvent Data v2.0**

Version Software: **SimaPro7.1**

Nachfolgend werden die Eckdaten der beiden Fallbeispiele „Tiroler Gebirgsholz“ und „Tieflagenholz (Niederbayern Holz)“ und die bekannten Kenngrößen eingegeben. Fehlende Parameter werden systematisch erhoben, dokumentiert und mit Hilfe eines Fragenkataloges an die betreffenden Stellen zur Bearbeitung und Beantwortung weitergeleitet. Die daraus erhaltenen Daten werden wiederum in das Bewertungsschema aufgenommen und in das Software Programm SimaPro eingegeben.



Abbildung 1: ecoinvent Datenbank; Quelle: <http://www.ecoinvent.ch/>



Abbildung 2: Software Sima Pro; Quelle: <http://www.pre.nl/download/manuals/SimaPro7Tutorial.pdf>

2. Methodische Grundlagen

2.1. Allgemeine Grundlagen

Mit dem normierten Verfahren der Ökobilanzierung werden potentielle Umweltwirkungen während des gesamten Lebensweges eines Produktes abgeschätzt. Dabei gelten die internationalen Normen ÖNORM EN ISO 14040 und ÖNORM EN ISO 14044. Danach gliedert sich eine Ökobilanz in vier Teile (Abbildung 4).

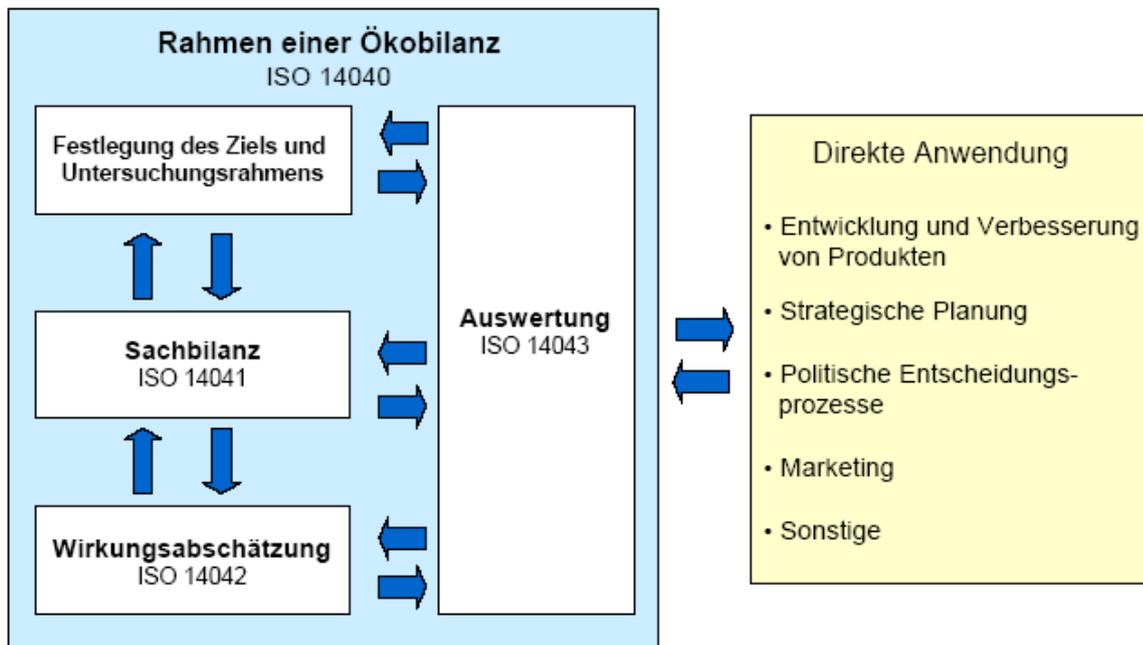


Abbildung 3: Elemente einer Ökobilanz nach ÖNORM EN ISO 14040 ff. und Anwendungsfelder für das Instrumentarium nach ÖNORM EN ISO 14040.

Im ersten Schritt werden der Umfang der Untersuchung und die daraus resultierenden Systemgrenzen festgelegt. In einem weiteren Schritt wird eine Sachbilanz erstellt. Es werden alle relevanten Stoff- und Energieflüsse, die in das System eingehen und das System verlassen, erfasst. Die Sachbilanz dient als Grundlage für die Wirkungsabschätzung, die in einem dritten Schritt durchgeführt wird. Dabei werden die Ergebnisse der Sachbilanz nach ihren unterschiedlichen Wirkungen auf die Umwelt zu Wirkungskategorien zusammengefasst. Die einzelnen Stoffe werden gemäß ihrem Schädigungspotential gewichtet und zu einem gemeinsamen Wirkungsindikator zusammengefasst. Zumeist werden in Ökobilanzstudien folgende Wirkungskategorien betrachtet:

- Treibhauspotential
- Versauerungspotential
- Eutrophierungspotential
- photochemisches Oxidantienbildungspotential
- Ozonabbaupotential
- Ökotoxizität
- Humantoxizität

Im vierten und letzten Schritt einer Ökobilanz erfolgen die Analyse und Auswertung der Bilanzergebnisse und daraus abzuleitende Schlussfolgerungen oder Empfehlungen.⁵

2.2. Zieldefinition

Wichtige Aspekte, die innerhalb der Zieldefinition konkretisiert werden, sind die Formulierung des Erkenntnisinteresses sowie die Festlegung der funktionellen Einheit und der Systemgrenzen.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die ökologische Betrachtung von Gebirgs- und Tieflagen- (Niederbayern) Holz unter Berücksichtigung der Lebensabschnitte von der forstlichen Produktion, dem Transport bis zu der Schnittstelle Sägewerk.

Es werden die erforderlichen Produktionsketten und deren Auswirkungen auf die Umwelt sowie die resultierenden ökologischen Potenziale aufgezeigt.

Weiteres Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtung vom Gebirgsholz Unternehmen und Holzver- und bearbeitenden Betrieben bereit zu stellen und die positiven Auswirkungen auf die Umwelt sowie besonders die regionale Wertschöpfung im Vergleich zu auswertigen Produkten aufzuzeigen, um so auch einen Beitrag für die lokale Produktion zu leisten und lokale Standorte zu stärken.

2.3. Vorgehensweise bei der Sachbilanz und der Systemmodellierung

Die Erstellung der Sachbilanz beinhaltet das Sammeln, die Ableitung und die Aufbereitung prozessspezifischer In- und Outputdaten, die System- und Prozessmodellierung sowie die Berechnung der Sachbilanzergebnisse. Letztere quantifizieren Input- und Output-Ströme des Gesamtsystems oder spezifischer Teil- und

⁵ Entnommen aus Arbeitsbericht; Ökobilanzierung der Holzproduktion im Kurzumtrieb, Anne Rödl - Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, UNI Hamburg, Nr. 03/2008

Äquivalenzsysteme. Die Sachbilanzergebnisse sind wiederum Grundlage für die Wirkungsabschätzung und die Auswertung.

Der Aufbau des Ökobilanzmodells erfolgte in Modulen, die wiederum in Submodule gegliedert sind. Dadurch können die Ergebnisse der einzelnen Teilschritte genau erfasst und analysiert werden. Die verschiedenen Einstellungen können für jedes Modul individuell angepasst und verändert werden.⁶

Die Sachbilanz umfasst:⁷

- 1.) Den gesamten Lebensweg der Produkte: der Rohstofferschließung und Aufbereitung, Produktion und Weiterverarbeitung, Distribution, Transport, Gebrauch, Verbrauch und Nutzungsdauer sowie die Entsorgung einschließlich das Recycling.
- 2.) Die Feststellung der mit dem Lebensweg verbundenen (negativen und positiven) Beeinflussungen auf die Umwelt durch Fluss- und/oder Bestandsgrößen, z.B. Luft-, Wasser- und Bodenbelastungen durch Schadstoffe, Verbrauch an Rohstoffen, Energieträgern, Wasser, Hilfs- und Betriebsstoffen, Flächenbeanspruchung sowie Lärm- und Abfallbelastungen.

2.4. Wirkungsabschätzung

2.4.1. Vorgehensweise

Neben Zieldefinition und Sachbilanz ist die Wirkungsabschätzung der dritte Baustein einer Ökobilanz. Im Rahmen der Wirkungsabschätzung werden die umfangreichen Ergebnisse der Sachbilanz komprimiert und für die Auswertung vorbereitet. Dazu werden die **Sachbilanzergebnisse** soweit wie möglich (potentiellen) **Umweltwirkungen zugeordnet** und innerhalb dieser Wirkungskategorien zu aggregierten Werten verrechnet.

Die Wirkungsbilanz ist die Beschreibung der Wirkungspotentiale der in der Sachbilanz ermittelten Fluss- und Bestandsgrößen sowie die Abschätzung der möglichen Einflüsse auf ausgewählte globale, regionale und lokale ökologische Wirkungen. Die Wirkungsbilanz wird umso vollständiger je genauer und detaillierter die Sachbilanz ist.⁸

⁶ Entnommen aus Arbeitsbericht; Ökobilanzierung der Holzproduktion im Kurzumtrieb, Anne Rödl - Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, UNI Hamburg, Nr. 03/2008

⁷ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

Zumeist werden folgende Wirkungskategorien betrachtet:

- Treibhauspotential
- Versauerungspotential
- Eutrophierungspotential
- photochemisches Oxidantienbildungspotential
- Ozonabbaupotential
- Ökotoxizität
- Humantoxizität

2.4.2. Verbindliche Bestandteile

- Auswahl von Wirkungskategorien (z.B. Klimaänderung), Wirkungsindikatoren (Verstärkung UV) und Charakterisierungsmodellen



- Zuordnung der Sachbilanzergebnisse (Klassifizierung) zu Wirkungskategorien (z.B. Emissionen von Treibhausgasen zu Klimaänderung)



- Berechnung der Wirkungsindikatorergebnisse (Charakterisierung)

2.4.2.1. Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodellen

Der Wirkungsindikator kann frei zwischen den Sachbilanzergebnissen und Wirkungsendpunkten entlang des gesamten Umweltwirkungsmechanismus gewählt werden.

Anforderungen an die oben erwähnte Auswahl:

- in Übereinstimmung mit Ziel der Studie
- Angabe der Quellen
- Begründung der Auswahl
- Treffende Namen für Kategorien etc.
- Beschreibung des Umweltmechanismus
- Auswahl sollte möglichst wenig auf Werthaltungen etc. beruhen
- Wirkungsindikatoren sollten umweltrelevant sein

⁸ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

Andere Sachbilanzergebnisse müssen identifiziert und ihre Beziehung zu den entsprechenden Wirkungsindikatoren muss bestimmt werden. Die Umweltrelevanz des Wirkungsindikators sollte zumindest qualitativ zu beschreiben sein, inkl. Zustand des Wirkungsendpunktes, geschätzte Änderungen des Wirkungsendpunktes, räumliche und zeitliche Aspekte, Umkehrbarkeit etc.

2.4.2.2. Klassifizierung

Es erfolgt eine Zuordnung der Sachbilanzergebnisse in Wirkungskategorien.

- Zuordnung von Sachbilanzergebnissen ausschließlich in eine einzige Wirkungskategorie
- Identifizierung der Sachbilanzergebnisse, die sich auf mehr als eine Wirkungskategorie beziehen (parallele und serielle Mechanismen)

Wirkungskategorie	Einheit
Treibhauseffekt	[kg CO ₂ -Äquivalente]
Naturraumbeanspruchung	Natürlichkeitsklassen
Stratosphärischer Ozonabbau	[kg R11-Äquivalente]
Versauerung	[kg SO ₂ -Äquivalente]
Terrestrische Eutrophierung	[kg PO ₄ -Äquivalente]
Aquatische Eutrophierung	[kg PO ₄ -Äquivalente]
Ressourcenbeanspruchung	[kJ] KEA gesamt
Photochemische Oxidantienbildung (Sommersmog)	[kg Ethen-Äquivalente]
Potenzielle direkte Humantoxizität	keine Aggregation, Angabe jeweils in kg
Potenzielle direkte Schädigung von Ökosystemen	keine Aggregation, Angabe jeweils in kg

Tabelle 1: Wirkungskategorien nach Vorschlag des Umweltbundesamtes [UBA 2000].

2.4.2.3. Charakterisierung

Die Charakterisierung ist die Quantifizierung bzw. Operationalisierung der Wirkungskategorien bezogen auf die funktionelle Einheit des untersuchten Produktes bzw. Systems. Es werden drei Hauptwirkungskategorien genannt.

1. Ressourcenbeanspruchung

- Energie
- Materialien
- Wasser
- Land

2. Gesundheitliche Wirkungen auf den Menschen

- Toxikologische Wirkungen
- Nicht-Toxikologische Wirkungen
- Gesundheitliche Wirkungen am Arbeitsplatz

3. Ökologische Wirkungen

- Globale Erwärmung
- Ozonabbau
- Versauerung von Boden und Wasser
- Eutrophierung
- Bildung von Photooxidantien
- Umwelttoxikologische Wirkungen

2.5. Auswertung

2.5.1. Identifizierung signifikanter Parameter

Signifikante Parameter können sein:

- Datenkategorien der Sachbilanz wie Energieverbrauch, Abfall etc.
- Wirkungskategorien wie Erderwärmungspotential etc.
- Einzelne Module wie Transport

Wichtig ist eine Strukturierung der Daten entweder nach dem Lebenswegabschnitt (Herstellung, Gebrauch, Recycling etc.), nach Prozessgruppen (Transport, Energieversorgung etc.), nach Prozessen, die unterschiedlich beeinflusst werden können (intern, extern) oder nach Modulen (höchst mögliche Auflösung).

Methoden für die Anwendung:

- Beitragsanalyse: Beiträge der Lebenswegabschnitte oder Prozessgruppen zum Gesamtergebnis (%)
- Dominanzanalyse: quantitative oder qualitative Rangbildung (z.B. ABC-Analyse) mit Hilfe statistischer Methoden oder anderer Verfahren
- Einflussanalyse: Untersuchung der Möglichkeit des Einflusses umweltrelevanter Parameter
- Anomalieeinschätzung: Beobachtung ungewöhnlicher oder überraschender Abweichungen

2.5.2. Beurteilung

2.5.2.1. Vollständigkeitsprüfung

Prüfung auf Vollständigkeit der Informationen, falls Infos fehlen, müssen die Sachbilanz und/oder Wirkungsabschätzung überarbeitet werden oder das Ziel oder der Untersuchungsrahmen angepasst werden

2.5.3. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Zielgruppe

2.5.4. Bericht

wie angegeben lt. ÖNORM EN ISO 14040; eine hohe Transparenz wird angestrebt.

2.5.5. Kritische Prüfung

muss gemacht werden, wenn die Studie vergleichende Aussagen beinhaltet (siehe ÖNORM EN ISO 14040).

3. Ökobilanzierung in der Holzwirtschaft

3.1. Modularer Aufbau des Lebensweges

Der Lebensweg von Produkten beginnt mit der Produktion bzw. Gewinnung der Rohstoffe und Energieträger und endet mit der Entsorgung der gebrauchten Produkte. Je nach Art und Verwendung eines Produktes sowie der Möglichkeiten der Wieder- bzw. Weiterverwendung oder Verwertung besteht der Lebensweg aus unterschiedlichen Lebenswegabschnitten. Der Lebensweg schließt auch alle Hilfsstoffe ein, so im Falle eines Möbels neben Holz bzw. Platten auch Lacke, Klebstoffe, Beschläge, Verpackungsmaterialien usw. Damit ist der Bilanzraum eines Produktlebensweges sehr komplex und unübersichtlich.

Die Gliederung des Lebensweges in einzelne Abschnitte⁹ so genannte Module (z.B. „Forstliche Produktion“, „Schnittholzherstellung“ etc.) ist notwendig zur Datenerfassung und macht die Ökobilanz transparenter und anpassungsfähiger. Für jedes dieser Module müssen Ökobilanzdaten erhoben werden. Dazu werden die Module weiter in Submodule untergliedert. Die Submodule umfassen einzelne Produktionsprozesse (Entrindung, Trocknung, Verleimung etc.) und bilden die kleinste Einheit in diesem Baukastenprinzip.¹⁰

⁹ Siehe Abbildung 5

¹⁰ Vgl. Informationsdienst Holz, Deutsche Gesellschaft f. Holzforschung, April 1997: Erstellung von Ökobilanzen für die Forst- und Holzwirtschaft

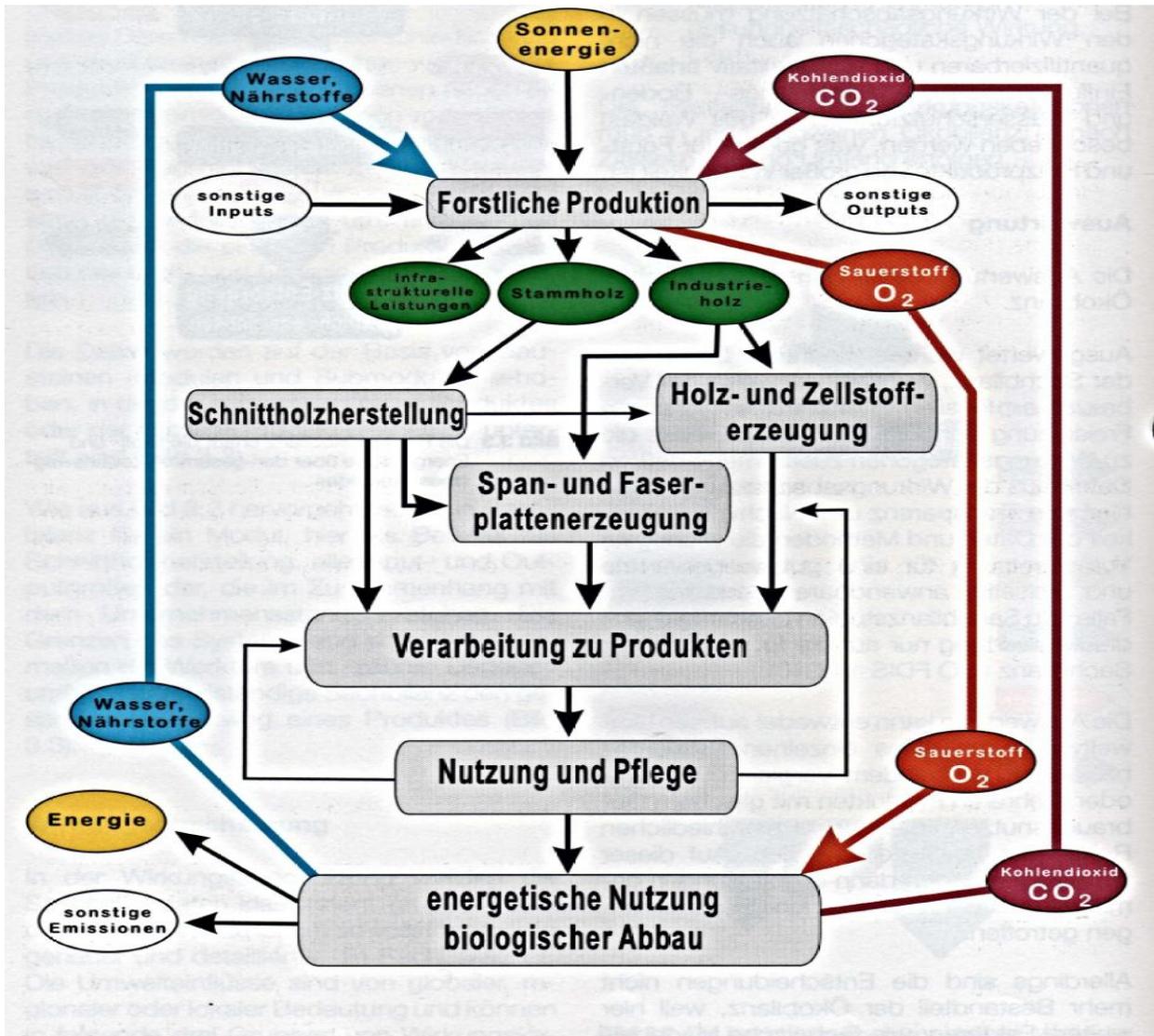
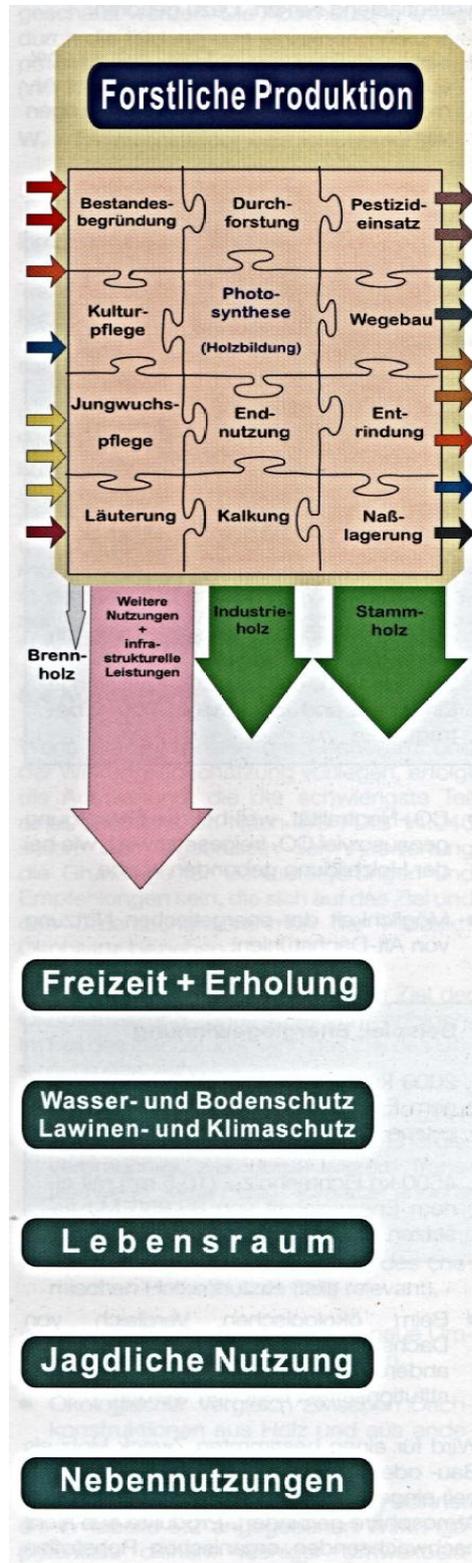


Abbildung 4: Der Lebensweg von Holzprodukten in sehr vereinfachter Form: in jeder Hinsicht ein Musterbeispiel für zukunftsfähiges Kreislaufwirtschaften[Informationsdienst Holz]

3.2. Bilanz der Forstwirtschaft

Zur Aufstellung einer Ökobilanz für einen Forstbetrieb oder eine bestimmte Art der Forst- bzw. Waldbewirtschaftung ist es notwendig, diesen Betrieb in Untereinheiten (Submodule) zu gliedern, wie es beispielhaft in Abbildung 6 dargestellt ist. Die Gliederung erfolgt so, dass möglichst für jedes dieser Submodule eine Sachbilanz erstellt werden kann.

Das wichtigste Submodul innerhalb des Moduls „Forstliche Produktion“ ist die „**Photosynthese (Holzbildung)**“¹¹. Hier werden die Input- und Outputgrößen erfasst, die direkt im Zusammenhang mit dem Aufbau von Holz durch die Bäume stehen. Anders als bei allen endlichen, nicht erneuerbaren Ressourcen, wird der Rohstoff Holz



nicht aufgebraucht, sondern wächst stetig nach. Durch diese nachhaltige Holzproduktion wird der Atmosphäre Kohlendioxid entzogen und mit Hilfe der Sonnenenergie in Kohlenhydrate und Lignin umgewandelt. Für diese Umwandlung (Photosynthese) benötigen die Bäume Wasser und es entsteht Sauerstoff, der an die Atmosphäre abgegeben wird. Holz ist zu 99% aus den drei chemischen Elementen Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff aufgebaut. Die verschiedenen Holzarten unterscheiden sich hinsichtlich dieser Zusammensetzung praktisch nicht.¹²

Die für die Synthese von Holz notwendige Energie liefert die Sonne. Die Sonnenenergie wird über die Photosynthese von Pflanzen in chemisch gebundene Energie umgewandelt. Der Energieinput, der für den Aufbau von Holz notwendig ist, wird aus methodischen Gründen dem erreichbaren Energie-Output gleichgesetzt, der durch den unteren Heizwert (H_u), ausgedrückt wird. Damit ist die Sachbilanz des Submoduls „Photosynthese (Holzbildung)“ für 99% der Holzmasse beschrieben. Für das restliche Prozent, es beinhaltet die anorganischen Bestandteile des Holzes wie die Elemente Stickstoff, Calcium, Kalium, Magnesium etc. liegen bislang keine ausreichenden Daten vor.

Abbildung 5: Das Modul „Forstliche Produktion“, der Beginn des Lebensweges aller auf Holz basierender Produkte

¹¹ Siehe Abbildung 6

¹² Vgl. Sengel, D.; Wegener, G. (1984): Wood – Chemistry, Ultra Structure, Reactions. Berlin: Walter de Gruyter Verlag: Seite 613

Wichtige Inputs für die Bilanzierung eines Forstbetriebes sind:

- Einsatz fossiler Energieträger, wie beispielsweise Dieselkraftstoff für den Betrieb von Pflanzmaschinen, Schleppern oder Harvestern und das Treibstoffgemisch für die Motorsägen, einschließlich der jeweiligen Vorketten der Energieträger.
- Einsatz regenerativer Energieträger, wie der Sonnenenergie, die zur Holzbildung notwendig ist oder „Biodiesel“ für Sägen und Maschinen, hergestellt aus nachwachsenden Rohstoffen.
- Verwendung von Wasser zur Beregnung von Rundholz bei der Nasslagerung. Neben der Wassermenge ist auch die Herkunft des Wassers von Bedeutung (Grundwasser, Oberflächenwasser).
- Erfassung der eingesetzten Betriebsstoffe, wie etwa die Menge Hydrauliköl, die ein Harvester verbraucht oder die Menge des Kettenöls für den Betrieb der Motorsäge.
- Erfassung der eingesetzten Hilfsstoffe, wie beispielsweise die Menge Kalk, die bei der Kompensationskalkung (Verhinderung der Versauerung des Bodens infolge Eintrags sauren Regens) eingesetzt wird oder die Menge der eingesetzten Pestizide.

Wichtige Outputs für die Bilanzierung eines Forstbetriebes sind:

- Die Art und Menge der erzeugten Produkte müssen möglichst genau erfasst werden.
- Wie viel Rundholz, in welcher Dimension und in welcher Qualität wurde im betrachteten Zeitraum produziert (Holzbildung) und wie viel wurde davon geerntet (Einschlagsmenge)?
- Welcher Anteil des eingeschlagenen Holzes wurde im Wald entrindet, und wie viel Rinde ist dabei als Nebenprodukt angefallen?
- Wenn ein Teil der Rinde vermarktet worden ist, ist dieser ebenfalls zu erfassen. Dieser Teil gilt bilanztechnisch als Kuppelprodukt, der nicht verkaufte Teil als Abfall.
- Emittierte Feststoffe, wie Verpackungsreste (z.B. Markierungsfarbe), Metalle oder Restmüll.
- Emissionen in flüssiger Form, wie Abwasser, Öle (Kettenöl) etc.
- Luftemissionen aus Fahrzeugen (Pflanzmaschine, Schlepper etc.) und den Motorsägen
- Lärmemissionen.

- Welche infrastrukturellen Leistungen hat der Forstbetrieb im betrachteten Zeitraum erbracht? Aufzunehmen sind hier im Besonderen die Flächenanteile, die im Rahmen einer Wald funktionsplanung erfasst wurden. Darunter fallen:
 - Waldflächen [in % der bewirtschafteten Fläche] mit besonderen Schutzfunktionen wie:
 - Bodenschutz
 - Wasserschutz
 - Lawinenschutz
 - Klimaschutz
 - Immissions- und Lärmschutz
 - Sichtschutz
 - Schutz von Infrastruktur (z.B. Verkehrswege),
 - Waldflächen mit besonderer Erholungsfunktion
 - Waldflächen mit besonderer Bedeutung für:
 - die Ökologie (Biotope)
 - das Landschaftsbild
 - Forschung und Lehre
 - Waldflächen, die nach dem Naturschutzrecht unter Schutz stehen wie:
 - Nationalparks
 - Naturschutzgebiete
 - Naturdenkmäler
 - Landschaftsschutzgebiete
 - Naturparks
 - geschützte Landschaftsteile
- Können im betrachteten Bilanzzeitraum erbrachte Inputgrößen einzelnen dieser infrastrukturellen Leistungen direkt zugerechnet werden und wenn ja welche?

Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit, also die Einheit auf die alle Bilanzdaten bezogen werden, kann für die Bilanzierung eines Forstbetriebes beispielsweise ein m³ oder eine Tonne Holz_(atro) mit oder ohne Rinde sein. Wichtig ist es, die funktionale Einheit genau zu definieren und alle Umrechnungsfaktoren, die verwendet werden, zu dokumentieren.

Datenquellen

Um alle benötigten Daten zu erheben, müssen die unterschiedlichsten zugänglichen Quellen genutzt werden.

- Daten aus der Betriebsbuchhaltung:
Die Art und Menge eingekaufter, verkaufter oder kostenpflichtig entsorgter Produkte oder Dienstleistungen können in der Regel der betrieblichen Buchhaltung entnommen werden.
- Daten aus der Produktion:
Maschinenlaufzeiten, Lärmpegelmessungen etc.
- Daten aus der Forsteinrichtung:
Zuwachs, Baumartenzusammensetzung, nutzbare Sortimente etc.
- Wenn die oben genannten Quellen nicht ausreichen, sollte auf allgemeine Daten zurückgegriffen werden.

Berechnung und Allokation

Nachdem alle Daten (Inputs und Outputs) erhoben sind, können diese auf die funktionale Einheit umgerechnet werden. Im Zuge dieser Berechnung müssen die Berechnungs- und eventuelle Schätzverfahren genau dokumentiert werden. Die Daten der Sachbilanz und damit die Umweltwirkungen werden allokiert, d.h. auf die einzelnen Kuppelprodukte (z.B. Stammholz, Industrieholz) verteilt. Für den Forstbetrieb bietet sich eine Allokation nach dem Anteil der Trockenmasse an. Eine Allokation auf die erbrachten infrastrukturellen Leistungen kann derzeit aus methodischen Gründen nicht erfolgen, wäre aber wünschenswert und methodisch sinnvoll.

Wesentliche Wirkungskategorien

Für die „Forstliche Produktion“ ist neben den Wirkungskategorien

- des Primärenergieverbrauches, getrennt nach fossilen und erneuerbaren Energieträgern
- dem Beitrag zum Treibhauseffekt (GWP)
- vor allem die Frage nach der Naturraumbeanspruchung

in Betracht zu ziehen.

3.3. Negative und positive Wirkungen der Holznutzung

Es wird in der Methodik der Bilanzen bei der Festlegung des Bilanzraumes und der Auswahl der zu erhebenden Daten meist davon ausgegangen, dass alle Wirkungen negativ sind. Diesem Ansatz ist erheblich zu widersprechen, die Bilanzgrenzen sind so zu ziehen und Ziele so zu formulieren, dass alle und nicht nur negative Wirkungen auf die Umwelt erfasst werden und somit eine echte Bilanzierung möglich wird.¹³

Mit der Holzproduktion und rohstofflichen Nutzung ist eine Reihe von negativen Wirkungen verbunden wie z.B.

- Energieeinsatz in der Forstwirtschaft
- Beanspruchung der Fläche und des Bodens
- Eingriff in die natürlichen Abläufe eines Ökosystems Urwald ohne Nutzung (z.B. veränderte Pflanzen und Baumgesellschaften)

Neben diesen negativen Wirkungen stehen aber die positiven Wirkungen des Waldes als Ökosystem.

Beispiele für diese Infrastrukturleistungen sind:

- die Speicherung von Kohlenstoff im Holz und die Wirkung als CO₂-Senke,
- die Wirkung des Waldes auf die Luftreinigung,
- die Wirkung des Waldes auf Oberflächen – und Grundwasser,
- die generellen positiven Wirkungen eines vielfältigen Ökosystems,
- die Wirkungen des Waldes für den Schutz vor Erosion,
- die Erholungsfunktion des Waldes,
- die Nutzung solarer Energie und ihre Einbeziehung in einen langfristig nutzbaren Energiekreislauf

3.4. Behandlung der Problematik der Kuppelproduktion

In vielen forst- und holzwirtschaftlichen Prozessen werden neben dem Hauptprodukt auch Nebenprodukte erzeugt wie zum Beispiel:

- Schnittholz und Sägerestholz
- Spanplatten und Schleifstaub
- Möbel und Hobelspäne

¹³ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

In der ÖNORM EN ISO 14040 wird davon ausgegangen, dass weiterverwertbare Nebenprodukte, ob im gleichen oder einem anderen Kreislauf, mit den Umweltwirkungen genauso belastet werden wie die Hauptprodukte.

Wenn Infrastrukturleistungen des Waldes nicht physikalisch erfassbar sind, werden sie nicht als verwertbares Kuppelprodukt angesehen. Sie sind damit methodisch gesehen Abfall und erhalten keinen ökologischen Rucksack.

3.5. Entsorgung von Holzabfällen und Holzprodukten nach Gebrauch

Im Zusammenhang mit den Umweltwirkungskategorien sollten die positiven Merkmale des Holzes hervorgehoben werden. Holz als Roh- und Werkstoff sowie Energieträger zeichnet sich besonders durch seine CO₂ - Neutralität aus.

Bei nachhaltiger Bewirtschaftung der Wälder ist der Zuwachs innerhalb eines bestimmten Zeitraumes mindestens genauso viel wie der Einschlag. Folglich sind durch die Verrottung oder Verbrennung freigesetzte CO₂ Mengen mit dem durch Photosynthese aus der Atmosphäre aufgenommenen und als Kohlenstoff in Holz gebundenen Kohlendioxid gleichzusetzen.¹⁴

4. Ökobilanzierung Gebirgsholz

4.1. Zieldefinition

Mit dem zur Verfügung gestellten Fallbeispiel „Tiroler Gebirgsholz“ soll eine ökologische Gesamtbewertung von Gebirgsholz durchgeführt werden. Wie unter Punkt 1) Einleitung beschrieben, gibt es noch erhebliche Defizite in Bezug auf die ökologische Gesamtbetrachtung insbesondere die Ökobilanz von Gebirgshölzern. Eine umfassende Bewertung heimischer Gebirgshölzer, von der Waldnutzung bis zum Endprodukt, als systematische Analyse der Umwelteinwirkungen während des gesamten Lebenszyklus (LCA) besteht derzeit noch nicht.

¹⁴ Vgl. Grundlagen für Ökoprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

Das Fallbeispiel „Tiroler Gebirgsholz“ wird gemäß der Schlagbettbeschreibung folgendermaßen definiert:¹⁵

Die Holzschlägerung findet in den Tiroler Alpen statt. Hierbei handelt es sich um die Endnutzung (kleinflächige Räumung) in einem Fichtenbestand auf einer Seehöhe von durchschnittlich 1.250 m. Das Schlagbett liegt unmittelbar unter einer Waldstraße. Der mittlere Brusthöhendurchmesser (BHD) beträgt 35cm, der Massenmittelstamm besitzt eine Masse von 1,225 fm. Die Fällung und Aufbereitung zu Sortimenten (4m Bloche) erfolgt motormanuell mit einer 3 KW Motorsäge. Das Energieholz wird bis auf eine Zopfstärke von 7cm aufgearbeitet und wird zu maximal 5 m abgelängt. Die Bringung des Nutz- und Energieholzes erfolgt bergauf mit einem Kippmastseilkran, welcher auf einer Dreipunkthydraulik eines Traktors aufgebaut ist. Der Sägerundholztransport ins Sägewerk bzw. der Energieholztransport zum Energieholzverwertungsbetrieb erfolgt mittels Rundholz - LKW mit Anhänger. Der Auflade-Ort kann mit Maschine und Hänger angefahren werden. Das Aufladen des Sägerundholzes dauert etwas länger, da das Energieholz vorerst zur Seite gestockt wird. Das Energieholz wird immer erst dann abtransportiert sobald ein ganzer LKW - Zug vorhanden ist.

Das Sägerundholz wird im Sägewerk elektronisch vermessen und sortiert. Anschließend wird das Sägerundholz zu einem standardisierten Produkt für den Innenausbau eingeschnitten. Nach der technischen Trocknung folgt der Transport zum verarbeitenden Betrieb.

Das Energieholz wird beim Energieholzverwertungsbetrieb zur Lufttrocknung zwischengelagert (1. Vegetationsperiode) und anschließend zu Hackgut G30 (Biber 9er Serie, Anhängeraufbau mit Kranbeschickung) verarbeitet. Das Energieholz wird direkt in das Silo gehackt.

Weitere Kenngrößen können der im Anhang angeführten detaillierten Schlagbettbeschreibung entnommen werden.

4.1.1. Funktionale Einheit

Es wird eine Massenallokation zwischen Nutz- und Energieholz durchgeführt und somit ist die funktionale Einheit mit 1 m³ Holz festgelegt.

¹⁵ Entnommen aus der Schlagbettbeschreibung Tiroler Gebirgsholz

4.1.2. Zielgruppe

Die Zielgruppe ist durch die Projektpartner, holzver- und bearbeitende Betriebe, klar definiert. Die Ergebnisse sollen Informationsdefizite im Bereich von Gebirgsholz aufzeigen und diese erkennbar machen. Der Aufbau fundierter wissenschaftlicher Grundlagen wird als Basis für eine zukünftige Vermarktungsstrategie gesehen.

4.1.3. Zeitliche Abgrenzung

Den Datensätzen liegt die Erfassung der Waldwirtschaft in heutiger Zeit zugrunde. Für die Erzeugung von Holz ist eine zeitliche Abgrenzung nur schwer möglich. Grundlage in der Datenerhebung von Schweinle ist das Jahr 1995.¹⁶

4.1.4. Ausschluss- bzw. Abschneidekriterien

Ausschluss- und Abschneidekriterien haben einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis einer Ökobilanz. In dieser Ökobilanz bleiben generell für alle Module folgende Vorketten unberücksichtigt:

- Außergewöhnliche Ereignisse (Unfälle)
- Transport der Arbeitskräfte zum Arbeitsplatz
- Aufwendungen für die Verwaltung
- Schutzfunktion des Waldes
- Vorketten für jegliche Pflanzen
- Vorketten und Entsorgung von Hilfs- und Betriebsstoffe

4.1.5. Datensätze

Den verwendeten Datensätzen liegen verallgemeinerte Daten (Baumaschinen bzw. Kettensäge) zugrunde.

¹⁶ Vgl. Schweinle 1995

4.2. Sachbilanz

Zur Erhebung der Input- und Outputdaten und zur Übersichtlichkeit wird das Modul Forstliche Produktion von Gebirgsholz in Submodule untergliedert. Für jedes dieser Submodule wird eine Sachbilanz aufgestellt.

Für die Erstellung einer Sachbilanz müssen alle Stoff- und Energieflüsse, die in den Bilanzraum einfließen (Input) oder ihn verlassen (Output), identifiziert und möglichst quantifiziert werden¹⁷. Zusätzlich zu den quantifizierbaren Input- und Outputgrößen kommen in der Forstwirtschaft nicht oder noch nicht messbare Größen hinzu (z.B. Infrastrukturleistungen des Waldes), die aber qualitativ beschrieben werden.¹⁸

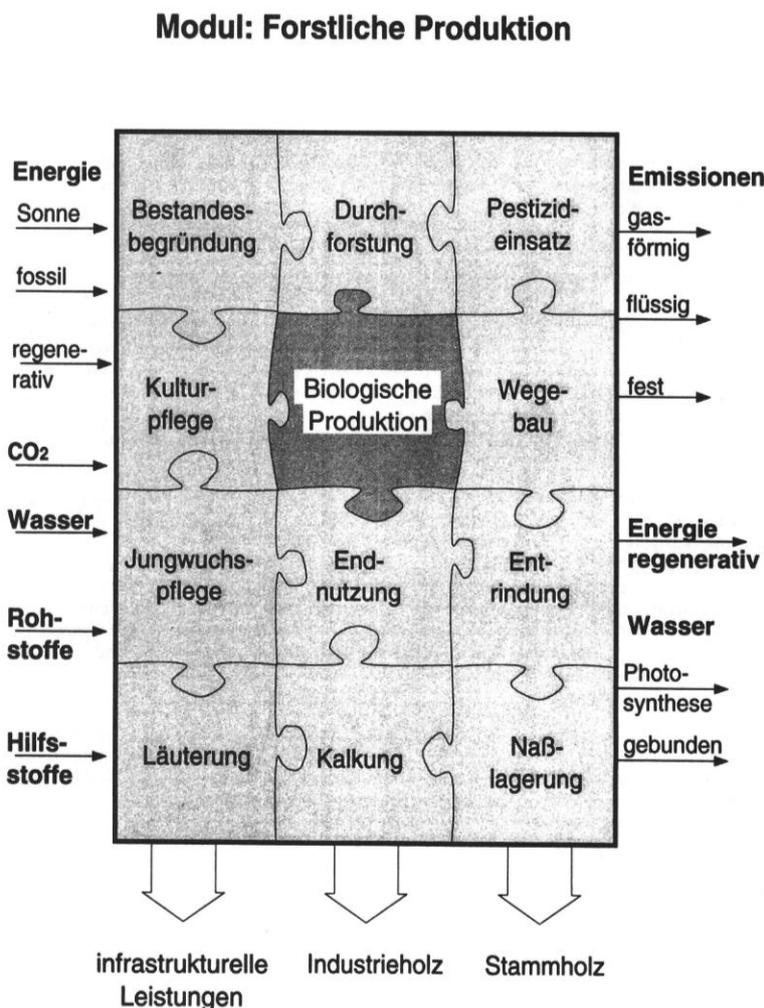


Abbildung 6: Übersicht über die Struktur des Moduls „Forstliche Produktion“ sowie die Stoff- und Energieflüsse (Zimmer und Wegener, 1996) 19

¹⁷ Vgl. Abbildung 7

¹⁸ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

¹⁹ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

4.2.1. Landverbrauch

Der Landverbrauch für das untersuchte Fallbeispiel beträgt:

$$5 \text{ fm/ha/a} \Rightarrow 1/5 (\text{fm/ha})/\text{a} * 10000 = \mathbf{2000 \text{ m}^2/\text{a}}$$

Dies geht jedoch nicht in die Wirkungsabschätzung ein.

4.2.2. Biologische Produktion

Alles was im Holz an Elementen gefunden werden kann, wird dem Baum beim Aufbau der Holzsubstanz der Ökosphäre entzogen. Mengenmäßig die wichtigsten sind ohne Zweifel Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff, die zusammen durchschnittlich 99% der Masse ausmachen. Die einzelnen Holzarten unterscheiden sich hinsichtlich der Zusammensetzung dieser Elemente nur sehr gering.

Man kann sagen das Holz zu

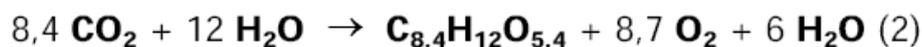
- 50% aus Kohlenstoff
- 43% aus Sauerstoff
- 6% aus Wasserstoff

besteht. Das letzte Prozent setzt sich aus einer Reihe von anorganischen Bestandteilen zusammen.



Modellgleichung

zur Berechnung der Massenströme beim Aufbau von Holz



Beispiel für 1000 kg_{atro} Holz:

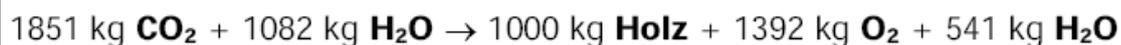


Tabelle 2: theoretischer Ansatz zur Berechnung der Input- und Outputströme zur Bildung von Holz (Zimmer und Wegener, 1996)²⁰

²⁰ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

		Input	Output
Fichte, Kiefer:			
Sonnenenergie	[MJ /t _{Holz atro}]	19271	19271
CO ₂	[kg/t _{Holz atro}]	1851	-
O ₂	[kg/t _{Holz atro}]	-	1392
H ₂ O	[kg/t _{Holz atro}]	1082	541

Tabelle 3: Ergebnisse der Stoffbilanz des Submoduls „Biologische Produktion“

4.2.3. Bestandsbegründung

Die Bestandsbegründung ist das erste Submodul der technischen Produktion und beinhaltet alle Stoff- und Energieströme von der Pflanzung bis zu dem Zeitpunkt, bei welcher die Kultur als gesichert gilt.²¹

Die Verjüngung der Freifläche erfolgt manuell, daher fallen keine zusätzlichen Umweltbelastungen an.

4.2.4. Kulturpflege

Der Bestand wird häufig durch Begleitvegetation (Gräser, Farne, Sträucher) im Wachstum behindert oder sogar gefährdet.

- Es wird davon ausgegangen, dass nur einmal gemäht wird; z.B. mit Stihl FS 400 mit 1,9 kW; bei 14 h/ha.
- Für 50% der Fläche einmal in 20 Jahren
- Bei einem Durchschnittsalter der Bäume von ca. 40 Jahren und bezogen auf 280m³/ha (entspricht einem Einschlag = 180 fm inklusive einem Einschlag = 100 fm aus der Durchforstung)

$$14 \text{ h/ha} * 2 * 50\% / (280 \text{ m}^3/\text{ha}) = \mathbf{0,05 \text{ h/m}^3}$$

4.2.5. Jungwuchspflege

In der Jungwuchspflege, der nächsten Phase in der Bestandsentwicklung, werden die ersten Eingriffe zur Verbesserung der Bestandsqualität bzw. zur Regulierung der Baumartenzusammensetzung durchgeführt²². Siehe Punkt 4.2.4. Kulturpflege.

²¹ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

²² Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

4.2.6. Läuterung

Bei der Läuterung (Dickungspflege, zur Bestandsregulierung) fällt kein nutzbares bzw. verwertbares Holz an. Die Bestockungsdichte wird reguliert und die Qualität durch Förderung der Ausleseebäume verbessert. Unerwünschte Bestandsmitglieder werden entfernt.

- Es wird davon ausgegangen, dass nur einmal gemäht wird.
z.B. mit Stihl FS 400 mit 1,9 kW; bei 20 h/ha sind dies 26,6 kWh

Selektive Läuterung:

- Für 20% der Fläche einmal in 20 Jahren
- Bei einem Durchschnittsalter der Bäume von ca. 40 Jahren und bezogen auf 280 m³/ha (Einschlag + Durchforstung)
 $20 \text{ h/ha} * 2 * 20\% / 280 \text{ (m}^3\text{/ha)} = \mathbf{0,0286 \text{ h/m}^3}$

4.2.7. Ernteverlust

- 11,5% Verlust Rindenanteil und 13% Schlagrücklass.

4.2.8. Durchforstung

In der weiteren chronologischen Abfolge des Bestandslebens bilden die Durchforstungen den nächsten Prozessschritt der technischen Produktion.²³

Es findet eine flächige Durchforstung von U/2 (Hälfte Umtriebszeit) statt, bei der ca. 100 Vfm/ha geerntet werden. Hierbei werden die gleichen Maschinen bzw. das gleiche Ernteverfahren wie bei der Endnutzung angewendet.

Das anfallende Holz aus der Durchforstung wird ebenfalls genutzt. Es wird angenommen, dass das Verhältnis zwischen Nutz- und Energieholz sich auf Grund der geringeren Dimensionen nicht gleich bleibt. Es verschiebt sich in Richtung Energieholz (Nutzholz/Energieholz 70/30). Die bei der Durchforstung entstehenden Emissionen müssen der gesamten Holzmasse (Nutz- und Energieholz), aus der Schlagbettbeschreibung (Einschlag = 180 fm) und aus der Durchforstung (Einschlag = 100 fm), zugeordnet werden.

Daraus ergibt sich eine Massenaufteilung von:

$$100 \text{ fm} / 280 \text{ (m}^3\text{/ha)} = \mathbf{0,357\% \text{ Durchforstung}}$$

$$180 \text{ fm} / 280 \text{ (m}^3\text{/ha)} = \mathbf{0,643\% \text{ Endnutzung}}$$

²³ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

4.2.9. Endnutzung

Lt. Punkt 11 Anhang, Schlagbettbeschreibung.

Das Sägerundholz wird im Sägewerk elektronisch vermessen und sortiert. Anschließend wird das Sägerundholz zu einem standardisierten Produkt für den Innenausbau eingeschnitten. Nach der technischen Trocknung folgt der Transport zum verarbeitenden Betrieb.

Das Energieholz wird beim Energieholzverwertungsbetrieb zur Lufttrocknung zwischengelagert (1. Vegetationsperiode) und anschließend zu Hackgut G30 (Biber 9er Serie, Anhänger Aufbau mit Kranbeschickung) verarbeitet. Das Energieholz wird direkt in das Silo gehackt.

4.2.10. Kalkung

In diesem Submodul wird die flächige Ausbringung von Kalk zur Kompensation der Waldböden durch Immissionen bilanziert. Dabei handelt es sich nicht um eine Düngungsmaßnahme im klassischen Sinn. In der Regel werden ca. 3t kohlenaurer Magnesiumkalk pro Hektar ausgebracht, um eine Pufferwirkung von etwa 8 Jahren zu erreichen, je nach Zustand der Böden und Menge der Schadstoffbelastung.²⁴

Auch hier ist im Rahmen des Forschungsvorhabens keine Kalkung vorgesehen. Es fallen daher keine zusätzlichen Umweltbelastungen an.

4.2.11. Pestizideinsatz

Der Einsatz von Pestiziden im Wald erfolgt heute nur noch in begründeten Ausnahmefällen. Bilanziert werden müssen sowohl die Wirkstoffe selbst als auch die Umwelteinwirkungen, die mit der Ausbringung der Pestizide in Zusammenhang stehen.²⁵

Es ist kein Pestizideinsatz vorgesehen. Es fallen daher keine zusätzlichen Umweltbelastungen an.

4.2.12. Wegepflege

Für die laufende Instandsetzung der Forststraße wird angenommen, dass alle 5 bis 10 Jahre die Deckschicht erneuert wird. Der vor Ort verfügbare Schotter wird mit einem Straßenfertiger auf die Fahrbahn aufgezogen und anschließend mit einer Walze verdichtet. Für das Aufladen und Transportieren des Schotters entlang der Forststraße

²⁴ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

²⁵ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

werden zusätzlich noch Bagger und LKW benötigt. Der Schotter wird nicht weiter verarbeitet.

Daten bzw. Einsatzdauer der erforderlichen Maschinen:

Maschine	Eigengewicht [kg]	Leistung [kW]	Einsatzdauer [h/lfm]
Straßenfertiger (Teermaschine)	5.000	35	0,008
Walze	7.000	60	0,008
LKW	12.000	235	0,004
Bagger	14.000	75	0,004

Tabelle 4: Erforderliche Maschinen und Einsatzdauer

Der Instandhaltungsaufwand wird auf die in den 7 Jahren aus dem Wald transportierte Holzmasse aufgeteilt.

Von folgender Annahme wird im Fallbeispiel ausgegangen:

- eine Erschließungsdichte des Waldes (Bergwald) mit 21 lfm/ha
- eine Transportstrecke auf Schotterstraße von 10 km
- einen Einschlag von 180 fm
- einen Einschlag von durchschnittlich 5 fm/ha/a
- die Instandhaltung der Waldstraße nach durchschnittlich 7 Jahren

Da die Erschließungsdichte im Bergwald mit 21 lfm/ha angenommen wird, errechnet sich die gesamte mit 10 km Waldstraße erschlossene Waldfläche im Ausmaß von 476 ha (10.000 m / 21 (lfm/ha)).

Der Einschlag wird mit 5 fm/ha/a angenommen. Daraus errechnet sich die gesamte, eingeschlagene Holzmasse auf 476 ha Wald innerhalb von 7 Jahren zu 16.660 fm (5 (fm/ha/a) * 476 ha * 7 a).

Der gesamte Aufwand der 7 jährigen Forststraßeninstandsetzung wird auf die 16.660 fm aufgeteilt.

Für 10 km Forststraße werden folgende Geräte und Materialien benötigt:

Straßenfertiger: 5000 kg, $0,008 \text{ h/lfm} * 10000 \text{ lfm} * 35 \text{ kW} = 2800 \text{ kWh}$

$2800/16660=0,17 \text{ kWh/fm}$

Walze: 7000 kg, $0,008 \text{ h/lfm} * 10000 \text{ lfm} * 60 \text{ kW} = 4800 \text{ kWh}$

$480/16660 = 0,29 \text{ kWh/fm}$

LKW: 12000 kg, $0,004 \text{ h/lfm} * 10000 \text{ lfm} * 235 \text{ kW} = 9400 \text{ kWh}$

$9400/16660 = 0,564 \text{ kWh/fm}$

Bagger: 14000 kg, $0,004 \text{ h/lfm} * 10000 \text{ lfm} * 75 \text{ kW} = 3000 \text{ kWh}$

$3000/16660 = 0,18 \text{ kWh/fm}$

Schotter: 1800 kg/m^3

$21 \text{ lfm}/5 \text{ fm} = 4,2 \text{ lfm/fm}$

$4,2 \text{ lfm/fm} * 5 \text{ m Breite} = 21 \text{ m}^2/\text{fm}$

$21 \text{ m}^2/\text{fm} * 0,03 \text{ m} = 0,63 \text{ m}^3/\text{fm}$

$0,63 \text{ m}^3/\text{fm} * 1800 \text{ kg/m}^3 = 1134 \text{ kg/fm}$

$1134/7 = 162 \text{ kg/fm}$

4.2.13. Entrindung

Erfolgt die Entrindung des Rundholzes im Wald mit Hilfe von mobilen Entrindungsmaschinen, so müssen die damit verbundenen Stoff- und Energieströme im Modul „Forstliche Produktion“ erfasst werden.²⁶

Die Entrindung des Rundholzes erfolgt im Sägewerk. Es fallen daher keine zusätzlichen Umweltbelastungen an.

4.2.14. Nasslagerung

Die Nasslagerung von Rundholz im Wald ist nur in Katastrophenfällen von Bedeutung. Berücksichtigt werden muss der Aufwand des Polterns sowie der Wasser- und Energieverbrauch während der Lagerung. Es muss unterschieden werden, ob z.B. Oberflächenwasser oder Grundwasser verwendet wird, ob beregnet wird oder ob das Holz in ein stehendes Gewässer eingelagert wird.²⁷

Das Sägerundholz wird unmittelbar nach der Ernte ins Sägewerk transportiert. Es fallen daher keine zusätzlichen Umweltbelastungen an.

²⁶ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

²⁷ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

4.2.15. Quantitative Beschreibung der Holzbringung

Die Arbeitsabläufe von der Ernte des Gebirgsholzes bis zum Eintreffen im Sägewerk werden in einzelne Schritte aufgegliedert und detailliert erfasst. Ausgegangen wird von der Holzernte mit Hilfe einer Kettensäge. Der gefällte Baum wird mittels Kippmastseilkran an den Verladeort befördert, auf einen LKW geladen und von dort erfolgt der (Weiter-)Transport ins Sägewerk.

Die bei diesem Ernteprozess entstehenden Ernteverluste werden ebenso berücksichtigt wie der Aufwand und Verbrauch der beteiligten Arbeitsmaschinen und Transportgeräte.

Verhältnis Erntegewinne und Verluste

Die Ernteverluste bei der Bringung werden mit 11,5 % des gewonnenen Holzes angesetzt (11,5 % Rindenanteil, 13 % Schlagrücklass).

Kettensäge

Die Leistung eines Waldarbeiters für Fällung und Aufarbeitung beträgt 2,5 fm/h = 0,4 h/fm.

Kippmastseilkran

Der Seilkran, welcher auf der Dreipunkthydraulik des Traktors (Steyr, Leistung 70 kW, siehe Schlagbettbeschreibung) aufgebaut ist, wird auch von diesem betrieben.

Einsatzdauer Kippmastseilkran

Die Leistung des Kippmastseilgerätes K300 für die Bringung beträgt 8 fm/h = 0,125 h/fm. Die Auf- und Abbauzeit beträgt insgesamt 5 h.

Das Seilgerät benötigt die 70 kW an Leistung sobald der voll beladene Laufwagen mit der Last zur Straße geführt wird. Bei der Leerfahrt bzw. beim Stillstand benötigt das Seilgerät nur einen Bruchteil der am Traktor verfügbaren Maximalleistung. Es wird davon ausgegangen, dass das Seilgerät im Einsatz zu maximal 50 % der Einsatzdauer auf Vollast fährt.

$$70 \text{ kW} * 0,5 = 35 \text{ kW}$$

$$35 * 0,125 = 4,38 \text{ kWh/fm}$$

Das Laden mit Hilfe des Kippmastseilkrans benötigt 0,03 h mit 70 kW vom Traktor = 2,1 kWh/fm

Laden

Der Rundholz-LKW kann bis zu dem Ort hinfahren, wo der Seilkran das Holz ablegt (ohne Anhänger). Das Holz wird daher 3 km (siehe Schlagbettbeschreibung), bis zum Anhänger gebracht. Dort lädt er das zuvor aufgeladene Rundholz auf den Anhänger um. Anschließend fährt er wieder zum Bringungsort. Dort lädt er wieder auf, fährt zum voll beladenen Anhänger, hängt diesen an und fährt ins Sägewerk.

Das Laden benötigt 0,03 h mit ca. 125 kW vom LKW = 4,17 kWh/fm

Da nur bei jeder zweiten Fahrt (Holzlager bis Anhänger) der LKW beladen werden muss (Rückfahrt kein Ladevorgang) wird hier die Hälfte des Energieaufwandes eingegeben.

$4,17/2 = 2,085$ kWh/fm

Vortransport

Energieholz, Nutzholz:

$$540 \text{ kg/fm}/1000 * 3 \text{ km} + 0 * 3 \text{ km} = 1,62 \text{ tkm/fm}$$

Transport

Nutzholz, Energieholz:

$$540 \text{ kg/fm}/1000 * 7 \text{ km} = 3,78 \text{ tkm/fm}$$

$$540 \text{ kg/fm}/1000 * 30 \text{ km} = 16,2 \text{ tkm/fm}$$

4.2.16. Qualitative Beschreibung weiterer Bilanzgrößen

Neben den messbaren und quantitativ erfassbaren Stoff- und Energieflüssen weist das Modul „Forstliche Produktion“ einige nur qualitativ beschreibbare Bilanzgrößen auf. Die Forstwirtschaft ist eine typische Kuppelproduktion, wobei die Art der entstehenden Produkte der Forstwirtschaft zusätzliche methodische Schwierigkeiten aufwirft.²⁸

Flächennutzung²⁹

In Zusammenhang mit der „Forstlichen Produktion“ kann nicht von Flächenverbrauch im herkömmlichen Sinn die Rede sein. Im Gegensatz zur industriellen, aber auch zur landwirtschaftlichen Produktion wird die Qualität der Fläche, auf der Forstwirtschaft betrieben wird, durch diese nur geringfügig verändert. Diese spezifisch durch die

²⁸ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

²⁹ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

Forstwirtschaft verursachte Qualitätsveränderung ist nur schwer messbar, da sie sich sehr langsam (im Gegensatz zu anderen Flächennutzungen) vollzieht und sehr stark durch externe Einflüsse (Schadstoffeinträge, Zerschneidung) überlagert wird.

Erholungsfunktion ³⁰

Je dichter eine Region besiedelt ist, umso bedeutender wird die Erholungsfunktion des Waldes und umso intensiver wird der Wald zur Erholung genutzt. Die Erholungssuchenden nutzen beispielsweise die Erschließungswege intensiv (Wandern, Radfahren, ...). Der Instandhaltungsaufwand ist deshalb (z.B. in Ballungs- oder Fremdenverkehrszentren) erhöht.

Schutzfunktion ³¹

Wald erfüllt eine ganze Reihe von Schutzfunktionen, wie Wasserschutz, Bodenschutz, Lawinenschutz, Lärmschutz oder Klimaschutz. Keine dieser Schutzfunktionen ist durch technische Maßnahmen in einem ökonomisch machbaren Rahmen zu ersetzen.

Naturschutz ³²

Verglichen mit anderen Landnutzungsformen, wie beispielsweise der konventionellen Landwirtschaft, ist die Forstwirtschaft sehr naturnah. Je nach Intensität bzw. Betriebsart und -form der Forstwirtschaft können ökonomische Ziele (z.B. Stammholzproduktion) und ökologische Ziele (z.B. Naturschutz Ziele) unterschiedlich gewichtet sein.

³⁰ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

³¹ Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

³² Vgl. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, Studie, Januar 1996, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener

4.3. Wirkungsabschätzung

Um eine Aussage über die Beeinträchtigung der natürlichen Umwelt, die sich aus der Sachbilanz ergibt, treffen zu können, muss die Vielzahl der Umweltwirkungen so reduziert werden, dass die Beeinflussung der Umwelt sichtbar wird, aber keine Überfrachtung der Ergebnisse erfolgt.³³

Wie bereits in Kapitel 2.4 Wirkungsabschätzung erwähnt, existiert eine Vielzahl an Wirkungskategorien, deren Klassifizierung im Wesentlichen auf Heijungs et al. (Tabelle 1) basiert³⁴.

In dieser Studie werden die gängigsten Wirkungskategorien wie das Treibhauspotential, das Versauerungspotential, das Überdüngungspotential, das Ozonabbaupotential und die erneuerbaren und nicht erneuerbaren Primärenergien näher untersucht. Auswirkungen auf die Ökotoxizität von Wasser, Meer, Erde usw. sind eher geringer.

4.3.1. Das Treibhauspotential

Das Treibhauspotential quantifiziert Umweltwirkungen, die durch den anthropogen verursachten Treibhauseffekt das Ökosystem, die menschliche Gesundheit und den materiellen Wohlstand beeinflussen. Schützenswerte Bereiche sind die menschliche Gesundheit und die Öko- sowie die Anthroposphäre³⁵. Die Anreicherung treibhauswirksamer Gase in der Atmosphäre führt zu einem Anstieg der globalen Temperatur und somit zu einer Klimaveränderung.

Die anthropogenen Ursachen für den Treibhauseffekt sind die vermehrte Verbrennung fossiler Energieträger und dem damit verbundenen CO₂-Ausstoß, ausgedehnte Waldrodungen sowie eine zunehmende Methan (CH₄)-Konzentration, die auf die industrielle Landwirtschaft zurückzuführen ist. Der größte Teil des CO₂ (rund 80 %) stammt aus der Verbrennung fossiler Energieträger und der Herstellung von Zement³⁶.

Neben dem Kohlendioxid CO₂ tragen auch noch andere Gase zum Treibhauseffekt bei, wie Methan CH₄, Lachgas N₂O, teilfluorierte Kohlenwasserstoffe H-FKW, perfluorierte Kohlenwasserstoffe FKW und Schwefelhexafluorid SF₆. Die verschiedenen Gase werden in Abhängigkeit von ihrer Verweildauer in der Atmosphäre mittels

³³Vgl. Ökologische Bewertung von Holzwerkstoffe, November 2000, Prof. Dr. A. Frühwald, Dr. M. Scharai-Rad, Dipl.-Holzwirt J. Hasch

³⁴ Environmental Life Cycle Assessment of Products, 1992, Heijungs

³⁵ Life cycle assessment – An operational guide to the ISO Standards – Final Report, 2001, Guinée

³⁶ Ökologische Betrachtung von Holzspan- und Holzfasertafeln, Hasch, 2002

Charakterisierungsfaktoren (GWP-Faktoren) auf die Leitsubstanz CO₂ umgerechnet und entsprechend ihrer Massenanteile aufsummiert. Die den Treibhauseffekt verstärkende Wirkung von einem Kilogramm eines Treibhausgases im Vergleich zu derjenigen eines Kilogramms CO₂ kann für verschiedene Zeithorizonte bestimmt werden, üblicherweise auf Zeithorizonte von 20, 100 oder 500 Jahren. Die Verweildauer von CO₂ in der Atmosphäre liegt zwischen 50 und 200 Jahren; danach wird es wieder in den biogenen Kreislauf integriert oder in den Weltmeeren gebunden. Wird das GWP 100 (1996) in kg CO₂ äquivalent angegeben, bezieht es sich auf einen Integrationszeitraum von 100 Jahren bezogen auf das Basisjahr 1996.³⁷

Beispiele von GWP100-Faktoren zur Charakterisierung der Treibhausgase:

Substanz	GWP100 (in kg CO ₂ eq./kg)
Kohlendioxid CO ₂	1
Methan CH ₄	21
Dichlormethan	9
Trichlormethan	110
Tetrachlormethan CCl ₄	1400
HFKW R 134a	1300

Tabelle 5: GWP100 - Charakterisierungsfaktoren (Guinée, 2001)

4.3.2. Das Versauerungspotential

Die Versauerung entsteht durch die Freisetzung versauernder Substanzen, die durch Verbrennungsprozesse in Industrie, Kraftwerken, Haushalten, bei Kleinverbrauchern und im Verkehr entstehen. Der pH-Wert des Bodens und des Wassers muss in einem gewissen Toleranzbereich bleiben, damit die Artenvielfalt aufrechterhalten bleibt. Versauernde Substanzen - vorwiegend Stickoxide NO_x und Schwefeldioxid SO₂, aber auch Salzsäure HCl, Fluorwasserstoff HF und Ammoniak NH₃ - verbinden sich in der Atmosphäre mit Wasser. Durch ‚saure‘ Niederschläge (‚Saurer Regen‘) gelangen diese Substanzen (Salpetersäure HNO₃ und Schwefelsäure H₂SO₄) in Böden und Gewässer und schädigen dort die Lebensräume für Pflanzen und Tiere. In den vergangenen Jahrzehnten sind Schädigungen der menschlichen Gesundheit und an Gebäuden entstanden, die auf die Versauerung zurückzuführen sind. Die verschiedenen Gase werden analog zum Treibhauspotential mittels Gewichtungsfaktoren entsprechend ihres

³⁷ Ökologische Bewertung im Holzwohnbau, Mai 2003, Dipl.-Ing. Gudrun Oswald

Einflusses auf das Versauerungspotential auf die Leitsubstanz SO₂ umgerechnet und gemäß ihrer Massenanteile aufsummiert.³⁸

Beispiele von AP-Faktoren zur Charakterisierung der versauernden Substanzen

Substanz	AP (in kg SO ₂ eq./kg)
SO ₂	1
SO _x	1
NO	1,07
NO ₂	0,7
NO _x	0,7
NH ₃	1,88
HCL	0,88
H ₂ S	1,88
HF	1,6

Tabelle 6: Versauerungs - Charakterisierungsfaktoren (Guinée, 2001)

4.3.3. Ozonabbaupotential in der Stratosphäre

Das Ozon O₃ ist für das Leben auf der Erde besonders wichtig, da es die ultraviolette Strahlung (UV-B) absorbiert. Das Problem der Zerstörung der Ozonschicht ist durch die Entdeckung des Ozonloches über

der Antarktis, das erstmals 1956 entdeckt und 1977 wissenschaftlich nachgewiesen wurde, bekannt geworden. Der Ozonabbau findet aber auch an anderen Punkten der Erdoberfläche statt, und das zum Teil über besiedelten Gebieten, wo Pflanzen, Tiere und Menschen direkt betroffen sind. Der Ozonabbau ist ein globales Problem.

Für die Ausdünnung der stratosphärischen Ozonschicht sind in erster Linie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs) verantwortlich. FCKWs sind an zwei klimarelevanten Umweltwirkungen beteiligt: am anthropogenen Treibhauseffekt und am Ozonabbau in der Stratosphäre. FCKWs sind in der unteren Atmosphäre reaktionsträge. Wenn sie in die Stratosphäre gelangen, werden sie durch die ultraviolette Strahlung gespalten und die freigesetzten Chloratome bauen Ozon ab. Da das Chlor als Katalysator wirkt, kann ein einziges Chloratom viele tausend Ozonmoleküle zerstören.

Das Ozonabbaupotential berücksichtigt die anthropogen emittierten Halogenkohlenwasserstoffe, die als Katalysatormoleküle viele Ozonmoleküle zerstören können. Aus den Ergebnissen der Modellrechnungen für unterschiedliche ozonrelevante Stoffe ergibt sich das Ozonabbaupotential ODP (Ozone Depletion Potential).³⁹

³⁸ Ökologische Bewertung im Holzwohnbau, Mai 2003, Dipl.-Ing. Gudrun Oswald

³⁹ Ökologische Bewertung im Holzwohnbau, Mai 2003, Dipl.-Ing. Gudrun Oswald

Beispiele von ODP-Faktoren zur Charakterisierung ozonabbauender Substanzen:

Substanz	ODP (in kg CFC-11 eq./kg)
CFC-11	1
CFC-12	0,82
CFC-113	0,9
Halon-1211	5,1
Halon-1301	12
HCFC-22	0,034
HCFC-141b	0,086
HCFC-142b	0,043
CH ₃ Br	0,37
Tetrachlormethan	1,2

Tabelle 7: Ozonabbau - Charakterisierungsfaktoren (Guinée, 2001)

4.3.4. Eutrophierungspotential

Eutrophierung bedeutet eine Nahrungs- und Nährstoffanreicherung, die durch die Überdüngung von Böden und Gewässern entsteht. Sie ist wie die Versauerung ein regionales, teilweise reversibles Problem.

Die Überdüngung des Bodens durch die moderne Landwirtschaft hat Schadstoff- bzw. Schwermetallanreicherungen im Boden und Grundwasser sowie Erhöhungen der Nitratkonzentration im Grundwasser zur Folge. Dadurch kann es bei Pflanzen zu einer verstärkten Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen sowie einer Schwächung des Festigkeitstgewebes kommen. Die Eutrophierung kann zudem Ursache für eine Verschiebung der Artenvielfalt sein. Aber nicht nur die Landwirtschaft, sondern auch das NO_x, das durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern und Biomasse emittiert wird, tragen zur Eutrophierung bei. Eine Nährstoffanreicherung in Gewässern bewirkt ein verstärktes Algenwachstum, wodurch das Sonnenlicht nicht mehr in tiefere Schichten vordringen kann. Die Photosynthese ist dadurch eingeschränkt und die Sauerstoffproduktion vermindert. Das Eutrophierungspotential ist ein Maß für die Fähigkeit einer Substanz Biomasse zu bilden. Basis dazu ist das Verhältnis von Phosphor und Stickstoff in Algen. Als Leitsubstanz dient Phosphat PO₄⁻³.⁴⁰

⁴⁰ Ökologische Bewertung im Holzwohnbau, Mai 2003, Dipl.-Ing. Gudrun Oswald

Beispiele von EP-Faktoren zur Charakterisierung der Eutrophierung

Substanz	EP	(in kg PO ₄ ³⁻ eq./kg)
Phosphat		1
Nitrat		0,1
N		0,42
NO		0,2
NO ₂		0,13
NO _x		0,13
NH ₃		0,35
Phosphor		3,06

Tabelle 8: Eutrophierung (EP) - Charakterisierungsfaktoren (Guinée, 2001)

4.3.5. Wirkungsabschätzungen des Gebirgsholzes

Die Abbildungen 7 und 8 zeigen den Anteil des Transports an den gesamten Umweltauswirkungen innerhalb der einzelnen Wirkungskategorien. Die 30 km Transport auf der Asphaltstraße verursachen innerhalb der Wirkungskategorien Versauerung, Überdüngung und Ozonabbaupotential zwischen 20 und 25 Prozent der gesamten Umweltauswirkung der Wirkungskategorie. Innerhalb der Wirkungskategorie „Treibhauspotential“ können aufgrund des negativen Endwertes keine geeigneten Prozentsätze gebildet werden.

Die einzelnen Wirkungskategorien vom Nutz- und Energieholz sind beim Gebirgsholz gleich groß, weil auf einen m³ Holz bezogen derselbe Aufwand betrieben wird.

In den Abbildungen 9-16 sind die prozentuellen Anteile der Verursacher innerhalb der jeweiligen Wirkungskategorie dargestellt.

SimaPro 7.1 Educational
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgs Holz

Wirkungsabschätzung

Datum: 13.01.2011 Zeit: 23:40:11

Titel: 1 m³ '2Energieholz, Gebirgs Holz, im Energieholzverwertungsbetrieb' analysieren
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Indikator: Charakterisierung
 Kategorien überspringen: Nie
 Relativer Modus: Nicht

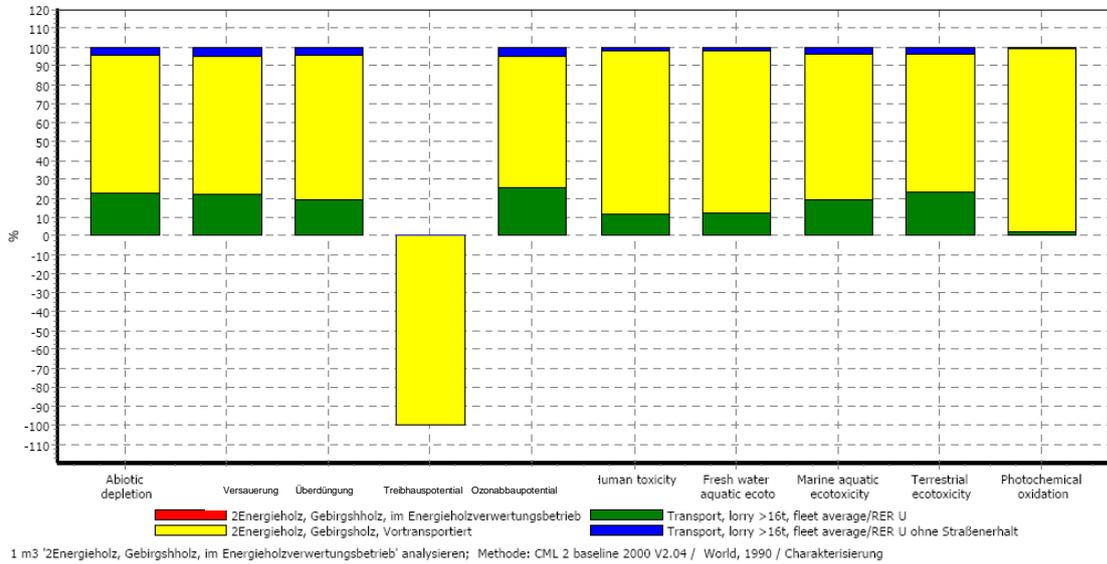


Abbildung 7: Wirkungsabschätzung Gebirgs Holz – Energieholz

SimaPro 7.1 Educational
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgs Holz

Wirkungsabschätzung

Datum: 13.01.2011 Zeit: 23:41:34

Titel: 1 m³ '2Nutzholz, Gebirgs Holz, im Sägewerk' analysieren
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Indikator: Charakterisierung
 Kategorien überspringen: Nie
 Relativer Modus: Nicht

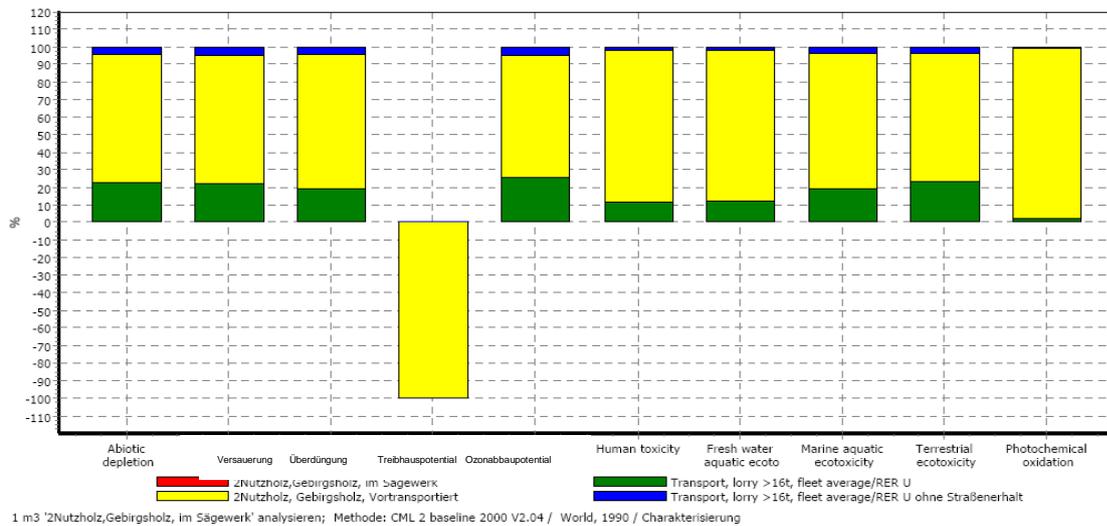


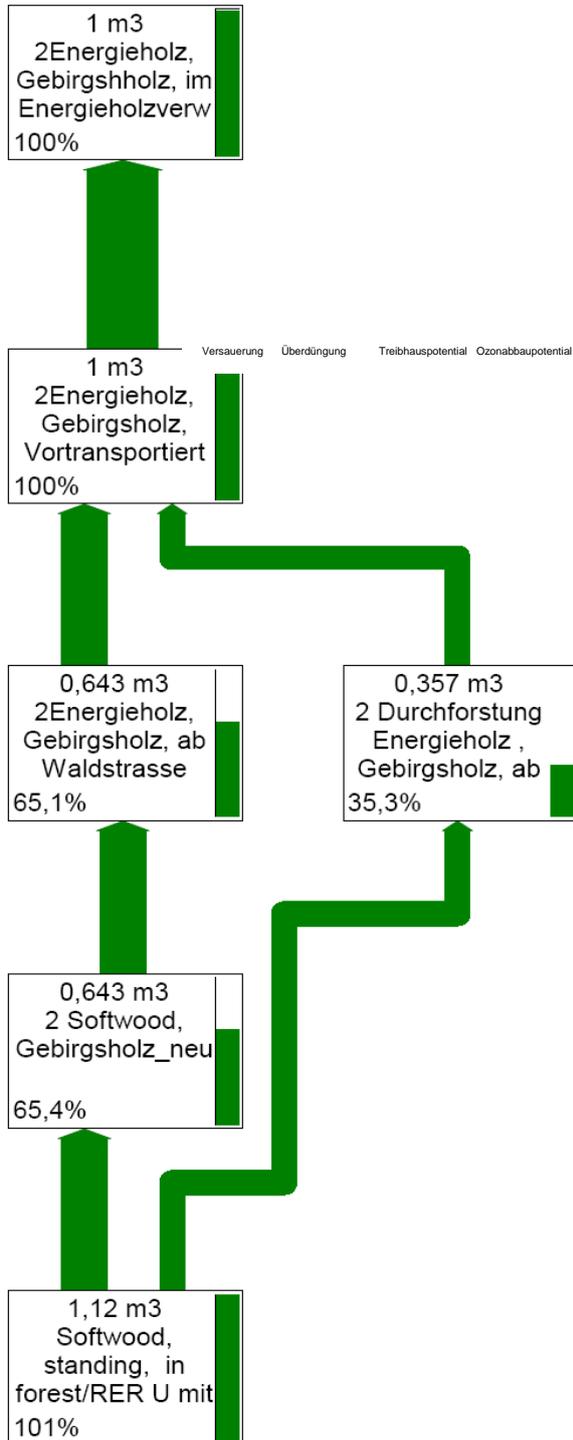
Abbildung 8: Wirkungsabschätzung Gebirgs Holz - Nutzholz

SimaPro 7.1 Educational
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz

Netz

Datum: 21.03.2011 Zeit: 12:00:56

Produkt: 2Energieholz, Gebirgsholz, im Energieholzverwertungsbetrieb
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material\Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: IPCC 2007 GWP 100a V1.01
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, IPCC GWP 100a (kg CO2 eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 5%



Seite: 1

Abbildung 9: Auswertung Gebirgsholz - Energieholz; GWP (SimaPro)

Produkt: 2Nutzholz, Gebirgsholz, im Sägewerk
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material\Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: IPCC 2007 GWP 100a V1.01
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, IPCC GWP 100a (kg CO2 eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 0,2%

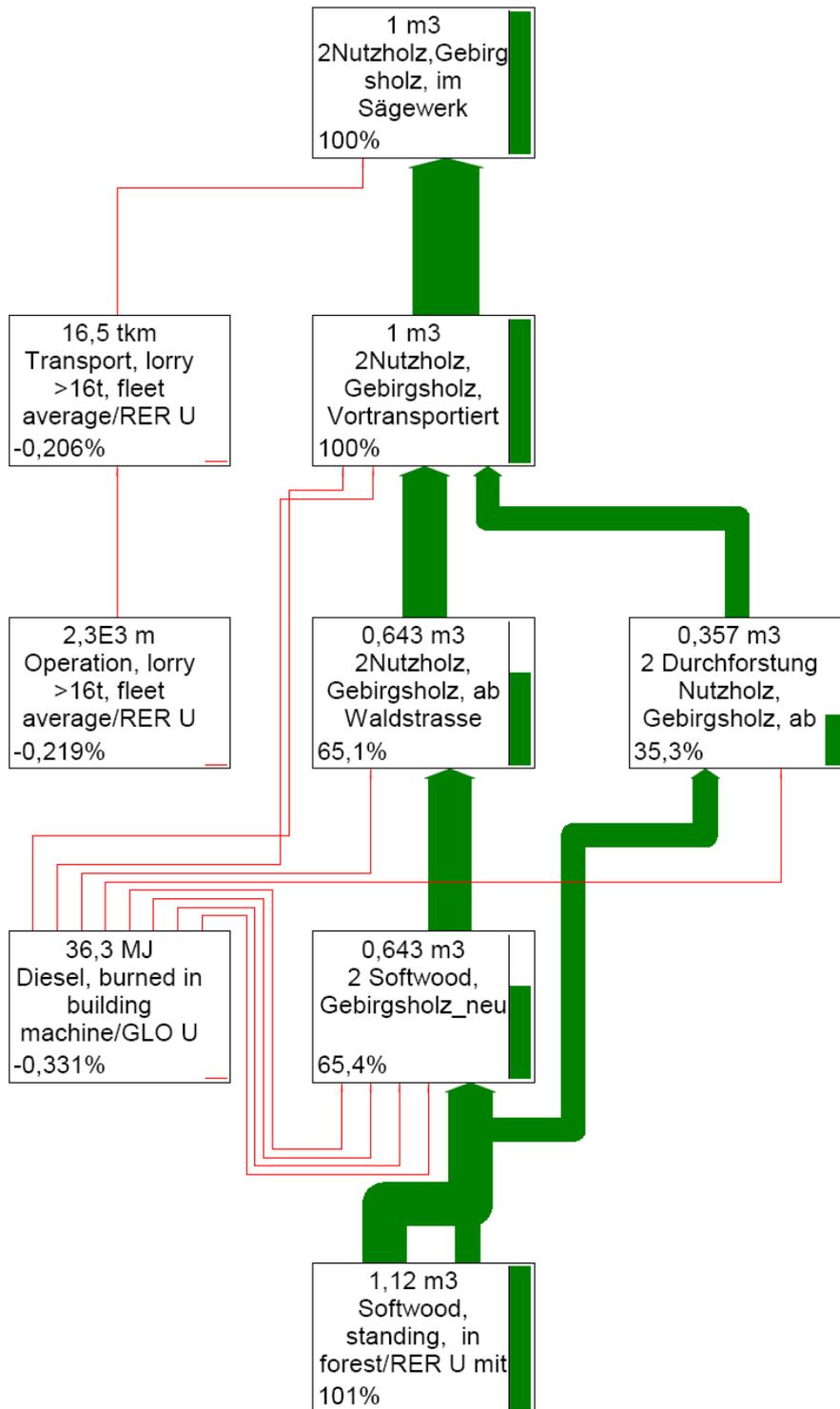


Abbildung 10: Auswertung Gebirgsholz – Nutzholz GWP (SimaPro)

Produkt: 2Energieholz, Gebirgsholz, im Energieholzverwertungsbetrieb
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material/Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 10%

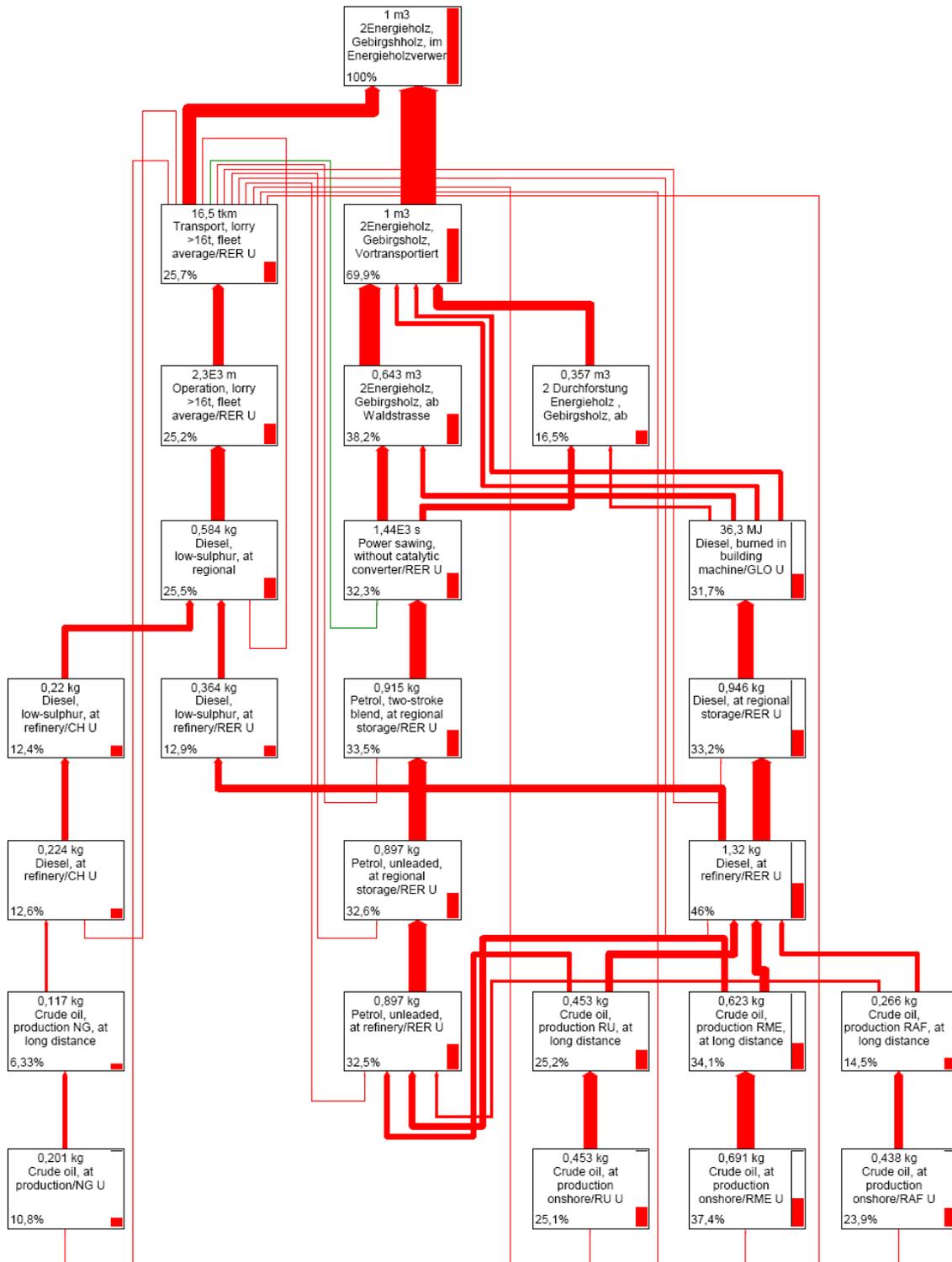


Abbildung 11: Auswertung Gebirgsholz, Ozonabbaupotential Energieholz (SimaPro)

Produkt: 2Nutzholz,Gebirgsholz, im Sägewerk
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material\Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 10%

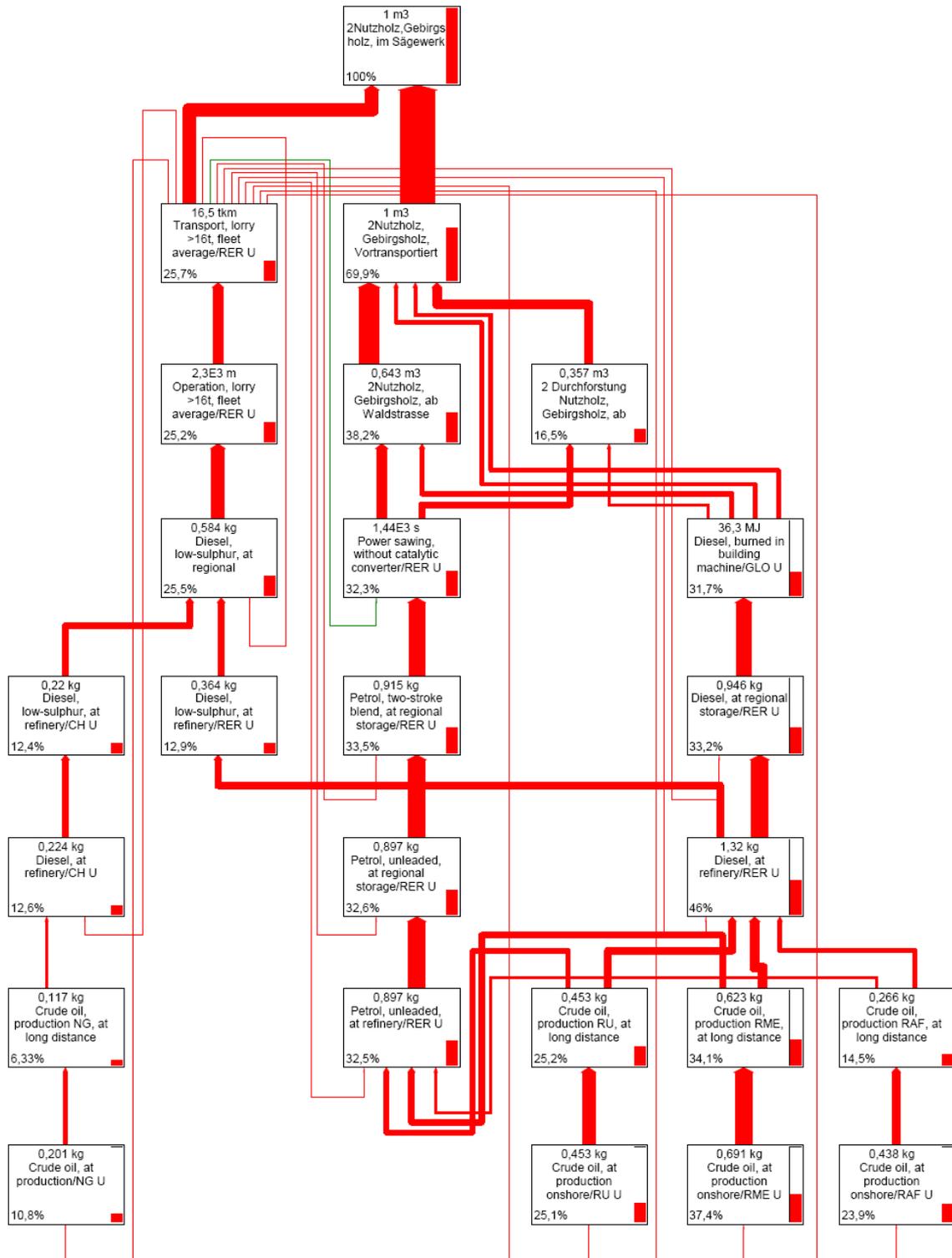


Abbildung 12: Auswertung Gebirgsholz, Ozonabbaupotential Nutzholz (SimaPro)

Produkt: 2Energieholz, Gebirgsholz, im Energieholzverwertungsbetrieb
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material/Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Eutrophication (kg PO4--- eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 5%

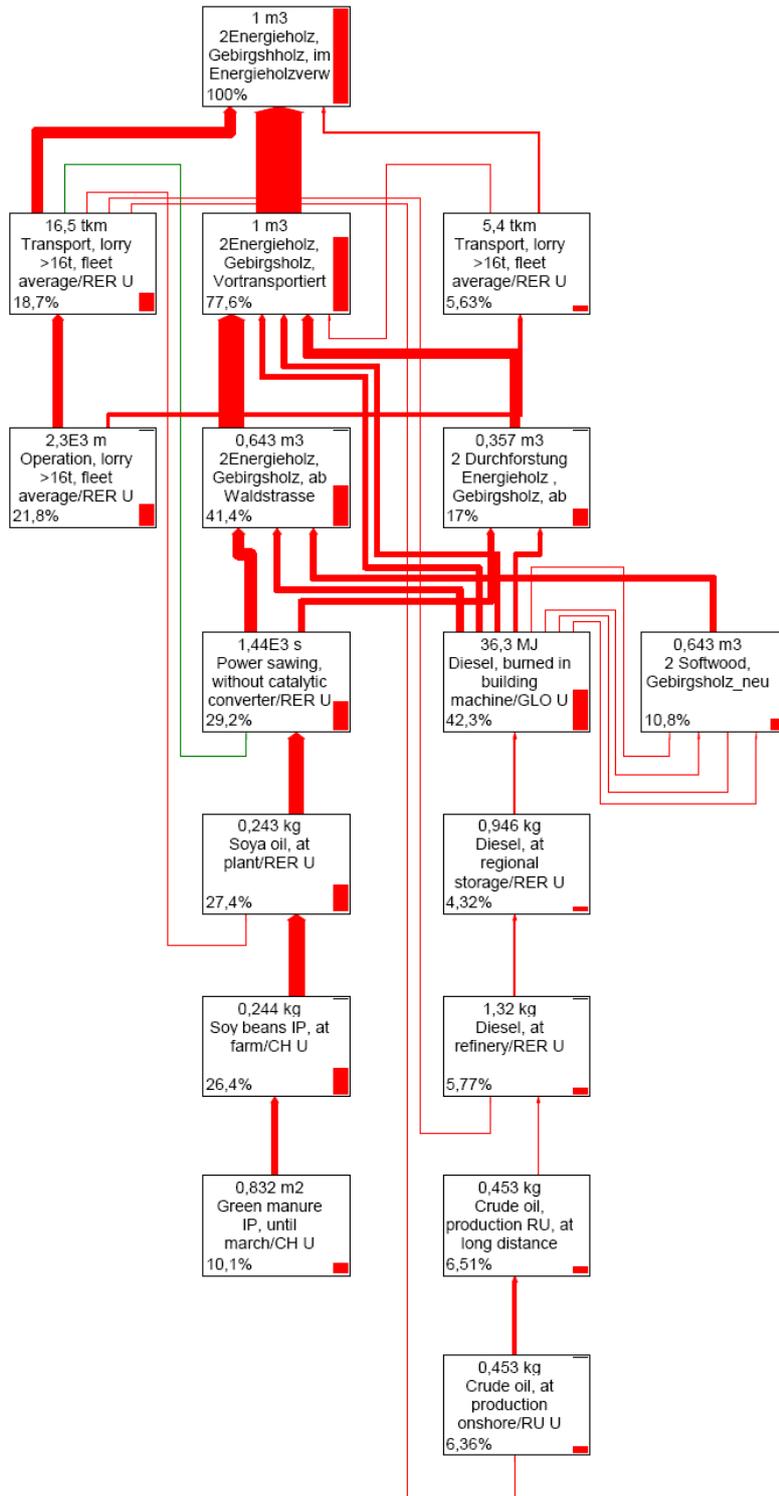


Abbildung 13: Auswertung Gebirgsholz, Überdünnung Energieholz (SimaPro)

Produkt: 2Nutzholz,Gebirgsholz, im Sägewerk
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material\Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Eutrophication (kg PO4--- eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 5%

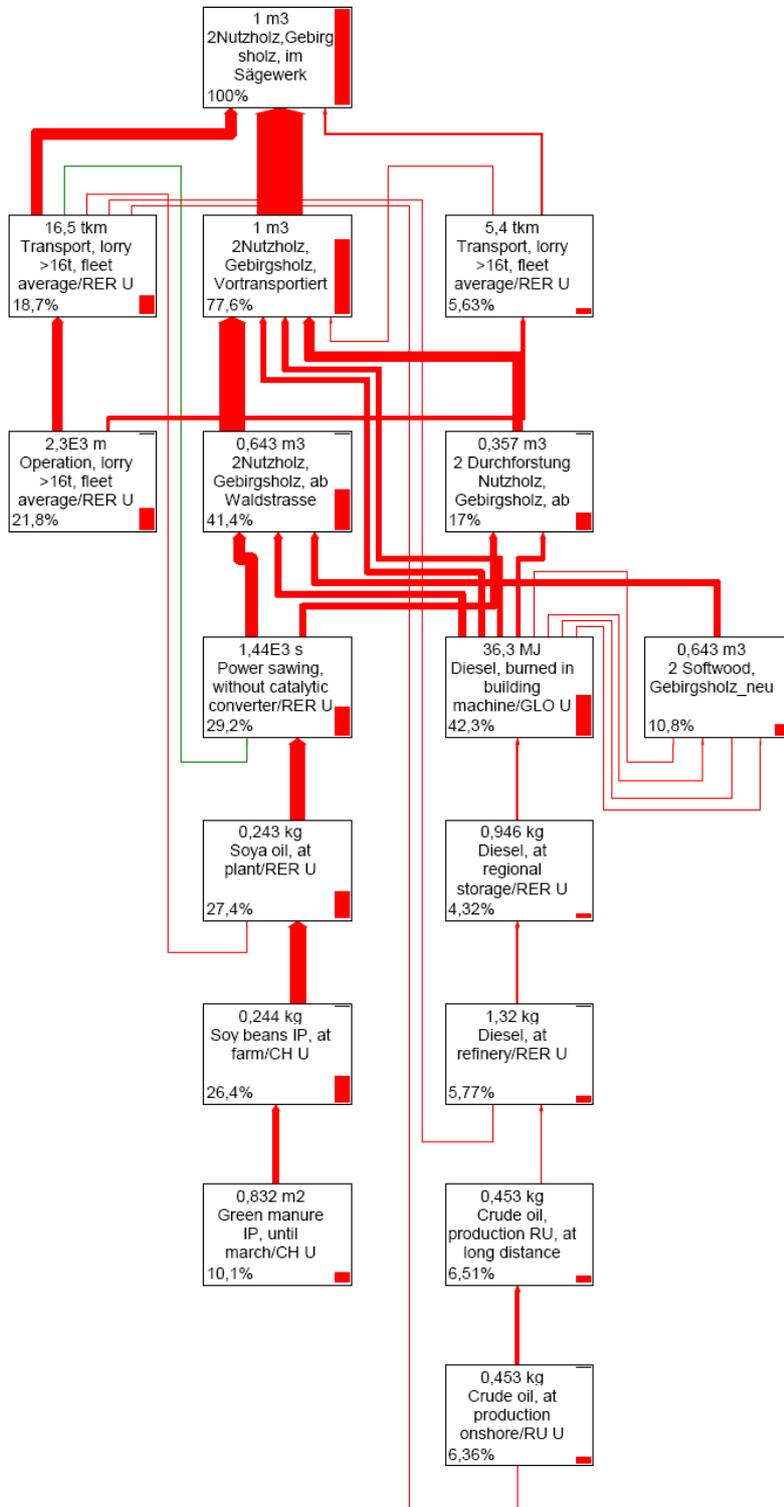


Abbildung 14: Auswertung Gebirgsholz, Überdünnung Nutzholz (SimaPro)

Produkt: 2Energieholz, Gebirgsholz, im Energieholzverwertungsbetrieb
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material/Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Acidification (kg SO₂ eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 5%

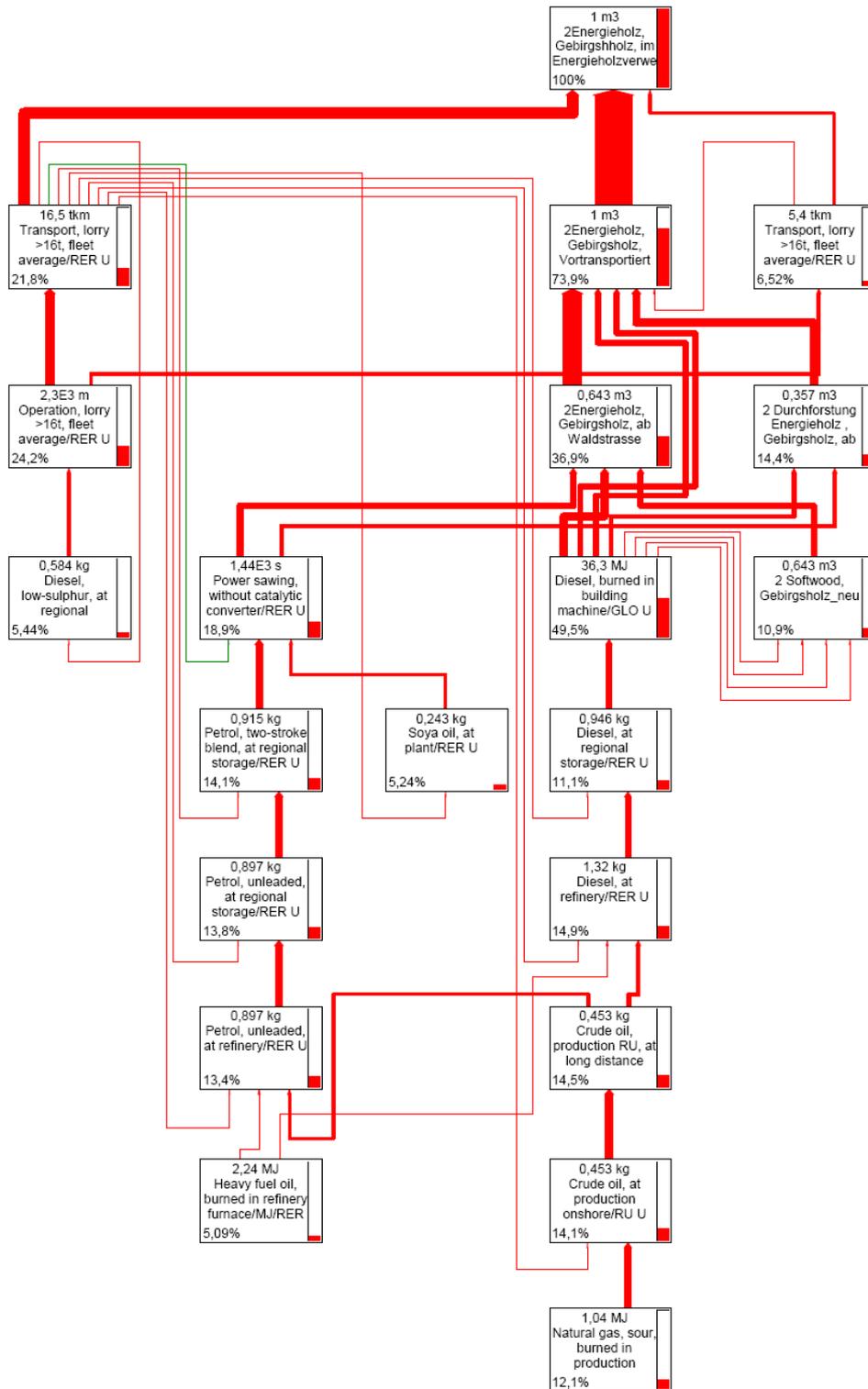


Abbildung 15: Auswertung Gebirgsholz, Versauerung Energieholz (SimaPro)

Produkt: 2Nutzholz,Gebirgsholz, im Sägewerk
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material\Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Acidification (kg SO₂ eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 5%

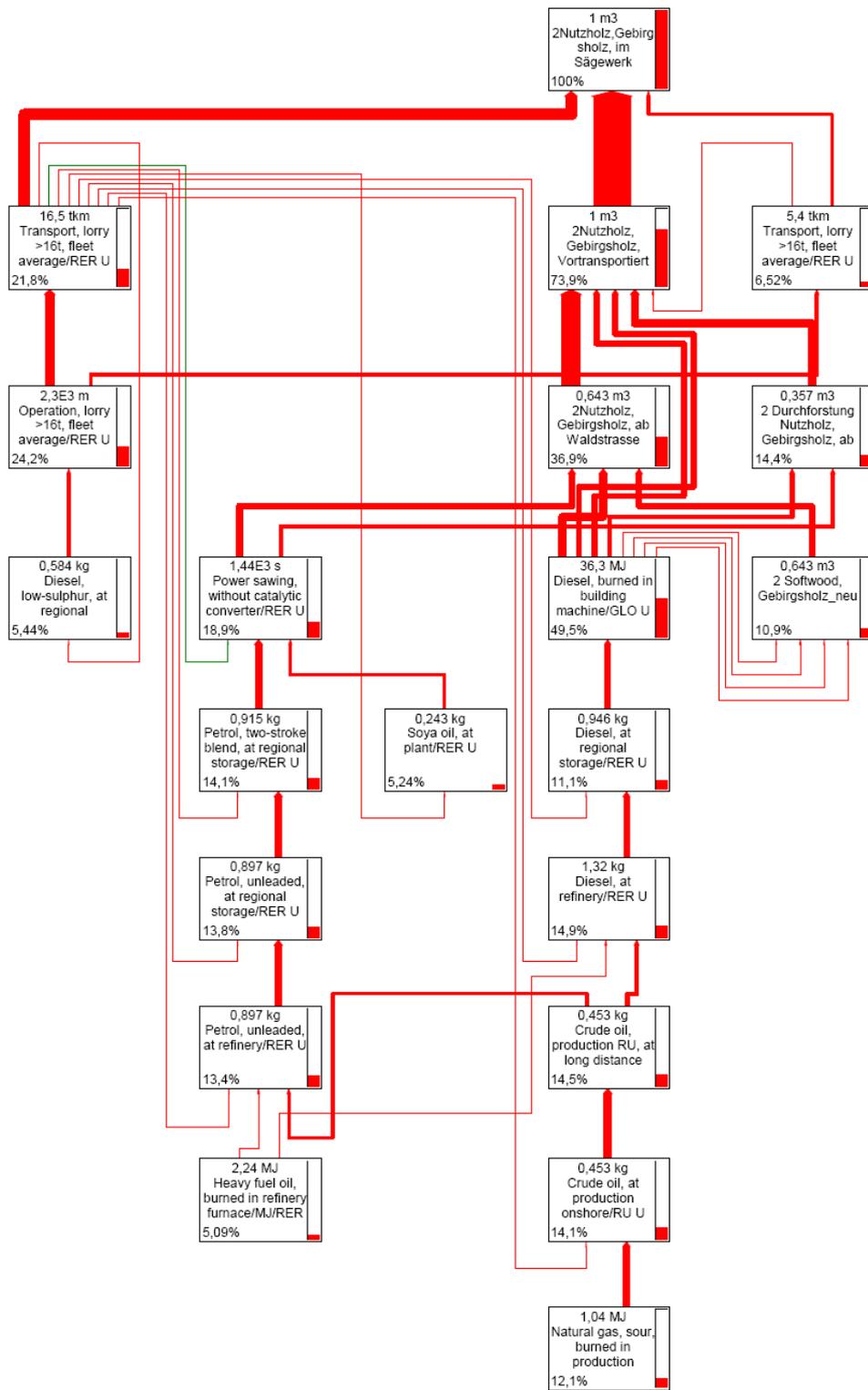


Abbildung 16: Auswertung Gebirgsholz, Versauerung Nutzholz (SimaPro)

4.4. Auswertung

Wie bereits in Abbildung 7 und 8 dargestellt, stehen derzeit einige Wirkungskategorien wie der Treibhauseffekt, die Versauerung, die Überdüngung, das Ozonabbaupotential und die nicht erneuerbare Primärenergie (PEI_{ne}) in Diskussion. Die PEI_{ne} wird nach den Wirkungsparametern des CED (Cumulative Energy Demand) berechnet, die Versauerung und Überdüngung, das Ozonabbaupotential nach den Wirkungsparametern des CML (Centrum für Milieukunde der Universität Leiden).⁴¹

Die Wirkungsabschätzung sowohl für das Energie- als auch das Nutzholz kann den genannten Abbildungen entnommen werden. Hier werden sämtliche Prozesse zusammengefasst und die ausgewerteten Parameter grafisch dargestellt.

4.4.1. Treibhauspotential GWP

Da die Ökobilanz nicht bis zum Endprodukt und bis zur Entsorgung gerechnet wird, wird die Speichermöglichkeit des Holzes in Bezug auf CO_2 eingerechnet. Das negative Vorzeichen im Ergebnis des Treibhauspotentials zeigt, dass innerhalb des Prozesses vom Baum bis zum Sägewerk mehr CO_2 gebunden wird als durch Maschineneinsatz und Transport verbraucht wird.

Das Endergebnis der einzelnen Prozesse ist in der Abbildung 9 (Energieholz) und Abbildung 10 (Nutzholz) zusammengefasst.

In kg CO_2 eq

GWP Nutzholz Gebirgsholz	-996
GWP Energieholz Gebirgsholz	-996

Die Auswertung der Prozessketten (Abbildungen 9 und 10) zeigt, dass sich die maßgebenden Faktoren aus den Bereichen Transport, Treibstoffanteil (Diesel aus Maschinen) und dem Aufwand der Motorsägen zusammensetzen. Weiters ist die Aufteilung des GWP auf die verschiedenen Prozesse ersichtlich.

Bei der Betrachtung von Gebirgsholz wird zudem erkennbar, dass der zusätzlich notwendige Einsatz der Motorsäge einen relevanten Parameter darstellt.

⁴¹ Environmental Life Cycle Assessment of Products, 1992, Heijungs et al.

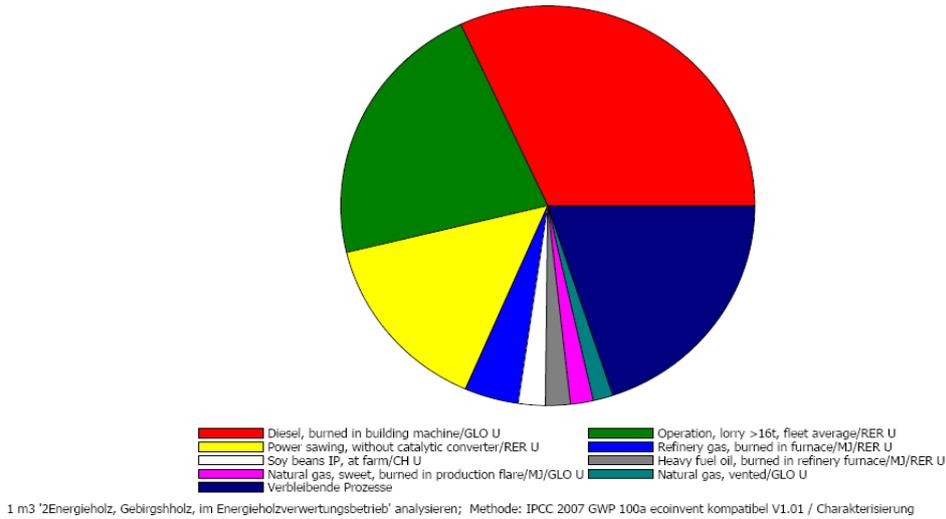


Abbildung 17: Prozessbeitrag GWP Energieholz Gebirgsholz (SimaPro)

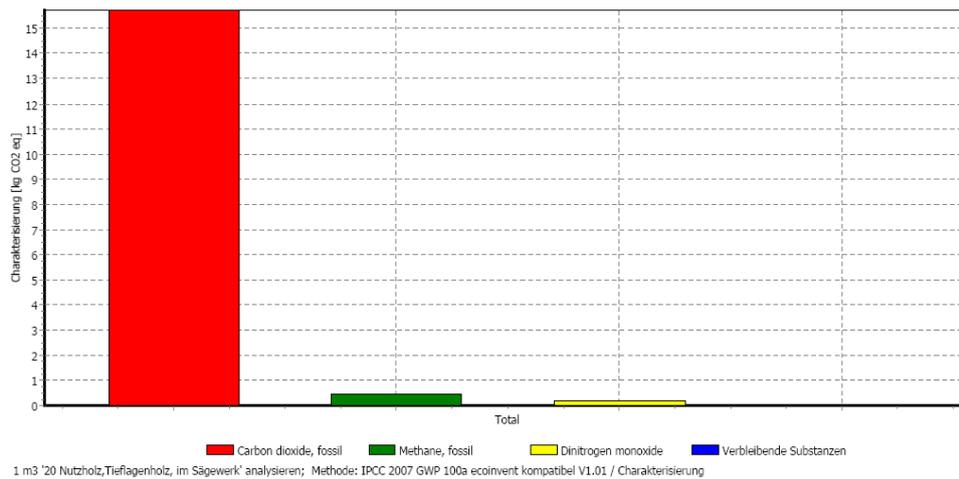


Abbildung 18: Bilanz_GWP Nutzholz Tieflagenholz (SimaPro)

Das Diagramm (Abbildung 18) am Beispiel des Nutzholzes Tieflagenholz zeigt deutlich, dass das CO₂ den größten Anteil am Treibhauspotenzial hat (ident Gebirgsholz).

4.4.2. Versauerungspotential AC

Die Hauptverursacher der Versauerung (gemessen in SO₂-Äquivalenten) sind die SO₂- und NO_x-Emissionen. Sie entstehen als Folge der industriellen Produktion und der Energiegewinnung und werden als „saurer Regen“ in Gewässer und Böden eingetragen.

In kg SO₂ eq

AC Nutzholz Gebirgsholz 0,0515

AC Energieholz Gebirgsholz 0,0515

Die prozentuelle Zusammensetzung der einzelnen Prozesse ist in den Flussdiagrammen 15 und 16 abgebildet.

4.4.3. Überdüngung, Eutrophierungspotential EP

Die Überdüngung EP als Wirkungskategorie erfasst den übermäßigen Nährstoffeintrag in ein Ökosystem. Durch den Eintrag von Nitrat und Phosphor kommt es zu einer Überdüngung von Gewässern und Böden. Die prozentuelle Aufteilung der Eutrophierungspotentiale für Gebirgsholz ist in der Abbildung 13 (Energieholz) und Abbildung 14 (Nutzholz) dargestellt.

In kg PO₄³⁻ - eq

EP Nutzholz Gebirgsholz 0,0129

EP Energieholz Gebirgsholz 0,0129

4.4.4. Ozonabbaupotential ODP

Am Ozonabbaupotential ODP ist vor allem die Verbrennung der fossilen Energieträger der entscheidende Aspekt. Der Einsatz der Motorsägen und die Verwendung von Diesel betriebenen Maschinen sind die entscheidenden Emissionsverursacher.

Die prozentuelle Zusammensetzung der einzelnen Prozesse ist in den Flussdiagrammen 11 und 12 abgebildet.

In kg CFC-11 eq

ODP Nutzholz Gebirgsholz 1,3 E-6

ODP Energieholz Gebirgsholz 1,3 E-6

4.4.5. Primärenergiebedarf nicht erneuerbar PEI_{ne}

Die Hauptverursacher des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs (gemessen in MJ eq) sind die fossilen Rohstoffe.

In kg MJ eq

PEI_{ne} Nutzholz Gebirgsholz 147

PEI_{ne} Energieholz Gebirgsholz 147

Die prozentuelle Zusammensetzung der einzelnen Prozesse ist im Flussdiagramm 19 abgebildet.

Produkt: 2Nutzholz,Gebirgsholz, im Sägewerk
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material\Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: Cumulative Energy Demand V1.05 / Cumulative energy demand
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Non renewable, fossil (MJ eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 22%

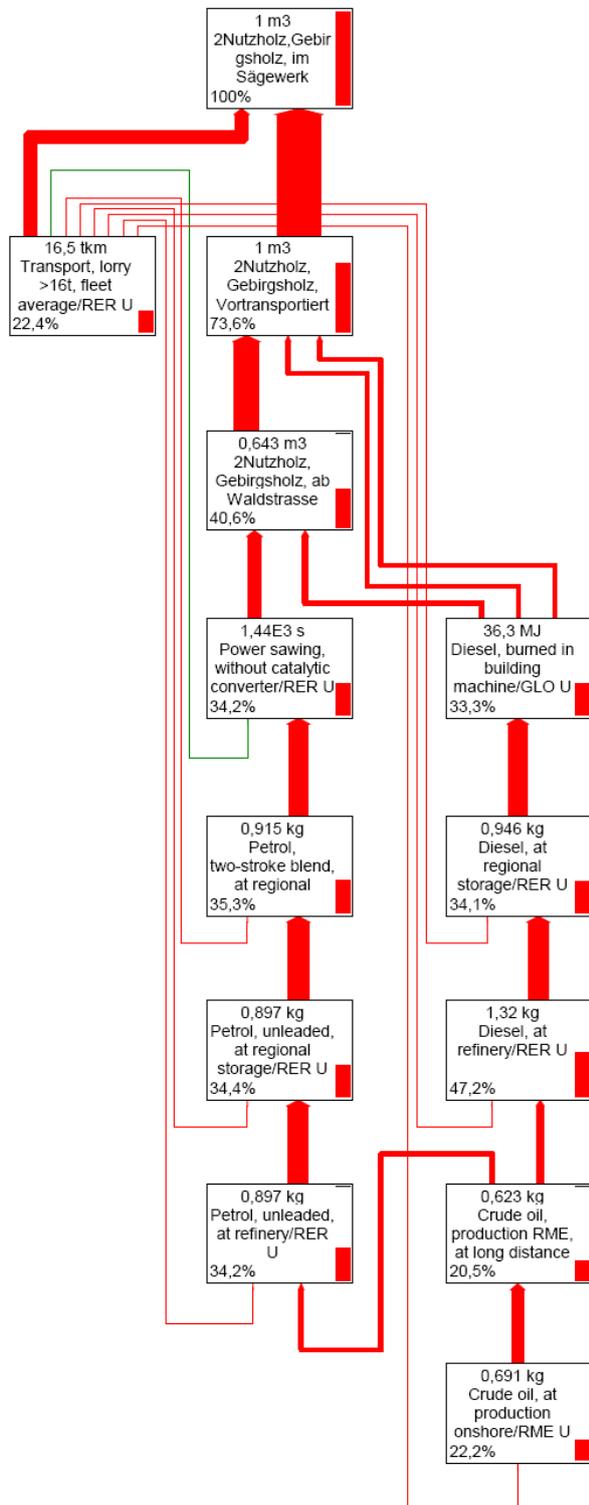


Abbildung 19: Bilanz PEine Nutzholz Gebirgsholz (SimaPro)

Produkt: 2Energieholz, Gebirgsholz, im Energieholzverwertungsbetrieb
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material/Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: Cumulative Energy Demand V1.05 / Cumulative energy demand
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Non renewable, fossil (MJ eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 22%

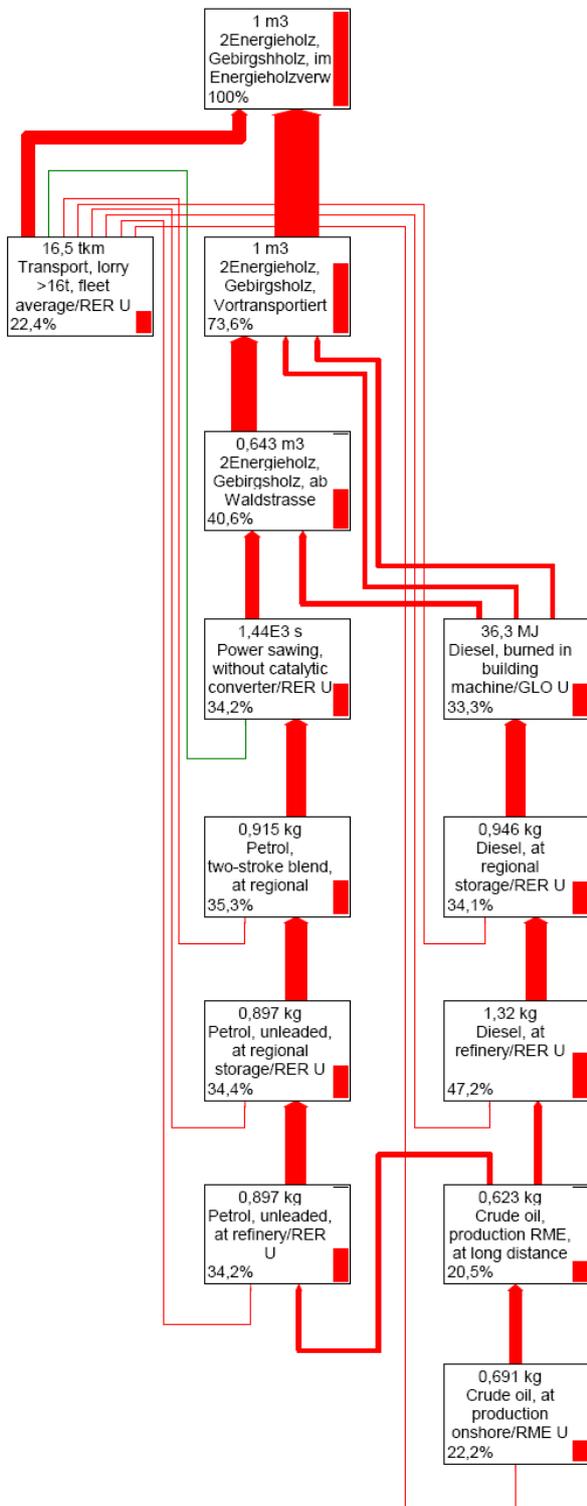


Abbildung 20: Bilanz PEIne Energieholz Gebirgsholz (SimaPro)

5. Ökobilanzierung Tieflagenholz

5.1. Zieldefinition

Siehe Punkt 4. Ökobilanzierung Gebirgsholz;

Mit dem zur Verfügung gestellten Fallbeispiel „Tieflagenholz - Niederbayern“ soll eine ökologische Gesamtbewertung von Tieflagenholz durchgeführt werden und mit den Ergebnissen des Gebirgsholzes verglichen werden.

Das Fallbeispiel „Tieflagenholz - Niederbayern“ wird gemäß der Schlagbettbeschreibung folgendermaßen definiert ⁴² :

Die Holzschlägerung findet in Niederbayern statt. Hierbei handelt es sich um eine Endnutzung (Kleinflächige Räumung) in einem Fichtenbestand auf einer Seehöhe von durchschnittlich 500 m. Das Schlagbett liegt unmittelbar an einer Waldstraße. Der mittlere Brustholzdurchmesser BHD beträgt 35 cm. Der Massenmittelstamm besitzt eine Masse von 1,225 fm. Das Bestandsalter liegt bei 100 Jahren. Die Fällung und Aufarbeitung zu Sortimenten (4 m-Bloche) erfolgt mit Radharvester (Valmet 941). Das Energieholz wird bis zu einer Zopfstärke von 7 cm aufgearbeitet und wird zu maximal 5 m Länge abgelängt. Der Schlagabraum bleibt im Wald.

Die Bringung des Nutzholzes erfolgt mittels Forwarder.

Der Holztransport und die Sägerundholzbearbeitung erfolgten gemäß Punkt 4 Ökobilanzierung Gebirgsholz.

Weitere Kenngrößen können der im Anhang angeführten detaillierten Schlagbettbeschreibung entnommen werden.

5.1.1. Funktionale Einheit

Es wird eine Massenallokation zwischen Nutz- und Energieholz durchgeführt und somit ist die funktionale Einheit mit 1 m³ Holz festgelegt.

5.1.2. Zielgruppe

Die Zielgruppe ist durch die Projektpartner, holzver- und bearbeitende Betriebe klar definiert. Die Ergebnisse sollen Informationsdefizite im Bereich von Gebirgsholz

⁴² Entnommen aus der Schlagbettbeschreibung Tieflagenholz - Niederbayern

aufzeigen und diese erkennbar machen. Der Aufbau fundierter wissenschaftlicher Grundlagen wird als Basis für eine zukünftige Vermarktungsstrategie gesehen.

5.1.3. Zeitliche Abgrenzung

Den Datensätzen liegt die Erfassung der Waldwirtschaft in heutiger Zeit zugrunde. Für die Erzeugung von Holz ist eine zeitliche Abgrenzung nur schwer möglich. Grundlage in der Datenerhebung von Schweinle ist das Jahr 1995.⁴³

5.1.4. Ausschluss- bzw. Abschneidekriterien

Ausschluss- bzw. Abschneidekriterien haben einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis einer Ökobilanz. In dieser Ökobilanz bleiben generell für alle Module folgende Vorketten unberücksichtigt:

- Außergewöhnliche Ereignisse (Unfälle)
- Transport der Arbeitskräfte zum Arbeitsplatz
- Aufwendungen für die Verwaltung
- Schutzfunktion des Waldes
- Vorketten für jegliche Pflanzen
- Vorketten und Entsorgung von Hilfs- und Betriebsstoffe

5.1.5. Datensätze

Den verwendeten Datensätzen liegen verallgemeinerte Daten (Baumaschinen bzw. Kettensäge) zugrunde.

5.2. Sachbilanz

Siehe Punkt 4.2 (Ökobilanzierung Gebirgsholz)

Zur Erhebung der Input- und Outputdaten und zur Übersichtlichkeit wird das Modul Forstliche Produktion von Tieflagenholz in Submodule untergliedert. Für jedes dieser Submodule wird eine Sachbilanz aufgestellt.

5.2.1. Landverbrauch

Der Landverbrauch für das untersuchte Fallbeispiel beträgt:

$$6 \text{ fm/ha/a} = 1/6 \text{ (fm/ha)/a} * 10000 = \mathbf{1667 \text{ m}^2/\text{a}}$$

Dies geht jedoch nicht in die Wirkungsabschätzung ein.

⁴³ Vgl. Schweinle 1995

5.2.2. Bestandsbegründung

Siehe Punkt 4.2.3. Bestandsbegründung (Ökobilanzierung Gebirgsholz)

Die Verjüngung der Freifläche erfolgt mit Hilfe eines Forstschleppers (60 kW und 4,5 t) mit anmontierbarer Pflanzmaschine. Es wird von 3000 Pflanzen/ha ausgegangen, wobei die Maschine 500 Pflanzen/ha schafft.

Somit sind dies 6 h und dadurch 360 kWh/ha.

Dies bezieht sich auf 750 m³/ha, da die Schlagbett-Beschreibung 550 m³/ha für den Einschlag + 200 m³/ha für die Durchforstung angibt.

$$360 \text{ (kWh/ha)} / 750 \text{ (m}^3\text{/ha)} = 0,48 \text{ kWh/m}^3$$

5.2.3. Kulturpflege

Siehe Punkt 4.2.4. Kulturpflege (Ökobilanzierung Gebirgsholz)

Der Bestand wird durch Begleitvegetation im Wachstum behindert.

Es wird davon ausgegangen, dass nur einmal gemäht wird, z.B. mit der Stihl FS 400 mit 1,9 kW; bei 14 h/ha sind dies 26,6 kWh, bezogen auf die 750 m³/ha

$$14 \text{ (h/ha)} / 750 \text{ (m}^3\text{/ha)} = 0,01867 \text{ h/m}^3$$

5.2.4. Jungwuchspflege

Siehe Punkt 4.2.5. Jungwuchspflege (Ökobilanzierung Gebirgsholz)

Eine Verbesserung der Bestandsqualität bzw. Regulierung der Baumartenzusammensetzung wird angestrebt.

Es wird davon ausgegangen, dass nur einmal gemäht wird, z.B. mit Stihl FS 400 mit 1,9 kW; bei 15 h/ha sind dies 28,5 kWh, bezogen auf die 750 m³/ha

$$15 \text{ (h/ha)} / 750 \text{ (m}^3\text{/ha)} = 0,02 \text{ h/m}^3$$

5.2.5. Läuterung

Siehe Punkt 4.2.6. Läuterung (Ökobilanzierung Gebirgsholz)

Bei der Läuterung (Dickungspflege zur Bestandsregulierung) fällt kein nutzbares bzw. verwertbares Holz an. Die Bestockungsdichte wird reguliert und die Qualität durch Förderung der Ausleseebäume verbessert. Unerwünschte Bestandmitglieder werden entfernt.

Schematische Läuterung:

3 h/ha mit 60 kW Schlepper = 180 kWh

$180 \text{ (kWh)} / 750 \text{ (m}^3\text{/ha)} = 0,24 \text{ kWh/m}^3$

Selektive Läuterung:

20 h/ha 1,9 kW Freischneider = 38 kWh

$20 \text{ (h/ha)} / 750 \text{ (m}^3\text{/ha)} = 0,0267 \text{ h/m}^3$

5.2.6. Durchforstung

Siehe Punkt 4.2.7. Durchforstung (Ökobilanzierung Gebirgsholz)

Es werden zwei Durchforstungen durchgeführt und es fällt jeweils 100 fm/ha Holz pro Durchforstung an. Die Durchforstungen erfolgen mit denselben Maschinen wie bei der Endnutzung.

Daraus ergibt sich eine Massenaufteilung von:

$200 \text{ (m}^3\text{/ha)} / 750 \text{ (m}^3\text{/ha)} = 0,27 \text{ % Durchforstung}$

$550 \text{ (m}^3\text{/ha)} / 750 \text{ (m}^3\text{/ha)} = 0,73 \text{ % Endnutzung}$

5.2.7. Endnutzung

Das Sägerundholz wird im Sägewerk elektronisch vermessen und sortiert. Anschließend wird das Sägerundholz zu einem standardisierten Produkt für den Innenausbau eingeschnitten. Nach der technischen Trocknung folgt der Transport zum verarbeitenden Betrieb.

Das Energieholz wird beim Energieholzverwertungsbetrieb zur Lufttrocknung zwischengelagert (1. Vegetationsperiode) und anschließend zu Hackgut G30 (Biber 9er Serie, Anhänger Aufbau mit Kranbeschickung) verarbeitet. Das Energieholz wird direkt in das Silo gehackt.

5.2.8. Kalkung

Siehe Punkt 4.2.9. Kalkung (Ökobilanzierung Gebirgsholz)

Die Ausbringung von Kalk dient zur Kompensation der Versauerung.

Eine Ausbringung von Kalk zur Kompensation der Versauerung erfolgt nicht.

5.2.9. Pestizideinsatz

Siehe Punkt 4.2.9. Pestizideinsatz (Ökobilanzierung Gebirgsholz)

Es ist kein Pestizideinsatz vorgesehen. Es fallen daher keine zusätzlichen Umweltbelastungen an.

5.2.10. Wegepflege

Für die laufende Instandsetzung der Straße wird angenommen, dass alle 5 bis 10 Jahre die Deckschicht erneuert wird. Der vor Ort verfügbare Schotter wird mit einem Straßenfertiger auf die Fahrbahn aufgezogen und anschließend mit einer Walze verdichtet. Für das Aufladen und Transportieren des Schotters entlang der Straße werden zusätzlich noch Bagger und LKW benötigt. Der Schotter wird nicht weiter verarbeitet.

Für 1 km Forststraße werden folgende Geräte und Materialien benötigt:

Straßenfertiger: 5000 kg, $0,008 \text{ h/lfm} * 1000 \text{ lfm} * 35 \text{ kW} = 280 \text{ kWh}$

$280 \text{ kWh} / 1050 \text{ fm} = 0,27 \text{ kWh/fm}$

Walze: 7000 kg, $0,008 \text{ h/lfm} * 1000 \text{ lfm} * 60 \text{ kW} = 480 \text{ kWh}$

$480 / 1050 = 0,46 \text{ kWh/fm}$

LKW: 12000 kg, $0,004 \text{ h/lfm} * 1000 \text{ lfm} * 235 \text{ kW} = 940 \text{ kWh}$

$940 / 1050 = 0,895 \text{ kWh/fm}$

Bagger: 14000 kg, $0,004 \text{ h/lfm} * 1000 \text{ lfm} * 75 \text{ kW} = 300 \text{ kWh}$

$300 / 1050 = 0,29 \text{ kWh/fm}$

Schotter: 1800 kg/m^3

$40 \text{ lfm} / 6 \text{ fm} = 6,67 \text{ lfm/fm}$

$6,67 \text{ lfm/fm} * 5 \text{ m Breite} = 33,3 \text{ m}^2/\text{fm}$

$33,3 \text{ m}^2/\text{fm} * 0,03 \text{ m} = 1,0 \text{ m}^3/\text{fm}$

$1,0 \text{ m}^3/\text{fm} * 1800 \text{ kg/m}^3 = 1800 \text{ kg/fm}$

$1800 \text{ kg} / 7 = 257,14 \text{ kg/fm}$

Mit einer Erschließungsdichte im Tieflagenwald mit 40 lfm/ha errechnet sich die gesamte mit 1 km Waldstraße erschlossene Waldfläche im Ausmaß von 25 ha ($1.000 \text{ lfm} / 40 \text{ (lfm/ha)}$). Der Einschlag wird mit 6 fm/ha/a angenommen. Daraus errechnet sich das gesamte eingeschlagene Holzmaß auf 25 ha Wald innerhalb 7 Jahren zu 1050 fm ($6 \text{ (fm/ha/a)} * 25 \text{ ha} * 7 \text{ a}$). Der gesamte Aufwand der 7 jährigen Forststraßeninstandsetzung wird auf die 1050 fm aufgeteilt.

5.2.11. Entrindung

Siehe Punkt 4.2.12. Entrindung (Ökobilanzierung Gebirgsholz)

Die Entrindung des Rundholzes erfolgt im Sägewerk. Es fallen daher keine zusätzlichen Umweltbelastungen an.

5.2.12. Nasslagerung

Siehe Punkt 4.2.13. Nasslagerung (Ökobilanzierung Gebirgsholz)

Das Sägerundholz wird unmittelbar nach der Ernte ins Sägewerk transportiert. Es fallen daher keine zusätzlichen Umweltbelastungen an.

5.2.13. Quantitative Beschreibung der Holzbringung

Die Arbeitsabläufe von der Ernte des Tieflagenholzes bis zum Eintreffen im Sägewerk werden in die einzelnen Schritte aufgegliedert und detailliert erfasst. Ausgegangen wird von der Holzernte mit Hilfe eines Radharvesters. Der gefällte Baum wird mittels Forwarder an den Verladeort befördert, auf einen LKW geladen und von dort erfolgt der (Weiter-)Transport ins Sägewerk.

Die bei diesem Ernteprozess entstehenden Ernteverluste werden ebenso berücksichtigt wie der Aufwand und Verbrauch der beteiligten Arbeitsmaschinen und Transportgeräte.

Verhältnis Erntegewinne und Ernteverluste

Die Ernteverluste bei der Bringung werden mit 10 % des gewonnenen Holzes angesetzt.

Radharvester⁴⁴

Gewicht: 23500 kg

Für Durchforstung: $23500 / 200 = 117,5$ kg

Für Endnutzung: $23500 / 550 = 47,73$ kg

$0,083$ h/fm mit 210 kW mit 70% = $0,083 * 210 = 12,2$ kWh/fm

Bringung mittels Forwarder⁴⁵

Gewicht: 15600 kg

Für Durchforstung: $15600 / 200 = 78$ kg

Für Endnutzung: $15600/550 = 28,36$ kg

$0,066$ h/fm * 125 kW * 70% = $5,76$ kWh/fm

⁴⁴ Quelle: Datenblatt Harvester, Dieserverbrauch Schweinle, Zeitaufwand: Lehrstuhl für Forstliche Arbeitswissenschaft und angewandte Informatik)

⁴⁵ Quelle: Datenblatt Forwarder, Dieserverbrauch Schweinle, Zeitaufwand: Eidg. Forschungsanstalt WSL Forstliche Produktionssysteme

Laden mit Kran am LKW

Siehe Punkt 4.2.14 / Laden - Gebirgsholz

Dauer 0,03333 h/fm mit 125 KW = 4,17 kWh/fm

Transport

Energieholz:

$540 \text{ kg/fm} / 1000 * 1 \text{ km} = 0,54 \text{ tkm/fm}$

$540 \text{ kg/fm} / 1000 * 50 \text{ km} = 27 \text{ tkm/fm}$

Nutzholz:

$540 \text{ kg/fm} / 1000 * 1 \text{ km} = 0,54 \text{ tkm/fm}$

$540 \text{ kg/fm} / 1000 * 100 \text{ km} = 54 \text{ tkm/fm}$

5.2.14. Qualitative Beschreibung weiterer Bilanzgrößen

Siehe Punkt 4.2.15. Qualitative Beschreibung weiterer Bilanzgrößen (Ökobilanzierung Gebirgsholz)

5.3. Wirkungsabschätzung

SimaPro 7.1 Educational
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz

Wirkungsabschätzung

Datum: 13.01.2011 Zeit: 23:45:06

Titel: 1 m3 '20 Energieholz, Tieflagenholz, im Energieholzverwertungsbetrieb' analysieren
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Indikator: Charakterisierung
 Kategorien überspringen: Nie
 Relativer Modus: Nicht

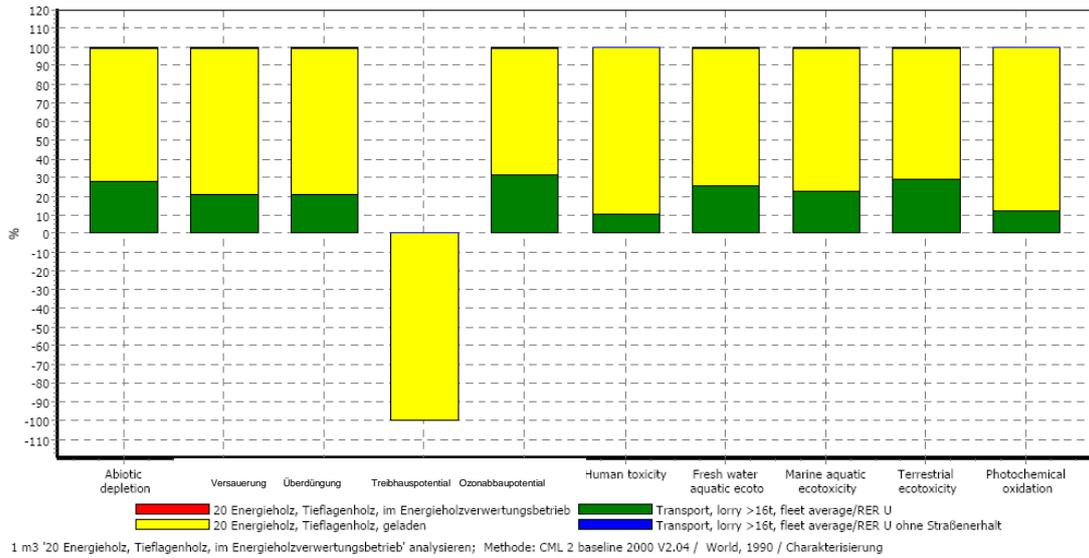


Abbildung 21: Wirkungsabschätzung Tieflagenholz, Energieholz

SimaPro 7.1 Educational
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz

Wirkungsabschätzung

Datum: 13.01.2011 Zeit: 23:43:03

Titel: 1 m3 '20 Nutzholz,Tieflagenholz, im Sägewerk' analysieren
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Indikator: Charakterisierung
 Kategorien überspringen: Nie
 Relativer Modus: Nicht

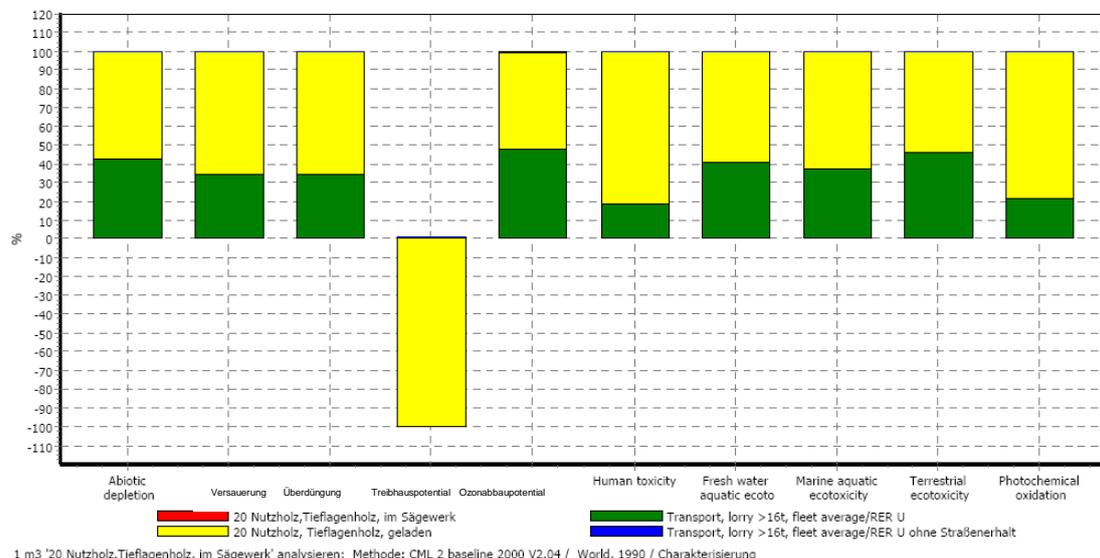


Abbildung 22: Wirkungsabschätzung Tieflagenholz, Nutzholz

Produkt: 20 Energieholz, Tieflagenholz, im Energieholzverwertungsbetrieb
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material/Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: IPCC 2007 GWP 100a ecoinvent kompatibel V1.01
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, IPCC GWP 100a (kg CO2 eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 5%

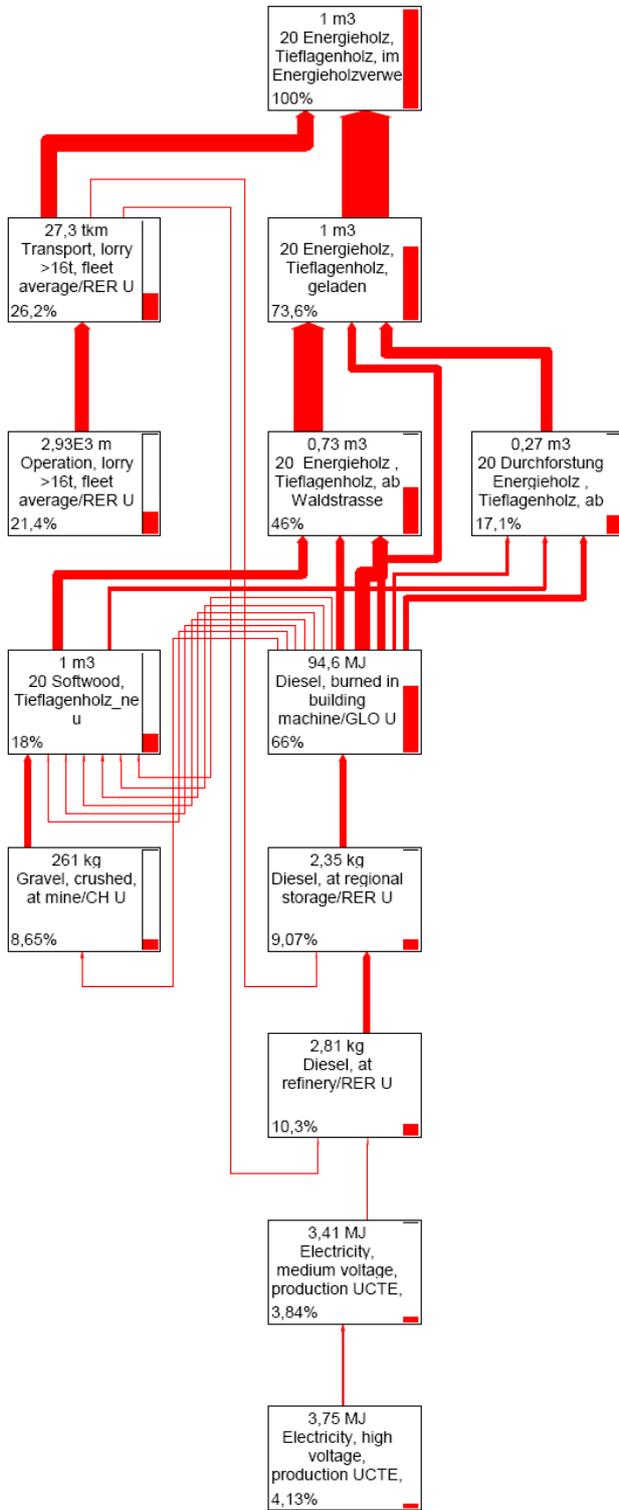


Abbildung 23: Auswertung Tieflagenholz - Energieholz; GWP (SimaPro)

Produkt: 20 Nutzholz,Tieflagenholz, im Sägewerk
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material/Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: IPCC 2007 GWP 100a ecoinvent kompatibel V1.01
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, IPCC GWP 100a (kg CO₂ eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 5%

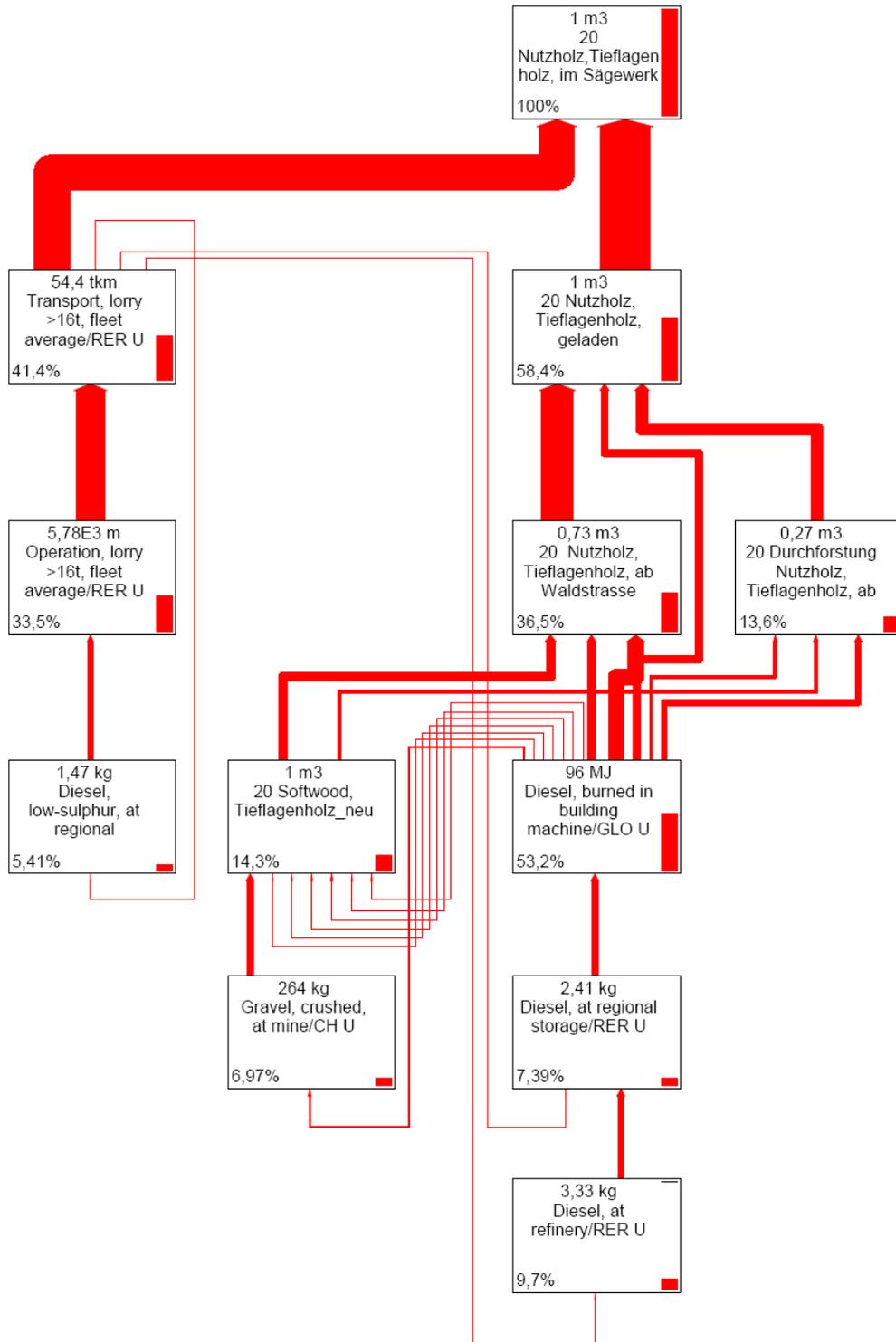


Abbildung 24: Auswertung Tieflagenholz - Nutzholz; GWP (SimaPro)

Produkt: 20 Nutzholz,Tieflagenholz, im Sägewerk
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material/Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 10%

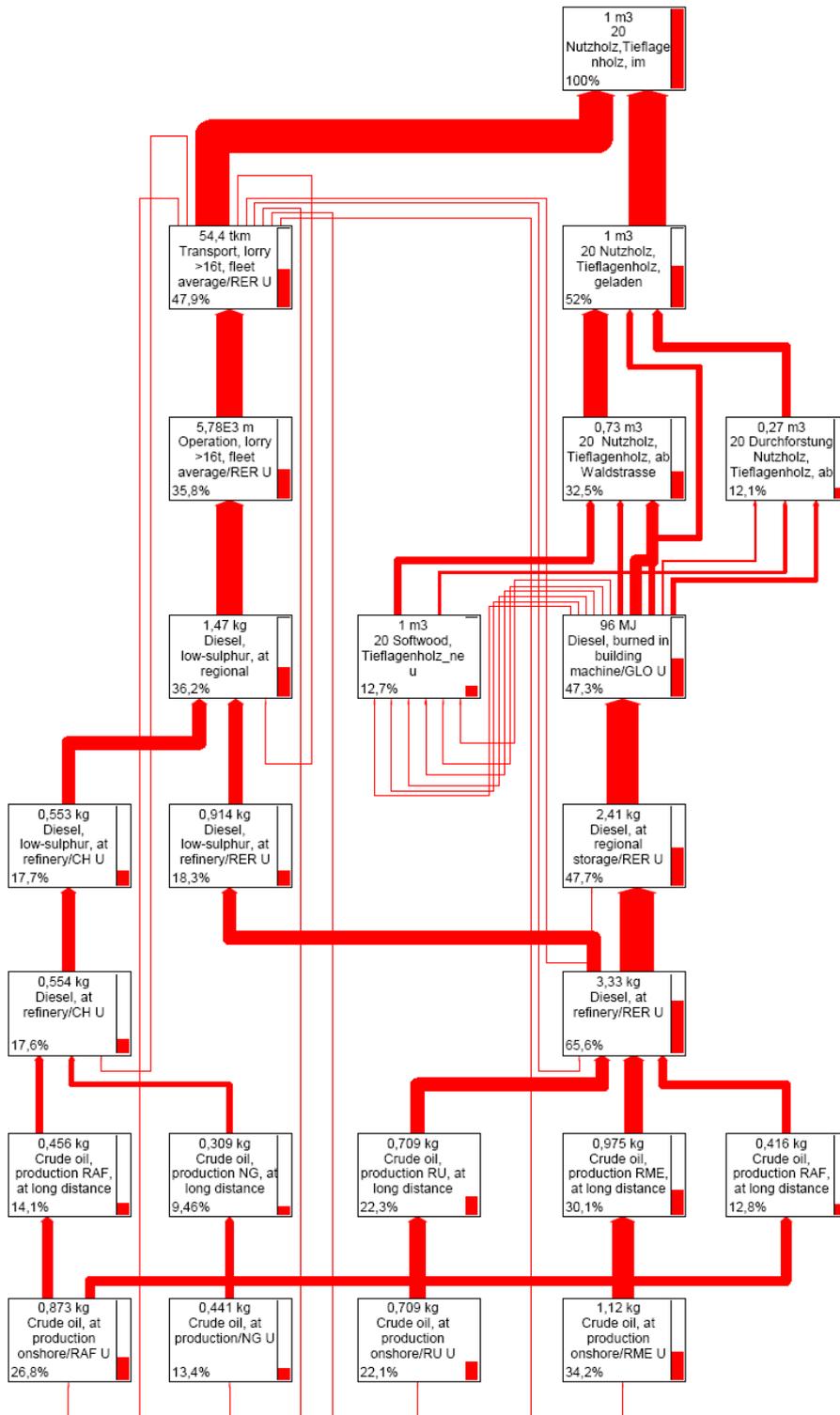


Abbildung 26: Auswertung Tieflagenholz, Ozonabbaupotential Nutzholz (SimaPro)

Produkt: 20 Energieholz, Tieflagenholz, im Energieholzverwertungsbetrieb
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgs Holz
 Kategorie: Material/Holzverarbeitung Gebirgs Holz
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Eutrophication (kg PO4--- eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 5%

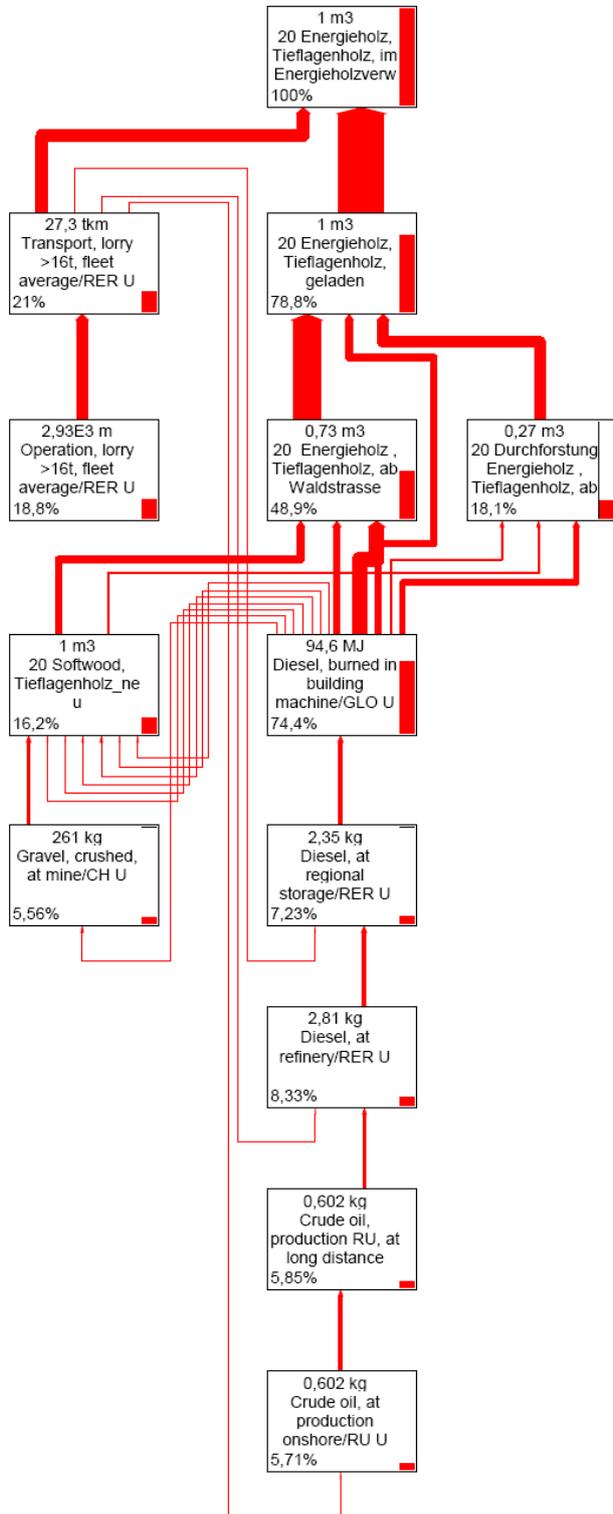


Abbildung 27: Auswertung Tieflagenholz, Überdünnung Energieholz (SimaPro)

Produkt: 20 Nutzholz, Tieflagenholz, im Sägewerk
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgs Holz
 Kategorie: Material/Holzverarbeitung Gebirgs Holz
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Eutrophication (kg PO4--- eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 5%

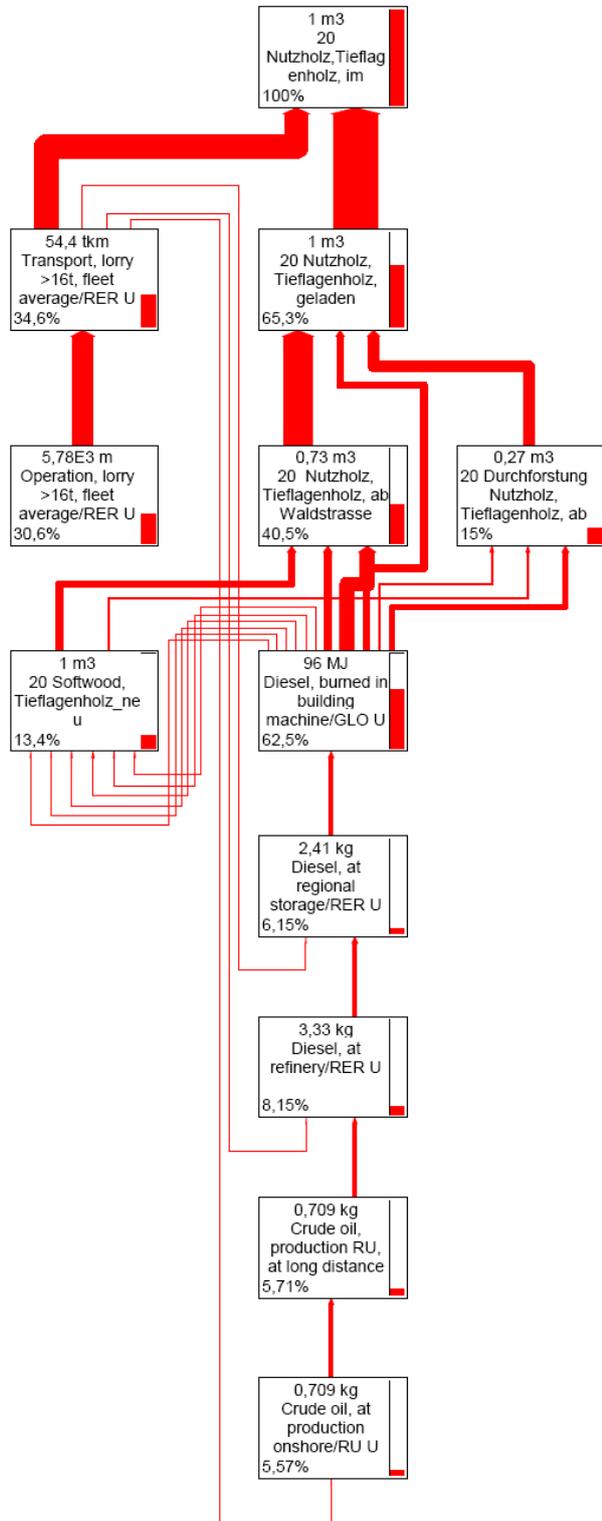


Abbildung 28: Auswertung Tieflagenholz, Überdünnung Nutzholz (SimaPro)

Produkt: 20 Energieholz, Tieflagenholz, im Energieholzverwertungsbetrieb
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material/Holzverarbeitung Gebirgsholz
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Acidification (kg SO₂ eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 5%

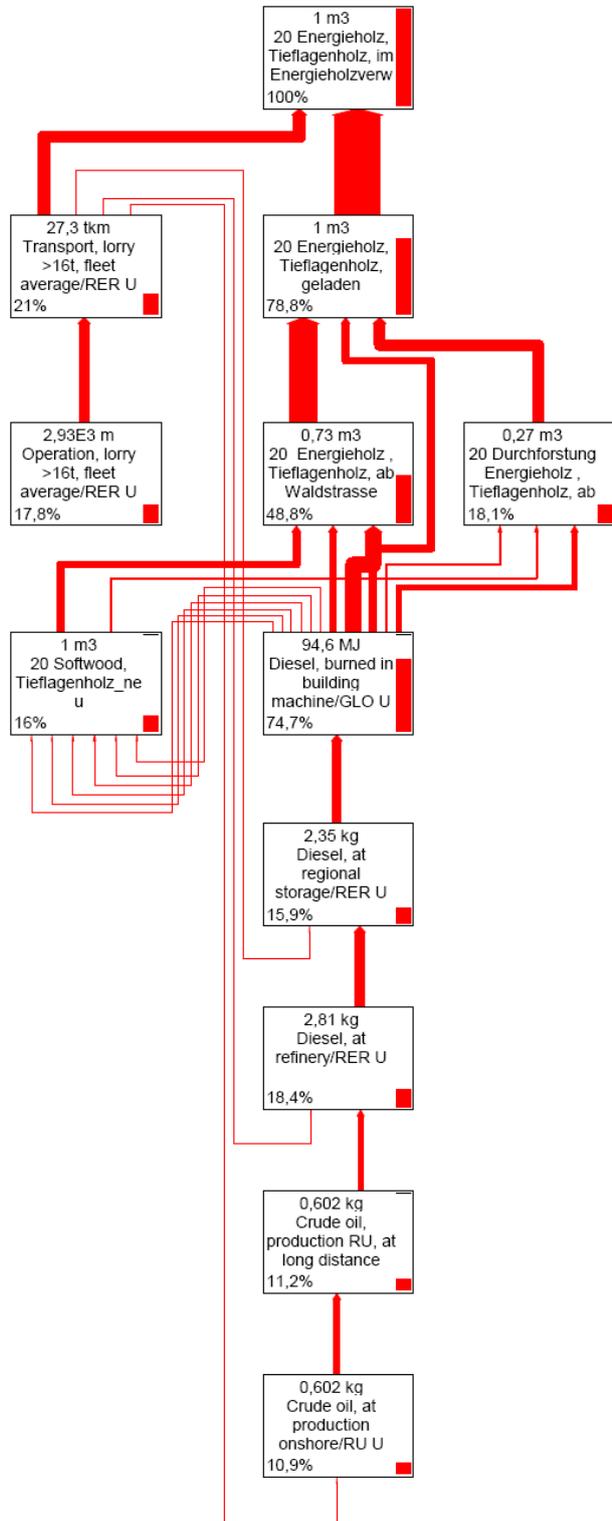


Abbildung 29: Auswertung Tieflagenholz, Versauerung Energieholz (SimaPro)

Produkt: 20 Nutzholz, Tieflagenholz, im Sägewerk
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgs Holz
 Kategorie: Material\Holzverarbeitung Gebirgs Holz
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Acidification (kg SO₂ eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 5%

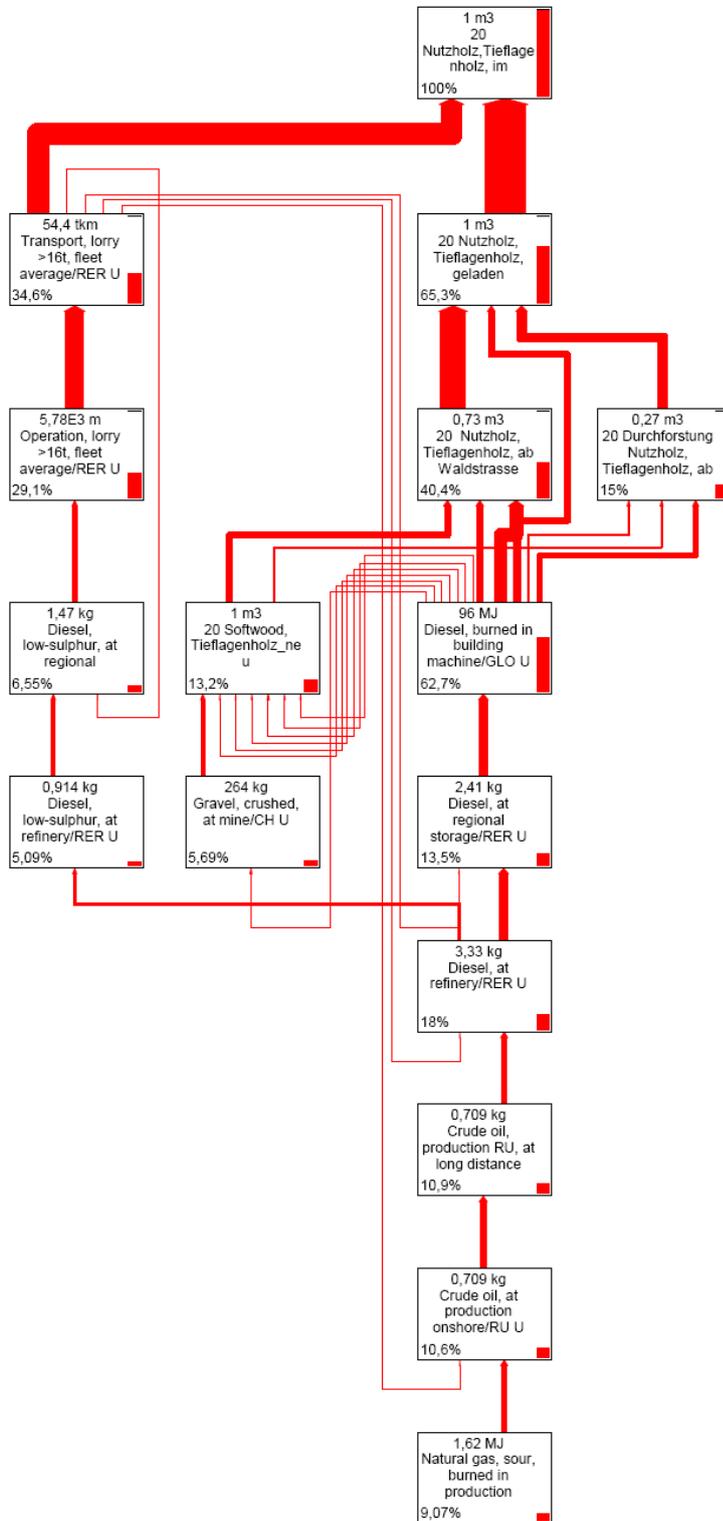


Abbildung 30: Auswertung Tieflagenholz, Versauerung Nutzholz (SimaPro)

5.4. Auswertung

Wie bereits im Punkt Wirkungsabschätzung Gebirgsholz dargestellt, sind einige der derzeit in Diskussion stehenden Wirkungskategorien, der Treibhauseffekt, die Versauerung, die Überdünnung, das Ozonabbaupotential und die nicht erneuerbaren Primärenergien. Die Wirkungsabschätzung für das Energieholz sowie für das Nutzholz kann den Abbildungen 21 und 22 entnommen werden. Hier werden sämtliche Prozesse zusammengefasst und die ausgewerteten Parameter grafisch dargestellt.

5.4.1. Treibhauspotential GWP

siehe Punkt 4.4.1. Auswertung Gebirgsholz

Das GWP für Tieflagenholz

In kg CO₂ eq

GWP Nutzholz Tieflagenholz -970

GWP Energieholz Tieflagenholz -974

Das negative Vorzeichen im Ergebnis des Treibhauspotentials zeigt, dass innerhalb des Prozesses vom Baum bis zum Sägewerk mehr CO₂ gebunden wird als durch Maschineneinsatz und Transport verbraucht wird.

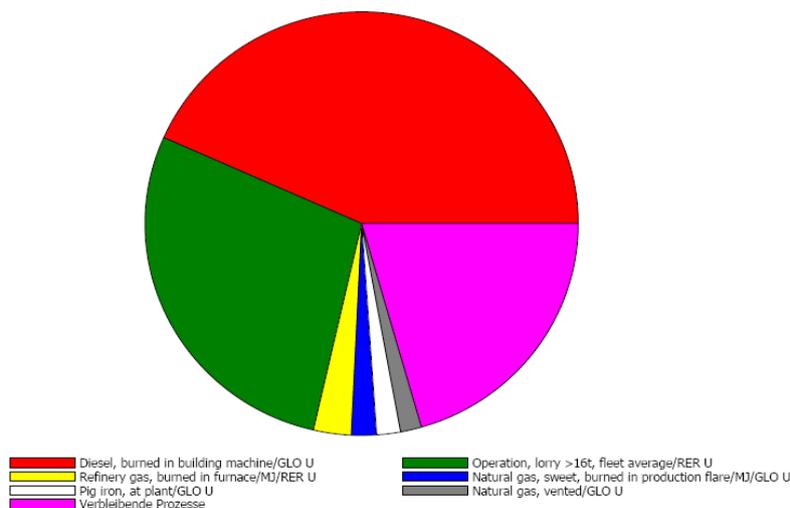
Die prozentuelle Zusammensetzung der einzelnen Prozesse ist in den Flussdiagrammen 23 und 24 abgebildet.

Die Auswertung der Prozessketten (Abbildung 23 und 24) zeigt, dass sich die maßgebenden Faktoren aus den Bereichen Transport und dem Treibstoffanteil (Diesel aus Maschinen) zusammensetzen (siehe Abbildung 31). Anzumerken ist hier, dass das Energieholz weniger Transportanteile hat.

SimaPro 7.1 Educational
Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz

Prozessbeitrag

Datum: 16.01.2011 Zeit: 16:23:11



1 m³ '20 Nutzholz,Tieflagenholz, im Sägewerk' analysieren; Methode: IPCC 2007 GWP 100a ecoinvent kompatibel V1.01 / Charakterisierung

Abbildung 31: Prozessbeitrag GWP Nutzholz Tieflagenholz

Das Diagramm (Abbildung 31) am Beispiel des Nutzholzes Tieflagenholz zeigt deutlich, dass das CO₂ den größten Anteil am Treibhauspotential hat.

5.4.2. Versauerungspotential AC

siehe Punkt 4.4.2. Auswertung Gebirgsholz

In kg SO₂ eq

AC Nutzholz Tieflagenholz 0,107

AC Energieholz Tieflagenholz 0,0889

Die prozentuelle Zusammensetzung der einzelnen Prozesse ist in den Flussdiagrammen Abbildung 27 und Abbildung 28 dargestellt.

5.4.3. Überdüngung, Eutrophierungspotential EP

siehe Punkt 4.4.3. Auswertung Gebirgsholz

Die Eutrophierungspotentiale für Tieflagenholz sind in der Abbildung 25 (Energieholz) und Abbildung 26 (Nutzholz) dargestellt.

In kg PO₄³⁻ eq

EP Nutzholz Tieflagenholz 0,0231

EP Energieholz Tieflagenholz 0,0191

5.4.4. Ozonabbaupotential ODP

siehe Punkt 4.4.4. Auswertung Gebirgsholz

Die prozentuelle Zusammensetzung der einzelnen Prozesse ist in den Flussdiagrammen Abbildung 25 und Abbildung 26 dargestellt.

In kg CFC-11 eq

ODP Nutzholz Tieflagenholz 2,3E-6

ODP Energieholz Tieflagenholz 1,75E-6

5.4.5. Primärenergiebedarf nicht erneuerbar PEI_{ne}

siehe Punkt 4.4.5. Auswertung Gebirgsholz

In kg MJ eq

PEI_{ne} Nutzholz Tieflagenholz 252

PEI_{ne} Energieholz Tieflagenholz 198

Die prozentuelle Zusammensetzung der einzelnen Prozesse ist in den Flussdiagrammen Abbildung 32 und Abbildung 33 dargestellt.

SimaPro 7.1 Educational
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgs Holz

Netz

Datum: 16.01.2011 Zeit: 17:46:58

Produkt: 20 Nutzholz, Tieflagenholz, im Sägewerk
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgs Holz
 Kategorie: Material\Holzverarbeitung Gebirgs Holz
 Methode: Cumulative Energy Demand V1.05 / Cumulative energy demand
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Non renewable, fossil (MJ eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 22%

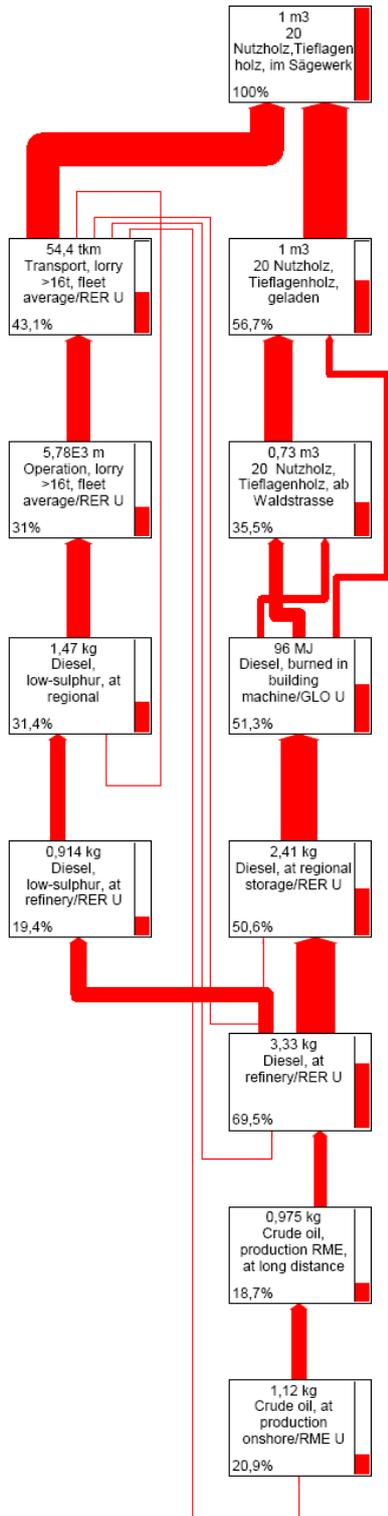


Abbildung 32: PEI_{ne} Nutzholz Tieflagenholz (SimaPro)

Produkt: 20 Energieholz, Tieflagenholz, im Energieholzverwertungsbetrieb
 Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Kategorie: Material\Holzverarbeitung_Gebirgsholz
 Methode: Cumulative Energy Demand V1.05 / Cumulative energy demand
 Ausgewählte Gewichtung: Charakterisierung, Non renewable, fossil (MJ eq)
 Knotengewichtung: Inputs einbeziehen
 Knotengrenzwert: 22%

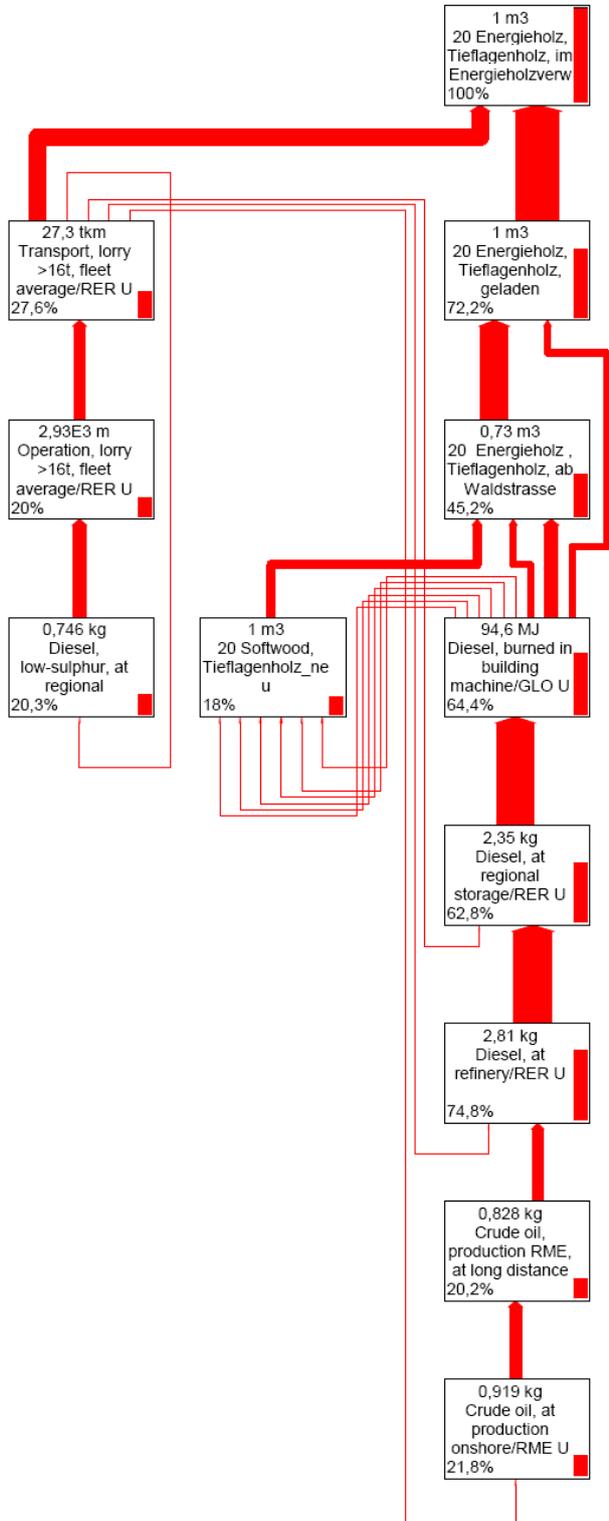


Abbildung 33:PEIne Energieholz Tieflagenholz. (SimaPro)

6. Bewertung und Diskussion der Ergebnisse

Vergleich Eingabedaten Gebirgsholz – Tieflagenholz		
	Tieflagenholz	Gebirgsholz
Vorrat	550 fm/ha	400 fm/ha
Einschlag	550	180
Verhältnis Nutzholz/Energieholz	80 / 20	80 / 20
Bestockungsgrad	0,9	0,9
Schlagfläche	1 ha	0,4 ha
Schlägerungszeitpunkt	Winter	Winter
Erschließungsdichte	40 lfm/ha	21 lfm/ha
Entfernung von der Hauptstraße		
Asphaltstraße	3 km	5 km
Schotterstraße	1 km	10 km
Seehöhe des Talbodens		600 m
Geländeneigung	0-30 %	50 – 100 %
Geländemorphologie	Homogen	Homogen / konkav
Ernteverluste		11,5 % Verlust Rindenanteil
		13 % Schlagrücklass
Holzernte		
Bringung	Forwarder / Radharvester	Kettensäge / Kippmastseilkran
	Rückelinien: 10	Seillinien: 1
	Abstand zwischen Rückegassen: 20 m	Länge der Seiltrasse: 200 lfm
	Länge der Rückelinien: 50 lfm	Seitlicher Zuzug 15 m
Transportdistanz für Sägerundholz bis Sägewerk (Schotter)	1 km	3 km (Vortransport)
Transportdistanz für Sägerundholz bis Sägewerk (Schotter)		7 km
Transportdistanz für Sägerundholz bis Sägewerk (Asphalt):	100 km	30 km
Transportdistanz für Energieholz (Schotter)	1 km	3 km (Vortransport)
Transportdistanz für Energieholz (Schotter):		7 km
Transportdistanz für Energieholz (Asphalt)	50 km	30 km

Vergleich Eingabedaten Gebirgsholz – Tieflagenholz				
	Tieflagenholz		Gebirgsholz	
Landverbrauch	1667 m ²		2000 m ²	
Durchforstung				
Durchforstung	0,27 %		0,357 %	
Endnutzung	0,73 %		0,643 %	
Daten bzw. Einsatzdauer der erforderlichen Maschinen				
	Leistung kW	Einsatzdauer h / lfm	Leistung kW	Einsatzdauer h / lfm
Straßenfertiger (Teermaschine)	35	0,008	35	0,008
Walze	60	0,008	60	0,008
LKW	235	0,004	235	0,004
Bagger	75	0,004	75	0,004
Aufwand gesamt – 7 jährige Forststraßeninstandsetzung				
Straßenfertiger	0,27 kWh/fm		0,17 kWh/fm	
Walze	0,46 kWh/fm		0,29 kWh/fm	
LKW	0,895 kWh/fm		0,564 kWh/fm	
Bagger	0,29 kWh/fm		0,18 kWh/fm	
Instandhaltungskosten aufgeteilt in Jahre	7 Jahre		7 Jahre	
Erschließungsdichte	40 lfm / ha		21 lfm / ha	
Erschlossene Waldfläche	25 ha – 1 km Waldstraße		476 ha – 10 km Waldstraße	
Einschlag	6 fm / ha / a		5 fm / ha / a	
Eingeschlagene Holzmasse	1050 fm (25 ha Wald – 7 Jahre)		16.660 fm (476 ha Wald – 7 Jahre)	
Schotter	257,14 kg / fm		162 kg / fm	
Weitere Quantitative Eingabeparameter				
Verhältnis Erntegewinne und Verluste	10 %		10 %	
Kettensäge	-		0,4 h / fm	
Kippmastseilkran	-		Steyr; 70 kW	
Einsatzdauer Kippmastseilkran	-		0,125 h / fm 4,38 kWh/fm 2,1 kWh/fm	
Radharvester	12,2 kWh / fm		-	
Bringung mittels Forwarder	5,76 kWh / fm		-	
Laden	4,17 kWh / fm		= 4,17 kWh / fm > 4,17 / 2 = 2,085 kWh/fm	
Vortransport	-		Nutzholz – Energieholz 1,62 tkm / fm	

Transport	Energieholz 0,54 tkm / fm 27 tkm / fm	Nutzholz – Energieholz 3,78 tkm / fm 16,2 tkm / fm
	Nutzholz 0,54 tkm / fm 54 tkm / fm	

Tabelle 9: Vergleich Eingabedaten Gebirgsholz - Tieflagenholz

Gegenüberstellung der ausgewerteten Wirkungspotentiale

	GWP kg CO ₂ -eq	Versauerung kg SO ₂ -eq	Überdüngung kg PO ₄ ³⁻ -q	Ozon kg CFC-11-q	PEI _{ne} kg MJ-eq
Gebirgsholz					
Energieholz	-996	0,0515	0,0129	1,3 E-6	147
Nutzholz	-996	0,0515	0,0129	1,3 E-6	147
Tieflagenholz					
Energieholz	-974	0,0889	0,0191	1,75E-6	198
Nutzholz	-970	0,107	0,0231	2,30E-6	252

Tabelle 10: Gegenüberstellung der ausgewerteten Wirkungspotentiale

Der Zusammenhang der hier aufgelisteten Zahlenwerte im Vergleich Gebirgsholz – Tieflagenholz wird unter Punkt 9 Zusammenfassung und Schlussfolgerung näher erläutert. Wie schon unter 5.4.1. beschrieben, zeigt das negative Vorzeichen im Ergebnis des Treibhauspotentials, dass innerhalb des Prozesses vom Baum bis zum Sägewerk mehr CO₂ gebunden wird als durch Maschineneinsatz und Transport verbraucht wird.

7. Sensitivitätsanalyse

Es wird eine ökonomische Allokation zwischen Energie- und Nutzholz vorgeschlagen. Die Massenaufteilung bleibt gleich. Die Allokation ändert sich jedoch, je nachdem wie viel Wert das Nutzholz und das Energieholz haben. Wird davon ausgegangen, dass 1 m³ Nutzholz teurer ist als 1 m³ Energieholz, führt die ökonomische Allokation dazu, dass Nutzholz höhere Belastungen verursacht als Energieholz.

8. Vergleich mit ecoinvent Holzdatensätzen

Im Vergleich mit den Holzdatensätzen, die die Datenbank „ecoinvent“ als abgeschlossenen Prozess bereits anbietet, sind große Unterschiede festzuhalten. Die Auffälligkeiten beziehen sich auf das Holz ab Waldstraße.

Es werden folgende Prozesse verglichen:

- Nutzholz, Tieflagenholz ab Waldstraße
- Nutzholz, Gebirgsholz ab Waldstraße
- Ecoinvent: round wood, softwood under bark, at forest road

Der ecoinvent Prozess verursacht in etwa doppelt so hohe Belastungen. Dies ist hauptsächlich auf den höheren Dieselbedarf und auf die höheren Sägeaufwendungen im ecoinvent-Prozess zurückzuführen.

Prozess	Diesel, burned in building machine (MJ/m ³)	Power sawing (s/m ³)
Nutzholz, Tieflagenholz ab Waldstraße	78	235
Nutzholz, Gebirgsholz ab Waldstraße	22	1440
Ecoinvent: round wood	107	1290

Tabelle 11: Vergleich mit ecoinvent Holzdatensätze

Begründung

Da alle weiteren Inputs bis zur Endnutzung (technische Produktion) eine geringe Auswirkung auf das Endergebnis des Gebirgsholzes im Sägewerk haben, müssen der Harvester und der Forwarder sehr effizient sein.

Die Durchforstung bei den ecoinvent Daten erfolgt hauptsächlich mit Motorsäge.

Das Gebirgsholz zeigt einen kleineren Aufwand für die technische Produktion, die Ernte erfolgt mit einer Motorsäge. Der Maschineneinsatz zur Bringung bis zur Waldstraße ist verhältnismäßig gering.

9. Zusammenfassung - Schlussfolgerung

Anhand der Auswertung ist zu erkennen, dass das Gebirgsholz im Vergleich zum Tieflagenholz in den meisten Bereichen besser abschneidet. Der Hauptgrund liegt vor allem darin, dass bei der Ernte von Gebirgsholz insgesamt weniger Transportanteile notwendig sind und auch weniger Maschinen eingesetzt werden müssen.

	GWP kg CO ₂ -eq	Versauerung kg SO ₂ -eq	Überdüngung kg PO ₄ ³⁻ -q	Ozon kg CFC-11-q	PEIne kg MJ-eq
Gebirgsholz					
Energieholz	-996	0,0515	0,0129	1,3 E-6	147
Nutzholz	-996	0,0515	0,0129	1,3 E-6	147
Tieflagenholz					
Energieholz	-974	0,0889	0,0191	1,75E-6	198
Nutzholz	-970	0,107	0,0231	2,30E-6	252

Tabelle 12: Gegenüberstellung der ausgewerteten Wirkungspotentiale

Werden die Ergebnisse des Gebirgsholzes in den einzelnen Wirkungskategorien mit gefahrenen PKW Kilometern (siehe Punkt 10.6) verglichen, kann festgestellt werden, dass z.B. 1 m³ Gebirgsholz im Sägewerk in Bezug auf das Versauerungspotential ca. 100 gefahrenen PKW-Kilometern gleichzusetzen ist. Fährt man mit dem PKW 161 km entspricht dies dem Überdüngungspotential des Gebirgsholzes im Sägewerk. Das Ozonabbaupotential von 1 m³ Gebirgsholz entspricht 56 km mit einem durchschnittlichen mit Diesel betriebenen PKW. Wie schon bei der Tabelle 10 beschrieben zeigt das negative Vorzeichen im Ergebnis des Treibhauspotentials, dass innerhalb des Prozesses vom Baum bis zum Sägewerk mehr CO₂ gebunden wird als durch Maschineneinsatz und Transport verbraucht wird.

10. Fallstudie

Im Anschluss an die Bilanzierung und Auswertung wird das Ergebnis anhand eines konkreten Fallbeispiels verdeutlicht. Dabei wird ein Deckenelement mit dem Baustoff Holz bzw. Beton analysiert und verglichen. Bei dem Holzsystem handelt es sich um eine Brettstapeldecke, die einer üblichen Stahlbetondecke gegenübergestellt wird.

10.1. Eingabedaten Brettstapeldecke und Stahlbetondecke

10.1.1. Brettstapeldecke in m³

Das nicht vorgetrocknete Gebirgsholz (Holzart Fichte) aus der Studie wird im Sägewerk geschnitten. Im nächsten Schritt erfolgt der Transport des Schnittholzes zum Betrieb des Brettschichtholzherstellers und wird dort zum Produkt verarbeitet.

Für 1 m³ Brettschichtholz werden 2,2 m³ Rundholz mit 11,5 % Rindenverlust benötigt, das sind insgesamt **2,453 m³**.

Durch die Verarbeitung fallen Nebenprodukte an, die ökonomisch verwertet werden können wie z.B. Hackgut, Rinde und Sägespäne. Diese Nebenprodukte werden durch eine Allokation (Zuteilung von Emissions- und Energiebeiträgen zu der „eigentlichen Quelle“) in der Ökobilanzierung berücksichtigt.

Folgende Annahme wird dabei getroffen: 1 m³ Brettschichtholz kostet 460,00 € und der Mittelwert der Verkaufswerte der Nebenprodukte beträgt 20,05 €/m³. Die Allokation vermindert den Holzanteil für die Brettschichtholzproduktion.

Die verwendeten Eingabewerte wurden bei der Firma THEURL HOLZ, 9911 Assling in Osttirol erhoben. Es wurde auch bei der Firma Binderholz in 6263 Fügen im Zillertal bzgl. der Werte nachgefragt, um möglichst genaue Angaben für die Fallstudie zu erhalten. Die Angaben der beiden Firmen sind vergleichbar, daher wird keine Mittelung der Werte vorgenommen.

Angaben Energieaufwendungen Firma THEURL HOLZ				
Stromverbrauch	58	kWh		
Energie Trocknung	295,2	kWh	1062,72	MJ
Transport	100	km	41	tkm

Tabelle 13: Angaben Energieaufwendungen Firma THEURLHOLZ

Der Stromverbrauch wird mit einer Kraft-Wärmekopplungsanlage abgedeckt. Die Energie für die Trocknung wird durch die Verbrennung von Holzreststoffen erzeugt.

Transport Chemikalien					
Zug	12 kg	600	km	7,2	tkm
LKW	12 kg	100	km	1,2	tkm

Tabelle 14: Transport Chemikalien

Der Transport der Chemikalien setzt sich aus einer 600 km langen Zugfahrt und einer 100 km langen LKW Fahrt zusammen.

Eingabedaten Brettstapeldecke pro m³		
Aktivität	Verbrauch/Menge	Einheit
Dieserverbrauch der Maschinen	33,6	MJ
Eletrizität aus KWK	58 (208,8)	kWh (MJ)
Gebirgsholz Schnittholz 70%	1	m ³
Transport LKW Holz	41	tkm
Transport LKW Chemikalien	1,2	tkm
Transport Zug	7,2	tkm
Harnstoff-Formaldehyd	12	kg
Holz schnitzelfeuerung	1062,72	MJ
Holz schnitzel ab Sägewerk	-0,336	m ³
Holzplattenwerk	3,33E-08	p

Tabelle 15: Eingabedaten Brettstapeldecke

10.1.2. Stahlbetondecke in m³

Bei der Stahlbetondecke wird unterschieden zwischen der Stahlbetonproduktion in Nordtirol und der Stahlproduktion in Südtirol, weil sich die Bezugsquellen für Zement und Stahl unterscheiden. Diese werden entsprechend ihrer Entfernungen zum Bezugsort Innsbruck bzw. zum Bezugsort Bozen mit ihren Transportlängen berücksichtigt. Weiters wird die Stromzusammensetzung entsprechend der einzelnen

Länder, in denen der Stahl bzw. Zement bezogen wird, gewählt. Für 1 m³ Stahlbeton werden im Mittel 100 kg Stahl und 300 kg Zement benötigt.

Die Daten für die Bezugsquellen von Zement für die Stahlbetondecke in Nordtirol wurden vom Arbeitsbereich Materialtechnologie der Universität Innsbruck erhoben. Die Daten vom Stahl wurden von der Firma Eisen Blasy in Innsbruck zur Verfügung gestellt. Die Daten der Bezugsquellen für die Stahlbetondecke – Südtirol wurden vom TIS in Bozen erhoben.

Eingabedaten Stahlbetondecke - Nordtirol pro m³		
Aktivität	Verbrauch/Menge	Einheit
Betonmischwerk	4,57E-07	p
Dieserverbrauch der Maschinen	22,7	MJ
Österreichischer Strom für Produktion	4,36 (15,7)	kWh (MJ)
Rundkies	1890	kg
Ölfeuerung	3,09	MJ
Ölfeuerung: Leichtöl	13,3	MJ
Schmieröl	0,0119	kg
Erdgasfeuerung	1,16	MJ
Portlandzement D	150	kg
Portlandzement A	150	kg
Stahl Österreich	40	kg
Stahl Tschechien	5	kg
Stahl Deutschland	40	kg
Stahl Russland	5	kg
Stahl Italien	10	kg
Gummi	0,0073	kg
Trinkwasser	186	kg
Transport Zug	13,8	tkm
Transport 3,5t-16t Durchschnitt LKW	68	tkm

Tabelle 16: Eingabedaten Stahlbetondecke - Nordtirol

Eingabedaten Stahlbetondecke - Südtirol pro m³		
Aktivität	Verbrauch/Menge	Einheit
Betonmischwerk	4,57E-07	p
Dieserverbrauch der Maschinen	22,7	MJ
Italienischer Strom für Produktion	4,36 (15,7)	kWh (MJ)
Rundkies	1890	kg
Ölfeuerung	3,09	MJ
Ölfeuerung: Leichtöl	13,3	MJ
Schmieröl	0,0119	kg
Erdgasfeuerung	1,16	MJ
Portlandzement	300	kg
Stahl	100	kg
Gummi	0,0073	kg
Trinkwasser	186	kg
Transport 3,5t-16t Durchschnitt LKW	40,2	tkm

Tabelle 17: Eingabedaten Stahlbetondecke - Südtirol

10.2. Auswertung Brettstapeldecke u. Stahlbetondecke in m³

10.2.1. Wirkungsabschätzung - Brettstapeldecke

SimaPro 7.1 Educational
Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz

Wirkungsabschätzung

Titel: 1 m³ '2Glued laminated timber, indoor use, Gebirgsholz2' analysieren
Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
Indikator: Charakterisierung
Kategorien überspringen: Nie
Relativer Modus: Nicht

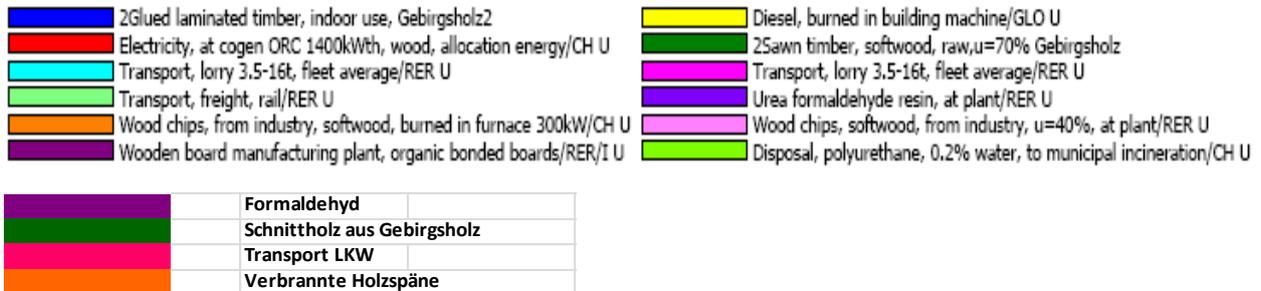
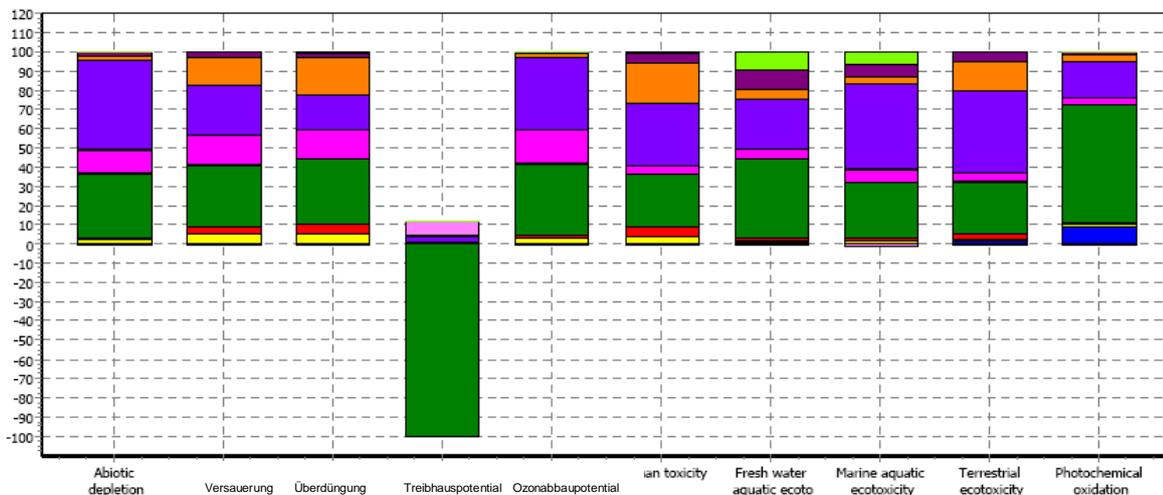


Abbildung 34: Wirkungsabschätzung Brettstapeldecke

Brettstapeldecke		
Wirkungskategorie	Einheit	Total/m ³
Versauerung	kg SO ₂ eq	0,486
Überdüngung	kg PO ₄ --- eq	0,106
GWP	kg CO ₂ eq	-1160
Ozon	kg CFC-11 eq	1,2E-05
PEI _{ne}	MJ eq	1775
PEI _e	MJ eq	15803,04

Tabelle 18: Wirkungskategorien Brettstapeldecke

In der Abbildung 34 werden folgende Ergebnisse sichtbar. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich beim Holz durch die Speicherung von CO₂ (100%) im Vergleich zum CO₂ Ausstoß durch Formaldehyd und Transport (10%) ein besonders positiver Effekt in Blick auf die Wirkungskategorie Treibhauspotential ergibt. D.h. die CO₂ Speicherung ist immer höher als der CO₂ Ausstoß.

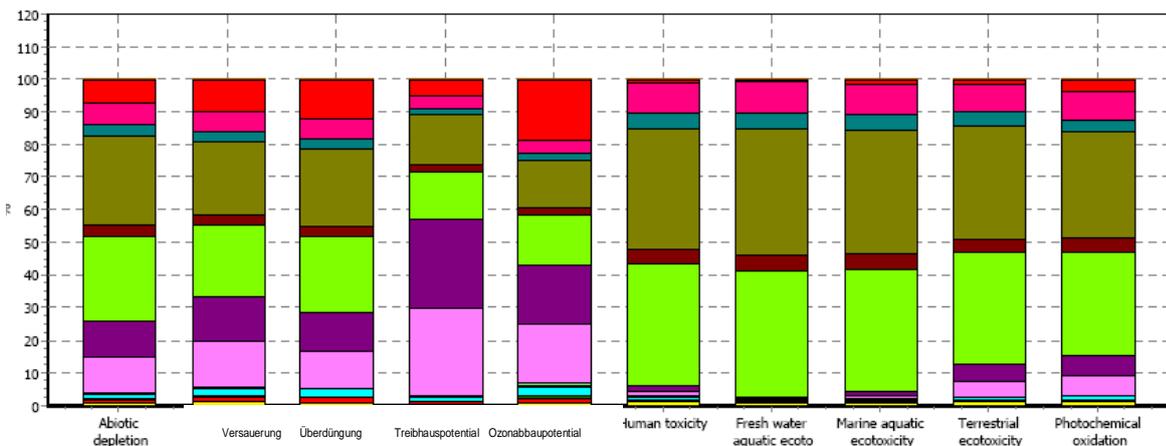
Der Einsatz von Formaldehyd wirkt sich jedoch in allen Wirkungskategorien negativ aus. Weiters ist ersichtlich, dass der Transport des Schnittholzes (Gebirgsholz) ebenfalls negative Folgen in allen Wirkungskategorien hat. Der Transport des Schnittholzes vom Sägewerk bis zum Brett-schichtholzverarbeitenden Betrieb schlägt sich mit ca. 10% der gesamten Umweltwirkung in der jeweiligen Wirkungskategorie (Versauerung, Überdüngung, Treibhauspotential und Ozonabbaupotential) nieder. Die Abbildung zeigt auch, dass das Verbrennen der Holzspäne zur Trocknung des Holzes vor allem in den Wirkungskategorien Versauerung und Überdüngung negative Auswirkungen mit sich bringt.

10.2.2. Wirkungsabschätzung – Stahlbetondecke Nordtirol

SimaPro 7.1 Educational
Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz

Wirkungsabschätzung

Titel: 1 m3 'Stahlbeton, normal, at plant Nordtirol' analysieren
Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
Indikator: Charakterisierung
Kategorien überspringen: Nie
Relativer Modus: Nicht



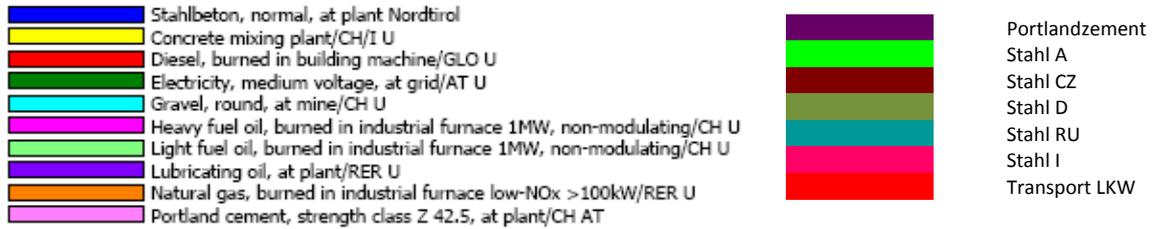


Abbildung 35: Wirkungsabschätzung Stahlbetondecke Nordtirol

Stahlbetondecke Nordtirol		
Wirkungskategorie	Einheit	Total/m ³
Versauerung	kg SO ₂ eq	1,23
Überdüngung	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq	0,223
GWP	kg CO ₂ eq	468
Ozon	kg CFC-11 eq	1,9E-05
PEI _{ne}	MJ eq	4367
PEI _e	MJ eq	221,73

Tabelle 19: Wirkungskategorien Stahlbetondecke Nordtirol

10.2.3. Wirkungsabschätzung – Stahlbetondecke Südtirol

SimaPro 7.1 Educational

Wirkungsabschätzung

Projekt: LCA_Holzverarbeitung_Gebirgsholz

Titel: 1 m3 'Stahlbeton, normal, at plant Südtirol' analysieren
 Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990
 Indikator: Charakterisierung
 Kategorien überspringen: Nie
 Relativer Modus: Nicht

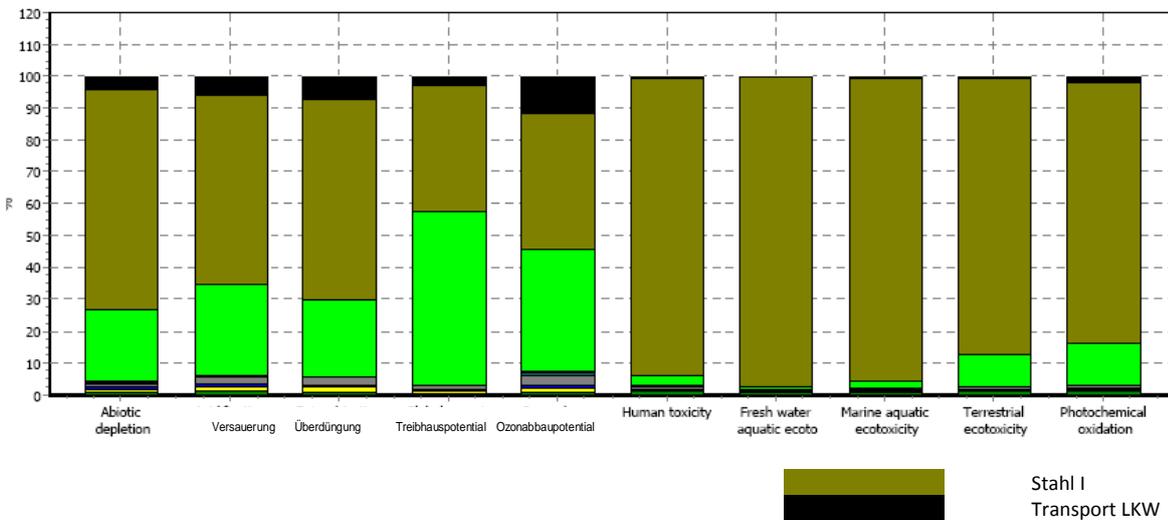


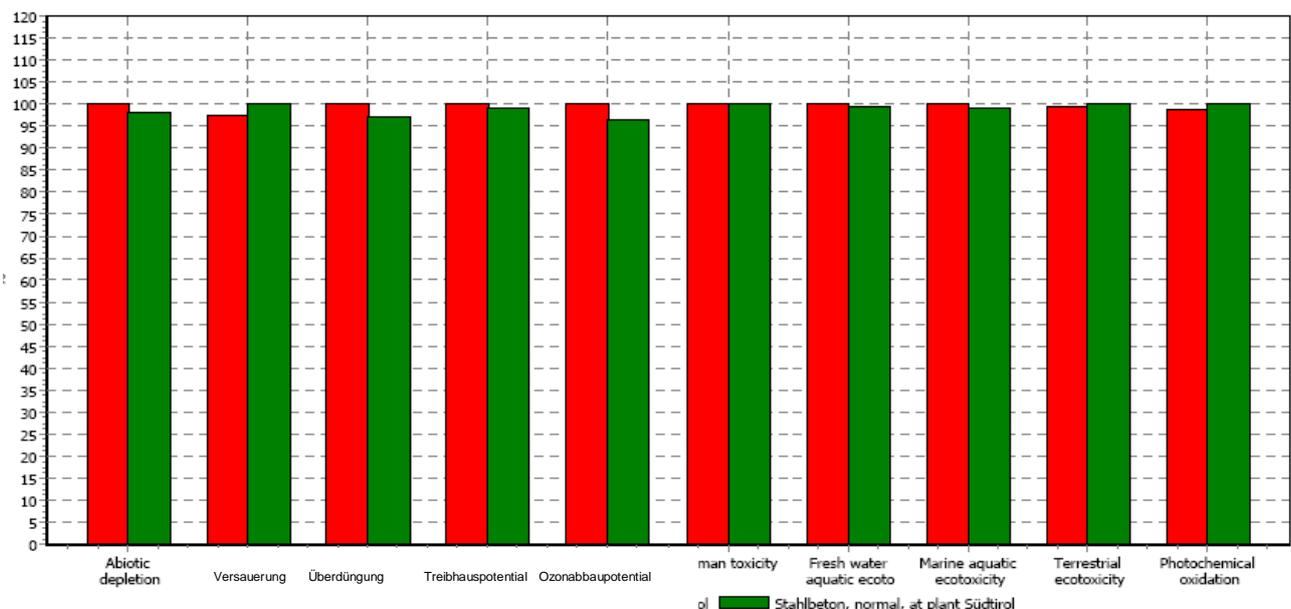
Abbildung 36: Wirkungsabschätzung Stahlbetondecke Südtirol

Stahlbetondecke Südtirol		
Wirkungskategorie	Einheit	Total/m ³
Versauerung	kg SO ₂ eq	1,27
Überdüngung	kg PO ₄ --- eq	0,217
GWP	kg CO ₂ eq	463
Ozon	kg CFC-11 eq	1,9E-05
PEIne	MJ eq	4241
PEle	MJ eq	187,45

Tabelle 20: Wirkungskategorien Stahlbetondecke Südtirol

Sowohl für die Stahlbetondecke aus Nordtirol wie auch für die Stahlbetondecke aus Südtirol ist zu erkennen, dass der Stahl als Input die größte Auswirkung auf die Höhe des Endergebnisses in den einzelnen Wirkungskategorien hat. Des Weiteren verursacht der Zement erhebliche Anteile in der jeweiligen Wirkungskategorie. Durch die Gegenüberstellung der Stahlbetondecke aus Nordtirol mit jener aus Südtirol ist ersichtlich, dass der Anteil des Transportes bzw. der Anteil des Stromes auf die Produktion des Bewehrungsstahles keinen gravierenden Einfluss haben. Trotz Berücksichtigung der verschiedenen Stromzusammensetzungen der einzelnen Bezugsländer unterscheiden sich die Ergebnisse der zwei Stahlbetondecken um weniger als 10%. Den größten Anteil in den einzelnen Wirkungskategorien haben die Produktion des Stahls in den Schmelzanlagen und der Brennprozess für die Klinkerherstellung des Zements.

10.2.4. Wirkungsabschätzung – Vergleich Stahlbetondecke Nord- und Südtirol



m³ 'Stahlbeton, normal, at plant Nordtirol' mit 1 m³ 'Stahlbeton, normal, at plant Südtirol' verglichen; Methode: CML 2 baseline 2000 V2.04 / World, 1990 / Charakterisierung

Abbildung 37: Wirkungsabschätzung – Vergleich Stahlbetondecke Nord- und Südtirol

10.2.5. Vergleich Brettstapelholz und Stahlbetondecke

Vergleich Brettstapeldecke - Stahlbetondecken		
Wirkungskategorie	Brettstapel- STB Nordtirol	Brettstapel- STB Südtirol
-	[%]	[%]
Versauerung	44,5	43,1
Überdüngung	53,5	55,0
GWP	-278,8	-281,9
Ozon	71,3	72,2
PEI _{ne}	45,7	47,1
PEI _e	8018,0	9484,4

Tabelle 21: Wirkungskategorien – Vergleich der Brettstapeldecken zur Stahlbetondecke

Wie in der Tabelle 21 ersichtlich, schneidet die Brettstapeldecke im Vergleich zur Stahlbetondecke (100%) in allen Wirkungskategorien deutlich besser ab. Die Wirkungskategorie Versauerung beträgt 44,5% bzw. 43,1% der Auswirkung der Stahlbetondecke Nordtirol bzw. Südtirol. Die Überdüngung der Brettstapeldecke liegt bei nur 53,5 % bzw. 55 % im Vergleich der Stahlbetondecke mit 100%.

Das Treibhauspotential (CO₂ - Ausstoß) ist bei der Brettstapeldecke negativ. Wie schon beschrieben heißt das, dass mehr CO₂ gespeichert als ausgestoßen wird. Das Ozonabbaupotential mit 71,3% bzw. 72,2% bei der Brettstapeldecke ist auch erheblich geringer als bei der Stahlbetondecke. Die Verwendung von nicht erneuerbarer Primärenergie ist mit einen Anteil von ca. 45,7% bzw. 47,1% ist ebenfalls deutlich besser als von jener der Stahlbetondecke. Die erneuerbare Primärenergie ist mit 8018% bzw. 9484,4% um ein Vielfaches höher als bei der Stahlbetondecke.

10.3. Vergleich Brettstapeldecke und Stahlbetondecke in m²

10.3.1. Decke Fallbeispiel 1

Die dargestellten Geschossdecken (Holz und Stahlbeton) werden mit einer für den Hausbau häufigen Spannweite von 5,5 m angenommen. Die Deckenauflast (19,5 cm Bodenaufbau) wurde bei beiden Materialien gleich gewählt und beträgt ca. 300 kg/m². Der genaue Deckenaufbau ist in den folgenden Abbildungen beschrieben.

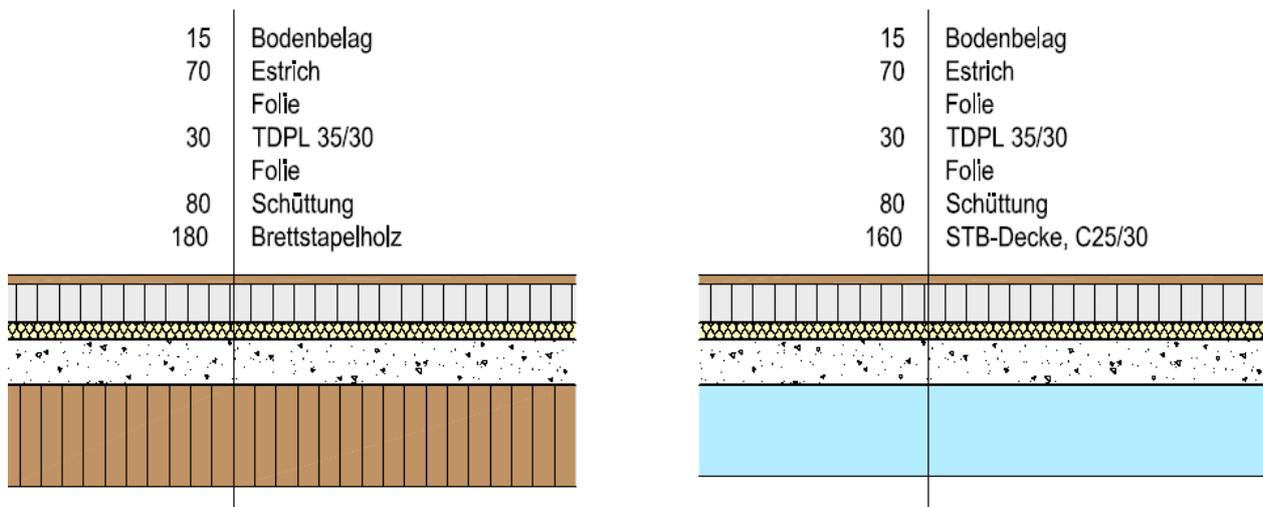


Abbildung 38: Deckenaufbau Brettstapeldecke – Stahlbetondecke

Die STB-Decke hat lt. statischer Berechnung eine Höhe von 16 cm und einen Stahlanteil von 10kg/m².

Die Brettstapeldecke hat lt. statischer Berechnung eine Höhe von 18 cm.

Brettstapeldecke		
Wirkungskategorie	Einheit	Total/m ² (d=18cm)
Versauerung	kg SO ₂ eq	0,087
Überdüngung	kg PO ₄ --- eq	0,019
GWP	kg CO ₂ eq	-208,800
Ozon	kg CFC-11 eq	2,16E-06
PEI _{ne}	MJ eq	319,500
PEI _e	MJ eq	2844,547

Tabelle 22: Wirkungskategorien – Brettstapeldecke

Stahlbetondecke Nordtirol		
Wirkungskategorie	Einheit	Total/m ² (d=16cm)
Versauerung	kg SO ₂ eq	0,197
Überdüngung	kg PO ₄ --- eq	0,036
GWP	kg CO ₂ eq	74,880
Ozon	kg CFC-11 eq	0,000
PEI _{ne}	MJ eq	698,720
PEI _e	MJ eq	35,477

Tabelle 23: Wirkungskategorien – Stahlbetondecke in Nordtirol

Stahlbetondecke Südtirol		
Wirkungskategorie	Einheit	Total/m ² (d=16cm)
Versauerung	kg SO ₂ eq	0,203
Überdüngung	kg PO ₄ --- eq	0,035
GWP	kg CO ₂ eq	74,080
Ozon	kg CFC-11 eq	0,000
PEI _{ne}	MJ eq	678,560
PEI _e	MJ eq	29,992

Tabelle 24: Wirkungskategorien – Stahlbetondecke in Südtirol

Anhand der drei Tabellen ist (im Vergleich der Wirkungskategorien) klar ersichtlich, dass die Brettstapeldecke in allen Wirkungskategorien deutlich besser abschneidet als die Stahlbetondecke. Was hier am Beispiel der Stahlbetondecke aus Nordtirol deutlich gemacht wird. Die Versauerung und die nicht erneuerbare Primärenergie der Brettstapeldecke liegen bei ca. 45% im Vergleich zur Stahlbetondecke 100% aus Nordtirol. Die Überdüngung der Brettstapeldecke hat eine Größe von ca. 54% im Vergleich der Stahlbetondecke 100% aus Nordtirol. Die erneuerbare Primärenergie der Brettstapeldecke weist hingegen das 81-fache jener der Stahlbetondecke aus Nordtirol auf.

10.4. Vergleich Brettschichtholzträger und Stahlträger

10.4.1. Träger Fallbeispiel 2

Die dargestellte Balkendecken (Holz und Stahl) werden mit derselben Spannweite wie die Flachdecken von 5,5 m angenommen. Der Bodenaufbau deckt sich mit dem beim Fallbeispiel 1 (vgl. Punkt 10.3.1.). Der genaue Deckenaufbau (23,5 cm) ist in der folgenden Abbildung beschrieben. Der Achsabstand der Träger beträgt 60 cm.

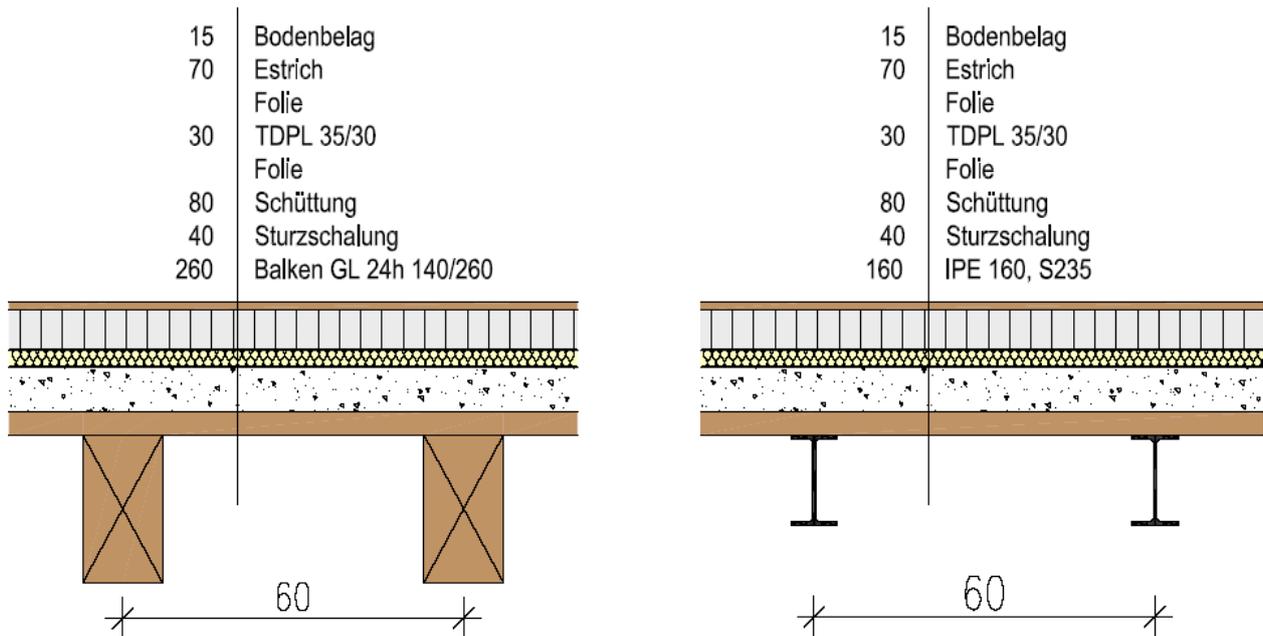


Abbildung 39: Deckenaufbau BSH-Träger und Stahlträger

Für die Spannweite von 5,5 m und einer Auflast von 300 kg/m² wird nach statischer Berechnung ein BSH-Träger mit den Abmessungen 140/260 mm oder ein Stahlträger IPE 160 benötigt.

BSH-Träger: $0,14 \text{ m} \cdot 0,26 \text{ m} \cdot 5,5 \text{ m} = 0,2 \text{ m}^3 \text{ BSH}$

IPE 160: $20,1 \text{ kg/m} \cdot 5,5 \text{ m} = 110,55 \text{ kg}$ (Annahme Stahl aus Italien)

Brettschichtholzträger		
Wirkungskategorie	Einheit	Total/Träger
Versauerung	kg SO ₂ eq	0,0972
Überdüngung	kg PO ₄ --- eq	0,0212
GWP	kg CO ₂ eq	-232
Ozon	kg CFC-11 eq	0,0000024
PEI _{ne}	MJ eq	355
PEI _e	MJ eq	3160,608

Tabelle 25: Wirkungskategorien – Brettschichtholzträger

Stahlträger			
Wirkungskategorie	Einheit	Total/kg	Total/Träger
Versauerung	kg SO ₂ eq	0,00957	1,058
Überdüngung	kg PO ₄ --- eq	0,00181	0,200
GWP	kg CO ₂ eq	2,19	242,105
Ozon	kg CFC-11 eq	6,78E-08	7,50E-06
PEIne	MJ eq	31,42	3473,481
PEIe	MJ eq	1,2883	142,422

Tabelle 26: Wirkungskategorien – Stahlträger

Vergleich BSH-Träger - Stahlträger	
Wirkungskategorie	BSH-Träger-Stahlträger [%]
Versauerung	9,2
Überdüngung	10,6
GWP	-95,8
Ozon	32,0
PEIne	10,2
PEIe	2219,2

Tabelle 27: Wirkungskategorien – Vergleich Brettschichtholzträger mit Stahlträger

Aus diesem Vergleich ist ersichtlich, dass der BSH-Träger im Vergleich zum Stahlträger (100%) bei den Wirkungskategorien Versauerung und Überdüngung und nicht erneuerbarer Primärenergie nur ca. 10% der Auswirkungen eines Stahlträgers verursacht. Das Treibhauspotential eines BSH-Trägers ist negativ und die erneuerbare Primärenergie um ein Vielfaches höher (siehe Tabelle) als beim Stahlträger. Das Ozonabbaupotential eines BSH-Trägers liegt bei 32% von jenem eines Stahlträgers.

10.5. Grafische Darstellung Brettstapel.- u. Stahlbetondecke

Für einen Vergleich der Brettstapeldecke mit der Stahlbetondecke in einer grafischen Darstellung werden die Wirkungskategorien Versauerungspotential, Treibhauspotential und die nicht erneuerbaren Primärenergien herangezogen.

Um das Ozonabbaupotenzial in der Stratosphäre einzudämmen, existieren mittlerweile Verbote für FCKWs. Im Gegensatz zu den SO₂-Emissionen nehmen die NO_x-Emissionen (Ursache für die Versauerung) in Österreich nur sehr schwach ab. Emissionsgrenzwerte werden in Ballungsräumen Österreichs noch überschritten⁴⁶.

Das Österreichische Institut für Bauen und Ökologie (IBO) verwendet, in der von ihnen herausgegebenen ökologischen Bewertung von Baustoffen ebenfalls die drei

⁴⁶ Smidt St., Waldschädigende Luftverunreinigungen, März 2000

Wirkungskategorien Versauerungspotential, Treibhauspotential und die nicht erneuerbaren Primärenergien.

10.5.1. Vergleich Versauerungspotential Brettstapeldecke – Stahlbetondecke

Setzt man das Versauerungspotential einer Stahlbetondecke aus Nordtirol (wie in Kapitel 10.3.1. beschrieben) mit einer Fläche von 1m^2 gleich jenem einer Brettstapeldecke (wie in Kapitel 10.3.1. beschrieben) hat diese eine Fläche von $2,26\text{m}^2$.



Abbildung 40: Bei den dargestellten Produktionsmengen ist die Versauerung gleich groß

10.5.2. Vergleich Treibhauspotential Brettstapeldecke – Stahlbetondecke

Setzt man das Treibhauspotential einer Stahlbetondecke aus Nordtirol (wie in Kapitel 10.3.1. beschrieben) mit einer Fläche von 1m^2 gleich jenem einer Brettstapeldecke (wie in Kapitel 10.3.1. beschrieben) hat diese eine unendlich große Fläche, da die Brettstapeldecke das CO_2 speichert.



Abbildung 41: Vergleich Treibhauspotential von Stahlbetondecke und Brettstapeldecke

10.5.3. Vergleich Primärenergie_{ne} Brettstapeldecke – Stahlbetondecke

Setzt man die nicht erneuerbare Primärenergie einer Stahlbetondecke aus Nordtirol (wie in Kapitel 10.3.1. beschrieben) mit einer Fläche von 1m^2 gleich jener einer Brettstapeldecke (wie in Kapitel 10.3.1. beschrieben) hat diese eine Fläche von $2,19\text{m}^2$.



Abbildung 42: Bei den dargestellten Produktionsmengen ist die Primärenergie_{ne} gleich groß

10.5.4. Vergleich Versauerungspotential Brettschichtholzträger – Stahlträger

Setzt man das Versauerungspotential eines Stahlträgers (wie in Kapitel 10.4.1. beschrieben) mit einer Länge von 1 m gleich jenem eines Brettschichtholzträgers (wie in Kapitel 10.4.1. beschrieben) hat dieser eine Länge von 10,9 m.

Stahlträger 11m

Brettschichtholzträger 10,91m

Abbildung 43: Bei den dargestellten Produktionsmengen ist die Versauerung gleich groß

10.5.5. Vergleich Treibhauspotential Brettschichtholzträger – Stahlträger

Setzt man das Treibhauspotential eines Stahlträgers (wie in Kapitel 10.4.1. beschrieben) mit einer Länge von 1 m gleich jenem eines Brettschichtholzträgers (wie in Kapitel 10.4.1. beschrieben) hat dieser eine Länge von unendlicher Größe, da der Brettschichtholzträger das CO₂ speichert.

Stahlträger 11m

Brettschichtholzträger unendlich groß

Abbildung 44: Vergleich Treibhauspotential von Stahlträger und Brettschichtholzträger

10.5.6. Vergleich Primärenergie_{ne} Brettschichtholzträger – Stahlträger

Setzt man die nicht erneuerbare Primärenergie eines Stahlträgers (wie in Kapitel 10.4.1. beschrieben) mit einer Länge von 1 m gleich jener eines Brettschichtholzträgers (wie in Kapitel 10.4.1. beschrieben) hat dieser eine Länge von 9,8 m.

Stahlträger 11m

Brettschichtholzträger 9,81m

Abbildung 45: Bei den dargestellten Produktionsmengen ist die Primärenergie_{ne} gleich groß

10.6. PKW-Durchschnittsflotte 2010

Jeder Kilometer der mit einem Durchschnitts-PKW zurückgelegt wird, verursacht folgende Umweltbelastungen:

PKW Durchschnittsflotte 2010 Diesel			
Wirkungskategorie	Einheit	Pro km	100km
Versauerung	kg SO ₂ eq	0,000513	0,051
Überdüngung	kg PO ₄ --- eq	7,9E-05	0,008
GWP	kg CO ₂ eq	0,165	16,500
Ozon	kg CFC-11 eq	2,3E-08	2,32E-06
PE _I ne	MJ eq	2,779	277,9
PE _e	MJ eq	0,081	8,11

Tabelle 28: Wirkungskategorien – PKW Durchschnittsflotte 2010 Diesel

In der Sachbilanz eines mit einem Durchschnitts-PKW mit einer Person gefahrenen Kilometers werden Umweltwirkungen aus der Herstellung des PKWs, dessen Erhaltung, dem anteiligen Straßenbau und dessen Erhaltung und des verwendeten Diesels berechnet.

Vergleich mit 100km PKW Durchschnittsflotte 2010 Diesel					
Wirkungskategorie	100km PKW- STB Nordtirol m ²	100km PKW- STB Südtirol m ²	100km PKW- Brettstapel m ²	100km PKW- BSH-Träger	100km PKW- Stahlträger
-	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Versauerung	26,1	25,2	58,6	52,8	4,8
Überdüngung	22,0	22,6	41,1	37,0	3,9
GWP	22,0	22,3			6,8
Ozon	76,6	77,5	107,4	96,7	31,0
PE _{ine}	39,8	41,0	87,0	78,3	8,0
PE _e	22,9	27,0	0,3	0,3	5,7

Tabelle 29: Wirkungskategorien – Vergleich mit 100 km PKW Durchschnittsflotte 2010 Diesel

Aus obiger Tabelle ist zu erkennen, dass 100 gefahrene PKW-Kilometer bei einzelnen Wirkungskategorien wie Versauerung, Überdüngung, dem Treibhauspotential und der erneuerbaren Energie ca. ein Viertel (zwischen 22 und 26%) an Auswirkung besitzen wie jene von 1 m² der im Fallbeispiel dargestellten Stahlbetondecke. Das bedeutet, dass die Herstellung von 1 m² Stahlbetondecke in Tirol, in Bezug auf Versauerung, Überdüngung und dem Treibhauspotential im Vergleich 400 gefahrenen PKW-Kilometern entspricht. Im weiteren Vergleich zu 1 m² Stahlbetondecke liegt das Ozonabbaupotential bei ca. 77%, dies entspricht 130 gefahrenen PKW-Kilometern und die nicht erneuerbare Energie liegt bei ca. 40%, dies entspricht 250 gefahrenen PKW-Kilometer.

Vergleicht man 1 m² Brettstapeldecke mit einem durchschnittlichen Diesel PKW, ebenfalls bezogen auf 100 gefahrenen PKW-Kilometern, so liegt die Versauerung bei 58,6%. Dies entspricht 171 gefahrenen PKW-Kilometern. Die Überdüngung liegt bei ca. 41,1%, dies entspricht 243 gefahrenen PKW-Kilometern, das Ozonabbaupotential liegt bei 107%, dies entspricht 93 gefahrenen PKW-Kilometern und die nicht erneuerbare Primärenergie liegt bei 87%, dies entspricht 115 gefahrenen PKW-Kilometern.

Der Stahlträger hat im Vergleich zu 100 gefahrenen PKW-Kilometern viel höhere Auswirkungen auf die einzelnen Wirkungskategorien. Wird ein Stahlträger erzeugt, könnte ein Durchschnitts-PKW in der Wirkungskategorie Versauerung sogar 2083 km, in der Wirkungskategorie Überdüngung 2564 km und in der Kategorie nicht erneuerbare Primärenergie 1250 km fahren.

Der Vergleich der drei Bauteiltypen (Stahlbetondecke, Brettstapeldecke und Stahlträger) mit 100 gefahrenen PKW-Kilometern zeigt deutlich, die großen Unterschiede in den einzelnen Wirkungskategorien. Die Brettstapeldecke schneidet in allen Kategorien am besten ab.

10.7. OI3-Indikator des Österreichischen Instituts für Bauen und Ökologie

Vom Österreichischen Institut für Bauen und Ökologie (IBO) wurde ein Leitfaden für die Berechnung von Ökokennzahlen für Gebäude herausgegeben. Im Speziellen wird dadurch die Berechnung des OI3-Indikators vereinheitlicht.⁴⁷

Die Berechnung des OI3-Indikators ist für den Wohnbau zugeschnitten und wird in einigen Bundesländern Österreichs als Zusatzkriterium für die Vergabe der Wohnbauförderung herangezogen.

Das IBO verwendet aus der Vielzahl der Umweltindikatoren zurzeit die Folgenden:

- Treibhauspotential (GWP)
- Versauerungspotential (AP)
- Verbrauch an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen (PEI_{ne})

Die Zusammensetzung der einzelnen OI3-Indikatoren können dem oben genannten Leitfaden entnommen werden und soll hier nur zusammengefasst wiedergegeben werden:

10.7.1. Der OI3-Faktor einer Bauteilkonstruktion

Der OI3-Faktor einer Bauteilkonstruktion OI3_{KON} setzt sich wie folgt zusammen:

$$OI3_{KON} = 1/3 OI_{PEI_{ne}} + 1/3 OI_{GWP} + 1/3 OI_{AP}$$

wobei die Primärenergie von MJ/m² Konstruktionsfläche mit der linearen Funktion

$$OI_{PEI_{ne}} = 1/10 \cdot (x - 500) \text{ in Punkte umgerechnet wird.}$$

⁴⁷ nachzulesen unter: OI3 Berechnungsleitfaden Version 2.2, 2011

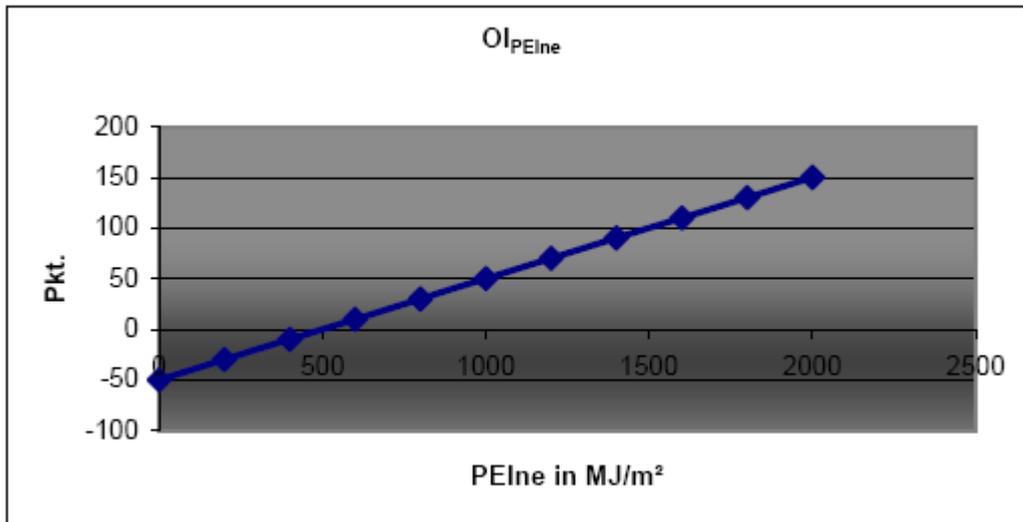


Abbildung 46: Umrechnungsfunktion PEIne in MJ/m² in OIPEIne-Punkte

Die Umrechnung von kg CO₂äqui. pro m² Konstruktionsfläche in OIGWP Punkte erfolgt entsprechend der linearen Funktion

$$OI_{GWP} = 1/2 \cdot (x + 50).$$

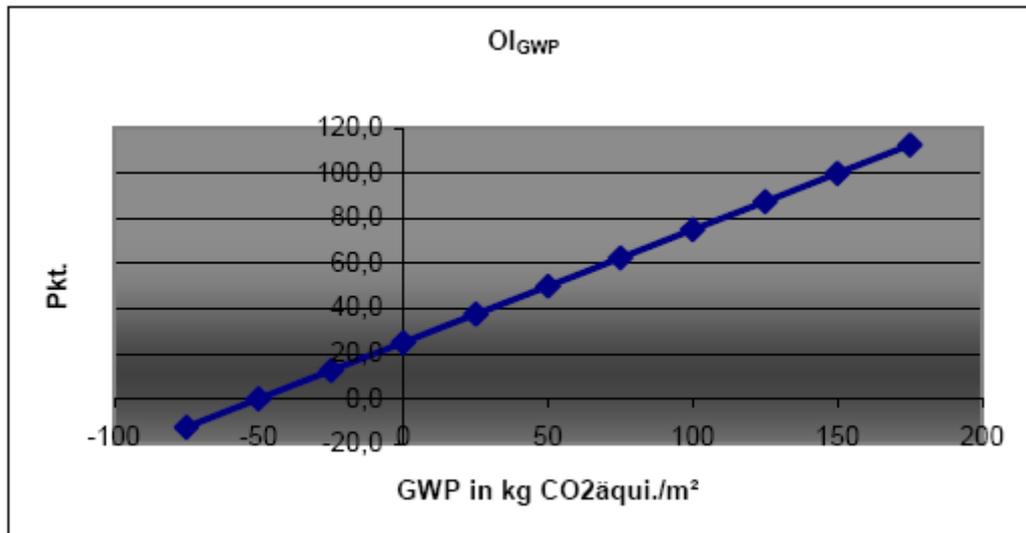


Abbildung 47: Umrechnungsfunktion GWP in kg CO₂äquiv./m² In OIGWP-Punkte

Die Umrechnung von kg SO₂ äqui. pro m² Konstruktionsfläche in OIAP Punkte erfolgt entsprechend der linearen Funktion

$$OI_{AP} = 100 / (0,25) \cdot (x - 0,21).$$

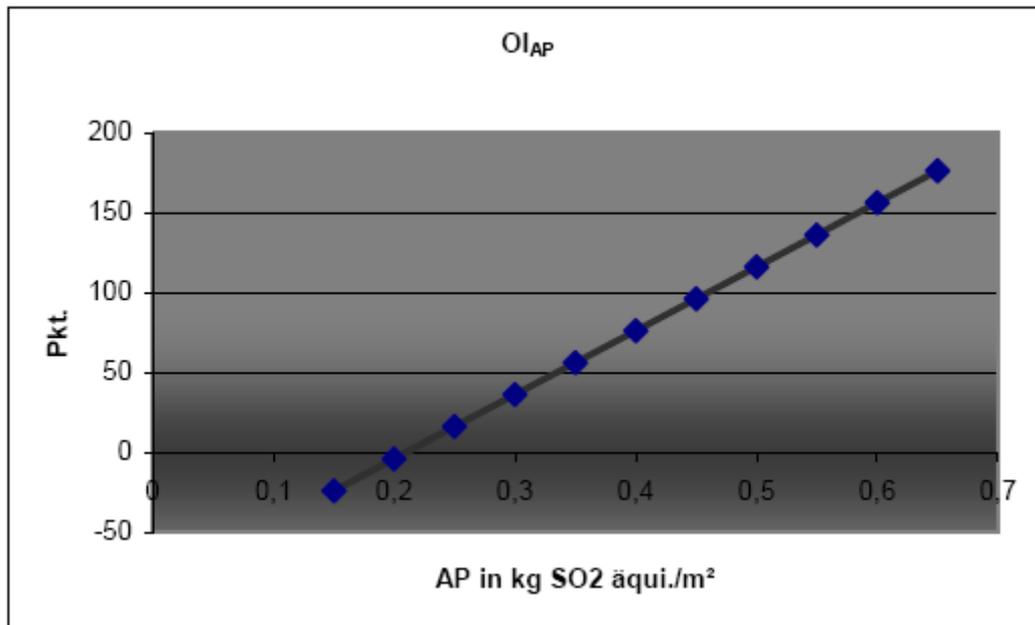


Abbildung 48: Umrechnungsfunktion AP in kg SO₂äquiv./m² In OI_{AP}-Punkte

10.7.2. Der Wertebereich des OI_{3KON}-Indikators

Die ökologische Qualität gängiger Konstruktionen wird durch den Ökoindikator OI_{3KON} in einem Bereich von 0 bis 100 Punkten wiedergegeben. So bildet ein Außenwand-OI_{3KON} mit 70 Punkten eine Standardkonstruktion ohne ökologische Optimierungsmaßnahmen ab, 15 Punkte oder weniger sind nur durch ökologische Optimierung oder eine sehr leichte Konstruktion zu erreichen.

10.7.3. Vergleich OI₃-Faktor der Stahlbetondecke und Brettstapeldecke

Werden die aus den Tabellen ersichtlichen Werte für das Versauerungspotential, das Treibhauspotential und der nicht erneuerbare Primärenergieverbrauch in Punkte umgerechnet und dann zu je einem Drittel aufsummiert (siehe Formeln unter Kapitel 10.7.1) ergeben sich folgende Werte:

OI_{3KON} Brettstapeldecke: -48,8

OI_{3KON} Stahlbetondecke: 25,7

Brettstapeldecke		
Wirkungskategorie	Einheit	Total/m ² (d=18cm)
Versauerung	kg SO ₂ eq	0,087
Überdüngung	kg PO ₄ --- eq	0,019
GWP	kg CO ₂ eq	-208,800
Ozon	kg CFC-11 eq	2,16E-06
PEI _{ne}	MJ eq	319,500
PEI _e	MJ eq	2844,547

Tabelle 30: Wirkungskategorien – Brettstapeldecke

Stahlbetondecke Nordtirol		
Wirkungskategorie	Einheit	Total/m ² (d=16cm)
Versauerung	kg SO ₂ eq	0,197
Überdüngung	kg PO ₄ --- eq	0,036
GWP	kg CO ₂ eq	74,880
Ozon	kg CFC-11 eq	0,000
PEI _{ne}	MJ eq	698,720
PEI _e	MJ eq	35,477

Tabelle 31: Wirkungskategorien – Stahlbetondecke in Nordtirol

Die für eine Bauteilkonstruktion eher geringen Werte rühren daher, dass hier nur eine Bauteilschicht berücksichtigt wird. Das Hinzunehmen des Bodenaufbaus würde die Werte erhöhen und die gesamte Konstruktion wäre dann im üblichen Wertebereich von 0 bis 100 Punkten (siehe Kapitel 10.7.2.).

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Brettstapeldecke einen viel geringeren Wert aufweist und damit als ökologischer gilt.

Gesamtheitliche Betrachtung

Anhand der Ökobilanzierung der definierten Fallbeispiele (Holzernte, Produktion Brettstapeldecke und Träger, Stahlbetondecke und Stahlträger) kann festgestellt werden, dass das Gebirgsholz bis zum Sägewerk weniger Umweltbelastungen verursacht als das Tieflagenholz und eine Brettstapeldecke bzw. ein Brettschichtholz weniger als eine Stahlbetondecke oder ein Stahlträger. Während bei der Produktion einer Brettstapeldecke jegliche Transporte und der Einsatz von Formaldehyd den größten Teil der Gesamtbelastung in den einzelnen Wirkungskategorien einnimmt, verursacht bei der Produktion eines Stahlträgers oder eines Stahlbetondeckenelementes die Produktion des Stahles und die Herstellung des Zements selbst einen großen Anteil der Gesamtbelastung.

11. Ausblick

Wird der in Kapitel 10.7. erarbeitete OI3-Indikator der aus Gebirgsholz produzierten Brettstapeldecke mit jenem OI3-Indikator für eine verallgemeinerte, in jeder Region zu verwendeten Brettstapeldecke verglichen, erscheint der Wert sehr niedrig. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Schnittholz aus Europa viel höhere Transportwege aufweist. Des Weiteren wird bei der Trocknung des Holzes ein Anteil an nicht erneuerbaren Energien dafür verwendet und zusätzlich mehr Strom mit einer ökologisch schlechteren Stromzusammensetzung verbraucht.

Um gesicherte Daten für ein aus Tirol verwendetes Schnittholz bzw. einer daraus produzierten Brettstapeldecke zu erhalten, müssten weitere Erhebungen bezüglich der Art der Bringung in den verschiedenen Regionen Tirols, der Transportwege und der weiteren Verarbeitung im Sägewerk und der Brettstapelproduzierenden Firmen durchgeführt werden, damit eine statistische Auswertung erfolgen kann. Darauf folgend könnten für ganz Tirol geltende Daten eruiert und in Datenbanken implementiert werden.

Weitere vertiefende Untersuchungen im Bereich der Verwendung von Formaldehyd bei der Produktion von Brettstapелеlementen könnten eine Optimierungsmöglichkeit für die Verwendung von Holz aufzeigen. Eine Betrachtung der verschiedenen Bauelemente über ihren gesamten Lebenszyklus könnte die positiven Eigenschaften des Holzes als wiederverwertbaren Baustoff unterstreichen.

12. Abkürzungsverzeichnis

AC	Versauerungspotenzial
BHD	Brusthöhendurchmesser
BSH	Brettschichtholz
EP	Überdüngung
fm	Festmeter
GWP	Treibhauseffekt
LCA	Lebenszyklus
MJ/m ³	Mega Joule / Kubikmeter
ODP	Ozonabbaupotential
PEI _{ne}	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar
s/m ³	Sekunden / Kubikmeter
tkm	Tonnenkilometer
U	Umtriebszeit

13. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: ecoinvent Datenbank; Quelle: http://www.ecoinvent.ch/	8
Abbildung 2: Software Sima Pro; Quelle: http://www.pre.nl/download/manuals/SimaPro7Tutorial.pdf	8
Abbildung 3: Elemente einer Ökobilanz nach ÖNORM EN ISO 14040 ff. und Anwendungsfelder für das Instrumentarium nach ÖNORM EN ISO 14040.9	
Abbildung 4: Der Lebensweg von Holzprodukten in sehr vereinfachter Form: in jeder Hinsicht ein Musterbeispiel für zukunftsfähiges Kreislaufwirtschaften.....	17
Abbildung 5: Das Modul „Forstliche Produktion“, der Beginn des Lebensweges aller auf Holz basierenden Produkte	18
Abbildung 6: Übersicht über die Struktur des Moduls „Forstliche Produktion“ sowie die Stoff- und Energieflüsse (Zimmer und Wegener, 1996)	26
Abbildung 7: Wirkungsabschätzung Gebirgsholz – Energieholz	41
Abbildung 8: Wirkungsabschätzung Gebirgsholz - Nutzholz.....	41
Abbildung 9: Auswertung Gebirgsholz - Energieholz; GWP (SimaPro).....	42
Abbildung 10: Auswertung Gebirgsholz – Nutzholz GWP (SimaPro).....	43
Abbildung 11: Auswertung Gebirgsholz, Ozonabbaupotential Energieholz (SimaPro) ..	44

Abbildung 12: Auswertung Gebirgsholz, Ozonabbaupotential Nutzholz (SimaPro)	45
Abbildung 13: Auswertung Gebirgsholz, Überdünnung Energieholz (SimaPro).....	46
Abbildung 14: Auswertung Gebirgsholz, Überdünnung Nutzholz (SimaPro).....	47
Abbildung 15: Auswertung Gebirgsholz, Versauerung Energieholz (SimaPro).....	48
Abbildung 16: Auswertung Gebirgsholz, Versauerung Nutzholz (SimaPro).....	49
Abbildung 17: Prozessbeitrag GWP Energieholz Gebirgsholz (SimaPro).....	51
Abbildung 18: Bilanz_GWP Nutzholz Tieflagenholz (SimaPro).....	51
Abbildung 19: Bilanz PEI _{ne} Nutzholz Gebirgsholz (SimaPro).....	53
Abbildung 20: Bilanz PEI _{ne} Energieholz Gebirgsholz (SimaPro).....	54
Abbildung 21: Wirkungsabschätzung Tieflagenholz, Energieholz	62
Abbildung 22: Wirkungsabschätzung Tieflagenholz, Nutzholz	62
Abbildung 23: Auswertung Tieflagenholz - Energieholz; GWP (SimaPro)	63
Abbildung 24: Auswertung Tieflagenholz - Nutzholz; GWP (SimaPro)	64
Abbildung 25: Auswertung Tieflagenholz, Ozonabbaupotential Energieholz (SimaPro)	65
Abbildung 26: Auswertung Tieflagenholz, Ozonabbaupotential Nutzholz (SimaPro)	66
Abbildung 27: Auswertung Tieflagenholz, Überdünnung Energieholz (SimaPro).....	67
Abbildung 28: Auswertung Tieflagenholz, Überdünnung Nutzholz (SimaPro)	68
Abbildung 29: Auswertung Tieflagenholz, Versauerung Energieholz (SimaPro).....	69
Abbildung 30: Auswertung Tieflagenholz, Versauerung Nutzholz (SimaPro).....	70
Abbildung 31: Prozessbeitrag GWP Nutzholz Tieflagenholz.....	71
Abbildung 32: PEI _{ne} Nutzholz Tieflagenholz (SimaPro)	73
Abbildung 33: PEI _{ne} Energieholz Tieflagenholz. (SimaPro)	74
Abbildung 34:Wirkungsabschätzung Brettstapeldecke	84
Abbildung 35: Wirkungsabschätzung Stahlbetondecke Nordtirol	86
Abbildung 36: Wirkungsabschätzung Stahlbetondecke Südtirol	86
Abbildung 37: Wirkungsabschätzung – Vergleich Stahlbetondecke Nord-und Südtirol..	87
Abbildung 38: Deckenaufbau Brettstapeldeck – Stahlbetondecke	89
Abbildung 39: Deckenaufbau BSH-Träger und Stahlträger.....	91
Abbildung 40: Bei den dargestellten Produktionsmengen ist die Versauerung gleich groß	93
Abbildung 41: Vergleich Treibhauspotenzial von Stahlbetondecke und Brettstapeldecke	93
Abbildung 42: Bei den dargestellten Produktionsmengen ist die Primärenergie _{ne} gleich groß	93

Abbildung 43: Bei den dargestellten Produktionsmengen ist die Versauerung gleich groß	94
Abbildung 44: Vergleich Treibhauspotenzial von Stahlträger und Brettschichtholzträger	94
Abbildung 45: Bei den dargestellten Produktionsmengen ist die Primärenergie _{ne} gleich groß	94
Abbildung 46: Umrechnungsfunktion PEI _{ne} in MJ/m ² in OIPEI _{ne} -Punkte.....	97
Abbildung 47: Umrechnungsfunktion GWP in kg CO ₂ äquiv./m ² In OIGWP-Punkte	97
Abbildung 48: Umrechnungsfunktion AP in kg SO ₂ äquiv./m ² In OI _{AP} -Punkte.....	98

14. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wirkungskategorien nach Vorschlag des Umweltbundesamtes [UBA 2000].	13
Tabelle 2: theoretischer Ansatz zur Berechnung der Input- und Outputströme zur Bildung von Holz (Zimmer und Wegener, 1996)	27
Tabelle 3: Ergebnisse der Stoffbilanz des Submoduls „Biologische Produktion“	28
Tabelle 4: Erforderliche Maschinen und Einsatzdauer	31
Tabelle 5: GWP100 - Charakterisierungsfaktoren (Guinée, 2001)	37
Tabelle 6: Versauerungs - Charakterisierungsfaktoren (Guinée, 2001).....	38
Tabelle 7: Ozonabbau - Charakterisierungsfaktoren (Guinée, 2001).....	39
Tabelle 8: Eutrophierung (EP) - Charakterisierungsfaktoren (Guinée, 2001).....	40
Tabelle 9: Vergleich Eingabedaten Gebirgsholz - Tieflagenholz.....	77
Tabelle 10: Gegenüberstellung der ausgewerteten Wirkungspotentiale.....	77
Tabelle 11: Vergleich mit ecoinvent Holzdatensätze.....	78
Tabelle 12: Gegenüberstellung der ausgewerteten Wirkungspotentiale	79
Tabelle 13: Angaben Energieaufwendungen Firma THEURLHOLZ	81
Tabelle 14: Transport Chemikalien.....	81
Tabelle 15: Eingabedaten Brettstapeldecke	81
Tabelle 16: Eingabedaten Stahlbetondecke - Nordtirol.....	82
Tabelle 17: Eingabedaten Stahlbetondecke - Südtirol	83
Tabelle 18: Wirkungskategorien Brettstapeldecke.....	84
Tabelle 19: Wirkungskategorien Stahlbetondecke Nordtirol.....	86
Tabelle 20: Wirkungskategorien Stahlbetondecke Südtirol.....	87

Tabelle 21:Wirkungskategorien–Vergleich der Brettstapeldecken - Stahlbetondecke ..	88
Tabelle 22: Wirkungskategorien – Brettstapeldecke	89
Tabelle 23: Wirkungskategorien – Stahlbetondecke in Nordtirol.....	90
Tabelle 24: Wirkungskategorien – Stahlbetondecke in Südtirol	90
Tabelle 25: Wirkungskategorien – Brettschichtholzträger	91
Tabelle 26: Wirkungskategorien – Stahlträger	92
Tabelle 27: Wirkungskategorien – Vergleich Brettschichtholzträger mit Stahlträger	92
Tabelle 28: Wirkungskategorien – PKW Durchschnittsflotte 2010 Diesel	94
Tabelle 29: Wirkungskategorien – Vergleich mit 100 km PKW Durchschnittsflotte 2010 Diesel	95
Tabelle 30: Wirkungskategorien – Brettstapeldecke	99
Tabelle 31: Wirkungskategorien – Stahlbetondecke in Nordtirol.....	99

15. Literaturverzeichnis

GRUNDLAGEN FÜR ÖKOPROFILE UND ÖKOBILANZEN IN DER FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT, Studie, Prof. Dr. A. Frühwald, Prof. Dr. Dr. habil. Wegener Jänner 1996

INFORMATIONSDIENST HOLZ, Deutsche Gesellschaft f. Holzforschung, Erstellung von Ökobilanzen für die Forst- und Holzwirtschaft, April 1997

INFORMATIONSDIENST HOLZ, Deutsche Gesellschaft f. Holzforschung, Ökobilanzen Holz, Fakten lesen, verstehen und Handeln, April 1997

ÖNORM EN ISO 14040 Umweltmanagement - Ökobilanz- Prinzipien und allgemeine Anforderungen, hrsg. Österreichisches Norminstitut, Wien 1997

ÖNORM EN ISO 14041 Umweltmanagement - Ökobilanz - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz, hrsg. Von Österreichisches Norminstitut, Wien 1999

ÖNORM EN ISO 14042 Umweltmanagement - Ökobilanz Wirkungsabschätzung, hrsg. Von Österreichisches Norminstitut, Wien 2000

ÖNORM EN ISO 14043 Umweltmanagement - Ökobilanz - Auswertung, hrsg. Von Österreichisches Norminstitut, Wien 2000

ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG VON TRAGWERKEN, Adolf Merl, Ökobilanzen, November 2001

ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG VON TRAGWERKEN, Seminar, GABI-ganzheitliche Betrachtung, Herbst 2001

FRAUENHOFER IRB VERLAG, Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft, 2007

WWW.WALDWISSEN.NET > Holzernteverfahren richtig auswählen (online Artikel Reinhard Rausch), 01.08.2008

WWW.WALDWISSEN.NET > Erfahrungen zur Holzernte austauschen (online Artikel Reinhard Rausch), 02.09.2008

ALFRED RIEZINGER, Die Ermittlung d. ökologischen Effizienz der Bereitstellungskette von Waldhackgut anhand ausgewählter Fallstudien, Wien 2008

ÖKOBILANZIERUNG DER HOLZPRODUKTION IM KURZUMTRIEB, Arbeitsbericht;
Anne Rödl - Institut für Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, UNI Hamburg,
Nr. 03/2008

ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG VON HOLZWERKSTOFFEN, Schlussbericht, Prof. Dr.
A. Frühwald, Dr. M. Scharai - Rad, Dipl.-Holzwirt J. Hasch, März 2010

16. Anhang

16.1. Schlagbettbeschreibung Gebirgsholz – Tirol

Die Holzschlägerung findet in den Tiroler Alpen statt. Hierbei handelt es sich um eine Endnutzung (Kleinflächige Räumung) in einem Fichten Bestand auf einer Seehöhe von durchschnittlich 1.450 m. Das Schlagbett liegt unmittelbar unter einer Waldstraße. Der mittlere BHD beträgt 35 cm. Der Massenmittelstamm besitzt eine Masse von 1,225 fm. Das Bestandesalter liegt bei 120 Jahre.

Vorrat:	400 fm/ha
Einschlag:	180 fm
Verhältnis Nutzholz/Energieholz:	80/20
Bestockungsgrad:	0,9
Schlagfläche:	0,4 ha
Schlägerungszeitpunkt:	Winter
Erschließungsdichte:	21 lfm/ha
Entfernung von der Hauptstraße im Tal:	5 km Asphaltstraße, 10 km Schotterstraße
Seehöhe des Talbodens:	600 m
Geländeneigung:	50 – 100 %
Geländemorphologie:	homogen, konkav
Ernteverluste:	10 %

Holzernte-Beschreibung

Die Fällung und Aufarbeitung zu Sortimenten (4 m-Bloche) erfolgt motormanuell mit einer 3 kW Motorsäge (Stihl). Das Energieholz wird bis auf einer Zopfstärke von 7 cm aufgearbeitet und wird zu maximal 5 m Länge abgelängt. Der Schlagabraum bleibt im Wald.

Die Bringung des Nutz- und Energieholzes erfolgt bergauf mit einem Kippmastseilkran (Koller K 300), welcher auf der Dreipunkthydraulik eines 70 kW- Traktors (Steyr) aufgebaut ist. Der Laufwagen ist von der Firma Koller.

Seillinien:	1
Länge der Seiltrasse:	200 lfm
Seitlicher Zuzug	15 m

Holztransport-Beschreibung

Der Sägerundholztransport ins Sägewerk bzw. der Energieholztransport zum Energieholzverwertungsbetrieb erfolgt mittels Rundholz-LKW mit Anhänger (MAN Ladekapazität 30 fm). Da der Aufladeort nicht mit Maschine und Anhänger angefahren werden kann, muss das Holz Vortransportiert werden, wo es anschließend auf den Anhänger umgeladen wird. Das Aufladen des Sägerundholzes dauert etwas länger, da das Energieholz vorerst zur Seite gestockt wird. Das Energieholz wird immer erst dann abtransportiert sobald ein ganzer LKW- Zug vorhanden ist.

Transportdistanz für Sägerundholz bis Sägewerk (Schotter):	3 km (Vortransport)
Transportdistanz für Sägerundholz bis Sägewerk (Schotter):	7 km
Transportdistanz für Sägerundholz bis Sägewerk (Asphalt):	30 km
Transportdistanz für Energieholz (Schotter):	3 km (Vortransport)
Transportdistanz für Energieholz (Schotter):	7 km
Transportdistanz für Energieholz (Asphalt):	30 km

Die Transportdistanz auf Asphalt für Sägerundholz und Energieholz geht in die Gesamtberechnung differenziert ein. Zudem wird der Schwellenwert im Vergleich zu Tieflagenholz berechnet, bei welchem Energieaufwand bzw. CO₂-Ausstoß gleich sind.

Energieholzverarbeitung

Das Energieholz wird beim Energieholzverwertungsbetrieb zur Lufttrocknung zwischengelagert (1 Vegetationsperiode) und anschließend zu Hackgut G30 (Biber 9er Serie, Anhänger Aufbau mit Kranbeschickung) verarbeitet. Das Energieholz wird direkt in das Silo gehackt.

16.2. Schlagbettbeschreibung Tieflagenholz – Niederbayern

Die Holzschlägerung findet in Niederbayern statt. Hierbei handelt es sich um eine Endnutzung (Kleinflächige Räumung) in einem Fichten Bestand auf einer Seehöhe von durchschnittlich 500 m. Das Schlagbett liegt unmittelbar an einer Waldstraße. Der mittlere BHD beträgt 35 cm. Der Massenmittelstamm besitzt eine Masse von 1,225 fm. Das Bestandesalter liegt bei 100 Jahren.

Vorrat:	550 fm/ha
Einschlag:	550 fm
Verhältnis Nutzholz/Energieholz:	80/20
Bestockungsgrad:	0,9
Schlagfläche:	1 ha
Schlägerungszeitpunkt:	Winter
Erschließungsdichte:	40 lfm/ha
Entfernung von der Hauptstraße :	3 km Asphaltstraße, 1 km Schotterstraße
Geländeneigung:	0 – 30 %
Geländemorphologie:	homogen

Holzernte-Beschreibung

Die Fällung und Aufarbeitung zu Sortimenten (4 m-Bloche) erfolgt mit Radharvester (Valmet 941). Das Energieholz wird bis auf einer Zopfstärke von 7 cm aufgearbeitet und wird zu maximal 5 m Länge abgelängt. Der Schlagabraum bleibt im Wald.

Die Bringung des Nutzholzes erfolgt mittels Forwarder (Valmet 840.4).

Rückelinien:	10
Abstand zwischen Rückegassen:	20 m
Länge der Rückelinien:	50 lfm

Holztransport-Beschreibung

Der Sägerundholztransport ins Sägewerk bzw. der Energieholztransport zum Energieholzverwertungsbetrieb erfolgt mittels Rundholz-LKW mit Anhänger (MAN Ladekapazität 30 fm). Der Aufladeort kann mit Maschine und Hänger angefahren werden. Das Aufladen des Sägerundholzes dauert etwas länger, da das Energieholz vorerst zur Seite gestockt wird. Das Energieholz wird immer erst dann abtransportiert sobald ein ganzer LKW- Zug vorhanden ist.

Transportdistanz für Sägerundholz bis Sägewerk (Schotter):	1 km
Transportdistanz für Sägerundholz bis Sägewerk (Asphalt):	100 km

Transportdistanz für Energieholz (Schotter):	1 km
Transportdistanz für Energieholz (Asphalt):	50 km

Die Transportdistanz auf Asphalt für Sägerundholz und Energieholz geht in die Gesamtberechnung differenziert ein. Zudem wird der Schwellenwert im Vergleich zu Gebirgsholz berechnet, bei welchem Energieaufwand bzw. CO₂-Ausstoß gleich sind.

Energieholzverarbeitung

Das Energieholz wird beim Energieholzverwertungsbetrieb zur Lufttrocknung zwischengelagert (1 Vegetationsperiode) und anschließend zu Hackgut G30 (Biber 9er Serie, Anhängeraufbau mit Kranbeschickung) verarbeitet. Das Energieholz wird direkt in das Silo gehackt.

17. Impressum

Projekt: Gebirgsholz – Wald ohne Grenzen; deutliche Verbesserung des Marktwertes Süd-, Ost- & Nordtiroler Gebirgshölzer und ausgewählter Holznischenprodukte



Legname di montagna foreste senza confini; valorizzazione del legname di montagna in Tirol (Sud, Nord e orient.); prodotti di nicchia scelti



Ein Interreg IV Italien-Österreich Projekt, kofinanziert aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und nationalen öffentlichen Beiträgen

Auftraggeber: TIS innovation park / Cluster Holz & Technik
Siemensstr. 19
39100 Bozen
Italien
Ansprechpartner: Paolo Bertoni
Michael Stauder

proHolz Tirol / Holzcluster
Meinhardstraße 14
6020 Innsbruck
Österreich
Ansprechpartner: Wolfram Allinger-Csollich
Simon Holzknecht

Durchführung: Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften
Arbeitsbereich Holzbau
Leopold Franzens Universität Innsbruck
Technikerstraße 13
6020 Innsbruck
Österreich

Projektleitung: Anton Kraler
Projektbearbeitung: Anton Kraler, Verena Krismer, Georg Wieland
Berichtslegung: Anton Kraler, Verena Krismer, Georg Wieland

Innsbruck, im Dezember 2011

“Mountain Wood vs. Lowland Wood“, an ecological process assessment - a case study.

A. Kraler & V. Krismer & G. Wieland

*Timber Engineering Unit – Institute for Structural Engineering and Materials Science,
University of Innsbruck, Austria*

ABSTRACT: How ecological is the harvesting of Tyrolean mountain wood compared to wood harvested in lowlands? We selected the area of Lower Bavaria for lowland wood, as a great deal of wood is imported from this region to Tyrol. At first the felling area is described for both regions, from forest site to sawmill. Thereby we create mean values related to timber harvesting and transportation, which are applicable to the whole of Tyrol and Lower Bavaria. Secondly the eco-balance of mountain and lowland wood is established. It is based on the following impact categories: global warming potential, acidification potential, eutrophication potential, ozone depletion potential and non-renewable primary energy. The environmental impact is more expressive if the results are applied to a specific construction part (i.e. glued laminated timber-ceiling).

Our research study showed the eco-balance of Tyrolean mountain wood is more favourable than the environmental impact of harvesting lowland wood in Lower Bavaria.

1 INTRODUCTION

This paper investigates how useful ecological database values are for generating tree harvesting eco-balances. The main objective is to establish whether harvesting Tyrolean mountain wood has a lower environmental impact than lowland wood harvested in Lower Bavaria.

In the research project „Gebirgsholz – Wald ohne Grenzen“ (Mountain Wood – Forests without Limits) samples of mountain wood (spruce) at various altitudes (810 – 2060 m above sea level) were investigated in the Tyrol (Austria). The samples were taken from slopes exposed to the north and south, as well as from locations north and south of the main ridge of the Alps.

One part of the project explored the question: Are differences in the strength of the wood dependent on elevation and slope exposure? If so – what are the reasons? Is it the altitude, the slope exposure, the supply of nutrients and water in the soil, or other factors?

In a further stage of this research project the question was pursued: How ecologically sound is the harvesting process of mountain wood, which is mainly carried out manually by means of chainsaw and cable crane, as compared to machine harvesting in gentle and flat terrain.

In cooperation with the Tyrolean forestry sector a location in Lower Bavaria (Germany) was selected for the lowland wood, given that a lot of timber is imported from this region to the Tyrol.

Despite the fact that increasingly eco-balances for various products and processes are created, there are still deficiencies in relation to overall and comprehensive ecological assessments, in particular concerning mountain wood life cycle assessments. A comprehensive assessment of native mountain woods, ranging from forest management to the final product, which includes a systematic analysis of all environmental impacts during the entire life cycle (LCA) (ÖNORM EN ISO 14040, 1997; ÖNORM EN ISO 14041, 1999; ÖNORM EN ISO 14042, 2000; ÖNORM EN ISO 14043, 2000) is not available as yet. One of the main elements is, on the one hand, the different harvesting methods (manual, e.g. chainsaw versus mechanical, e.g. harvester), and on the other hand, the description of the felling area and the harvesting procedures as expressed in mean values, so that they reflect the conditions of both regions.

A special feature of this research study is that it does not only rely on the values that are available in the database *ecoinvent*, but determines the actual environmental impacts specific to each region for this case study. One question that is explored is whether the environmental impact values in the database

concerning the electricity mix match the actual ones that are relevant for wood harvesting in Tyrol.

Life cycle assessments for mountain and lowland wood are created for the most common impact categories, such as global warming potential, acidification and eutrophication potential, ozone depletion potential, as well as renewable and non-renewable primary energy.

To better illustrate the resulting values the environmental impacts of a raw product (glued laminated timber-ceiling) are investigated. The fact that the use of local materials also improves the social cohesion in the region concerned is not taken into consideration. Indeed it is hardly possible to determine the exact values and it would exceed the limitations of this project.

The objective of this research study is to establish to which extent different harvesting methods and transport routes impact the environment in a positive or negative way. In addition, the comparative approach is to show the difficulty of applying life cycle assessments to similar products and processes (database values vs. specific local values). If the life cycle assessment is created for a specific process or product, then it is true for this particular process or product. If more general data are used, the life cycle assessments can be compared better, but as this case study shows, the results may deviate more extensively from the actual local environmental impacts.

2 METHOD

Two case studies were elaborated in cooperation with the Tyrolean forest sector. Typical timber harvesting methods (Pausch, 2007) and transport distances between logging sites and sawmills in the regions of Tyrol and Lower Bavaria were established. The specified parameters for the eco-balancing process are listed in Tables 1, 2 and 3.

Table 1. Comparison of case studies.

Specified parameters	Lowland wood	Mountain wood
Available timber amount	550 m ³ / ha	400 m ³ / ha
Logging amount	550 m ³ / ha	180 m ³ / ha
Ratio: structural timber / fuel wood	80 / 20	80 / 20
Stocking level	0.9	0.9
Felling area	1 ha	0.4 ha
Harvesting time	winter	winter
Development density	40 running meters / ha	21 running meters / ha
Distance to main road		
Gravel road	1 km	10 km

Sea level of the valley floor	n. a.	600 m
Gradient conditions	0 – 30 %	50 – 100 %
Morphology of the terrain	homogeneous	homogeneous / concave
Harvesting losses	10 %	11.5 % loss on bark 13 % felling residue

Table 2. Harvesting machinery use.

	Lowland wood	Mountain wood
Haulage	Forwarder / harvester	Chainsaw / mobile cable crane
	Log trails: 10	Ropelines: 1
	Distance between the logging trails: 20 m	Length of the ropetrail: 200 running meters
	Length of the log trails: 50 m	Lateral access 15 m
Harvesting losses	10 %	0%

Table 3. Harvesting transportation routes.

	Lowland wood	Mountain wood
Transport-distance for round wood to sawmill (gravel road)	1 km	3 km (pre-carriage)
Transport-distance for round wood to sawmill (gravel road)	n.a.	7 km
Transport-distance for round wood to sawmill (paved road)	100 km	30 km
Transport-distance for fuel-wood (gravel road)	1 km	3 km (pre-carriage)
Transport-distance for fuel-wood (gravel road)	n.a.	7 km
Transport-distance for fuel-wood (paved road)	50 km	30 km

3 ECO-BALANCING

The functional unit per m³ wood is specified based on a mass allocation distinguishing between timber and fuel wood. The data are based on the present-day timber industry figures. Growth periods vary in wood production and therefore cannot be clearly defined. The data collection goes back to the year 1995 (Schweinle, 1995).

The following upstream chains are not taken into account for all modules in this eco-balance: exceptional occurrences (accidents), transportation of workforce to place of work, administrative costs, the

protective function of the forest, upstream chains for tree nurseries, upstream chains and depositing of auxiliary materials.

The datasets used are based on generalised data (harvesters, chainsaws).

3.1 *Life Cycle Inventory*

3.1.1 *Mountain Wood Timber Harvest*

The following management practices are carried out with mountain wood (Frühwald & Wegener, 1996).

Tree planting: Completed manually and therefore no environmental footprint.

Forest cultivation: The forest shrubs are cut once during an average tree-age of about 40 years.

Preliminary thinning: The initial planting density is reduced down to 40 % within 40 years.

Thinning: After the first half of the average rotation period, the forest is thinned by about 100 vfm / ha (volume m³ / hectare). The same machines and harvesting methods are applied for this process as for the final harvesting. The wood harvested in the thinning process is economically used and therefore also included the eco-balancing.

Liming: In the framework of this research program liming is not taken into consideration. Therefore it accounts for no additional environmental impact.

Pesticides: The use of pesticides is not considered. Therefore there is no additional environmental impact.

Maintenance of forest dirt roads: For the on-going maintenance of forest dirt roads it is assumed that gravel cover is renewed every 5 to 10 years, using locally available gravel.

Debarking: The debarking of logs is carried out in sawmills, therefore there is no additional environmental impact.

Wet storage: Logs are transported to the sawmills right after harvesting, therefore there is no additional environmental impact.

Harvesting losses: 11.5 % loss on bark and 13.5 % on felling residue.

3.1.2 *Quantitative description of transportation of mountain wood*

The work processes from the harvesting of the mountain wood through arrival at the sawmill are divided into separate steps and recorded in detail. It is assumed that harvesting is carried out with a chain saw. The felled tree is transported to the loading site by a mobile cable crane, loaded onto a truck and transported to the sawmill. The harvesting losses in this process are taken into consideration, as well as

the expenditure and consumption of the machines and means of transport involved.

3.1.3 *Lowland Wood Timber Harvest*

The following management practices are carried out with lowland wood.

Tree planting: The rejuvenation of the free forest area is accomplished with the help of a forestry tractor with a mountable planter machine.

Forest cultivation: The forest shrubs are cut once during an average tree-age of about 40 years.

Maintenance of saplings: Improved quality of the forest stand and composition of tree species is the goal. The forest shrubs are cut once during an average tree-age of about 40 years.

Preliminary thinning: The planting density is reduced, surplus plants are removed and the quality of the remaining trees is enhanced. Depending on the kind of thinning, either a tractor or brush cutter may be used.

Thinning: After the first half of the average rotation period, the forest is thinned by about 100 vfm / ha (volume m³ / hectare). The same machines and harvesting methods are applied for this process as for the final harvesting. The wood harvested in the thinning process is economically used and therefore also included in the eco-balancing.

Liming: In the framework of this research program liming is not taken into consideration. Therefore it accounts for no additional environmental impact.

Pesticides: The use of pesticides is not considered. Therefore there is no additional environmental impact.

Maintenance of forest dirt roads: For the on-going maintenance of forest dirt roads it is assumed that gravel cover is renewed every 5 to 10 years. The gravel, which is locally available, is applied with a road paver and subsequently compressed with road roller with no further surface processing. Excavators and lorries are required for the loading and transportation of the gravel along the road.

Debarking: The debarking of the logs is carried out in sawmills, therefore there is no additional environmental impact.

Wet storage: Logs are transported right after harvesting to the sawmills, therefore there is no additional environmental impact.

Harvesting losses: 10 % loss on bark and 13.5 % on felling residue.

3.1.4 *Quantitative description of transportation of lowland wood*

The work processes from the harvesting of the lowland wood through arrival at the sawmill are divided into separate steps and recorded in detail. It is as-

sumed that the harvesting is carried out with a harvester. A forwarder takes the felled trees to the loading site, where they are loaded onto a truck and transported to sawmill. The harvesting losses in this harvesting process are taken into consideration as well as the expenditure and consumption of the machines and means of transport involved.

3.2 Impact Assessment

In this study the most common effects categories, such as global warming potential, acidification potential, eutrophication potential, ozone depletion potential and the non-renewable and renewable primary energy, are investigated. Effects on the ecotoxicity of water, oceans, the earth etc. are small. (Heijungs, 1992)

3.2.1 Impact Assessments of mountain wood and lowland wood

The management of both fuel wood and timber in mountainous regions has the same ecological impacts. The results of the impact assessment differ with lowland wood, because the transportation part for fuel wood is smaller. In the following only the results of the impact assessments for fuel wood will be dealt with in greater detail.

Figures 1 and 2 show the impact assessments for timber from mountain and lowland wood. The transportation part plays a prominent role among the impact categories. The 30 km and 100 km transport on paved roads causes an overall environmental impact of 20 to 25 % (mountain wood) and 35 to nearly 50 % (lowland wood) within the impact categories of acidification, eutrophication and ozone depletion potential.

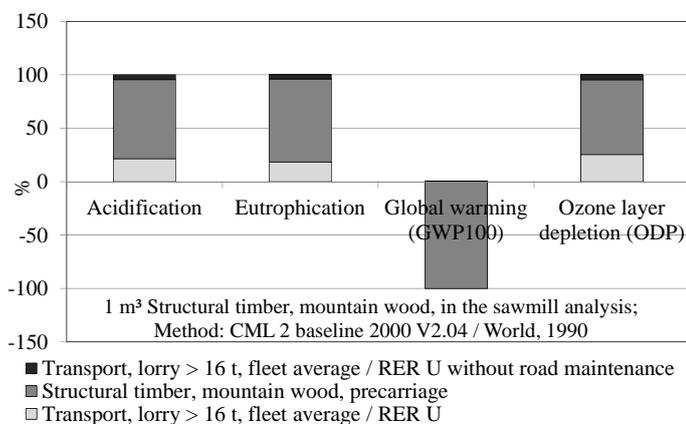


Figure 1. Impact assessment – mountain wood.

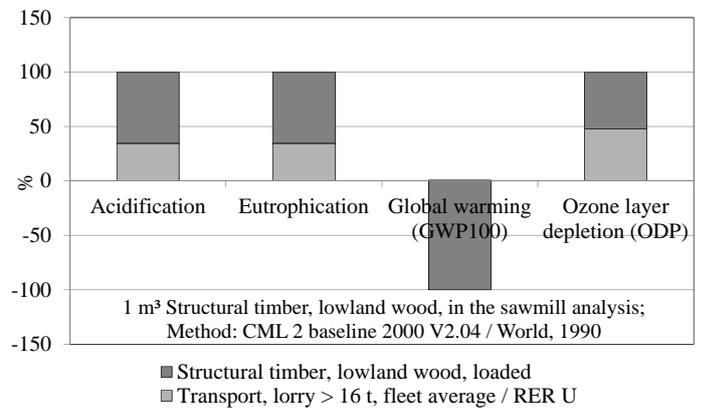


Figure 2. Impact assessment – lowland wood.

Figure 3 compares the impact assessments of mountain wood and lowland wood. It becomes clear that mountain wood shows, on the whole, a 50 % lower impact than lowland wood in the impact categories of acidification, eutrophication and ozone layer depletion.

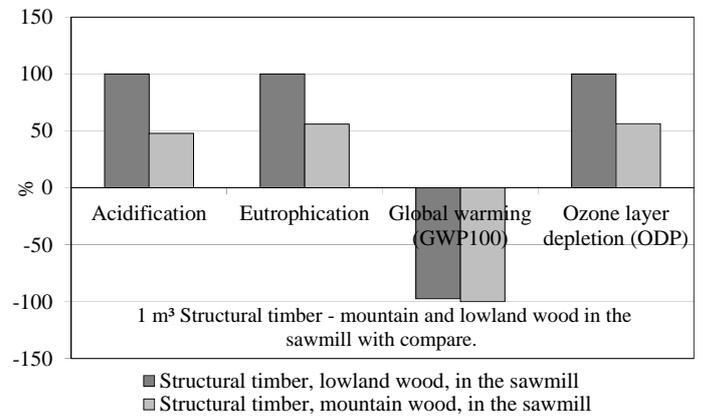


Figure 3. Comparison of mountain wood – lowland wood.

4 EVALUATION MOUNTAIN WOOD – LOWLAND WOOD

Table 4 lists the results of the impact assessments for timber and fuel wood for both mountain and lowland wood. The negative global warming potential value indicates that in the process from felling area to sawmill more CO₂ is bound than is used up by machines and transport.

Table 4. Results of impact assessment.

GWP kg CO ₂ -eq	AP kg SO ₂ -eq	EP kg PO ₄ ³⁻ -eq	ODP kg CFC-11-eq	PEI _{ne} kg MJ-eq
Mountain wood – fuel wood				
- 996	0.0515	0.0129	1.3 E-6	147
Mountain wood – structural timber				
- 996	0.0515	0.0129	1.3 E-6	147
Lowland wood – fuel wood				
- 974	0.0889	0.0191	1.75 E-6	19

Lowland wood – structural timber				
- 970	0.107	0.0231	2.30 E-6	252

The evaluation of the process chains of the individual impact categories for lowland and mountain wood suggests that the decisive factors for the global warming potential – acidification and eutrophication – are in the areas of transport and fuel gas (diesel for engines). On the other hand, mineral oil production processes are mainly responsible for the ozone depletion potential (see table 5 and 6).

Table 5. Impact factors.

Mountain wood	
	Diesel burned in building machines / Mineral oil production
Acidification (AP)	38 %
Eutrophication (EP)	38 %
Ozon layer depletion (ODP)	96 %

Table 6. Impact factors.

Lowland wood	
	Diesel burned in building machines / Mineral oil production
Acidification (AP)	49 %
Eutrophication (EP)	56 %
Ozon layer depletion (ODP)	95 %

Figure 4 shows the process impact of mountain structural timber on the global warming potential.

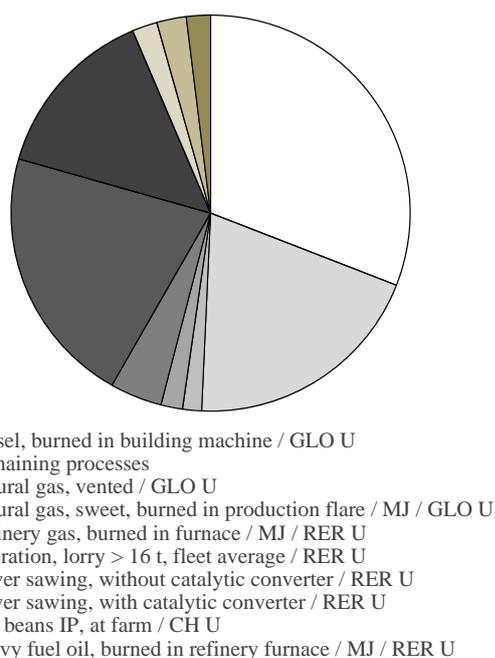


Figure 4. GLW process impact – mountain wood.

Figure 5 shows the process impact of lowland structural timber on the global warming potential.

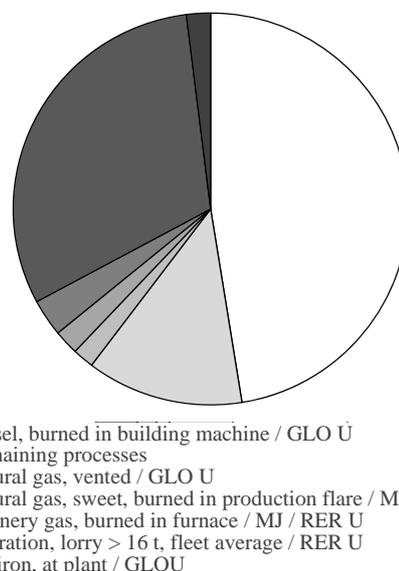


Figure 5. GLW process impact – lowland wood.

5 COMPARISON WITH *ECOINVENT* WOOD DATABASE

The comparison to the wood database, *ecoinvent*, which offers impact values for completed process data, reveals big differences. The deviations relate to procedures starting at the forest road. The following procedures are compared:

- Timber, lowland wood at forest road
- Timber, mountain wood at forest road
- *Ecoinvent*: round wood, softwood under bark, at forest road

The *ecoinvent* process shows impact numbers that are about twice as high. This is mainly due to higher diesel consumption and power sawing input.

Table 7. Comparison with the *ecoinvent* wood database.

Process	Diesel, burned in building machine (MJ / m ³)	Power sawing (s / m ³)
Structural timber, lowland wood, from the forest road	78	235
Structural timber, mountain wood, from the forest road	22	1440
<i>Ecoinvent</i> : round wood	107	1290

Reason: Since all further inputs until end-use (technical production) have only little impact on the final values of mountain wood at sawmill, the harvester and forwarder which are used in this study must be very efficient. The thinning in the *ecoinvent* data is carried out with chainsaws. Mountain wood requires a less complex technical production process. Harvesting is carried out with a chainsaw. The share of

forwarding machinery to forest road is comparatively small.

6 COMPARISON FOR WOOD PRODUCTS – EXAMPLE: GLUED LAMINATED TIMBER CEILING

The non-predried mountain wood (spruce) taken for the study is cut in the sawmill. In the next stage the sawn timber is transported to the glued laminated timber plant, where the product is manufactured. For 1 m³ glued laminated timber 2.2 m³ round wood including 11.5 % bark loss is required, which amounts in total to 2.453 m³.

The manufacturing process leads to by-products which can be economically utilised, such as wood chippings, bark and sawdust. Through eco-balancing allocation (emission and energy impact allocated to actual source) these by-products are taken into account.

The following is assumed: Glued laminated timber costs 460.00 €/ m³ and the average price of the by-products is 20.05 €/ m³.

Two big companies were requested to provide their values: *Theurl Holz* in Assling, Austria and *Binderholz* in Fügen, Austria. The values were the same and therefore the values of *Theurl Holz* are used.

Table 8. Input energy expenditure.

Input energy expenditure THEURL HOLZ company				
Power consumption	58	kWh		
Energy for drying	295.2	kWh	1062.72	MJ
Transport	100	km	41	tkm

Table 9. Transport chemicals.

Train	12 kg	600	km	7.2	tkm
Lorry	12 kg	100	km	1.2	tkm

A heat and power plant provides electricity. The energy for the drying process is generated by the burning of residual timber materials.

The transport of chemicals involves a 600 km train and 100 km lorry journey.

Table 10. *Exoinvent*: Input data glued laminated timber.

Ecoinvent: Input data glued laminated timber per m ³		
Diesel consumption of the machines	33.6	MJ
European power mix for the production	129	kWh
Oil-firing, light oil	23	MJ
Sawn timber 20 %	1	m ³
Transport by train	81.2	tkm
Transport by lorry	38.2	tkm
Urea-formaldehyde	12	kg

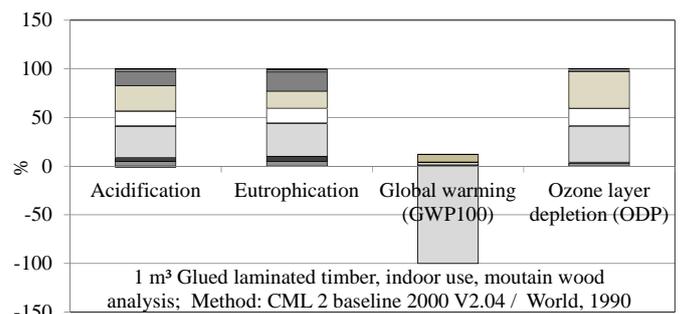
Woodchip furnaces	2660	MJ
Woodchip from sawmill	- 0.84751	m ³
Wood panel factory	3.33E-08	p

Table 11. For Tyrol: Input data glued laminated timber.

Input data glued laminated timber per m ³		
Diesel consumption of the machines	33.6	MJ
	58	kWh
Power for the production (Fa. Theurl)	(208.8)	(MJ)
Mountain wood: sawn wood 70 %	1	m ³
Transport by lorry - wood	41	tkm
Transport by lorry - chemicals	1.2	tkm
Transport by train	7.2	tkm
Urea-formaldehyde	12	kg
Woodchip furnaces	1062.72	MJ
Woodchip from sawmill	- 0.336	m ³
Wood panel factory	3.33 E-08	p

Tables 10 and 11 show the values of glued laminated timber ceiling produced in Tyrol with specific data, as well as the values of the *sigma pro* program of *ecoinvent* database in which the implemented glued laminated timber ceiling is included.

Figure 6 shows the following results. It is clearly noticeable that there is a remarkable positive effect on the global warming potential impact category due to the storage of CO₂ (100 %) in wood. In comparison, the CO₂ emission, due to formaldehyde and transport (10 %) is low. This means that CO₂ storage is always higher than CO₂ emission. The use of formaldehyde shows negative results in all impact categories. Moreover the transport of sawn timber (mountain wood) also exerts negative consequences on all impact categories. The transport of sawn timber from the sawmill to the glued laminated timber plant amounts to about 10 % of the overall environmental impact of the impact category in question (acidification, eutrophication, global warming potential, ozone depletion potential). The figure also shows that the burning of wood chips for drying wood has a negative effect on the impact categories of acidification and eutrophication.



- Disposal, polyurethane, 0.2 % water, to municipal incineration / CH U
- Wooden board manufacturing plant, organic bonded boards / RER / I U
- Wood chips, softwood, from industry, u = 40 %, at plant / RER U
- Wood chips, from industry, softwood, burned in furnace 300 kW / CH U
- Urea formaldehyde resin, at plant / RER U
- Transport, freight, rail / RER U
- Transport, lorry 3.5 - 16 t, fleet average / RER U
- Transport, lorry 3.5 - 16 t, fleet average / RER U
- Sawn timber, softwood, raw, u = 70 % mountain wood
- Electricity, at cogen ORC 1400 kWh, wood, allocation energy / CH U
- Diesel, burned in building machine / GLO U

Figure 6. Process impacts – glued laminated timber, mountain wood.

As can be seen in Figure 7 mountain wood shows significantly better results in all impact categories when compared to *ecoinvent* database values (100 %).

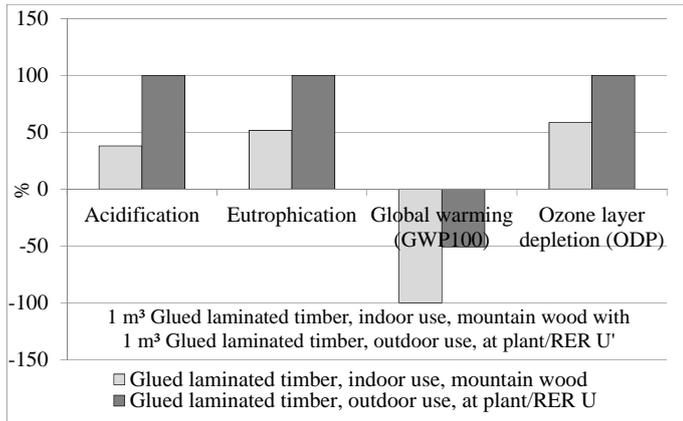


Figure 7. Impact assessment glued laminated timber, mountain wood (Tyrol) – glued laminated timber, *ecoinvent* database.

7 COMPARISON TO THE OI3-INDICATOR OF THE AUSTRIAN INSTITUTE FOR HEALTHY AND ECOLOGICAL BUILDING

The Austrian Institute for Healthy and Ecological Building (IBO) issued guidelines for the computation of eco-indicators for buildings. In particular the computation of OI3-Indicators is harmonised. The computation of the OI3-Indicator is designed for residential buildings (IBO, 2011). In some Austrian provinces it is used as an additional criterion for the granting of public subsidies for residential buildings. From a wide range of environmental indicators IBO currently uses the following:

- Global warming potential (GWP)
- Acidification potential (AP)
- Non-renewable primary energy input (PEI_{ne})

The composition of the individual OI3-Indicators is presented in this paper in brief.

7.1 The OI3 factor of a construction unit

The OI3 factor of a construction unit OI3_{KON} consists of the following (1):

$$OI3_{KON} = 1 / 3 OI_{PEIne} + 1 / 3 OI_{GWP} + 1 / 3 OI_{AP} \quad (1)$$

The primary energy of MJ / m² construction area is converted into points with the linear function (2):

$$OI_{PEIne} = 1 / 10 \times (x - 500) \quad (2)$$

The conversion of kg CO₂-eq / m² construction area into OI_{GWP} points is carried out respectively with the linear function (3):

$$OI_{GWP} = 1 / 2 \times (x + 50) \quad (3)$$

The conversion of kg SO₂-eq / m² construction area into OI_{AP} points is carried out respectively with linear function (4):

$$OI_{AP} = 100 / (0.25) \times (x - 0.21) \quad (4)$$

7.2 The value range of OI3kon-Indicators

The ecological quality of common constructions is presented in the eco-indicator OI3_{KON} in a range between 0 and 100 points. An exterior wall OI3_{KON} of 70 points constitutes standard construction without ecological optimizing measures. 15 points or less can only be achieved through ecological optimization or through a very light construction design.

7.3 OI3 factor of a glue laminated timber ceiling

The ecologically assessed glue laminated timber ceiling made of mountain wood described in chapter 6 is used for the calculation of an OI3 factor. The values for acidification, global warming potential and non-renewable primary energy input listed in table 9 are converted into points. Each part subsequently constitutes a third of the overall figure (compare formula in 7.1).

Table 12. Impact assessment - glued laminated timber (Tyrol).

Impact assessment	Unit	Total / m ² (d = 18 cm)
AP	kg SO ₂ -eq	0.087
EP	kg PO ₄ ³⁻ -eq	0.019
ODP	kg CO ₂ -eq	- 208.800
Ozon	kg CFC-11-eq	2.16E-06
PEI _{ne}	MJ-eq	319.500
PEI _e	MJ-eq	2844.547

This results in the following value:

$$OI3_{KON} \text{ glued laminated timber ceiling} = - 48.8$$

To put the value of the glue laminated timber ceiling OI3 factor into perspective, it is compared to the OI3 factor of a steel concrete slab produced in Tyrol. For that purpose specific data for the life cycle inventory

of a steel concrete ceiling manufactured in Tyrol are collected and calculated with the *sigma pro* and *ecoinvent* database. The results are shown in Table 13.

Table 13. Impact assessment - steel concrete slab (Tyrol).

Impact assessment	Unit	Total / m ² (d = 16 cm)
AP	kg SO ₂ -eq	0.197
EP	kg PO ₄ ³ -eq	0.036
ODP	kg CO ₂ -eq	74.880
Ozon	kg CFC-11-eq	0.000
PEI _{ne}	MJ-eq	698.720
PEI _e	MJ-eq	35.477

This results in the following value:

$$OI3_{KON} \text{ steel concrete ceiling} = 25.7$$

The reason why the values for the construction unit are relatively low is that only one construction layer was taken into account. The inclusion of additional floor layers would increase the values and the entire construction would fall into the usual value range of between 0 and 100 points.

In comparison to both raw ceilings it is apparent that the glue laminated timber ceiling constitutes a much lower value and is therefore more ecological.

8 CONCLUSION

From the eco-balance of the defined case studies (wood harvesting, manufacturing of glued laminated timber ceiling) it can be concluded that mountain wood at sawmill has a lower environmental impact than lowland wood. Moreover, a glued laminated timber ceiling made of mountain or lowland wood in Tyrol, based on the local specified values, shows a lower value than for a glued laminated timber ceiling calculated with *sigma pro* of *ecoinvent*. In the production of a glued laminated timber ceiling, transportation and the use of formaldehyde constitute the major overall negative factor on the individual impact categories.

9 PROSPECTS

When compared to the OI3 indicator for a generalized glued laminated timber ceiling that can be used in every region, the value of the established OI3 Indicator in point 7 for a glued laminated timber ceiling made of mountain wood seems too low. The reason is that sawn timber from Europe has much longer transport routes. Moreover part of the energy

used for drying the wood is not renewable and more power of a less ecological electricity mix is used. Therefore, to receive validated data for sawn timber or a manufactured glued laminated timber ceiling from Tyrol, further studies are necessary.

In order to carry out a statistical evaluation, more data need to be collected in various regions of Tyrol concerning types of forwarding, transportation routes and further processing in sawmills and glued laminated timber manufacturing plants. Subsequently data valid for the whole of Tyrol can be fed into a database.

Further profound research in the use of formaldehyde in the production of glued laminated timber ceiling could provide ways to optimize the use of wood. A study of various construction units in their entire life cycle might underpin the positive properties of wood as a re-useable building material.

REFERENCES

- Heijungs, R. 1992. Environmental life cycle assessment of products. Leiden: CML
- IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. 2011. OI3 Indikator – Leidfaden zur Berechnung von Ökokennzahlen für Gebäude, Version 2.2. Wien: IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
- ÖNORM EN ISO 14040. 1997. Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzip und allgemeine Anforderungen. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN ISO 14041. 1999. Umweltmanagement – Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN ISO 14042. 2000. Umweltmanagement – Ökobilanz – Wirkungsabschätzung. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- ÖNORM EN ISO 14043. 2000. Umweltmanagement – Ökobilanz – Auswertung. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- Pausch, R. 2007. Holzernverfahren richtig auswählen. www.waldwissen.net; accessed Feb. 10, 2011.
- Schweinle, J. 1995. Transport und Umschlag holzartiger Biomasse. In: Logistik bei der Nutzung biogener Festbrennstoffe. Münster: Landwirtschaftsverlag.
- Wegener, G & Frühwald, A. 1996. Grundlagen für Ökopprofile und Ökobilanzen in der Forst- und Holzwirtschaft. München: Fraunhofer IRB Verlag.